

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ  
ВОСТОЧНОУКРАИНСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
им. Владимира Даля  
Северодонецкое научно-производственное объединение «Импульс»  
Северодонецкий технологический институт**

**СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ**

Луганск 2006

УДК 621.039. 058, 681.3.06, 681.324, 681.518.52.54, 681.52.53

Рекомендовано к печати Ученым Советом Восточноукраинского национального  
университета им. Владимира Даля  
Протокол №

Р е ц е н з е н т ы:

*М.А. Дуэль*, докт. техн. наук, проф.

*М.А. Ястребенецкий*, докт. техн. наук, проф.

*В.И. Хаханов*, докт. техн. наук, проф.

*И.И. Стенцель*, докт. техн. наук, проф.

Ответственные редакторы: к.т.н., доцент Г.Ю. Пивоваров, к.т.н., доцент В.А. Ларгин

**Системы контроля и управления технологическими процессами.** Сборник статей по общей редакцией В.В. Елисеева – Луганск: Издательство Восточноукраинского национального университета 2006. - с., ил., табл., библиогр. назв.

В сборнике статей рассмотрены особенности систем контроля и управления (СКУ) особо ответственными объектами, приведены примеры практической реализации программно-технических средств СКУ, рассмотрены вопросы сертификации, обеспечения надежности, живучести, технологии производства СКУ.

Сборник может быть использован в учебном процессе студентами высших учебных заведений по специальностям «Компьютерная инженерия», «Системное программирование», «Автоматизированные системы управления технологическими процессами», а также инженерно-техническими работниками эксплуатирующих, проектных и наладочных организаций.

УДК 621.039. 058, 681.3.06, 681.324, 681.518.52.54, 681.52.53

ISBN

© Коллектив авторов

© ВНУ, 2006

# СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ .....	6
<b>1 СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ.....</b>	<b>7</b>
РАБОТЫ СЕВЕРОДОНЕЦКОГО НПО «ИМПУЛЬС» В ОБЛАСТИ АСУ ТП.....	7
КОНЦЕПЦИЯ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМ ВНУТРИРЕАКТОРНОГО КОНТРОЛЯ ВВЭР-1000 АЭС УКРАИНЫ.....	21
ОПЫТ РАЗРАБОТКИ НОВЫХ И ПОЭТАПНОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ ДЕЙСТВУЮЩИХ ИНФОРМАЦИОННО- ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ЭНЕРГООБЛОКОВ ВВЭР-1000 .....	43
МОДЕРНИЗАЦИЯ СВРК ДЛЯ ЭНЕРГООБЛОКОВ ВВЭР-1000 РОВЕНСКОЙ АЭС И ХМЕЛЬНИЦКОЙ АЭС.....	50
ОПЫТ ПОЭТАПНОЙ МОДЕРНИЗАЦИИ .....	59
СИСТЕМ ВНУТРИРЕАКТОРНОГО КОНТРОЛЯ ЭНЕРГООБЛОКОВ АЭС С РЕАКТОРОМ ВВЭР- 1000 .....	59
МОДЕРНИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ВНУТРИРЕАКТОРНОГО КОНТРОЛЯ ДЛЯ РЕАКТОРНЫХ УСТАНОВОК ВВЭР-1000.....	69
ПОРЯДОК УЧЕТА УРОВНЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ, ПОСТАВКИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПРОИЗВОДСТВА ЗАО «СНПО „ИМПУЛЬС”» .....	93
КАНАЛЫ КОНТРОЛЯ ПЛОТНОСТИ ПОТОКА НЕЙТРОНОВ АКНП-ИФ .....	97
АППАРАТУРА УПРАВЛЕНИЯ ОРГАНАМИ РЕГУЛИРОВАНИЯ ВВЭР-440.....	108
СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К МОДЕРНИЗАЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ АСУ ТП АЭС НА ПРИМЕРЕ СИСТЕМЫ АВАРИЙНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ АКТИВНОЙ ЗОНЫ РЕАКТОРА ВВЭР- 440 .....	121
АВТОМАТИЗАЦИЯ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ .....	130
ЦИФРОВАЯ МНОГОКАНАЛЬНАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ВЫСОКОЙ НАДЕЖНОСТИ.....	144
СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УЧЕТА ВЫРАБОТКИ И ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА БАЗЕ КОМПЛЕКСА КУЭП .....	158
ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ СТРУКТУРЫ И АЛГОРИТМЫ В СИСТЕМАХ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ.....	171
СЕТЬ КОХОНЕНА В ЗАДАЧЕ НЕЧЕТКОГО ПОИСКА СЛОВ .....	175
ЭЛЕКТРОДЕФОРМАЦІЙНІ ПРОЦЕСИ В П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧАХ .....	183
АЛГОСТРУКТУРНЫЕ МОДЕЛИ АДАПТИВНЫХ АЛГОРИТМОВ КСУ .....	190
АЛГОСТРУКТУРНІ МЕТОДИ СИНТЕЗУ АЛГОРИТМІВ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ .....	201
КОНЦЕПЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АСВТ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ ВУЗА...206	
К ВОПРОСУ ИДЕНТИФИКАЦИИ СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ .....	215
УПРАВЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ.....	215
СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ И УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ОБУЧЕНИЯ .....	218
<b>2 ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА СКУ.....</b>	<b>227</b>
РАБОЧИЕ СТАНЦИИ АСУ ТП АЭС .....	227
МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ СУБКОМПЛЕКСЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ МСКУ 2, МСКУ 3 ДЛЯ АСУ ТП АЭС.....	255
КОНТРОЛЛЕР МИКРОПРОЦЕССОРНЫЙ КМп-23 ДЛЯ МСКУ КЛАССА БЕЗОПАСНОСТИ 2...266	
РАЗРАБОТКА ПРОЦЕССОРНОГО МОДУЛЯ СТАНДАРТА РС/104 НА БАЗЕ ПРОЦЕССОРА AMD ELAN520 133MHZ И BIOS ДЛЯ ВСТРОЕННЫХ ПРИМЕНЕНИЙ В МСКУ .....	272

ПОДСИСТЕМА ВЫДАЧИ ДИСКРЕТНЫХ СИГНАЛОВ МСКУ 3 С ВОЗМОЖНОСТЬЮ СОЗДАНИЯ ОТКАЗОУСТОЙЧИВЫХ КАНАЛОВ УПРАВЛЕНИЯ .....	276
ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДЛЯ СИСТЕМ ЗАЩИТЫ РЕАКТОРА ВВЭР-440 – УСТРОЙСТВА ШВР-1, ШВР-2.....	282
ОСОБЕННОСТИ АРХИВИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ АКНП.....	288
БОРОМЕР – УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ БОРНОЙ КИСЛОТЫ .....	294
ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЯ СИГНАЛОВ ДЕТЕКТОРА НЕЙТРОНОВ С ЗАЗЕМЛЁННЫМ КАТОДОМ .....	298
ТРАНСФОРМАТОР ДЛЯ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ ДЕТЕКТОРОВ .....	301
СПОСОБ АКТИВНОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ СЧЕТА ИМПУЛЬСОВ ДЕТЕКТОРОВ НЕЙТРОННОГО ПОТОКА.....	303
ОЦЕНИВАНИЕ МЕЖПОВЕРОЧНОГО ИНТЕРВАЛА БЛОКОВ АНАЛОГО-ДИСКРЕТНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПО ДАННЫМ ПОВЕРКИ В ПРОЦЕССЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ .....	310
УСТРОЙСТВА ПЛАВНОГО ПУСКА – ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ АВТОМАТЫ ИА-3 И ИА-4.....	319
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ СИГНАЛОВ ПРС-2.....	325
МОДЕРНИЗАЦИЯ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ БПТ-145 ДЛЯ УНИФИЦИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ УКТС-ВЛ.....	329
ИСТОЧНИК БЕСПЕРЕБОЙНОГО ПИТАНИЯ УБП-12 ДЛЯ РАБОЧИХ СТАНЦИЙ ПС 5120 .....	334
ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ МНОГОКАНАЛЬНЫХ БЛОКОВ ВВОДА-ВЫВОДА ДЛЯ СИСТЕМ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА.....	343
ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ НАСТРОЙКИ ПИ-РЕГУЛЯТОРА ПО КРИТЕРИЮ ЗАДАННОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ЗАТУХАНИЯ .....	352
<b>3 ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ .....</b>	<b>358</b>
МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ МСКУ 2 И МСКУ 3.....	358
УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ МСКУ .....	370
ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ПОДГОТОВКИ И ОТЛАДКИ ПРОГРАММ В МСКУ .....	378
СИСТЕМЫ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ ЗАДАЧ ВЕРХНЕГО УРОВНЯ АСУ ТП: ЗА И ПРОТИВ .....	385
МНОГОПЛАТФОРМЕННЫЙ РАСПРЕДЕЛЕННЫЙ КОМПЛЕКС ПРОГРАММ ПРИЕМА, ОБРАБОТКИ, ОТОБРАЖЕНИЯ И АРХИВИРОВАНИЯ ДАННЫХ В АСУТП .....	399
ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ТЕСТИРОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ КОНТРОЛЛЕРОВ И СВЯЗАННОГО С НИМИ ОБОРУДОВАНИЯ.....	414
ОПЫТ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМ СБОРА ДАННЫХ НА ОСНОВЕ ОРС ТЕХНОЛОГИИ.....	433
РАЗРАБОТКА ПРОМЫШЛЕННОЙ СЕТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ НА БАЗЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ETHERNET .....	440
СЕРВИСНЫЕ СРЕДСТВА ПОДГОТОВКИ КОМПЛЕКТОВ ПО.....	444
ОСОБЕННОСТИ АРХИВИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ АКНП.....	449
<b>4 ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ, ЖИВУЧЕСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ.....</b>	<b>455</b>
ЭКСПЕРТНАЯ ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ АЭС, РАЗРАБОТАННЫХ ЗАО «СНПО «ИМПУЛЬС»».....	455
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ ИЗДЕЛИЙ ЗАО «СНПО «ИМПУЛЬС»», УСТАНОВЛЕННЫХ НА АЭС .....	464
ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОВЕРКИ УСТРОЙСТВ НА ЭЛЕКТРОМАГНИТНУЮ СОВМЕСТИМОСТЬ - ГМИ-1.....	475

ИСПЫТАНИЯ. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ВЫПУСКАЕМОЙ ПРОДУКЦИИ	480
СИСТЕМА ОБЪЕКТ GPSS КАК СРЕДСТВО МОДЕЛИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ .....	484
<b>5 МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИСПЫТАНИЙ, ВЕРИФИКАЦИИ, ВАЛИДАЦИИ, СЕРТИФИКАЦИИ .....</b>	<b>499</b>
ОЦЕНИВАНИЕ КАЧЕСТВА ПО ИУС КРИТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ: НОРМАЛИЗОВАННОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ОБЪЕКТА ЭКСПЕРТИЗЫ.....	499
ТИПИЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ РАЗРАБОТКЕ И СЕРТИФИКАЦИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ.....	507
ПРИНЦИП «СКВОЗНОЙ» СЕРТИФИКАЦИИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В СФЕРЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ.....	510
ВЕРИФИКАЦИЯ И ВАЛИДАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОБЛОКОВ АЭС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛЕЙ БЛОКОВ	514
<b>6 ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА СКУ .....</b>	<b>522</b>
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ САПР ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ РСAD И СИСТЕМОЙ УСТАНОВКИ КОМПОНЕНТОВ НА ПЕЧАТНУЮ ПЛАТУ .....	522
ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ В ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ .....	530
ТЕХНОЛОГИЯ ПРОЦЕССОВ ОТМЫВКИ И ВЛАГОЗАЩИТЫ ПЕЧАТНЫХ УЗЛОВ.....	533
ПОВЕРХНОСТНЫЙ МОНТАЖ. ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА ОБОРУДОВАНИЯ .....	539
ИЗГОТОВЛЕНИЕ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ШНУРОВОГО ОПТИЧЕСКОГО КАБЕЛЯ .....	546
ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ В ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ.....	555
ТЕХНИЧЕСКОЕ ПЕРЕВООРУЖЕНИЕ НАШЕГО ПРОИЗВОДСТВА - ВЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ .....	558
ОРГАНИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ПРОИЗВОДСТВА БЛОКОВ ЭЛЕКТРОННЫХ АППАРАТОВ.....	561

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Материалы сборника посвящены 50-летию Северодонецкого НПО «Импульс». На всех этапах своей деятельности Северодонецкое НПО «Импульс» выполняло работы по разработке, серийному производству и сопровождению эксплуатации различных автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП).

Технические средства, разработанные в НПО «Импульс», его дочерних предприятиях, производились на 18 заводах Советского Союза. НПО «Импульс», созданное на базе Лисичанского филиала СКБ-245, стало основным исполнителем крупнейших в СССР народнохозяйственных и оборонных программ, что потребовало развития его научно-технических и производственных мощностей. К 1985 г. в НПО и его филиалах работало 12 тысяч сотрудников. Количество созданных в промышленности и энергетике систем с использованием техники, разработанной в «Импульсе», к этому времени превысило десять тысяч. На базе программно-технических средств, разработанных в НПО «Импульс», создан ряд систем управления хозяйственного и оборонного значения. Наиболее известна система резервирования мест на авиалиниях "Сирена" — первая в СССР реально действовавшая система массового обслуживания. На космодроме Байконур использовалось более 100 управляющих вычислительных комплексов. К началу Московской олимпиады была построена многомашинная распределенная система судейства соревнованиями, эффективно работавшая в период игр.

Во второй половине 70-х годов в НПО "Импульс" начались работы по новому направлению - созданию средств вычислительной техники для высокопроизводительной обработки данных. В 1980 г. была завершена разработка мультипроцессора ПС-2000 и построенного на его базе экспедиционного геофизического вычислительного комплекса ЭГВК ПС 2000. С 1981 по 1989 гг. было выпущено 196 комплексов (что немало даже по мировым масштабам для машин такого класса). Они нашли применение не только в геофизике, но и в системах обработки данных гидроакустики, изображений (полученных при космическом зондировании Земли), телеметрических данных, принятых от космических объектов, в научных расчетах, исследованиях, испытаниях и т.д.

С 1984 по 1989 гг. выпущено 14 комплексов на базе мультипроцессорной системы ПС-3000, в которых были воплощены новейшие в то время архитектурные достижения в области высокопроизводительной конвейерной обработки данных.

С 1994 года в «Импульсе» начался серийный выпуск нового поколения программно-технических средств АСУ ТП - Микропроцессорной Системы Контроля и Управления - МСКУ М. Она вобрала в себя многолетний опыт работы НПО "Импульс" и новейшие в мире конценции в области АСУ ТП. Возможности построения многоуровневых систем автоматизации промышленных объектов, широкая номенклатура технических средств, открытые программно-технические решения обеспечили широкое применение МСКУ М и ее дальнейших модификаций в различных областях промышленности.

Только за период с 2001 г. по 2006 г. произведено и внедрено на промышленных объектах несколько десятков тысяч технических компонентов АСУ ТП (рабочих станций, промышленных контроллеров и другой аппаратуры автоматики АСУ ТП).

Сборник состоит из шести разделов: 1 - «Системы контроля и управления»; 2 - «Технические средства СКУ»; 3 - «Программное обеспечение СКУ»; 4 - «Вопросы обеспечения надежности, живучести и безопасности СКУ»; 5 - «Методы и средства испытаний, верификации, валидации, сертификации»; 6 - «Технологии производства СКУ».

В сборник включены также статьи других организаций – партнеров НПО «Импульс».

# 1 СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ

УДК 621.039.058

681.324

**В.В. ЕЛИСЕЕВ**

*ЗАО «Северодонецкое научно-производственное объединение „Импульс”»*

## **РАБОТЫ СЕВЕРОДОНЕЦКОГО НПО «ИМПУЛЬС» В ОБЛАСТИ АСУ ТП**

### **Введение**

Основным направлением деятельности Северодонецкого НПО «Импульс» на протяжении своей 50-летней истории является создание автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП).

Ранние управляющие вычислительные комплексы (УВК), применяемые в АСУ ТП, как правило, строились на базе одной машины и имели централизованную структуру. Машина должна была обладать высокой степенью надежности, так как при ее неполадках могла выйти из строя практически вся АСУ ТП. Поэтому наиболее ответственные функции контроля и управления резервировались за счет соответствующих автономных средств [1].

Возрастание сложности и размерности задач управления особо ответственными объектами обусловили повышение требований к производительности и надежности управляющих вычислительных систем, что, в свою очередь, стимулировало разработку и создание в Северодонецком НПО «Импульс» средств Микропроцессорной Системы Контроля и Управления - МСКУ М [2-4].

В последние десятилетия в связи с широким производством микропроцессорной техники стала возможной реализация УВК с распределенной структурой, включающей локальные подсистемы. Каждая локальная подсистема может быть реализована на базе промышленных контроллеров. Все подсистемы объединяются в единую систему с помощью общей сети передачи данных и сетевого программного обеспечения. Надёжность технической структуры АСУ ТП обеспечивается за счёт резервирования подсистем и сети передачи данных.

За период с 1993 г. по 1998 г. с использованием этих принципов на базе МСКУ М разработаны, изготовлены, запущены в промышленную эксплуатацию ряд информационно-вычислительных систем (ИВС) и управляющих вычислительных систем (УВС) на Кольской [5] и Курской АЭС [6], Запорожской, Змиевской, Киришской, Углегорской ГРЭС [7], системы контроля и управления на объектах газового комплекса.

В настоящее время основная специализация фирмы - создание информационных и управляющих систем (ИУС) для особо ответственных (критических) объектов. Работы выполняются в соответствии с государственными программами модернизации и повышения безопасности энергоблоков атомных станций. Фирма является официальным поставщиком государственной компании «Энергоатом».

За последнее десятилетие в атомной отрасли был введен в действие целый ряд стандартов, норм и правил, направленных, в первую очередь, на обеспечение уровня радиационной и ядерной безопасности АЭС, соответствующего международным требованиям. Вопросы радиационной и ядерной безопасности АЭС тесно соприкасаются с минимизацией человеческого фактора в управлении сложными и ответственными объектами. Так, в [8] отмечено, что существенная доля нарушений в работе АЭС (25-30% - по данным АЭС Украины за последние 10 лет) связана с неправильными действиями человека. Минимизация вклада оператора в опасность объекта и ненадежность систем управления безопасностью всего технологического процесса управления имеет первостепенное значение. Это объясняется большой ролью человеческого фактора в обеспечении безопасности, с одной стороны, и низким показателем надежности оператора. В силу эргономических ограничений человека показатель надежности оператора не может быть существенно увеличен даже с помощью самых современных тренажеров. Поэтому кардинальное решение проблемы интегрального увеличения надежности системы управления может быть достигнуто только путем выбора соответствующей структуры информационно-управляющей системы и места оператора в ней.

Основные ИУС для энергоблоков АЭС с реакторами типа ВВЭР-1000, разработанные на базе технических средств нового поколения [9-11] и внедренные в 2000 - 2005 гг.:

- информационно-вычислительные системы (ИВС) [12, 13];
- системы внутриреакторного контроля (СВРК);
- аппаратура контроля нейтронного потока [14];
- управляющие системы безопасности;
- управляющие системы нормальной эксплуатации;
- системы контроля и диагностики комплексов технических средств.

Разработка и внедрение информационно-вычислительных систем энергоблоков ведутся совместно с ГП «Харьковский НИИ комплексной автоматизации». Работы по разработке и внедрению СВРК ведутся совместно с СНИИП-Атом (г. Москва), РНЦ «Курчатовский институт», ГП «Харьковский НИИ комплексной автоматизации».

Успешное решение поставленных задач предполагает необходимость поиска новых структурных и системотехнических решений при проектировании программно-технических комплексов (ПТК) ИУС. Компоненты ПТК производства НПО «Импульс» обеспечивают все функции и средства, необходимые для системы управления технологическими

процессами: регистрацию и обработку параметров производственного процесса, регулирование, защиты и блокировки, сигнализацию, вычислительные операции, оптимизацию, экспертные системы, визуализацию процесса, дистанционное управление и др.

В течение 2000-2005 гг. был выполнен большой комплекс научно-исследовательских работ и проектно-конструкторских работ, который завершен вводом в промышленную эксплуатацию информационно-вычислительных систем и систем внутриреакторного контроля новых энергоблоков АЭС: №2 Хмельницкой АЭС и №4 Ровенской АЭС.

В данной статье отражена концепция создания ИУС для критических объектов, приведены примеры практической реализации ИУС.

## **1 Концепция создания ИУС для особо ответственных объектов**

Создание ИУС можно рассматривать как задачу синтеза сложной системы с множеством различных ограничений.

Например, ИУС, применяемые в АСУ ТП АЭС, должны удовлетворять всему спектру требований современных норм и стандартов, рекомендациям как отечественных, так и международных организаций, таких, как: государственный комитет ядерного регулирования Украины, МЭК, МАГАТЭ, ИСО [8]. ИУС должны удовлетворять всем требованиям по надежности, сейсмостойкости, механической прочности, электромагнитной совместимости, радиационной стойкости, климатическим условиям и т.д.

К другим факторам, отражающим качество ИУС, следует отнести срок службы, удобство эксплуатации, уменьшение объема кабельной продукции, высокие метрологические характеристики, возможность дальнейшего наращивания функций и увеличение информационной емкости эксплуатируемой ИУС [9].

Важным фактором качества ИУС является ее конкурентоспособность по отношению к аналогичным системам ведущих отечественных и зарубежных фирм.

Комплексное решение указанных проблем возможно при выполнении следующих организационно-технических принципов:

- собственная разработка компонентов ПТК ИУС: рабочих станций операторов-технологов, промышленных контроллеров, телекоммуникационного и сетевого оборудования, средств локальной автоматики, системного и прикладного программного обеспечения;

- изготовление технических средств на собственной производственной базе;

- полная сертификация изделий;

- проведение исследовательских и опытно-конструкторских работ по всем направлениям деятельности фирмы с максимальным учетом требований специфики отраслей применения ИУС и пожеланий заказчика.

Один из альтернативных подходов – применение специализированного оборудования различных фирм для решения задач АСУ ТП (таких, как: связь с

оператором, регулирование, защиты и блокировки и т.п.), как правило, приводит к росту затрат на эксплуатацию, системным и техническим проблемам при модернизации и создании интегрированной АСУ ТП. К тому же, использование импортного с хорошими рекламными характеристиками оборудования часто оборачивается серьезными проблемами при внедрении и эксплуатации системы управления. В частности, из-за закрытости программного обеспечения, недостаточной документированности по основным техническим решениям, проблем оперативного сопровождения и ремонта. Отметим также, что применение импортных ПТК в АСУ ТП АЭС не отвечает принципам технологической независимости. В то же время создание ПТК на отечественной элементной базе невозможно ввиду ее отсутствия.

Компромиссным решением, принятым в НПО «Импульс», является разработка ПТК и его компонентов на базе современных высоконадежных комплектующих (микросхем, дискретных компонентов, соединителей и т.д.) с использованием принципа диверсности поставщиков. При этом ПТК проходит весь цикл испытаний и сертификацию в соответствии с действующими нормативами в атомной энергетике.

ПТК и его компоненты проектируются с учетом требования защиты от несанкционированного доступа. Для выполнения требований по верификации и валидации программное обеспечение разрабатывается с открытым исходным кодом.

На нижнем контроллерном уровне в ИУС класса безопасности 3 применяются операционные системы (ОС) реального времени собственной разработки, в контроллерах класса безопасности 2 управляющие программы с детерминированными процессами.

На верхнем уровне ИУС в рабочих станциях различного функционального назначения применяется ОС Linux. Основные достоинства: отсутствие лицензионных ограничений, поставка с открытым исходным кодом, поддержка основными производителями вычислительных средств, модульное построение, соответствие стандартам POSIX и ISO, многозадачность и многопользовательский режим.

При проектировании ПТК применяются «открытые» стандарты и спецификации, не защищенные фирменными лицензиями и патентами.

Описанные подходы обеспечивают такие качества ИУС, как:

- требуемую надежность системы;
- гибкую адаптацию проектируемого ПТК под задачу автоматизации конкретного объекта и процесса;
- многокритериальную оптимизацию структуры и компонентов ПТК;
- рациональную организацию вычислительных процессов, информационных потоков, диспетчеризации задач и т.п. в функционирующем ПТК.

Эти качества, в конечном итоге, выражаются в высоких характеристиках эксплуатируемой ИУС.

Далее описаны наиболее представительные ИУС, разработанные и внедренные в последнее пятилетие.

## **Информационно-вычислительная система энергоблоков ВВЭР-1000**

Совместная разработка с Харьковским НИИ комплексной автоматизации. ИВС является одним из основных компонентов верхнего уровня блочной АСУ ТП, обеспечивая реализацию основных функций по:

- представлению информации персоналу в оперативном контуре управления блочного щита управления и других локальных постах управления;
- регистрации, документированию параметров и характеристик технологического процесса во всех режимах работы энергоблока.

Базовый проект энергоблоков ВВЭР-1000 был разработан в середине 80-х годов. В связи с этим для новых энергоблоков Хмельницкой (ХАЭС-2) и Ровенской (РАЭС-2) АЭС потребовался пересмотр определенной части проектных решений.

Для снижения затрат на кабельную продукцию, сокращения объемов монтажно-наладочных работ и сроков ввода системы в действие на блоке ХАЭС-2 были сохранены внешние кабельные связи ИВС. При этом замена низовых субкомплексов связи с объектом происходила по принципу «шкаф на шкаф». На блоке РАЭС-4, построенном по новому проекту, количество низовых субкомплексов связи с объектом составило 2/3 от количества субкомплексов на блоке ХАЭС-2.

ИВС построена на базе современных высокопроизводительных унифицированных средств МСКУ 2. Нижний уровень ИВС скомпонован в виде комплексов связи с объектом КСО. Каждый КСО представляет собой группу промышленных контроллеров МСКУ 2. Верхний уровень реализован на базе промышленных рабочих станций ПС 5120. Связь между уровнями осуществляется через шлюзы КСО на основе дублированных оптических коммутаторов сети Ethernet.

Предусмотрен прием информации от СВРК, аппаратуры контроля радиационной безопасности АКРБ, системы авторегулирования и других систем, входящих в состав АСУ ТП энергоблока, как по аналоговым (для стыковки со старой аппаратурой), так и по цифровым каналам связи. ИВС обеспечивает передачу необходимой информации в общестанционную локальную сеть и информационную систему кризисного центра АЭС.

Важной особенностью новой ИВС является подход, при котором система представления параметров безопасности реализована не на отдельном комплексе технических средств (КТС), а как функциональная подсистема, для которой выделена часть общесистемных ресурсов в рамках базового КТС. Такое решение позволило сократить количественный состав КТС, уменьшить зону обслуживания персонала и удешевило систему.

При реконструкции действующих энергоблоков применялась технология поэтапной замены блочных ИВС в течение двух-трех ежегодных плановых остановок. За 2002-2003 годы успешно выполнен первый этап замены (замена средств представления информации оператору-технологу) на четырех блоках

Балаковской АЭС и на трех блоках Запорожской АЭС. В 2004 г. выполнены работы при остановах блоков №1 и №3 Запорожской АЭС по второму наиболее сложному этапу – замена центральной части ИВС. Третий этап (завершающий) – замена средств связи с объектом.

В 2005 г. полученный опыт был использован при реконструкции ИВС энергоблока №1 Хмельницкой АЭС: в течение одного ППР было заменено оборудование верхнего уровня в полном объеме и 60 % оборудования нижнего уровня.

Объекты внедрения ИВС и ее подсистем: Хмельницкая АЭС, энергоблоки №№1, 2; Ровенская АЭС, энергоблоки №№3, 4; Запорожская АЭС, энергоблоки №№1-6; Кольская АЭС, энергоблоки №№1,2; Балаковская АЭС, энергоблоки №№1-4; Волгодонская АЭС, энергоблок №1.

### **Модернизированная система внутриреакторного контроля**

Совместная разработка с Харьковским НИИ комплексной автоматизации, СНИИП-Атом, РНЦ «Курчатовский институт».

Модернизированная система внутриреакторного контроля (СВРК-М) выполняет контроль технологических процессов в реакторной установке (РУ) ВВЭР-1000, информационную поддержку оператора для оптимизации протекания технологических процессов РУ, архивацию работы активной зоны РУ и состояния теплоносителя первого контура.

Основные функции СВРК-М:

- первичная обработка входных данных, выдача сигналов предупредительной защиты;
- ведение архива измеренных и вычисленных переменных, контроль текущих значений по технологическим уставкам;
- расчеты нейтронно-физических и теплогидравлических характеристик активной зоны и первого контура реакторной установки;
- отображение переменных в форме видеogramм, отчетов, протоколов и графиков;
- контроль работоспособности средств ПТК.

В СВРК-М реализована возможность контроля активной зоны в стационарных и переходных режимах, в том числе, в режимах маневрирования мощностью.

СВРК-М представляет собой многофункциональную интегрированную многоуровневую систему с резервированием наиболее важных функций, открытую для дальнейшего расширения.

**Новые функции** (по сравнению с СВРК предыдущего поколения):

- оперативная оценка распределения энерговыделения по высоте всех тепловыделяющих элементов (ТВЭЛ) в активной зоне и сравнение их с уставками, зависящими от выгорания в ТВЭЛ;
- корректировка инерционности сигналов датчиков прямого заряда;

- формирование сигналов предупредительной защиты на ограничение мощности реактора;
- прогноз распределения энерговыделения при заданных управляющих воздействиях;
- контроль качества оперативного восстановления поля энерговыделения.

Структура СВРК-М - двухуровневая.

Нижний уровень реализован в виде комплекса связи с объектом (КСО) на базе МСКУ 2 и дублированной локальной сети.

Верхний уровень реализован на базе промышленных рабочих станций ПС5120. Связь между уровнями осуществляется через шлюз КСО.

Объекты внедрения СВРК-М: Запорожская АЭС, энергоблок №3; Хмельницкая АЭС, энергоблоки №№1,2; Ровенская АЭС, энергоблоки №№3,4.

### **Аппаратура контроля нейтронного потока**

Аппаратура контроля нейтронного потока (АКНП) применяется для непрерывного измерения нейтронного потока с целью контроля мощности реакторов типа ВВЭР-1000 и ВВЭР-440. АКНП входит в системы управления и защит (СУЗ) реакторов. В случае превышения установленного значения нейтронного потока и скорости его изменения вырабатываются сигналы аварийной остановки реактора или ограничения его мощности.

На большинстве энергоблоков АЭС Украины необходима модернизация АКНП в связи с истечением срока службы эксплуатирующейся аппаратуры. С 2001 г. на предприятии началась разработка АКНП как для замены устаревшей аппаратуры, так и для внедрения на новых энергоблоках. Созданы две модификации АКНП с использованием современных технологий:

- АКНП-И (первое внедрение на АЭС – в 2004 г.) - разработана с использованием устройств детектирования потока нейтронов производства СНИИП (г. Москва);

- АКНП-ИФ (первое внедрение на АЭС – в 2006 г.) - разработана с использованием камеры деления CFUL08 фирмы Photonis (Франция).

АКНП-И, АКНП-ИФ выполняют:

- контроль относительной физической мощности реактора, скорости (периода) ее изменения и реактивности;

- формирование дискретных сигналов превышения уставок аварийной и предупредительной защиты, уставок управления и регулирования по относительной физической мощности и периоду для СУЗ и АСУ ТП энергоблока;

- представление аналоговых и дискретных сигналов операторам БЩУ и РЩУ, перегрузочной машины и обслуживающему персоналу в оптическом и акустическом виде;

- непрерывную регистрацию текущих значений относительной физической мощности реактора и периода;

– непрерывное диагностирование состояния технических средств и представление полученной информации оператору БЦУ и обслуживающему персоналу.

Сервер архивирования обеспечивает ведение архива АКНП. Реализован на базе рабочей станции ПС 5120. Сервер использовался при пуске реакторов на новых энергоблоках Хмельницкой и Ровенской АЭС.

АКНП-ИФ состоит из трех комплектов технических средств:

- два комплекта АКНП-ИФ АПЗ-СКП (для СУЗ и БЦУ);
- один комплект АКНП-ИФ РЦУ (для РЦУ).

Каждый комплект обеспечивает контроль нейтронного потока во всем диапазоне изменения плотности нейтронного потока в активной зоне реактора тремя независимыми каналами измерения уровня плотности и вычисления скорости изменения нейтронного потока.

Объекты внедрения: Запорожская АЭС, энергоблоки №№3,4; Хмельницкая АЭС, энергоблок №2; Ровенская АЭС, энергоблок №4; Южно-Украинская АЭС, энергоблок №3.

### **Оборудование управляющих систем безопасности и систем нормальной эксплуатации на базе УКТС-ВЛ**

Новые УСБ и УСНЭ реализованы на базе унифицированного комплекса технических средств УКТС-ВЛ. Оборудование УКТС-ВЛ разрабатывалось в ориентации на поэтапную реконструкцию УСБ и УСНЭ, так как жесткие сроки проведения ППР не позволяли полностью заменить оборудование за один этап. Процесс замены оборудования УСБ и УСНЭ был разбит на два - три ППР. Такой подход предполагал одновременную эксплуатацию старого и нового оборудования. Поэтому УКТС-ВЛ разработан как полный функциональный аналог заменяемого оборудования, что позволило:

- проводить замену «шкаф на шкаф» без изменения внешних соединений и проектной документации;
- обеспечить гарантированную работоспособность нового и старого оборудования при совместной эксплуатации;
- максимально использовать накопленный опыт обслуживающего персонала;
- максимально сократить время на проведение замены оборудования.

**Шкафы УКТС-ВЛ** (шкаф кроссовый, шкаф базовый, шкаф распределительный токовый) предназначены для замены выработавших технический ресурс шкафов УКТС-М, УКТС-У, а также для поставки на новые энергоблоки АЭС.

Шкафы имеют габаритные и установочные размеры такие же, как шкафы УКТС старого поколения. Места ввода и топология кросса в аналогичны местам ввода и размещения объектовых кабелей в шкафах УКТС.

Шкафы УКТС-ВЛ по сравнению со шкафами УКТС имеют ряд эксплуатационных преимуществ:

- наличие встроенных средств контроля и диагностики;
- более надежные и производительные пожаробезопасные вентиляторы;
- дополнительная сигнализация о неисправностях;
- улучшенная система электропитания.

**Система контроля и диагностики УКТС-ВЛ (СКиД)** предназначена для оперативного наблюдения за аппаратурой УКТС-ВЛ энергоблока с целью выполнения требований нормативных документов к техническому диагностированию систем, важных для безопасности атомных станций.

Основные функции СКид:

- оперативное диагностирование УКТС-ВЛ энергоблока;
- представление оператору видеogramм оперативного наблюдения за состоянием сигналов УКТС;
- архивирование диагностической информации.

**Функциональные блоки** помехоустойчивого исполнения со встроенными средствами контроля и диагностики предназначены для применения на энергоблоках АЭС в составе УКТС, УКТС-М, УКТС-ВЛ.

Обеспечивают формирование дискретных двухпозиционных сигналов управления действием аварийных и технологических защит, блокировок, сигнализации при достижении контролируемыми параметрами заданных предельных значений.

Выполняют размножение унифицированного токового сигнала, поступающего от первичного или нормирующего преобразователя, для четырех (БГР-ТВЛ) или шести (БГР6-ТВЛ) потребителей.

Обеспечивают усиление тока для управления силовыми цепями.

Функциональные блоки позволяют оперативно контролировать параметры работы энергоблока, непрерывно передавать диагностическую информацию в СКид, что существенно повышает надежность и коэффициент готовности эксплуатируемых систем.

Объекты внедрения оборудования УСБ и УСНЭ: Запорожская АЭС, энергоблоки №№3,4; Хмельницкая АЭС, энергоблок №2.

### **Аппаратура системы аварийного охлаждения активной зоны реактора**

Предназначена для управления системами безопасности по технологическим параметрам реакторов ВВЭР-440.

Основные функции:

- управление защитами в системе аварийного охлаждения активной зоны;
- выдача команд защиты при выходе параметров за пределы уставок и других условиях срабатывания защиты;
- выдача в ИВС, на БЩУ и РЩУ сигналов о срабатывании защит.

Состав:

- 3 устройства контроля и защиты (на основе МСКУ 3);
- инженерно-диагностическая станция (на основе ПС 5120);
- шкафы выходных реле ШВР-1 и ШВР-2.

Внедряется на Ровенской АЭС.

### **Аппаратура управления органами регулирования СУОР-И**

Является исполнительной частью системы управления защитой реактора ВВЭР-440.

Основные функции:

- поддержка работы реактора в режимах:
  - пуска и вывода на мощность в ручном режиме;
  - автоматического регулирования мощности;
  - компенсации изменения реактивности в ручном и автоматическом режимах;
  - аварийной защиты всех родов;
- расчет точного положения органа регулирования (ОР) и передача результата в СВРК по оптоволоконным каналам Ethernet;
- непрерывный автоматический контроль перемещения ОР, сигнализация о нарушениях;
- автоматизированные регламентные операции «эксперимент» и «осциллографирование»;
- визуализация на пульте оперативного наблюдения (на БЦУ) детальной информации о текущем состоянии и положении ОР в графическом и цифровом виде;
- реализация алгоритмов формирования предупреждающих сообщений для ВИУР о событиях накопительного характера.

Состав:

- оборудование щитов управления:
  - блок ручного управления ОР и компьютеризированный пульт оперативного наблюдения за состоянием ОР;
  - комплект индикаторов положения для БЦУ и РЦУ (в щитовом исполнении для коллективного обзора);
- трехканальная подсистема группового управления на базе МСКУ 3;
- дублированный комплект аппаратуры электропитания;
- комплект аппаратуры управления приводом (для каждого ОР):
  - устройство определения положения привода (с индивидуальным питанием датчиков);
  - резервированное устройство силового питания привода;
- локальный сервер контроля и диагностирования.

Все уровни СУОР-И содержат встроенные средства оперативного самодиагностирования.

Внедряется на Ровенской АЭС.

## **Система управления газоперекачивающим агрегатом (САУ ГПА)**

В САУ ГПА реализован весь современный набор функций АСУ ТП (в том числе – функции регулирования), современная система представления информации, открытые средства сопряжения с другими подсистемами АСУ ТП.

Открытость программно-аппаратного обеспечения системы позволяет использовать отработанные решения для различных типов газоперекачивающих агрегатов. Далее приведены основные функции САУ ГПА.

### ***Функции управления САУ ГПА***

- проверка пусковой готовности;
- проверка исправности каналов защиты ГПА;
- «холодная» прокрутка двигателя;
- автоматический пуск ГПА с автоматическим выводом его на заданный режим;
- нормальный останов;
- аварийный останов со стравливанием или без стравливания газа;
- антипомпажное регулирование и защита;
- автоматическое управление дозатором топливного газа;
- автоматическое управление исполнительными механизмами и кранами газовой обвязки агрегата;
- отработка режимов работы, задаваемых оператором;
- автоматическая защита по технологическим параметрам;
- дистанционное управление исполнительными механизмами с панели управления и от рабочей станции;
- автоматический перезапуск вспомогательных механизмов по заданному алгоритму;
- экстренный останов ГПА по заданному алгоритму экстренного останова по команде оператора.

### ***Функции контроля***

- автоматический непрерывный контроль исправности цепей управления ответственными механизмами и вспомогательным оборудованием;
- автоматический непрерывный контроль цепей аналоговых датчиков и цепей дискретных датчиков, участвующих в аварийных защитах;
- контроль состояния оборудования и отклонений технологических параметров при достижении параметрами предельных значений (уставок);
- автоматический контроль исправности САУ ГПА на уровне блоков;
- защита ПО САУ ГПА от несанкционированного доступа.

### ***Информационные функции***

- непрерывный контроль технологических параметров;
- вызов группы контролируемых параметров с отображением в виде трендов;
- отображение вычисляемых параметров;
- представление на экране рабочей станции мнемосхем агрегата;
- постоянное представление на цифровых табло температуры газа, частоты вращения и перепада давлений «масло-газ»;
- отображение, звуковая и мигающая световая сигнализации при достижении технологическими параметрами предупредительных и аварийных уставок;
- представление информации о невыполненных предпусковых условиях;
- представление информации об основных режимах работы агрегата;
- запоминание сигналов, вызвавших аварийный останов, а также значений основных параметров агрегата, положения исполнительных механизмов и кранов при срабатывании защиты с возможностями ретроспективного анализа состояния агрегата (с дискретностью 0,1 s) за 10 min до начала аварии и 5 min после аварии;
- формирование массивов текущей и ретроспективной информации в виде непрерывно обновляемых массивах данных технологических параметров, режимов работы, отклонения от заданных уставок и действий оператора;
- обмен информацией с системой управления высшего уровня.

Внедрена на компрессорной станции «Лоскутовка» УМГ «Донбасстрансгаз».

### **Перспективные ИУС АЭС**

Перспективные ИУС АЭС должны строиться на базе отказоустойчивых ПТК, отвечающих нормам, требованиям безопасности и надежности эксплуатации. Характерной особенностью построения таких систем должна быть возможность обновления технических средств ИУС без изменения строительной части в течение всего срока службы энергоблока. Возможность обновления должна обеспечиваться открытостью системы и высокой степенью унификации проектных решений, реализованных на основе передовых системотехнических принципов, на едином комплексе технических и программных средств.

Учитывая бурное развитие компьютерной техники в сторону увеличения совокупного использования вычислительных элементов в виде процессорных ядер, процессоров, компьютеров и т.д. и образования на их основе кластерных

и Grid-систем, ориентированных на решение как узкого, так и широкого круга задач, следует признать, что в настоящее время перспективным направлением развития ИУС является разработка и развитие ее адаптивных свойств и интеллектуальных качеств.

Интеллектуальность ИУС должна заключаться, в первую очередь, в:

- настройке на текущее состояние ПТК и контролируемого процесса;
  - зависимости от постоянных и текущих целей (с учетом их приоритетов и взаимосвязей), возможных и оптимальных путей их достижения с оценками рисков и вероятностных сценариев развития событий;
  - использовании механизма наработки и использования опыта работы ИУС, а также механизма самообучения ее. Вероятно, основными элементами таких механизмов будут нейронные сети и генетические алгоритмы.
- Первоочередной задачей для перспективной ИВС должна быть реализация интеллектуальной системы поддержки оператора, для СВРК – реализация прогнозирования нейтронно-физических характеристик активной зоны реактора при эксплуатации энергоблока и прогнозирования отклика активной зоны на воздействие оператора.

### **Заключение**

Коллективом Северодонецкого НПО «Импульс» были созданы и успешно внедрены в промышленную эксплуатацию свыше 50 различных ИУС для объектов атомной энергетики, нефтегазового комплекса. В совокупности объем этих систем составляет несколько десятков тысяч технических компонентов (рабочих станций, промышленных контроллеров, шкафов и блоков УКТС и пр.).

Опыт промышленной эксплуатации подтвердил высокую степень эксплуатационных характеристик ИУС.

### **Литература**

1. Елисеев В.В., Ларгин В.А., Пивоваров Г.Ю. Программно-технические комплексы АСУ ТП. К: Издательско-полиграфический центр «Киевский университет», 2003. 429 с.
2. Елисеев В.В., Ракитин В.Г. Айзенберг А.Б. Пивоваров Г.Ю. Макарова В.И. Микропроцессорная система контроля и управления МСКУ М // Приборы и системы управления, 1994, №9. С. 28-31.
3. Елисеев В.В., Ракитин В.Г. Айзенберг А.Б. Пивоваров Г.Ю. Макарова В.И. 40 лет в области АСУ ТП // Приборы и системы управления, 1996, №4. С. 15-17.
4. Елисеев В.В., Пивоваров Г.Ю. Макарова В.И. Яценко В.И. Перспективы развития микропроцессорной системы контроля и управления МСКУ М // Приборы и системы управления, 1996, №10. С. 3-9.
5. Колотов Ю.Н., Минчев Т.Ц., Баршунин В.В., Омельчук В.В., Антуфьев В.А. Опыт внедрения ИВС технологического контроля на энергоблоке №3 с реактором ВВЭР-440 Кольской АЭС // Приборы и системы управления, 1994, №6. С. 1-6.
6. Белоусова Р.И., Жамойдин А.А., Ситников М.В., Фролов В.И., Шишков Г.И. Информационно-вычислительная система для открытых распределительных устройств // Приборы и системы управления, 1997. №6. С. 11-15.

7. Горелик А.Х., Хаит Я.Г. и др. АСУ энергоблоками тепловых и атомных электростанций на базе средств МСКУ М // Приборы и системы управления, 1996, №10. С. 9-12.
8. М.А. Ястребенецкий, В.М. Васильченко и др. Безопасность атомных станций. Информационные и управляющие системы. Под ред. М.А. Ястребенецкого. К.:Техніка. 2004. 472 с.
9. Елисеев В.В. Принципы создания программно-технических средств АСУ ТП для отраслей повышенного риска. Сборник статей научно-технической конференции «Проблемы создания новых машин и технологий». Луганск. 2001г. С. 51-55.
10. Елисеев В.В. Проблемы разработки программно-технических комплексов АСУ ТП для предприятий повышенного риска. 1-й Международный форум «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития». МРФ-2002. Сборник научных трудов. Часть 2.-Харьков:АН ПРЭ, ХНУРЭ.2002. С. 69-71.
11. Елисеев В.В., Пивоваров, Г.Ю. Ларгин В.А., Макарова В.И., Набатов А.С., Яценко В.И. Микропроцессорная система контроля и управления МСКУ 2М //Промышленные АСУ и контроллеры. 2002, №3. С. 1-5.
12. Весельский В.П., Горелик А.Х., Елисеев В.В., Орловский В.А. Опыт разработки информационно-вычислительной системы для блока №2 Хмельницкой АЭС // Энергетика и электрификация.2003. №6. С.12-16.
13. A.Gorelik, V.Yeliseyev. Experience on developing new computer information systems and step-by-step reconstruction of functioning computer information systems of power units VVER-1000. Fourth International Topical Meeting on Nuclear Plant Instrumentation, Control and Human Machine Interface Technologies. Columbus, Ohio, September, 2004.
14. Елисеев В.В. Пивоваров, Г.Ю., Набатов А.С., Мошинский С.А., Скляр В.В., Спектор Л.И. Система контроля нейтронного потока для реактора ВВЭР-1000: обеспечение и оценка безопасности // Ядерная и радиационная безопасность. 2005, №1. С. 51-65.

**В.В. ЕЛИСЕЕВ, А.С. КУЖИЛЬ, В.Ф. ЯКУБОВ**

*ЗАО «Северодонецкое научно-производственное объединение "Импульс"»,  
Российский научный центр «Курчатовский институт»*

## **КОНЦЕПЦИЯ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМ ВНУТРИРЕАКТОРНОГО КОНТРОЛЯ ВВЭР-1000 АЭС УКРАИНЫ**

Рассмотрены основные положения концепции модернизации СВРК АЭС Украины на базе программно-технических средств производства ЗАО «СНПО „Импульс”» и математического и программного обеспечения (МПО) «Крузиз». Приведены функции и характеристики модернизированной СВРК.

### **Введение**

В рамках выполнения Распоряжения Кабинета министров Украины №504-р от 29.08.2002 г. «Комплексная программа модернизации и повышения безопасности энергоблоков атомных станций» и документа НАЭК «Энергоатом» «Программа проведения поузловой замены подсистем АСУ ТП энергоблоков ВВЭР-1000, ВВЭР-440 на 2000 – 2006 годы» в Украине накоплен значительный опыт замены устаревшего оборудования, математического и программного обеспечения при модернизации систем внутриреакторного контроля (СВРК) энергоблоков АЭС. СВРК представляет собой часть АСУ ТП энергоблока с реактором ВВЭР-1000 и предназначена для обеспечения безопасной и экономичной эксплуатации реакторной установки (РУ) в энергетическом диапазоне путем сбора, обработки и представления оператору информации по основным параметрам активной зоны (АкЗ) первого и второго контуров РУ. СВРК относится к системам, важным для безопасности АЭС [1].

На основе накопленного опыта работ созданы условия для комплексной реализации проекта модернизации СВРК АЭС Украины на следующих принципах:

- реализация единой технической политики модернизации СВРК;
- создание серийной модернизированной СВРК (СВРК-М) на базе унифицированных технических, математических и программных средств;
- создание эффективной организационной структуры, обеспечивающей разработку, внедрение и сопровождение СВРК-М в течение всего жизненного цикла;
- научно-техническое обеспечение дальнейшего расширения функциональных возможностей СВРК-М в процессе эксплуатации.

Далее сформулированы основные положения концепции по проекту модернизации СВРК АЭС Украины на базе математического и программного

обеспечения (МПО) «Круиз» (разработки СНИИП-Атом), которое имеет большую референтность применения на АЭС с ВВЭР, и технических средств производства ЗАО «СНПО „Импульс”» [2].

## **1. Концепция модернизации СВРК ВВЭР-1000**

Целью проведения поэтапной комплексной модернизации СВРК на АЭС Украины является обеспечение безопасной и экономичной эксплуатации активных зон, в том числе и с новыми топливными циклами на основе тепловыделяющей сборки альтернативной конструкции (ТВСА), как в базовом, так и в маневренном режиме.

### **1.1 Оценка состояния действующих СВРК и предпосылки для их модернизации**

При разработке СВРК различают два основных подхода – с постоянным (технология ВВЭР) и периодическим (технология PWR) присутствием внутризонных датчиков энерговыделения для контроля распределения энерговыделения в активной зоне.

Вследствие развития топливоиспользования в настоящее время применяются новые виды топлива, увеличивается длительность топливных кампаний, производится переход на эксплуатацию топлива в течение четырех-пяти топливных циклов, применяются малоутечные топливные компоновки, используется топливо с интегрированным выгорающим поглотителем. При этом, в связи с переводом реакторов PWR и ВВЭР на топливные циклы с более высоким обогащением топлива подпитки и увеличением выгорания выгружаемого топлива, возрастает неравномерность в размножающих свойствах топлива и полях энерговыделения в активной зоне, что не позволяет получить достоверный контроль за активной зоной только при помощи внезонных детекторов и периодического использования внутризонных. В настоящее время западными фирмами производится переход к постоянному контролю за активной зоной при помощи постоянно присутствующих в реакторе внутризонных детекторов.

В действующих проектах реакторов ВВЭР-1000 в настоящее время эксплуатируется двухуровневая СВРК [3] с нижним уровнем аппаратуры «Гиндукуш» и верхним уровнем на базе СМ-2М с внешним математическим программным обеспечением (МПО) «Хортица». К настоящему моменту оборудование, математическое и программное обеспечение (ПО) СВРК ВВЭР-1000 морально устарело. Аппаратура СМ-2М и «Гиндукуш» более не выпускаются, заводами-изготовителями также прекращен выпуск их комплектующих для ЗИП.

Ввиду существенных ограничений расчетных возможностей МПО «Хортица» в существующих СВРК, цели, поставленные перед ее разработчиками, были достигнуты не в полном объеме.

В связи с внедрением на энергоблоках ВВЭР-1000 новых топливных циклов (в том числе – на основе ТВСА) и, соответственно, увеличением глубины выгорания существует реальная возможность потери контроля за

эксплуатацией активных зон из-за реализации ВМПО СВРК «Хортица» на основе целочисленной арифметики<sup>1</sup>.

Подход к выбору и обоснованию ограничений, накладываемых на эксплуатационные параметры, применяемый в настоящее время в проекте реакторной установки ВВЭР-1000, состоял в необходимости расчета большинства параметров с так называемыми коэффициентами запаса. В связи с этим при эксплуатации РУ ряд ограничений накладывается не только на параметры, непосредственно влияющие на безопасность, но и на связанные с данным параметром интегральные величины с соответствующими коэффициентами запаса. Данный подход был обусловлен двумя факторами:

- отсутствием необходимого количества качественных экспериментальных данных по данному типу топлива, реакторной установке и др.;

- отсутствием на момент проектирования мощных комплексных расчетных кодов, описывающих большинство процессов, протекающих в РУ, и достаточных для таких вычислений вычислительных мощностей.

К настоящему времени оба эти фактора либо устранены полностью, либо находятся в процессе устранения (накоплен значительный опыт эксплуатации ВВЭР-1000 в несколько сотен реакторо-лет, фактически сняты ограничения на объем производимых вычислений, разработаны или разрабатываются комплексные коды, адекватно описывающие процессы, проходящие в РУ в любых режимах эксплуатации).

Текущее состояние научно-технической базы, при соответствующем изменении проекта РУ ВВЭР-1000, позволяет отказаться от избыточного консерватизма, заложенного в ограничения на эксплуатацию РУ. Например, по инициативе финской стороны был пересмотрен проект РУ ВВЭР-440 для АЭС «Ловииза», что позволило поднять электрическую мощность РУ с 440 до 500 МВт. Фактически, пересмотр проекта РУ ВВЭР-1000 может обеспечить увеличение отпускаемой электрической мощности РУ на 4-10%, расширить спектр компоновочных решений для активных зон при обеспечении непосредственного контроля критических параметров при эксплуатации. Например, при компоновке активных зон ограничивается не только локальное энерговыделение в ТВЭЛе, но и, в связи с невозможностью их контроля при помощи ВМПО «Хортица», ограничиваются интегральные величины ( $K_r$ ,  $K_v$ ,  $K_q$ ), что существенно уменьшает спектр компоновочных решений для активных зон и, зачастую, длительность эксплуатации топливных загрузок.

В связи с растущей долей энерговыработки на АЭС Украины в общей энерговыработке страны, становится актуальным вопрос о переводе части ядерных генерирующих мощностей в режим маневрирования мощностью. Для обеспечения эксплуатации топлива и РУ в режимах маневрирования мощностью также важен контроль при эксплуатации за величинами локального

---

<sup>1</sup> При достижении глубины выгорания ТВС в расчетной призме около 57 МВт×сут/кг U происходит переполнение разрядной сетки в расчетных параметрах раздела физрасчета активной зоны, что приводит к полной недоверности контроля за распределением поля энерговыделения.

энерговыведения (которые ранее не контролировались ВМПО «Хортица»), а также за режимами эксплуатации критических узлов РУ.

## **1.2 Основные особенности раздела нейтронно-физических расчетов СВРК-М**

В процессе разработки и внедрения МПО «Крузиз» по решению ГП НАЭК «Энергоатом» прошло всестороннюю экспериментальную проверку в телеметрическом режиме на Запорожской, Южно-Украинской и Ровенской АЭС в течение 2003 – 2004 годов. Также учитывался опыт эксплуатации МПО «Крузиз» на других АЭС с ВВЭР [4-7].

В ядре раздела нейтронно-физических расчетов МПО «Крузиз» для оценки поля энерговыведения реализован алгоритм, в котором интерполяция по пространству и экстраполяция по времени поля энерговыведения осуществляется с помощью дискретного аналога двухгруппового трехмерного уравнения диффузии нейтронов (аналог аттестованного кода БИПР-7А) с моделью адаптации к показаниям внутриреакторных детекторов. Такой подход, помимо преимущества по отношению к проектным и исследовательским программам, обеспечивает учет измерений непосредственно в ходе решения уравнения и, тем самым, позволяет естественно увязать медленную эволюцию поля энерговыведения с быстрыми вариациями при управляющих воздействиях.

По аналогии с БИПР-7А используется 7-ми точечное приближение расчетного слоя ТВС, что позволяет корректно отслеживать межкассетные перетоки нейтронов, а это особенно важно для гетерогенной активной зоны, сформированной из соседних ТВС с существенно отличающимися свойствами. Такая модель дает существенно лучшее совпадение по сравнению с моделью ВМПО «Хортица» с фактическим (измеренным) полем энерговыведения. В ядре модели также в явном виде используются простейшие теплофизические модели (в адиабатическом приближении) для расчета используемых в расчете нейтронно-физических характеристик (НФХ) температурных полей топлива и теплоносителя. Модель использует в качестве исходных данных также положение органов регулирования системы управления и защиты (ОР СУЗ) реактора, значения температур, расходов и другую необходимую фактическую информацию.

В отличие от ВМПО «Хортица» МПО «Крузиз» проводит адаптацию путем внесения 14 зонированных поправок к «быстрой» составляющей нейтронного потока (7 по высоте в каждой из двух зон «центр» и «периферия»), что отвечает физической природе процессов в активных зонах (в частности, описывает изменение утечки и перетока «быстрой» составляющей нейтронного потока). Минимизация отклонений расчетного поля от показаний внутриреакторных детекторов по-прежнему производится методом наименьших квадратов.

Расчет локальных параметров поля энерговыведения осуществляется на основании интерполяции заранее насчитанных проектным аттестованным кодом ПЕРМАК-А микрополей в ТВС для различных состояний реактора на

фактическое распределение поля энерговыделения в ТВС, получаемое в данный момент алгоритмом восстановления поля энерговыделения.

Непрерывный контроль за изменением всех эксплуатационных параметров активной зоны реактора позволил внедрить предупредительную защиту реактора второго рода по локальным параметрам энерговыделения (запрет на подъем мощности).

Ядро раздела нейтронно-физических расчетов в МПО «Крузиз» совместимо с моделями, разработанными для задач исследования и проектирования ядерных реакторов, за счет чего появляется возможность использования части результатов в моделях, предназначенных для применения на этапе эксплуатации (особенно это относится к константному обеспечению), приобретает возможность непосредственного сравнения реального хода кампании с запланированным и выявления причин отличий. Наличие родственных «канонизированных» проектных и исследовательских моделей дает определенную эталонную базу для эксплуатационных моделей. В МПО «Крузиз» использованы эффективные и быстродействующие алгоритмы оценки состояния активной зоны с учетом всех особенностей объекта контроля и возможностей используемых математических моделей. Одним из важнейших свойств разработанного алгоритма синтеза поля энерговыделения является его малая чувствительность к изменению объема входной информации. При отказе ряда датчиков (например, термопар), сбоях в электронно-измерительном тракте система продолжает выдавать информацию о поле энерговыделения. При этом лишь возрастает погрешность соответствующих величин.

В МПО «Крузиз» также реализована возможность предсказания отклика параметров активной зоны на регулирующие воздействия оператора (в режиме советчика оператора). Для упрощения контроля за состоянием активной зоны персоналу АЭС предоставлена возможность генерации произвольных видеogramм, при этом все эксплуатационные пределы и пределы безопасной эксплуатации РУ контролируются автоматически и, в случае их достижения, оператор РУ получает соответствующий сигнал и видеogramму.

Архивация параметров эксплуатации активных зон позволяет в СВРК-М с МПО «Крузиз» восстанавливать полную и достоверную картину эксплуатации активной зоны и РУ в целом (как измеряемых величин, так и величин, рассчитываемых МПО) для последующего моделирования исходных условий и протекания процессов (в том числе – в условиях нарушения нормальных условий эксплуатации).

### **1.3 Базовый вариант модернизированной системы внутриреакторного контроля ВВЭР-1000**

В качестве базового варианта модернизации СВРК энергоблоков ВВЭР-1000 АЭС Украины предлагается СВРК-М, апробированная на энергоблоках № 4 Ровенской [8] и №1 Хмельницкой АЭС. Общая структурная схема базового варианта СВРК-М ВВЭР-1000 приведена на рисунке 1. На рисунке приведены общепринятые названия узлов сети (которые могут изменяться в проекте СВРК-М для конкретного энергоблока):

- БЩУ – блочный щит управления;
- ИВС - информационно-вычислительная система энергоблока [9];
- ИДС – инженерно-диагностическая станция;
- ККСО – концентратор комплекса связи с объектом;
- МСКУ – микропроцессорный субкомплекс контроля и управления [10];
- МСКУ ВРК – МСКУ подсистемы внутриреакторного контроля;
- МСКУ КРУ – МСКУ подсистемы контроля реакторной установки;
- РМКФ – рабочее место контролирующего физика;
- РМОП – рабочее место обслуживающего персонала СВРК-М;
- РМО – рабочее место оператора реакторного отделения;
- РМСП – рабочее место системного программиста;
- САД – сервер архивирования и документирования;
- СВУ – сервер верхнего уровня;
- СДИРК – рабочее место сменного дежурного инженера;
- СК – сетевой коммутатор;
- СОК – сервер оперативного контроля;
- ШЛНП – шлюз неоперативного персонала.

СВРК-М построена в виде распределенной вычислительной системы со степенью резервирования, достаточной для выполнения проектных требований надежности и времени выполнения функций, а также возможностью дальнейшего расширения.

СВРК-М состоит из:

- комплекса связи с объектом (КСО), выполняющего сбор и предварительную обработку сигналов ВРК и РУ;
- подсистемы внутриреакторных расчетов, архивирования и отображения информации;
- подсистемы поддержки эксплуатации СВРК-М, включающей удаленные рабочие места контролирующего физика, системного программиста, обслуживающего персонала.

Предлагаемая структура СВРК-М представляет собой базовый вариант системы, обеспечивающий возможность дальнейшего развития по следующим направлениям:

- реализация расширенных расчетных и прогнозных модулей информационной поддержки оператора;
- интеграция СВРК-М и ИВС энергоблока;
- диверсификация платформ (операционных систем) для уменьшения вероятности отказа по общей причине.

Дальнейшее развитие СВРК-М осуществляется модернизацией прикладного программного обеспечения без существенных изменений в составе технических средств.

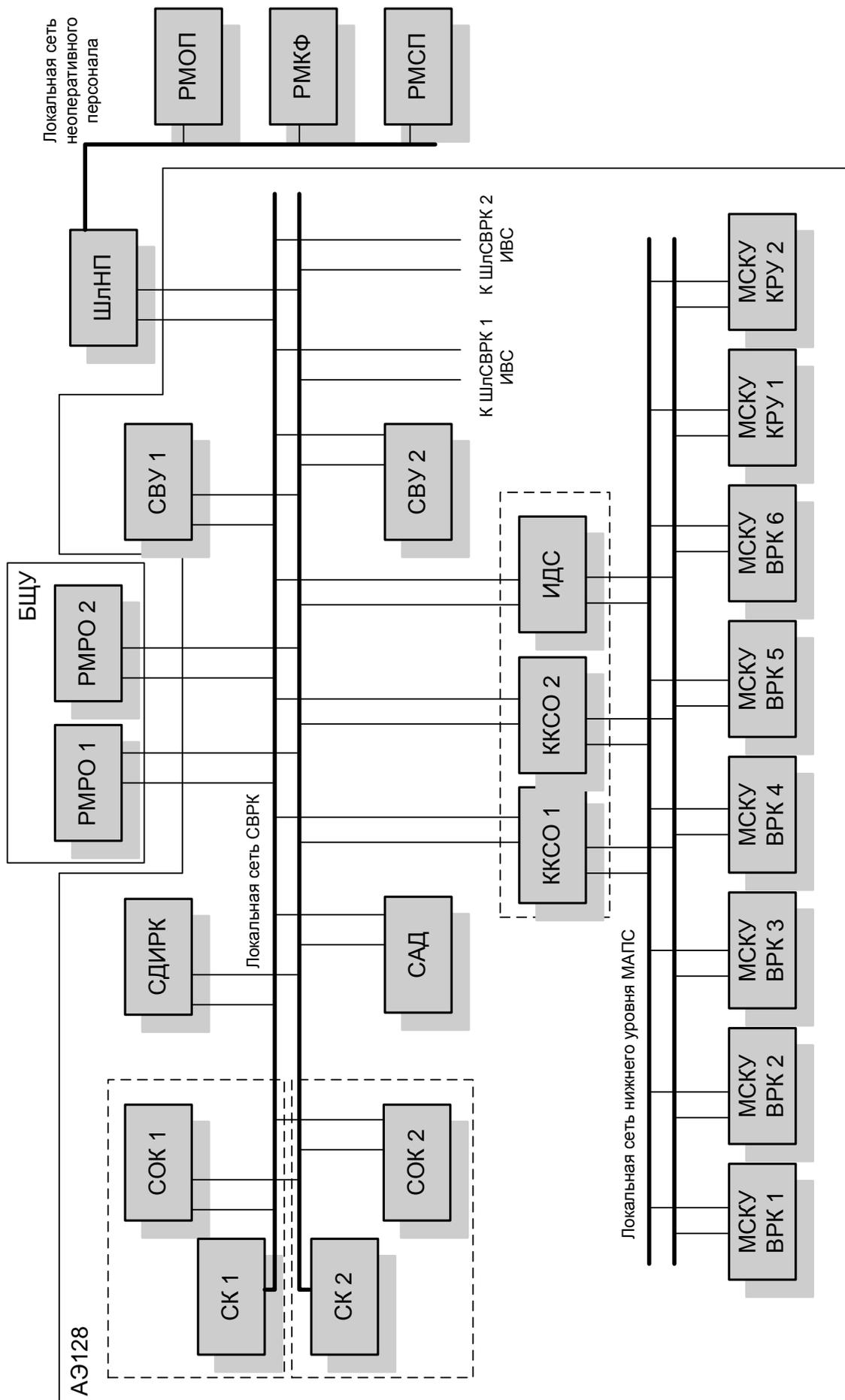


Рис. 1 Структурная схема базового варианта СВРК-М

**Комплекс связи с объектом (КСО).** КСО СВРК-М состоит из восьми узлов (МСКУ ВРК1 ÷ МСКУ ВРК6, МСКУ КРУ 1, КРУ 2), обеспечивающих прием, измерение и предварительную обработку сигналов датчиков энерговыделения, термоконтроля, нормированных аналоговых сигналов среднего уровня, дискретных потенциальных сигналов и сигналов типа «сухой контакт». Кроме этого, комплексы МСКУ ВРК обеспечивают прием и измерение сигналов термоконтроля каналов нейтронных измерительных.

МСКУ объединены дублированной локальной сетью нижнего уровня на базе промышленной сети МАПС [10]. Связь с верхним уровнем осуществляется с помощью концентратора КСО - шлюзовых станций ПС5120 - по протоколу TCP/IP по оптическим каналам связи.

**Подсистема внутриреакторных расчетов, архивирования и отображения.** Подсистема включает рабочие станции ПС5120 в заказных исполнениях следующего функционального назначения:

- рабочие места операторов реакторного отделения БЩУ;
- сервер архивирования и документирования;
- серверы оперативного контроля;
- рабочее место сменного дежурного инженера;
- сервер верхнего уровня.

Функциональные узлы подсистемы объединены дублированной ЛВС Ethernet по протоколу TCP/IP с помощью активных коммутаторов, обеспечивающих отсутствие коллизий при передаче данных. Линия связи – оптоволоконный кабель, пропускная способность – 100 Мбит/сек. Пропускная способность коммутатора Ethernet – 4 Гбит/сек.

**Подсистема поддержки эксплуатации СВРК-М.** Подсистема включает удаленные рабочие станции ПС5120 следующего функционального назначения:

- рабочее место контролирующего физика;
- рабочее место системного программиста;
- рабочее место обслуживающего персонала лаборатории СВРК-М.

Функциональные узлы данной подсистемы объединены нерезервированной локальной сетью Ethernet посредством коммутатора с оптическими каналами связи. Связь подсистемы с верхним уровнем осуществляется через рабочую станцию ПС5120 – сервер верхнего уровня.

**Техническое обеспечение СВРК-М.** Техническое обеспечение СВРК-М включает следующие изделия, поставляемые по Техническим условиям:

- микропроцессорные комплексы МСКУ 2 в заказных исполнениях по согласованным спецификациям;
- рабочие станции ПС5120 в заказных исполнениях по согласованным спецификациям;
- комплект ЗИП в согласованном объеме.

Для рабочих станций всех типов системные блоки комплектуются процессором Pentium4 с тактовой частотой не менее 1700 МГц и ОЗУ не менее 256 Мб. Операторское оборудование рабочих станций определяется в картах

заказах по согласованию с Заказчиком. Рабочие места оперативного персонала (операторов БЩУ, станция дежурного инженера и станция системного программиста) комплектуются цветными TFT мониторами с размером экрана 21". Остальные рабочие станции комплектуются мониторами в соответствии с согласованными картами заказа.

Сервер архивирования/документирования оборудован накопителем долговременного архива, а также двумя принтерами.

В качестве локальных сетей используется стандартная сеть типа Ethernet на основе оптоволоконного кабеля с пропускной способностью 100 Мбит/с.

Технические средства СВРК-М обеспечивают прием сигналов единого времени по протоколу, совместимому с синхронизатором Ч7-43, с погрешностью по отношению к источнику единого времени не более  $\pm 2$ мс.

Основные характеристики СВРК-М приведены в разделе 3.

**Особенности СВРК-М на базе МПО «Круиз».** Программно-технические средства в СВРК-М с МПО «Круиз» разработаны на основе апробированных на АЭС решений, таких как: средства самодиагностики, сервер архивации, механизм обмена данными внутри ЛВС СВРК-М и с внешними потребителями. Следует упомянуть, что в Украине на энергоблоках ВВЭР-440 Ровенской АЭС уже успешно эксплуатируются СВРК с реализованными в них аналогичными программными решениями, в том числе – алгоритмом НФХ расчета и восстановления поля энерговыделения (различие между данными алгоритмами для ВВЭР-1000 и ВВЭР-440 составляет менее 2%). Таким образом, в базовом варианте СВРК-М с МПО «Круиз» реализована возможность контроля активной зоны (во всем спектре нагрузок, реализуемых в настоящее время на АЭС) в стационарных и переходных режимах, в том числе, при необходимости, – в режимах маневрирования мощностью.

Особенности предлагаемого решения:

- обеспечение безопасной эксплуатации активных зон ВВЭР-1000;
- реализация новых функций (по сравнению с предыдущим поколением СВРК на базе ВМПО «Хортица»), повышающих качество внутриреакторного контроля, включая:
  - оперативную оценку распределения энерговыделения по высоте всех ТВЭЛ в активной зоне и возможность сравнения их с уставками, зависящими от выгорания в ТВЭЛ;
  - корректировку инерционности сигналов датчиков прямого заряда (ДПЗ);
  - формирование сигналов предупредительной защиты (ПЗ-2) на ограничение мощности реактора;
  - прогноз распределения энерговыделения при заданных управляющих воздействиях;
  - возможность контроля качества оперативного восстановления поля энерговыделения;
- унификация решений по программно-техническим средствам, реализованных в ИВС и СВРК;

- повышение надежности выполнения функций за счет диверсификации (разнообразия) операционных сред, в том числе для представления информации оперативному персоналу и архивов;
- открытость предлагаемых решений для дальнейшей модернизации, развития и обеспечения поэтапного внедрения.

Основные особенности СВРК-М:

- полностью совместима с установленными в настоящее время на энергоблоке ВВЭР-1000 внутриреакторными датчиками (каналы нейтронные измерительные (КНИ), термопары (ТП), термосопротивления (ТС), компенсационные коробки, шлейфы к ним);
- обеспечивает функции самодиагностики и резервирования;
- обеспечивает все проектные требования по надежности функционирования и достоверности контроля;
- имеет многоуровневую защиту от несанкционированного доступа и вмешательства.

СВРК-М допускает возможность дальнейшего развития и модернизации в процессе эксплуатации. Изменения состава, схемы, конструкции, режимов работы оборудования и/или программного обеспечения могут проводиться Поставщиком по желанию Заказчика.

**Функции системы.** СВРК-М предназначена для непрерывной круглосуточной эксплуатации в составе РУ ВВЭР-1000 в режимах нормальной эксплуатации и в режимах с нарушением нормальной эксплуатации, обеспечивает выполнение следующих функций:

1. При работе энергоблока в диапазоне от 10% до 120% номинальной мощности:

- контроль за распределением мощности в активной зоне реактора и формирование сигналов предупредительной защиты при превышении допустимых значений параметрами, непосредственно определяющими безопасность эксплуатации активной зоны реактора;
- своевременное обнаружение отклонений параметров РУ, определяющих пределы безопасной эксплуатации, за допустимые пределы и оповещение персонала с целью предотвращения развития аварий и исключения повреждений основного технологического оборудования РУ;
- обеспечение информационной поддержки операторов РУ для оптимизации управления технологическим процессом в переходных режимах;
- регистрацию и хранение измеренной и расчетной информации, достаточной для однозначного установления исходных событий возникновения нарушений нормальной эксплуатации и аварий, их развития;
- формирование и ведение долговременного (многолетнего) архива работы АкЗ реакторной установки;
- передачу данных в информационную сеть энергоблока (ИВС и др.) и общестанционную АСУ АЭС;
- контроль работоспособности и метрологических характеристик измерительных каналов в процессе эксплуатации;

2. При работе энергоблока в диапазоне от 0 до 10% номинальной мощности - контроль температуры, давления и расходов теплоносителя в I и II контурах;

3. При останове энергоблока - профилактический контроль и ремонт;

4. Обеспечение эксплуатации топливных загрузок АкЗ с ТВСА в проектных и перспективных топливных циклах.

СВРК-М обеспечивает выполнение перечисленных функций в режиме нормальной эксплуатации, режимах нарушения нормальной эксплуатации и аварийных режимах. Никакие нарушения в работе системы не могут стать исходными событиями для нарушения работы систем безопасности.

Отображение контролируемых СВРК-М параметров осуществляется на экраны мониторов рабочих мест операторов-технологов на БЦУ РМРО-1,2 в форме видеодиаграмм (таблиц, графиков, гистограмм) и сигнализации нарушений.

Функции СВРК-М реализуются в рамках следующих функциональных подсистем:

- контроля и регистрации;
- внутрореакторных расчетов;
- поддержки функционирования;
- автоматизированной настройки.

**Подсистема контроля и регистрации** информации реализует следующие задачи:

- сбор и обработка сигналов датчиков, вводимых через КСО;
- обмен информацией по ЛВС;
- обмен информацией с внешними системами;
- отображение информации на мониторах рабочих мест персонала;
- сигнализация нарушений;
- регистрация (архивирование и документирование) информации.

**Подсистема внутрореакторных расчетов** реализует следующие задачи:

- контроль состояния РУ, а именно:
  - расчет электрических и физических значений измеряемых параметров;
  - расчет тепловой мощности реактора по значениям параметров, относящихся к 1-му и 2-му контурам РУ, по показаниям ДПЗ и ионизационных камер (расчет тепловой мощности выполняется в цикле обновления результатов измерений);
    - синтез поля энерговыделения, расчет энерговыделения производится в 16 точках по высоте в каждой кассете в цикле обновления результатов измерений;
    - расчет температур на выходе ТВС и подогревов (расчет выполняется в цикле обновления результатов измерений);
    - расчет разогрева/расхолаживания 1-го контура РУ (расчет выполняется в цикле обновления результатов измерений);
    - расчет функционалов поля энерговыделения (расчет выполняется в цикле обновления результатов измерений): расчет мощностей ТВС, расчет

коэффициентов неравномерности  $K_o$ ,  $K_v$ ,  $K_r$  и  $K_q$ , определение параметров наиболее энергонапряженных ТВС: координат, мощностей,  $K_o$ ,  $K_v$ ,  $K_r$ ,  $K_q$ , подогревов, запасов до кризиса теплообмена, запасов до уставок по  $q_l$ , (уставки по  $q_l$  задаются с учетом выгорания);

- расчет энерговыработки и концентрации отравителей в объеме активной зоны;

- расчет линейной нагрузки в слоях по высоте каждого ТВЭЛ ( $q_l$ ), коэффициентов неравномерности энерговыделения в кассетах и коэффициентов нагрузки центральных ТВЭЛов;

- контроль состояния РУ в СОК: регламентный контроль, предупредительный контроль, контроль за изменением основных технологических переменных;

- формирование команд предупредительной защиты активной зоны по следующим параметрам: локальное энерговыделение ТВС, запас до кризиса теплообмена, превышение допустимого значения температуры на выходе ТВС;

- прогнозирование состояния РУ при заданных управляющих воздействиях в пределах текущей компании по полю энерговыделения и критической концентрации борной кислоты в теплоносителе первого контура (под управляющими воздействиями здесь понимается значение или последовательность изменяющихся во времени значений следующих переменных: положение ОР СУЗ; тепловая мощность активной зоны; расход теплоносителя через реактор; температура на входе в активную зону; давление над активной зоной);

- расчет состояний СВРК-М по следующим параметрам:

- расчет чувствительности ДПЗ (выполняется автоматически по мере изменения значений параметров, от которых зависит чувствительность);

- расчет градуировочных поправок к показаниям термодатчиков, который выполняется в режиме разогрева реактора по запросу оператора (обеспечена возможность расчета указанных поправок тремя способами: использование в качестве опорной температуры среднего значения температуры на выходе из кассет, использование в качестве опорной температуры средней температуры по показаниям термометров сопротивления в петлях главного циркуляционного контура, использование в качестве опорной температуры, рассчитанной по давлению в парогенераторе);

- контроль деградации СВРК-М;

- отображение информации и сигнализация нарушений:

- вывод информации из базы данных СВРК-М о текущем и прошедшем состоянии РУ, а также диагностической информации о состоянии СВРК-М на экраны рабочих станций в виде заранее подготовленных экранных форм (видеокадров);

- вывод информации на устройства печати в виде заранее подготовленных бланков печати и копий изображений на экранах рабочих станций;

- архивирование (в виде краткосрочного и долговременного архивов):

- архивирование значений аналоговых и дискретных параметров;
- архивирование событий;
- накопление отчетных (статистических) данных;
- формирование и обслуживание долговременного архива;
- представление и документирование архивной информации.
- сервисные функции:
  - возможность определения соответствия положения КНИ и ТП координатной сетке по запросу оператора;
  - корректировка базы данных о перегрузке топлива и замене КНИ.

**Подсистема поддержки функционирования** реализует следующие задачи:

- диагностирование состояния технических и программных средств СВРК-М (глубина диагностирования технических средств – до типового элемента замены для МСКУ, программных средств – до выполняемого процесса), а именно:

- диагностирование технических и программных средств МСКУ;
- диагностирование технических и программных средств концентраторов КСО и рабочих станций;
- диагностирование сетевых средств;
- определение достоверности сигналов датчиков (проводится в СОК после каждого приема сигналов по "воротам" и по скорости изменения);
- контроль достоверности оценок технологических величин (проводится при каждом расчете этих величин);
- периодическая проверка целостности константной части базы данных;
- контроль достоверности восстановленного поля энерговыделения в каждом расчетном цикле;
- контроль рассчитанных в серверах оперативного контроля значений переменных состояния активной зоны (контроль проводится в сервере верхнего уровня сравнением результатов двух серверов оперативного контроля);
- сравнение (по запросу оператора) восстановленных полей энерговыделения с расчетом без датчиков с учетом реального графика работы реактора (реализовано в РМКФ);
- управление функционированием СВРК-М:
  - загрузка МСКУ со станции СДИРК по инициативе оператора;
  - восстановление отказавшего канала МСКУ из соседнего канала;
  - задание МСКУ режима обмена данными по ЛВС, контроль информационных потоков и их восстановление при сбоях;
  - контроль состояния и автоматическая перезагрузка МСКУ из концентраторов;
  - управление режимами функционирования рабочих станций;
  - контроль состояния концентраторов и рабочих станций, автоматическое восстановление работоспособности (перезапуск);
  - реконфигурация дублированных концентраторов;

- метрологическая поверка измерительных каналов (заключается в автоматизированном определении и контроле метрологических характеристик измерительных каналов от входа до базы данных при наладке, испытаниях и в процессе эксплуатации);

**Подсистема автоматизированной настройки** реализует следующие задачи:

- генерация структур баз данных;
- ввод, структурирование и редактирование исходных данных;
- генерация настроечных данных.

**Основные технические решения по информационному обеспечению.**

Основными техническими решениями по информационному обеспечению СВРК-М являются:

- реализация системы информационной поддержки оператора РУ;
- наличие диагностики состояния и режимов эксплуатации технологического оборудования (отображение информации, расчет технико-экономических показателей);
- наличие диагностики состояния технических и программных средств;
- наличие функций регистрации информации в нормальном и аварийном режимах, обеспечивающих возможность установления исходных событий при возникновении нарушений нормальной эксплуатации и аварий и при их развитии;
- наличие защиты от несанкционированного доступа;
- наличие средств защиты от сбоев и отказов в системе с помощью контроля состояния и управления функционированием СВРК-М, восстановление или реконфигурация МСКУ, рабочих станций, резервирование ЛВС;
- реализация операторского интерфейса, не требующего навыков программирования;
- организация программной системы на базе принципов структурного программирования с использованием ограниченного набора системных программных средств (операционные системы, система управления базами данных (СУБД));
- организация информационной базы на единых принципах структурирования данных с использованием ограниченного набора унифицированных структур данных, поддерживаемых средствами СУБД.

Основными техническими решениями по структуре информационного и организационного обеспечений СВРК-М, являются:

- создание функциональной структуры, построенной по иерархии “подсистема функция-задача” с разделением основных и вспомогательных функций;
- разработка технической структуры с использованием современных серийных средств вычислительной техники в исполнении «для АЭС»;
- создание информационного обеспечения с использованием системы классификации и кодирования, принятой для АЭС с реакторами ВВЭР-1000,

стандартизированных сигналов и связей, унифицированных форм документов и видеogramм, организацией информационных массивов в виде баз данных, поддерживаемых СУБД;

- создание программного обеспечения с использованием фирменных продуктов, удовлетворяющих стандартизированным требованиям качества;
- обеспечение требуемой надежности системы с помощью различных видов резервирования, включения в систему средств контроля состояния технических и программных средств, управления восстановлением и реконфигурацией компонентов системы;
- включение в систему средств метрологической калибровки, используемых при внедрении и в процессе эксплуатации.

#### **1.4 Направление развития СВРК-М**

Дальнейшее усовершенствование СВРК-М осуществляется за счет:

- развития МПО СВРК-М в направлении реализации новых расчетных задач;
- диверсификации платформ (операционных систем) для дублированных вычислительных комплексов (уменьшение вероятности отказа по общей причине), предназначенных для оперативных расчетов;
- расширения интеграции СВРК-М и ИВС энергоблоков для конкретных АЭС.

***Развитие функций СВРК-М в части расчетных и прогнозных модулей, организация современной системы поддержки оператора.*** В дополнение к существующей в МПО «Круз» подсистеме информационной поддержки оператора в рамках нейтронно-физического модуля начата разработка расширенного модуля информационной поддержки оператора («советчика») на основе интегрированного описания процессов, как в активной зоне, так и в РУ в целом. Модуль построен на основе модельного описания отдельных узлов энергоблока (РУ + второй контур + турбогенератор + общестанционные системы) с учетом воздействия на них регуляторов и взаимодействия узлов между собой по параметрам рабочих сред (вода/пар и/или теплоперенос/теплопередача) с учетом обратных связей. Развитие данного модуля разделено на ряд стадий:

- контроль средств воздействия на реактивность (СУЗ и системы борного регулирования) с выявлением несоответствий соблюдения алгоритма управления полем энерговыделения, выдачей оператору рекомендаций по приведению РУ в стабильное или планируемое состояние (что особенно важно в переходных и маневренных режимах);
- контроль всех подсистем энергоблока и взаимосогласованности их параметров в режимах нормальных условий эксплуатации с выдачей оператору рекомендаций по приведению РУ в стабильное или планируемое состояние;

- контроль за состоянием РУ и ее подсистем в режимах нарушений нормальных условий эксплуатации с выдачей оператору рекомендаций по приведению РУ в пределы нормальных условий эксплуатации;

- полная комплексная диагностика РУ и ее подсистем с целью выявления несоответствий и прогнозирования состояний РУ и ее подсистем во всех режимах эксплуатации, в том числе здесь предусматривается прогнозирование показателей надежности и ресурса оборудования РУ.

На каждой стадии производится настройка подсистемы на конкретный энергоблок для максимально более точного описания процессов и регулирующих воздействий, протекающих на данном энергоблоке. На каждом этапе разработчиком ИВС производится настройка пакетов обмена необходимой информацией между ИВС и СВРК-М.

Данная подсистема может также быть использована оператором для диагностирования текущего состояния РУ и прогнозирования поведения ее подсистем в результате таких регулирующих воздействий оператора, как: изменение уровня в парогенераторе и условий подпитки/продувки, протекание переходных процессов и др. Внедрение такой подсистемы в СВРК-М и поэтапное наращивание ее возможностей сравнительно легко осуществимо, поскольку СВРК-М организована в виде ЛВС и новые функции могут быть реализованы на отдельном кластере такой ЛВС без увеличения нагрузки на основное оборудование СВРК-М и снижения его надежности.

#### **Основные функции системы поддержки оператора:**

- представление текущего состояния контролируемых объектов (подсистем и энергоблока в целом);

- предупреждение о приближении к режимным уставкам по параметрам РУ и подсистем;

- подготовка и выдача оператору рекомендаций по приведению РУ в желаемое (стабильное) состояние;

- регистрация параметров РУ и подсистем при нормальных условиях эксплуатации, в условиях нарушения нормальных условий эксплуатации и при проектных авариях;

- расчет (прогноз) состояния активной зоны, РУ и подсистем при заданных управляющих воздействиях;

- оперативное сопоставление реального и прогнозного поведения параметров энергоблока в режимах нормальной эксплуатации, режимах с нарушениями условий нормальной эксплуатации и аварийных режимах;

- оперативная оценка параметров регуляторов, защит и блокировок в условиях изменения состояния и характеристик систем и оборудования (в том числе модернизация, замена);

- отработка алгоритмов оперативной параметрической диагностики состояния систем и оборудования системы информационной поддержки оператора.

В рамках данной системы дополнительно планируется объединить показания систем диагностики подсистем реакторной установки и РУ в целом

(вибродиагностику, внутривагнаторную шумовую диагностику, контроль течей, контроль «летающих предметов» и др.) и предоставлять оператору РУ комплексный срез по состоянию РУ и ее подсистем, что позволит повысить достоверность и надежность контроля за активной зоной и РУ в целом.

**Уменьшение вероятности отказа дублированных вычислительных комплексов.** Мультиплатформенная версия МПО «Крузиз» обеспечивает возможность функционирования расчетных задач на рабочих станциях и серверах под разными операционными средами, в том числе и под ОС Linux, которая используется в программном обеспечении ИВС и части рабочих станций СВРК-М. Это позволяет реализовывать расчетные задачи СВРК-М (на СОК 1,2 и СВУ 1,2) под ОС Linux, а также за счет применения принципа разнообразия (реализации расчетных задач на дублированных вычислительных комплексах под разными операционными системами) исключить возможные отказы дублированных вычислительных комплексов по общей причине (из-за возможных ошибок в операционной системе). Конкретная конфигурация программного обеспечения для каждого энергоблока согласовывается с заказчиком.

**Интеграция СВРК-М и ИВС энергоблока.** Уже в базовом варианте СВРК-М РАЭС-4 обеспечена унификация решений по программно-техническим средствам и применению в СВРК-М программного обеспечения, разработанного для ИВС энергоблока в части обеспечения функционирования МСКУ, представления информации оперативному персоналу, реализации архивов и сервисных функций.

Дальнейшая интеграция СВРК-М и ИВС блока может быть связана, в том числе с:

- унификацией обмена информацией между системами вплоть до объединения ЛВС ИВС и СВРК;
- интеграцией в части представления информации;
- реализацией расчетных задач в СВРК-М под унифицированной с ИВС операционной системой.

## **2 Состав работ по адаптации, внедрению и сопровождению МПО «КРУИЗ»**

В соответствии с рекомендациями МЭК, ПО систем, важных для безопасности, должно сопровождаться разработчиком на всех этапах жизненного цикла до момента его вывода из эксплуатации. С учетом этого при внедрении СВРК-М на базе МПО «Крузиз» проводятся следующие работы:

- адаптация МПО «Крузиз» к конкретному энергоблоку, проверки и автономные испытания в составе СВРК-М;
- комплексные испытания и опытная эксплуатация до приемки в промышленную эксплуатацию;
- сопровождение МПО в процессе эксплуатации, включая:
  - консультации при перегрузке топлива;

- обучение специалистов АЭС;
- периодический анализ функционирования ПО в процессе эксплуатации;
- устранение замечаний, выявленных в процессе эксплуатации ПО;
- модернизация ПО по желанию Заказчика ;
- поддержание единой версии ПО на всех энергоблоках Заказчика;
- регулярное информирование пользователей о работах по развитию ПО СВРК-М.

### 3 Основные характеристики СВРК-М

Основные характеристики СВРК-М приведены в таблице 1. Показатели надежности функций СВРК-М приведены в таблице 2. Значения показателей надежности приведены для рабочих условий эксплуатации.

По назначению и характеру выполняемых функций СВРК-М является компонентом информационных систем, по влиянию на безопасность относится к классу безопасности 3 в соответствии с [11]. Классификационное обозначение СВРК-М – 3Н согласно [12]. СВРК-М относится к Пб категории сейсмостойкости согласно [13], за исключением каналов нейтронных измерительных (КНИ), относящихся к I категории сейсмостойкости.

Средний срок службы СВРК-М - не менее 30 лет при условии, что изделия, для которых в технических условиях или ином документе на поставку установлен меньший срок службы, будут своевременно заменяться, или срок эксплуатации таких изделий будет продлен в установленном порядке.

Пределы допускаемой приведенной погрешности измерительных каналов СВРК-М приведены в табл. 3 и соответствуют проектным требованиям.

Пределы допускаемой приведенной погрешности сравнения с уставками, а также пределы допускаемой приведенной дополнительной погрешности вычислений в рабочих условиях эксплуатации не превышают  $\pm 0,05\%$ .

Погрешность расчета тепловой мощности активной зоны - не более чем  $\pm 2\%$  от номинальной тепловой мощности с доверительной вероятностью 0,95 (с учетом первичных преобразователей).

Погрешность определения коэффициентов неравномерности энерговыделения ( $K_v$ ,  $K_q$ ) при номинальной мощности реактора не превышает  $\pm 5\%$  при доверительной вероятности 0,95.

Выполнение указанных требований подтверждается верификационными материалами, прошедшими экспертизу Госатомрегулирования Украины, и результатами сравнения объемного поля энерговыделения с показаниями контрольных ТП и ДПЗ в процессе испытаний СВРК-М при выходе энергоблока на номинальную мощность и при работе на номинальной мощности. Контрольными здесь названы датчики, временно исключенные из процедуры расчета распределения мощности в объеме активной зоны с целью использования показаний этих датчиков для контроля результатов расчета.

## 4 Заключение

Поскольку к настоящему времени накоплен значительный эксплуатационный опыт и разработаны современные комплексные расчетные коды, комплексная модернизация СВРК должна производиться одновременно с пересмотром проекта РУ ВВЭР-1000 на основе современных подходов к обоснованию безопасности ее эксплуатации.

Таблица 1. Основные характеристики СВРК-М

№№	Параметр	Величина
1	Типовое количество входных сигналов	2000 шт.
2	Погрешность определения линейной мощности кассет в местах расположения ДПЗ с доверительной вероятностью 0,95	не более $\pm 5\%$
3	Пределы основной приведенной погрешности измерений сигналов датчиков СВРК-М: – сигналов ДПЗ ( $0 \div 5 \mu\text{A}$ ) – сигналов фонового детектора ДПЗ ( $\pm 0,5 \mu\text{A}$ ) – сигналов термоэлектрических преобразователей – сигналов термопреобразователей сопротивления – сигналов среднего уровня	не более $\pm 0,05\%$ не более $\pm 0,2\%$ не более $\pm 0,04\%$ не более $\pm 0,04\%$ не более $\pm 0,05\%$
4	Коэффициент подавления помех: – общего вида – нормального вида	не менее 120dB не менее 60dB
5	Средняя наработка на отказ по каналам измерения	не менее 100000h
6	Электромагнитная совместимость и помехозащищенность	степень жесткости 2
7	Климатические условия эксплуатации: рабочие: – микропроцессорные комплексы МСКУ – промышленные рабочие станции ПС5120 предельные: – микропроцессорные комплексы МСКУ – промышленные рабочие станции ПС5120	от $+5^\circ\text{C}$ до $+50^\circ\text{C}$ от $+15^\circ\text{C}$ до $+35^\circ\text{C}$  от $+5^\circ\text{C}$ до $+50^\circ\text{C}$ от $+15^\circ\text{C}$ до $+50^\circ\text{C}$

Характерными примерами такого пересмотра являются:

- проект РУ ВВЭР-440 для АЭС «Ловииза» (Финляндия), что позволило поднять электрическую мощность реакторной установки с 440 до 500 МВт,

- для ВВЭР-1000 – снижение консерватизма, заложенного в  $K_{инж}$  в связи с отработкой производства топлива и улучшением проектных нейтронно-физических кодов.

В настоящее время в России при финансировании концерном «Росэнергоатом» с целью повышения коэффициента использования установленной мощности ведутся работы по обоснованию повышения установленной мощности энергоблоков ВВЭР-1000.

Таблица 2. Показатели надежности функций СВРК-М

Функции	Средняя наработка на отказ, ч, не менее	Коэффициент готовности	Среднее время восстановления, ч, не более
Отображение данных на экранах РМРО	$2 \times 10^4$	-	1
Архивирование информации	$10^4$	-	1
Выполнение оперативных расчетов теплогидравлики и нейтронной физики	$10^4$	-	2
Сигнализация	-	0.99998	2
Расчет и формирование сигналов ПЗ и выдача в СУЗ:	-		
- для отказов типа «несрабатывание»		0.99998	1
- для отказов типа «ложное срабатывание»	$4 \times 10^4$		1

Таблица 3. Пределы допускаемой приведенной погрешности измерительных каналов СВРК-М

Входной сигнал	Пределы допускаемой приведенной погрешности, %	Примечание
Ток детекторов прямой зарядки (0-5 мкА, от -0,5 до 0,5 мкА)	$\pm 0,5$	
Термоэлектрических преобразователей	$\pm 0,25$	С индивидуальной калибровкой
Термопреобразователей сопротивления	$\pm 0,1$	То же
Нормированные сигналы (0-5 мА, 4-20 мА)	$\pm 0,25$	

Фактически, пересмотр проекта РУ ВВЭР-1000 может дать возможность увеличить отпускаемую электрическую мощность РУ на 4-10%, расширить спектр компоновочных решений для активных зон при обеспечении непосредственного контроля критических параметров при эксплуатации. Кроме того, в связи с растущей долей энерговыработки на АЭС Украины в общей энерговыработке страны, становится актуальным вопрос о переводе части ядерных генерирующих мощностей в режим маневрирования мощностью. Для обеспечения эксплуатации топлива и реакторной установки в режимах маневрирования мощностью также важен контроль при эксплуатации за ранее не контролировавшимися ВМПО «Хортица» величинами локального энерговыделения, а также за режимами эксплуатации критических узлов РУ.

Модернизация СВРК ВВЭР-1000 на основе апробированной системы СВРК-М с МПО «Круз» обеспечивает безопасную и экономичную эксплуатацию активных зон энергоблоков ВВЭР-1000 с учетом современных требований, а также имеет возможности для обеспечения повышения эффективности внедрения новых топливных циклов, эксплуатации энергоблоков в маневренных режимах, повышения тепловой мощности активных зон. Такая модернизация становится возможной за счет:

1) реализации новых по отношению к ВМПО «Хортица» функций, в том числе:

- контроля параметров, включенных в проектные пределы;
- формирования сигналов на ограничение мощности реактора при превышении допустимых локальных параметров в активной зоне (ПЗ-2);
- оперативного контроля отклонений между восстановленным и расчетным распределениями энерговыделения;
- поддержки усовершенствованного алгоритма управления распределением поля энерговыделения в активной зоне;
- прогноза распределения энерговыделения при заданных управляющих воздействиях;
- возможности автоматизации сверки результатов измерений и проектных расчетов;

2) повышения качества внутрореакторного контроля, в том числе:

- повышения точности, стабильности и разрешающей способности контроля;
- увеличения частоты опроса внутрореакторных датчиков;
- привязки результатов измерений к точному мировому времени;
- автоматического контроля состояния измерительных каналов;

3) оперативной и долговременной архивизации измеренных и расчетных параметров с возможностью автономного запуска расчетов с любого времени по архивным данным;

4) современного пользовательского интерфейса, обеспечивающего удобное представление информации для различных категорий пользователей.

СВРК-М с МПО «Круз» допускает возможность расширения функциональности, в том числе обеспечения поэтапного внедрения подсистем

комплексной диагностики состояния активной зоны, включая применение методов шумовой диагностики активной зоны.

### Литература

1. М.А. Ястребенецкий, В.М. Васильченко и др. Безопасность атомных станций. Информационные и управляющие системы. Под ред. М.А. Ястребенецкого.-К.:Техніка. 2004. - 472 с.
2. Система внутрореакторного контроля ВВЭР-1000 СВРК-М. Концепция модернизации и сопровождения эксплуатации СВРК-М АЭС Украины. ГП НАЭК «Энергоатом», 2005 г.
3. В. А. Брагин и др. Системы внутрореакторного контроля АЭС с реакторами ВВЭР. Москва. Энергоатомиздат.1987.
4. A.S.Kuzil, S.P.Padun, V.I.Bourian. Development of in-core monitoring system for VVER. 10-th AER Symposium on VVER Reactor Physics and Reactor Safety. September 18-22,2000, Moscow, Russia.
5. Козлова Л.В., Кужиль А.С., Падун С.П., Сурначев С.И., Шикалов В.Ф. Методы комплексной проверки измерительных каналов СВРК. Международный симпозиум «Измерения важные для безопасности в реакторах». Генерация и отвод тепла в активной зоне ядерного реактора. 10-12 сентября 2002, Москва, Россия.
6. А.С. Кужиль. Практика поэтапного внедрения систем внутрореакторного контроля на 5-м блоке НВАЭС, на 1-м и 2-м блоках АЭС «Моховце» и 3-м блоке НВАЭС. Ядерные и измерительно-информационные технологии. 2002, №4. Стр. 62-67.
7. В.И. Бурьян. Результаты испытаний алгоритма восстановления поля энерговыделения ПО СВРК «Круз» на 1-м блоке Ростовской АЭС. Ядерные и измерительно-информационные технологии. 2002, №4. Стр. 56-61.
8. Отчет РАЭС №344-О-ОЯБ. Анализ результатов испытаний усовершенствованного алгоритма восстановления поля энерговыделения ВВЭР-1000 реализованного в ПО «Круз». 2005.
9. А.Х. Горелик, В.В. Елисеев, В.А. Орловский. Опыт разработки новых и поэтапной реконструкции действующих информационно-вычислительных систем энергоблоков с реактором ВВЭР-1000 // Ядерная и радиационная безопасность. 2005, №1. С. 91-96.
10. В.В. Елисеев, В.А. Ларгин, Г.Ю. Пивоваров. Программно-технические комплексы АСУ ТП. К: Издательско-полиграфический центр «Киевский университет», 2003. - 429 с.
11. НП 306.5.02/3.035-2000. Норми и правила з ядерної та радіаційної безпеки. Вимоги з ядерної та радіаційної безпеки до інформаційних і керуючих систем, важливих для безпеки атомних станцій.
12. НП 306.1.02/1.034-2000. Загальні положення забезпечення безпеки атомних станцій.
13. ПНАЭ Г-5-006-87. Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций.

**А.Х. ГОРЕЛИК, В.В. ЕЛИСЕЕВ, Г.Ю. ПИВОВАРОВ**

*Харьковский научно исследовательский институт комплексной автоматизации (ХИКА),*

*ЗАО «Северодонецкое научно-производственное объединение „Импульс”»*

## **ОПЫТ РАЗРАБОТКИ НОВЫХ И ПОЭТАПНОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ ДЕЙСТВУЮЩИХ ИНФОРМАЦИОННО- ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ЭНЕРГОБЛОКОВ ВВЭР-1000**

Рассмотрены вопросы разработки и реконструкции информационно-вычислительных систем (ИВС) верхнего блочного уровня АСУ ТП серийных энергоблоков АЭС с реактором типа ВВЭР-1000. ИВС внедрена на новых энергоблоках №2 ХАЭС и №4 РАЭС, реконструкция ИВС выполняется на действующих энергоблоках на АЭС Украины и России.

### **1 Введение**

В начале 80-х годов Харьковскому институту комплексной автоматизации (ХИКА) была поручена разработка компьютерных информационных систем для серийных блоков АЭС с реакторами ВВЭР-1000. Эти системы были разработаны и затем введены в эксплуатацию на всех построенных в Украине, России и Болгарии энергоблоках этого типа (всего на 16 блоках). Последняя система была введена в эксплуатацию в 2001 году на блоке №1 Волгодонской АЭС. Эта система является основным источником получения информации о блоке для оперативного персонала. Системы принимают до 30000 дискретных и аналоговых параметров и выдают до 2000 команд (всего около 100 шкафов).

В 2001-2002 годах коллективами ХИКА и ЗАО «СНПО „Импульс”» была разработана информационно-вычислительная система (ИВС) для достраиваемых блоков №2 Хмельницкой и №4 Ровенской АЭС. К настоящему времени ИВС сданы в эксплуатацию.

Базовый проект энергоблоков такого типа разрабатывался в середине 80-х годов. За истекший с того времени период в атомной отрасли был введен в действие целый ряд стандартов, норм и правил, направленных в первую очередь, на обеспечение уровня радиационной и ядерной безопасности АЭС, соответствующего международным требованиям (стандарты ISO, рекомендации МАГАТЭ и др.). В связи с этим для достраиваемых блоков потребовался пересмотр определенной части проектных решений, в том числе и по автоматизированной системе управления технологическими процессами (АСУ ТП) энергоблока.

ИВС является одним из основных компонентов верхнего уровня блочной АСУ ТП, обеспечивая реализацию основных функций по представлению

информации персоналу в оперативном контуре управления БЩУ и других локальных постах управления, регистрации, документированию параметров и характеристик технологического процесса во всех режимах работы блока.

Необходимость разработки нового проекта ИВС определялась, с одной стороны, упомянутыми требованиями приведения системы в соответствие действующим стандартам и нормам по ядерной безопасности, с другой стороны, оборудование старой ИВС, смонтированное в 80-х годах, в процессе строительства блока №2, устарело морально, было снято с производства и восстановлению не подлежало.

Анализ возможных вариантов реконструкции ИВС показал, что для снижения затрат на кабельную продукцию, сокращения объемов монтажно-наладочных работ и сроков ввода системы в действие, целесообразно на блоке №2 ХАЭС сохранить существующие внешние кабельные связи ИВС, осуществив замену низовых микропроцессорных субкомплексов связи с объектом (ССО) по принципу «шкаф на шкаф». Такое решение позволило выполнять монтаж на объекте в очень сжатые сроки, так как исключалась перекладка внешних кабельных связей, проложенных при монтаже старой ИВС.

## **2 Структурные особенности ИВС**

В структуре ИВС можно выделить два уровня – нижний уровень, скомпонованный в виде комплексов связи с объектом (КСО), и верхний уровень, реализованный на базе средств локальных вычислительных сетей (ЛВС) и рабочих станций промышленного исполнения. Поставщиком всего комплекса технических средств ИВС является ЗАО «СНПО „Импульс”».

Нижний уровень ИВС энергоблока №2 ХАЭС включает семь КСО, пять из которых обеспечивают ввод сигналов в части реакторного отделения, а два КСО обеспечивают ввод информации по турбинному отделению. ИВС Ровенского блока №4 отличается меньшим количеством КСО.

Каждый КСО представляет собой группу микропроцессорных субкомплексов типа МСКУ 2, объединенных специализированной промышленной ЛВС типа МАПС. Локальная сеть КСО дублирована, имеет магистральную структуру, протокол сети обеспечивает детерминированный доступ абонентов под управлением резервированного узла-арбитра.

Связь КСО с блочной сетью обеспечивают дублированные концентраторы. Концентраторы реализованы на базе рабочих станций ПС5120, укомплектованных сетевыми контроллерами сети МАПС и сетевыми контроллерами стандарта Ethernet.

Верхний уровень ИВС включает два дублированных сервера (сервер архивирования и сервер прикладных задач) и ряд рабочих станций. Оперативный контур управления БЩУ оснащен четырьмя рабочими станциями – две на рабочем месте ВИУР (ведущий инженер управления реактором) и две на рабочем месте ВИУТ (ведущий инженер управления турбиной). Каждая из этих рабочих станций укомплектована тремя цветными

плоскопанельными мониторами, специализированной клавиатурой предметного вызова видеокадров, АЦК и манипулятором «мышь».

В помещении БЩУ также размещены рабочие места начальника смены блока (НСБ) и начальника смены РЦ. Эти рабочие станции имеют по два монитора.

В помещении резервного щита управления (РЩУ) установлена одна рабочая станция по комплектации аналогичная рабочим станциям ВИУР/ВИУТ.

Локальная блочная сеть имеет звездообразную структуру, организована на базе сетевых модульных коммутаторов и оптоволоконных кабельных связей. Для повышения надежности каждый коммутатор размещен в отдельном конструктиве с независимым источником бесперебойного питания.

МСКУ 2, концентраторы в составе КСО и рабочие станции верхнего уровня ИВС объединены сетью системы единого времени. Задающее устройство сети единого времени обеспечивает прием сигналов от спутниковых навигационных систем ГЛОНАСС (Россия) и NAVSTAR (США). Раздача синхронизирующих сигналов абонентам осуществляется по линиям связи на основе оптоволокна и витой пары. В узлах сети единого времени установлены усилители – ретрансляторы.

Для связи с внешними системами в ИВС включен ряд шлюзовых компьютеров. Предусмотрен прием информации от системы внутриреакторного контроля (СВРК), аппаратуры контроля радиационной безопасности (АКРБ), системы авторегулирования (САР) и других систем, входящих в состав АСУ ТП энергоблока. ИВС обеспечивает также передачу необходимой информации в общестанционную локальную сеть и информационную систему кризисного центра АЭС.

Через шлюз сети неоперативного персонала к информационной базе ИВС подключается группа рабочих станций, расположенных на рабочих местах начальников смен станции, турбинного цеха, электроцеха, цеха ТАИ.

### **3 Функции и основные характеристики ИВС**

ИВС обеспечивает выполнение ряда информационных основных и вспомогательных функций.

Функции ИВС реализуются в рамках следующих функциональных подсистем:

- контроля и регистрации;
- обслуживания защит и блокировок;
- прикладных задач;
- контроля (представления) параметров безопасности;
- информационно - справочной;
- поддержки функционирования;
- автоматизированной настройки.

В подсистеме контроля и регистрации информации выполняются

следующие функции:

- сбор и обработка информации, вводимой через КСО;
- обмен информацией по ЛВС;
- обмен информацией с внешними системами;
- отображение информации;
- сигнализация нарушений;
- контроль параметров генератора;
- регистрация (архивирование и документирование) информации.

В подсистему обслуживания защит и блокировок входят функции:

- контроль защит и блокировок (КЗБ);
- централизованное опробование защит (ЦОЗ).

В подсистему прикладных задач входят следующие функции:

- расчет и анализ технико-экономических показателей (ТЭП) оборудования;
- расчет неизмеряемых параметров.

В подсистему контроля параметров безопасности входят функции:

- контроля критических функций безопасности;
- контроля основных параметров, влияющих на безопасность;
- поддержки процедур эксплуатации.

В информационно-справочную подсистему входят функции:

- выдачи рекомендаций по управлению технологическим оборудованием в переходных режимах работы энергоблока;
- представления справочной информации о технологическом оборудовании и средствах АСУ ТП энергоблока.

В подсистему поддержки функционирования входят следующие функции:

- диагностика состояния технических и программных средств ИВС;
- управление функционированием ИВС;
- метрологическая калибровка измерительных каналов.

В подсистему автоматизированной настройки входят следующие функции:

- генерация структур баз данных;
- ввод, структурирование и редактирование исходных данных;
- генерация настроечных данных.

Следует отметить некоторые особенности реализации функции в новой системе. Мощные ресурсы современных технических средств (объем оперативной и дисковой памяти, производительность процессоров, высокая пропускная способность каналов ЛВС) позволили избежать информационного разделения системы по отделениям РО и ТО, как это было в старой УВС.

В каждом узле системы доступна вся непосредственно измеряемая и рассчитываемая информация. Текущий и долговременный архивы ведутся по блоку в целом. Все аналоговые сигналы фиксируются с периодом 1 с, состояния дискретных - с периодом 1 мин. Текущий архив сохраняется на

дисках сервера в течение семи суток, после чего информация сжимается и переносится на съемные носители, составляющие долговременный архив.

За счет ввода единого времени в МСКУ 2 с точностью 2 мс фиксация срабатывания сигналов защит обеспечивается с разрешающей способностью 10 мс, а остальных дискретных сигналов - с разрешением 100 мс.

Важной особенностью новой ИВС является подход, при котором система представления параметров безопасности (СППБ) реализуется не на выделенном КТС (так была реализована СППБ, поставленная на действующие блоки АЭС фирмой Вестингауз), а как функциональная подсистема, для которой выделена часть общесистемных ресурсов в рамках базового комплекса КТС. Такое решение позволило сократить количественный состав КТС, уменьшить зону обслуживания персонала ЦТАИ и удешевило систему.

Система А-701 контроля генератора также заменена двумя стойками МСКУ2, а функции сигнализации и регистрации параметров турбогенератора реализованы в рамках подсистемы ПКР. Основные характеристики системы приведены в таблице.

#### **4 Технические средства**

В ИВС использованы современные технические средства систем контроля и управления, выпускаемые ЗАО «СНПО „Импульс”», с использованием средств фирм: Intel, Altera, Analog Devices, WAGO и др. Технические средства разработаны с учетом действующих в атомной энергетике требований к техническим средствам автоматизации и сертифицированы для применения на АЭС.

Рабочие станции ПС5120 представляют собой IBM PC /AT совместимые промышленные компьютеры на базе процессоров INTEL Pentium, используются для реализации верхнего уровня ИВС. МСКУ 2 предназначены для использования в подсистемах контроля и управления нижнего уровня АСУ ТП. Предшествующие модификации МСКУ успешно эксплуатируются в информационно-управляющих системах на ряде энергоблоков тепловых и атомных электростанций (в том числе двух блоках с реактором ВВЭР-440 на Кольской АЭС). Усовершенствованная модификация МСКУ 2 сертифицирована, метрологически аттестована как средство измерений, серийно выпускается ЗАО «СНПО „Импульс”».

Для повышения надежности в МСКУ 2 реализовано структурное резервирование центральной части – троирование контроллера.

Таблица Основные характеристики ИВС

Наименование характеристики	Единица измерения	Значение
1. Количество измеряемых аналоговых сигналов	шт.	2659
2. Количество вводимых дискретных сигналов	шт.	11610
3. Дискретные выходы		641
4. Количество резервных входов/выходов		
- аналоговых входов	шт.	566
- дискретных входов	шт.	2698
- дискретных выходов	шт.	113
5. Количество параметров, определяемых расчетным путем	шт.	СППБ – 725 ТЭП – 750 РНП – 300
6. Объем сигналов, получаемых от внешних систем: - АКРБ - СВРК	шт.	178 до 1000
7. Количество сигналов технического диагностирования программных и технических средств ИВС	шт.	6500
8. Период обновления значений дискретных сигналов в БД ИВС	с	0,5
9. Период обновления значений аналоговых сигналов в БД ИВС	с	1
10. Разрешающая способность фиксации срабатывания защит	с	0,01
11. Разрешающая способность фиксации событий по остальным дискретным сигналам	с	0,1
12. Период обновления технологической информации на мониторах рабочих станций	с	0,3
13. Глубина оперативного архива	час	168
14. Глубина долговременного архива	час	8500

### 5 Поэтапная замена ИВС на действующих блоках

Полученный опыт разработки ИВС имеет ценность и с точки зрения предстоящей реконструкции находящихся в эксплуатации ИВС типа «Комплекс – Титан 2». Такие системы работают в настоящее время на блоках АЭС Украины и России.

Несмотря на то, что ИВС на действующих энергоблоках и по сей день надежно обеспечивают эксплуатацию блоков, в настоящее время эти системы исчерпали проектный ресурс и морально устарели. Их сложно обслуживать, так как нет запасных частей. Поэтому возникла проблема замены или

реконструкции систем. Конечно, проще всего было бы на блоках, находящихся в эксплуатации, демонтировать старые системы и ввести в действие новые.

Однако, такую большую систему на действующем энергоблоке практически невозможно заменить в течении одного планово-предупредительного ремонта энергоблока (ППР). Необходимо также учитывать, что эта система, предназначенная для получения необходимой информации о системах безопасности энергоблока, должна находиться в эксплуатации даже на остановленном блоке.

В связи с этими обстоятельствами совместно с соответствующими службами АЭС была разработана технология поэтапной замены блочных ИВС в течении 2-3 ежегодных плановых остановок. По этой технологии в 2002-2003 годы успешно выполнен первый этап замены (замена средств представления информации оператора-технолога) на четырех блоках Балаковской АЭС и на трех блоках Запорожской АЭС.

Второй этап – замена центральной части ИВС.

Третий этап – завершающий – замена средств связи с объектом.

При поэтапной замене необходимо учесть, что после выполнения первого и второго этапов длительное время в течении 1 года (до следующего планового останова) в ИВС совмещаются старые и новые средства. При этом, необходимо обеспечить при совмещении средств метрологические и надежность характеристики, а также задержки в представлении и обработке информации в системе и ее функции на уровне не ниже характеристик ИВС старого образца.

## **6 Заключение**

При реализации ИВС на Хмельницкой и Ровенской АЭС достигнуто улучшение эксплуатационных характеристик.

Разработана и на практике отработана поэтапная замена в ППР одной из самых больших и ответственных блочных ИУС на блоках с реактором ВВЭР–1000, что позволяет без простоя и с меньшими на каждом этапе затратами выполнить замену.

Опыт разработки и внедрения ИВС с интеграцией функций контроля обобщенных параметров безопасности и системы контроля параметров турбогенератора подтверждает необходимость применения единых технических средств и решений при реализации и других подобных систем АСУ ТП, таких как СВРК, АКРБ, АКНП.

**Е.В.АЛЕКСАНДРОВ, С.В. ДОЛГОПОЛОВ Е.С.ЗОЛОТОВЕРХАЯ,  
Е.Г.МОНЖАРЕНКО, В.А.ОРЛОВСКИЙ**

*Харьковский научно исследовательский институт комплексной  
автоматизации (ХИКА)*

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ СВРК ДЛЯ ЭНЕРГОБЛОКОВ ВВЭР-1000 РОВЕНСКОЙ АЭС И ХМЕЛЬНИЦКОЙ АЭС**

### **Введение**

К настоящему времени на всех серийных энергоблоках с реактором ВВЭР-1000 ввошедших в эксплуатацию в 80-х, 90-х годах прошлого столетия возникли проблемы модернизации и замены основных систем АСУ ТП энергоблока, в том числе, и программно-технического комплекса СВРК.

В 2004 году на 4-м энергоблоке РАЭС, а в 2005 году на 1-м энергоблоке ХАЭС и 3-м энергоблоке РАЭС была разработана и введена в опытную эксплуатацию модернизированная система внутрореакторного контроля. Целью модернизации являлась замена выработавшего ресурс эксплуатации и морально устаревшего оборудования измерительной аппаратуры СВРК-01 и вычислительного комплекса на базе СМ-2М на современный программно-технический комплекс на базе МСКУ-2, ПС5120 и сетевой аппаратуры, а также применение нового расчетного модуля ПО «Круиз» с усовершенствованным алгоритмом восстановления поля энерговыделения ВВЭР-1000. Работа осуществлялась силами организаций:

– **ЗАО «СНПО „Импульс”**» - головного поставщика СВРК и разработчика технических средств системы,

– **Государственного Харьковского научно - исследовательского института комплексной автоматизации (ХИКА)** - разработчика СВРК, математического и программного обеспечения функциональных подсистем контроля и регистрации, поддержки функционирования, автоматизированной настройки,

– **ООО «ИФ СНИИП Атом»** - разработчика математического и программного обеспечения функциональной подсистемы внутрореакторных расчетов (ПО «Круиз»),

– **ОАО Киевского института "Энергопроект"** – генпроектировщика.

### **Структура СВРК**

Техническая структура модернизированного СВРК имеет сетевой характер и включает в себя:

- узлы СВРК:

– комплексы связи с объектом (КСО) на базе МСКУ-2, в которых осуществляется ввод информации от датчиков, их обработка и передача в сеть, а также выдача команд предупредительной защиты;

– рабочие станции (РС) на базе ПС5120, в которых осуществляется обработка, представление, архивация, документирование информации, обмен информацией по сети, а также ряд вспомогательных функций;

• **локальные вычислительные сети (ЛВС)**, осуществляющие обмен информацией между узлами СВРК.

Рассматриваемая структура является двухуровневой:

• **нижний уровень** - комплекс связи с объектом (КСО), обеспечивает:

– сбор и первичную обработку информации от датчиков;

– выдачу в СУЗ сигналов ПЗ-II;

– диагностику КСО;

– передачу собранной информации на верхний уровень;

• **верхний уровень (ВУ) - рабочих станций (РС)**, обеспечивает:

– расчет нейтронно-физических и теплогидравлических параметров;

– формирование сигналов ПЗ-II;

– накопление информации в архиве;

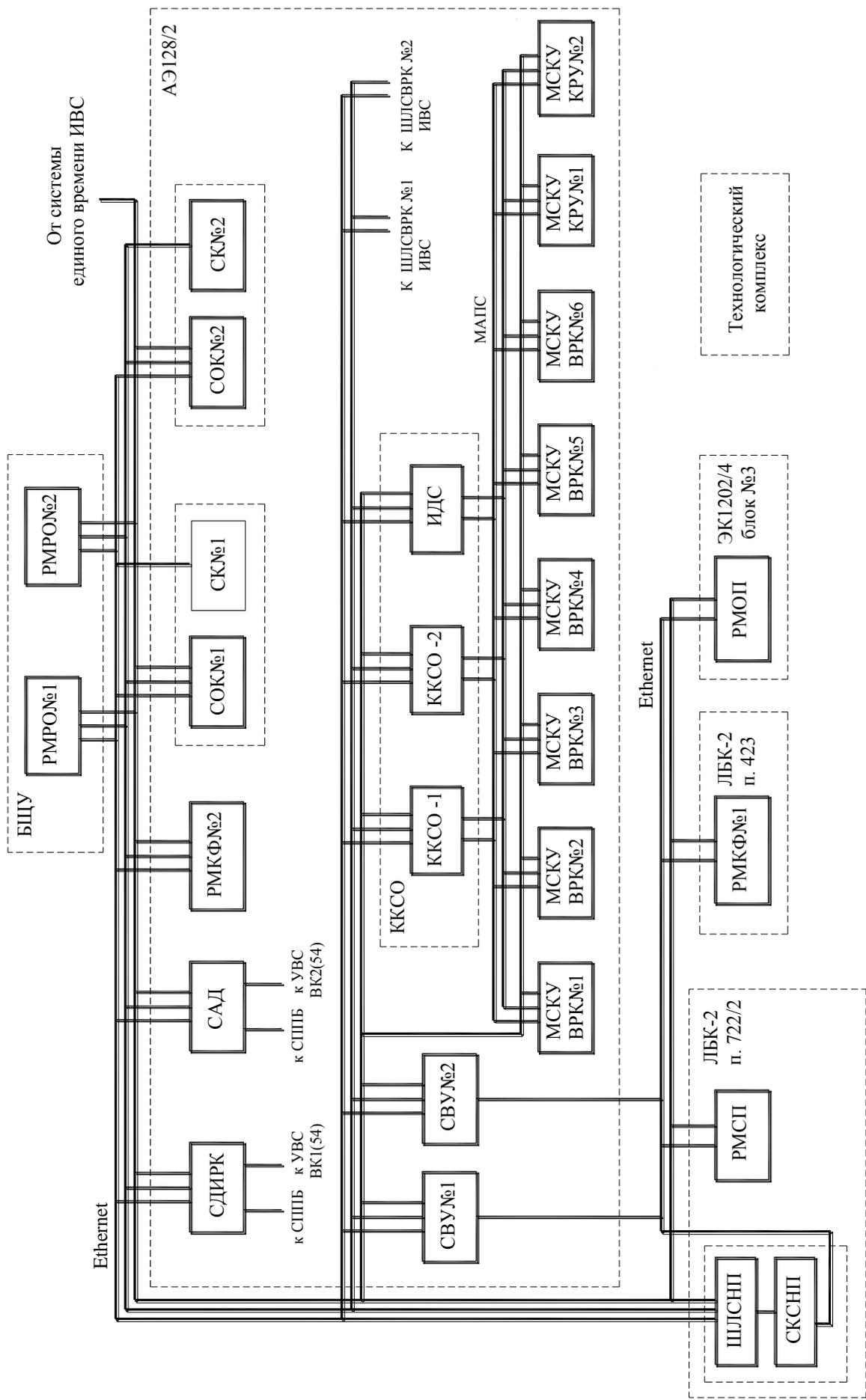
– представление информации персоналу;

– обмен информацией с ИВС;

– диагностику и восстановление РС;

– подготовку настроечной информации.

Пример структурной схемы СВРК для энергоблока №3 РАЭС приведен на рисунке, а обозначение технических средств в таблице 1.



Структурная схема комплекса технических средств СВРК - РАЭС 3

Таблица 1 – Перечень узлов СВРК

Позиционное обозначение	Наименование	Кол-во
РМО	Рабочее место оператора БЩУ	2
СОК	Сервер оперативного контроля	2
СВУ	Сервер неоперативных расчетов верхнего уровня	2
САД	Сервер архивирования и документирования	1
СДИРК	Рабочее место сменного дежурного инженера	1
РМОП	Рабочее место обслуживающего персонала лаборатории СВРК	1
РМСП	Рабочее место системного программиста	1
РМКФ	Рабочее место контролирующего физика	2
ШЛСНП	Шлюз сети неоперативного персонала	1
ККСО	Рабочая станция концентратор КСО	1
ИДС	Инженерно-диагностическая станция	1
ККСО-1 (ККСО-2)	Концентратор комплекса связи с объектом	2
МСКУ	Микропроцессорный субкомплекс контроля и управления	8

### Функциональная структура СВРК

Функциональная структура основана на делении СВРК на функциональные подсистемы, охватывающие группу функций. Каждая функция реализуется на одном - нескольких узлах СВРК, функция диагностики – на всех узлах.

Программная и информационная структуры основаны на делении программного обеспечения и информационной базы СВРК на комплексы программ и базы данных, распределенные по узлам СВРК и взаимодействующие по локальным вычислительным сетям.

Особенностью системы является разделение рабочих станций на две группы:

– функционирующие в операционной системе Linux (разработчик ХИКА);

– функционирующие в операционной системе Windows NT (разработчик СНИИП Атом).

Сохранение в проекте «неоднородной» программной среды для различных рабочих станций дало возможность:

– унифицировать с ИВС (также разработки ХИКА и ЗАО «СНПО „Импульс”») интерфейсы общения оперативного, обслуживающего и ремонтного персонала с системой;

– предоставить набор специальных форм представления, средств документирования и анализа состояния РУ для контролирующего персонала.

Функции СВРК реализуются в рамках следующих функциональных подсистем:

1) **контроля и регистрации (ПКР)**, предназначенной для сбора и обработки информации от датчиков, отображения информации и сигнализации нарушений на рабочих местах БЩУ, регистрации информации о всех режимах, обмена информацией с внешними системами;

2) **внутриреакторных расчетов (ПВРР)**, предназначенной для нейтронно-физических и тепло-гидравлических расчетов и формирования сигнала ПЗ-П, формирования кодов отклонения для сигнализации, архивирования информации, а также настройки и сервисного обслуживания ПВРР;

3) **поддержки функционирования (ППФ)**, предназначенной для диагностики программных и технических средств СВРК, включая контроль сохранности данных, управления восстановлением или реконфигурацией компонентов системы по результатам контроля их состояния, метрологической поверки измерительных каналов;

4) **автоматизированной настройки (ПАН)**, предназначенной для автоматизированного формирования настроечных данных для функций СВРК по введенным персоналом исходным данным.

### **Основные характеристики СВРК**

Характеристики системы представлены в виде набора таблиц:

– назначение узлов СВРК (обозначение, наименование, количество, назначение) – таблица 2;

– временные характеристики СВРК - таблица 3;

– информационные характеристики – таблица 4.

Таблица 2 – Назначение узлов СВРК

Обозначение	Наименование	Назначение
ССО	Субкомплекс связи с объектом	Сбор, обработка информации от аналоговых и дискретных датчиков. Выдача команд. Обмен с ЛСК
КССО	Концентратор КСО	Передача пакетов информации из ЛСК в ЛСРК. Контроль состояния и загрузка ССО Сервер баз данных. Сервер ПО
ИДС	Инженерно-диагностическая станция	Наладка, диагностика ССО
СОК	Сервер оперативного контроля	Прием и обработка измеряемых сигналов. Вычисление нейтронно-физических и теплогидравлических величин. Ведение оперативного архива. Выдача расчетной информации в ЛСРК
РМО	Рабочее место оператора реакторного отделения	Прием и обработка информации от СОК. Отображение текущей и архивной информации на видеокадрах. Сигнализация нарушений
СВУ	Сервер верхнего уровня	Прием и обработка информации от СОК. Расчет потвэльных распределений. Ведение оперативного архива. Обмен информацией с сетью ЛСВУ.
САД	Сервер архивирования / документирования	Архивирование значений измеренных и расчетных параметров, событий в оперативном и долговременном архивах. Документирование информации

Обозначение	Наименование	Назначение
РМКФ	Рабочее место контролирующего физика	В режиме реального времени прием из ЛСВУ, обработка, отображение оперативной информации. В режиме работы с архивом - расчет, отображение и документирование архивной информации, «прокручиваемой» во времени. Подготовка и генерация настроек
СДИРК	Станция дежурного инженера	Прием и обработка информации из ЛСРК, отображение диагностической информации. Диагностирование системы и перезапуск узлов. Вывод сообщений. Метрологическая поверка каналов СВРК. Подготовка информационного обеспечения и генерация настроек
РМСП	Рабочее место системного программиста	Ведение программного обеспечения, информационной базы
РМОП	Рабочее место обслуживающего персонала	Сервисные функции

Таблица 3 – Временные характеристики СВРК

Функция	Временная характеристика	Значение (не более )
Сбор и обработка информации, вводимой через КСО	Период сбора аналоговых сигналов	0,6с
	Период сбора дискретных сигналов	0,6 с
	Период передачи пакетов из ССО: аналоговой информации	0,6 с
	дискретной информации и событий	0,6 с
	Задержка обновления переменных на мониторах РС по отношению к вводу в ССО	3 с
Подсистема	Период оперативных расчетов	0,6 с

внутриреакторных расчетов	теплогидравлических параметров.	
	Время приема и обработки сигналов ДПЗ с учетом коррекции запаздывания.	5 с
	Время формирования и выдачи в СУЗ команд ПЗ-II	5 с
Отображение информации	Время вызова видеокadra от момента последнего нажатия клавиши (функциональной клавиатуры или манипулятора).	2 с
	Период обновления информации на фрагментах мнемосхемы.	0,6 с
	Глубина предыстории графиков.	10 час
Сигнализация нарушений	Задержка появления сигнала при возникновении нарушений нормальной эксплуатации, пределов и/или условий безопасной работы, исходных событий	3 с
Регистрация информации	Период архивации значений аналоговых параметров	0,6 с
	Период архивации состояний дискретных сигналов	1 мин
	Разрешающая способность фиксации событий в архиве: - по дискретным сигналам - по отклонениям аналоговых параметров	0,6 с 0,6 с не менее 5 суток
	Глубина текущих архивов	1 год
	Глубина долговременного архива	
Диагностика технических и программных средств СВРК	Период диагностики.	10 с
	Задержка между возникновением неисправности и оповещением персонала о неисправности	1 мин

Таблица 4 – Информационные характеристики СВРК

Наименование	Количество	Ед.измерения
Входные измеряемые аналоговые сигналы с учетом дублирования	2494	Шт.
Входные дискретные сигналы с учетом дублирования	220	Шт.

Выходные дискретные сигналы с учетом дублирования	36	Шт.
Сигналы диагностики технических средств СВРК	787	Шт.
Формируемые дискретные сигналы	520	Шт.
Расчетные параметры ПВРР	42000	Шт.
Общее количество видеокадров	120	Шт.
Картограммы полей	27	Шт.
Напряженные ТВС	9	Шт.
Горизонтальные профили	27	Шт.
Вертикальные разрезы	17	Шт.
Вертикальные профили	3	Шт.

### **Выводы**

Опыт эксплуатации СВРК на энергоблоках РАЭС и ХАЭС доказал работоспособность и надежность модернизированной системы, а также возможность тиражирования её на аналогичные блоки АЭС. В настоящее время продолжаются разработки по усовершенствованию пользовательского интерфейса системы и средств информационной поддержки оператора.

**В.В. ЕЛИСЕЕВ, В.Ф. ЯКУБОВ**

*ЗАО «Северодонецкое научно-производственное объединение „Импульс”»*

## **ОПЫТ ПОЭТАПНОЙ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМ ВНУТРИРЕАКТОРНОГО КОНТРОЛЯ ЭНЕРГОБЛОКОВ АЭС С РЕАКТОРОМ ВВЭР-1000**

Рассматриваются практические подходы и способы реализации поэтапной модернизации действующих систем внутриреакторного контроля серийных водородных энергетических реакторов ВВЭР-1000 на АЭС Украины.

### **ВВЕДЕНИЕ**

В проектах серийных энергоблоков АЭС с ВВЭР-1000, разработанных в 80-е годы прошлого века, была заложена двухуровневая система внутриреакторного контроля с нижним уровнем аппаратуры СВРК-01-01, СВРК-01-02, СВРК-01-05(06) («Гиндукуш») и верхним уровнем на базе вычислительных комплексов СМ-2М и внешнего математического и программного обеспечения (ВМПО) «Хортица». При этом следует отметить, что в проекте РУ вначале была включена аппаратура «Гиндукуш» с функциями автономного режима расчета параметров РУ и в дальнейшем, после завершения разработки ВМПО «Хортица», СВРК была дополнена верхним уровнем на базе вычислительных комплексов СМ-2М (ВК СВРК). Вследствие этого, в техническом проекте РУ ВВЭР-1000 отсутствует проектная документация на СВРК в целом.

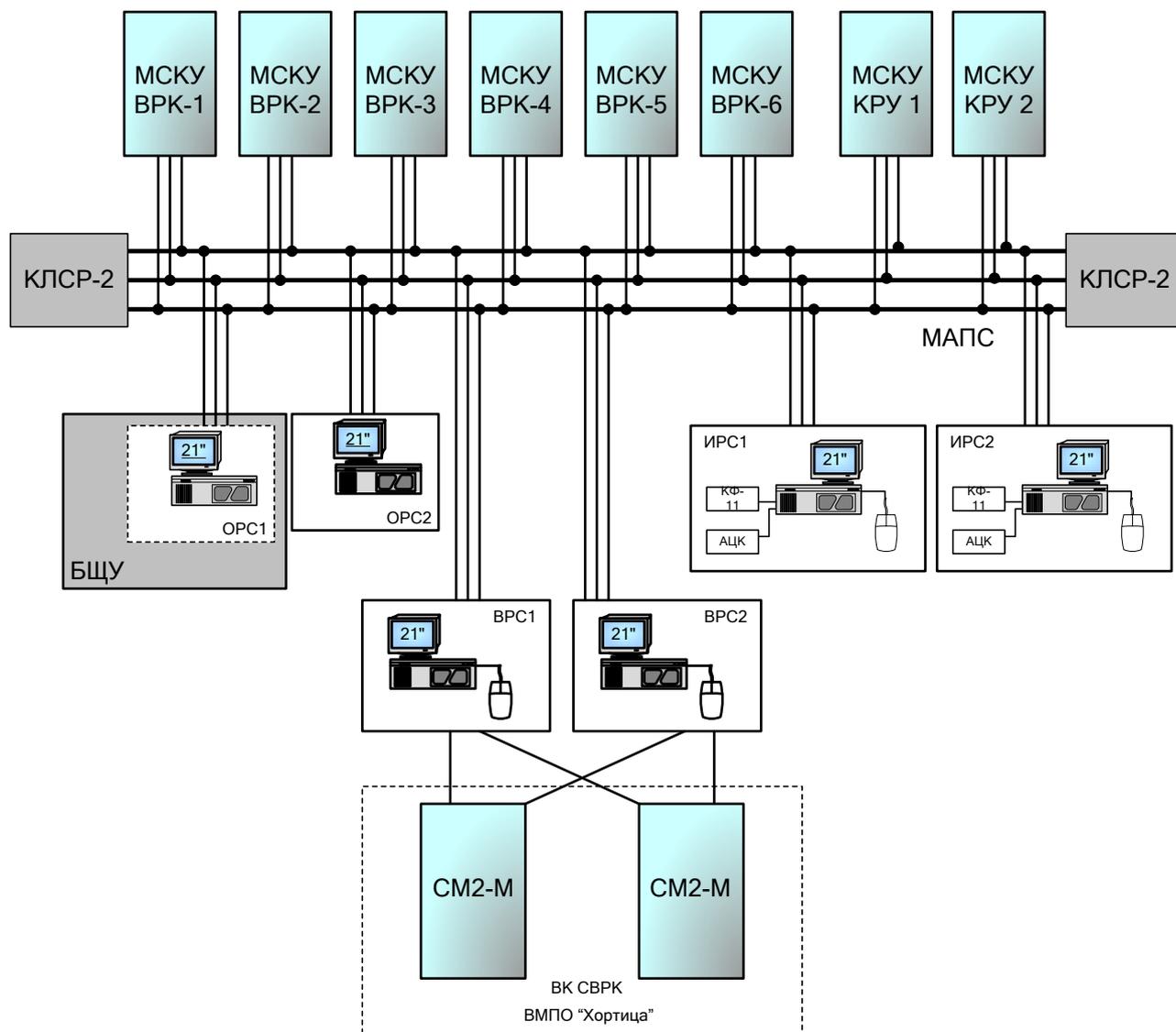
К концу 90-х годов прошлого века для большинства энергоблоков АЭС Украины, введенных в эксплуатацию в 80-е годы, стала актуальной задача последующей замены устаревшей и выработавшей ресурс аппаратуры СВРК. При этом, для проектных топливных циклов ВМПО «Хортица» обеспечивало надежный контроль активной зоны, хотя уже на то время начали проявляться «узкие места»:

- процедуры адаптации требовали сложной и длительной настройки после каждой перегрузки топлива;
- ограниченные возможности использования смешанных загрузок активных зон при внедрении новых видов и сортов топлива;
- отсутствие возможности учета изменений в конструкции и свойствах поглотителей органов регулирования (ОР).

Учитывая актуальность задач модернизации действующих СВРК, ЗАО «СНПО “Импульс”» совместно с РНЦ «Курчатовский институт» с середины 90-х годов начали планомерные работы по разработке современных технических средств и отработке новых алгоритмов расчета параметров РУ для СВРК-М АЭС Украины.

## 1 ЗАМЕНА АППАРАТУРЫ «ГИНДУКУШ»

В качестве первого этапа работ по модернизации действующих СВРК, учитывая актуальность замены выработавшей ресурс аппаратуры СВРК-01-01(02) на III энергоблоке Запорожской АЭС, в 2000 г. был реализован проект программно-технического комплекса нижнего уровня СВРК-М (ПТК НУ СВРК-М). Структурная схема ПТК НУ СВРК-М приведена на рисунке 1.



- КЛСР2 – контроллер локальной сети резервированный;
- МСКУ-ВРК – измерительные комплексы внутриреакторного контроля;
- МСКУ КРУ – измерительные комплексы контроля общетехнических параметров РУ;
- ОПС – операторская рабочая станция;
- ИРС – инженерная рабочая станция;
- ВРС – вычислительная рабочая станция;
- МАПС – локальная вычислительная сеть нижнего уровня (НУ).

Рисунок 1 – Структурная схема ПТК НУ СВРК-М

Особенности ПТК НУ СВРК-М:

- распределенная система на базе сетевых технологий;
- применение унифицированных троированных МСКУ ПС1001.90 и высокопроизводительных рабочих станций ПС5101 в исполнении «для АЭС» с преимущественным применением высоконадежных комплектующих зарубежных производителей;
- резервирование измерительных и вычислительных каналов, сетевых связей;
- повышенная точность и разрешающая способность измерений сигналов ДПЗ, ТП, ТС;
- реализация автономного режима расчета параметров РУ с усовершенствованными алгоритмами расчета тепло-гидравлических параметров;
- «мягкая» стыковка с ВМПО «Хортица» без существенных изменений в программном обеспечении с сохранением информационного протокола обмена.

Процессы разработки, изготовления и внедрения ПТК НУ СВРК-М выполнялись в соответствии с действующими нормативными документами по ядерной и радиационной безопасности.

Заложенные в ПТК НУ СВРК-М схемо-технические решения прошли всестороннюю апробацию на III энергоблоке ЗАЭС в телеметрическом режиме и в процессе опытно-промышленной эксплуатации с 2001 г.

## 2 СОЗДАНИЕ СЕРИЙНОЙ СВРК-М

Следующим этапом модернизации СВРК стал проект создания полномасштабной современной системы внутриреакторного контроля для достраиваемых энергоблоков №2 Хмельницкой АЭС и №4 Ровенской АЭС. При этом следует отметить, что наряду с разработкой СВРК-М в проектах ХАЭС-2 и РАЭС-4 ЗАО «СНПО «Импульс»» совместно с ГП ХИКА выполняло разработку и поставку новой информационно-вычислительной системы энергоблока.

При выборе проектных решений для СВРК-М и ИВС были приняты следующие технические решения:

- применение единых для ИВС и СВРК-М унифицированных технических средств: комплексов МСКУ2, рабочих станций ПС5110, ПС5120, комплекта технических средств единого времени;
- использование в общесистемном программном обеспечении единой операционной системы ОС Linux;
- двухуровневая структура систем на основе локальных вычислительных сетей. В качестве локальной сети нижнего уровня применена дублированная сеть МАПС на базе коаксиального кабеля РК-75, верхнего уровня – стандартная сеть Ethernet по протоколу TCP/IP на оптоволоконных линиях связи.

Структурная схема полномасштабной СВРК-М для проектов ХАЭС-2 и РАЭС-4 приведена на рисунке 2.

Подробные технические и функциональные характеристики СВРК-М приведены в [2]. В части математического и программного обеспечений для замены ВМПО «Хортица» в составе СВРК-М к 2004 г. были предложены два альтернативных проекта:

- МПО «Хортица-М» разработки ИЯР РНЦ «Курчатовский институт»;
- МПО «Круиз», адаптированное к ВВЭР-1000, разработки ООО ИФ «СНИИП-Атом».

При этом в СВРК-М энергоблока №2 Хмельницкой АЭС было реализовано МПО «Хортица-М», а в СВРК-М энергоблока №4 Ровенской АЭС – МПО «Круиз». Оба варианта МПО по решению ГП НАЭК «Энергоатом» прошли всестороннюю экспериментальную проверку в телеметрическом режиме на Запорожской, Южно-Украинской и Ровенской АЭС.

По результатам сравнительной оценки специалистами АЭС наиболее предпочтительным вариантом для дальнейшей модернизации СВРК АЭС Украины было признано МПО «Круиз» разработки ООО ИФ «СНИИП-Атом».

Разработанный проект серийной СВРК-М с МПО «Круиз» обеспечивает:

1. Повышение качества и эффективности режимов работы реакторной установки путем улучшения эксплуатационных параметров СВРК за счет:

- повышения точности и быстродействия процессов контроля и диагностики состояния активной зоны и ее динамического поведения на базе использования современных программно-технических средств и методов расчета;

- обеспечения возможности расчета нейтронно-физических характеристик топлива различных видов и производителей при смешанных загрузках активных зон;

- предоставления оперативному персоналу БЩУ достоверной и полной информации о параметрах ТВС и активной зоны с возможностью представления информации о поле энерговыделения в покассетном, послыном и потвэльном представлении;

- улучшения потребительских функций и возможностей отображения нейтронно-физических и тепло-гидравлических параметров технологического процесса;

- обеспечения контроля активной зоны и реализации информационной поддержки оператора в нестационарных и переходных режимах, в режимах подавления ксеноновых колебаний, при реализации алгоритмов управления в режимах маневрирования мощностью РУ;

- реализации прогнозных расчетов текущего режима для заданных управляющих воздействий;

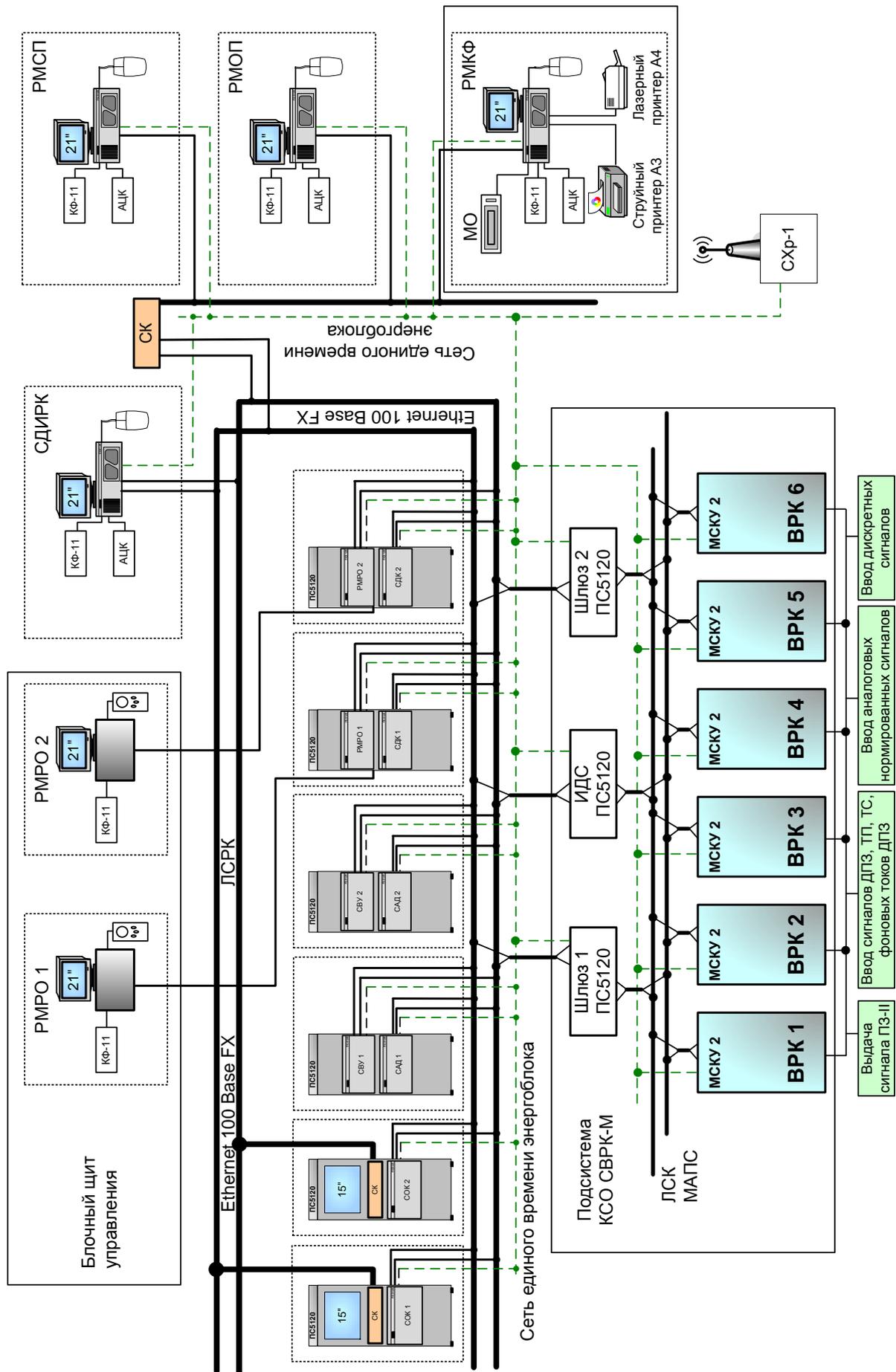


Рис 2 - Структурная схема СВРК-М

– эффективных процедур архивирования значений параметров с возможностью оперативного доступа к информации о работе РУ в течение 1-ой (и более) кампании;

– организации эффективных средств администрирования системы, включая удалённый доступ со стороны обслуживающего и сопровождающего персонала ОЯБ и ЦТАИ;

– реализации возможности выдачи сигналов предупредительной защиты в систему СУЗ по локальным параметрам энерговыделения.

2. Увеличение глубины выгорания топлива, без нарушения установленных пределов безопасной эксплуатации за счет оптимизации полей энерговыделения.

3. Приведение системы внутриреакторного контроля энергоблока ВВЭР-1000 в соответствие с требованиями действующих в Украине норм и правил по ядерной и радиационной безопасности.

4. Создание автоматизированного многолетнего архива данных по истории эксплуатации активной зоны.

5. Возможность дальнейшего расширения функций по диагностированию основного технологического оборудования РУ в части контроля герметичности первого контура и вибродинамического состояния (изменение его вибронагрузок), внутриреакторной шумовой диагностики, а также обнаружения в первом контуре свободных и слабо закрепленных предметов и определения остаточного ресурса.

На основании опыта разработки и внедрения СВРК-М на ХАЭС-2 и РАЭС-4 ЗАО «СНПО „Импульс”» в 2005 г. была разработана и утверждена ГП НАЭК «Концепция модернизации и сопровождения эксплуатации АЭС Украины», базирующаяся на следующих основных принципах:

– реализация единой технической политики модернизации СВРК на базе серийной СВРК-М с МПО «Круиз» для всех энергоблоков АЭС Украины;

– комплексное обеспечение разработки и сопровождения эксплуатации СВРК-М в течение всего жизненного цикла;

– научно-техническое сопровождение дальнейшего расширения функциональных возможностей в процессе эксплуатации;

При этом следует особо отметить, что проект серийной СВРК-М позволяет проводить как полную замену действующих СВРК, так и поочередную замену верхнего и нижнего уровней с обеспечением полной совместимости по электрическим и информационным интерфейсам связи с действующим оборудованием.

### **3 МОДЕРНИЗАЦИЯ ВК СВРК**

В настоящее время в связи с широким применением на АЭС Украины смешанных топливных загрузок, содержащих ТВС-М, ТВС-2, ТВСА, наиболее актуальной становится задача безопасной и экономичной эксплуатации АкЗ РУ.

При этом, на многих энергоблоках АЭС Украины аппаратура «Гиндукуш» имеет некоторый запас по продлению ресурса дальнейшей

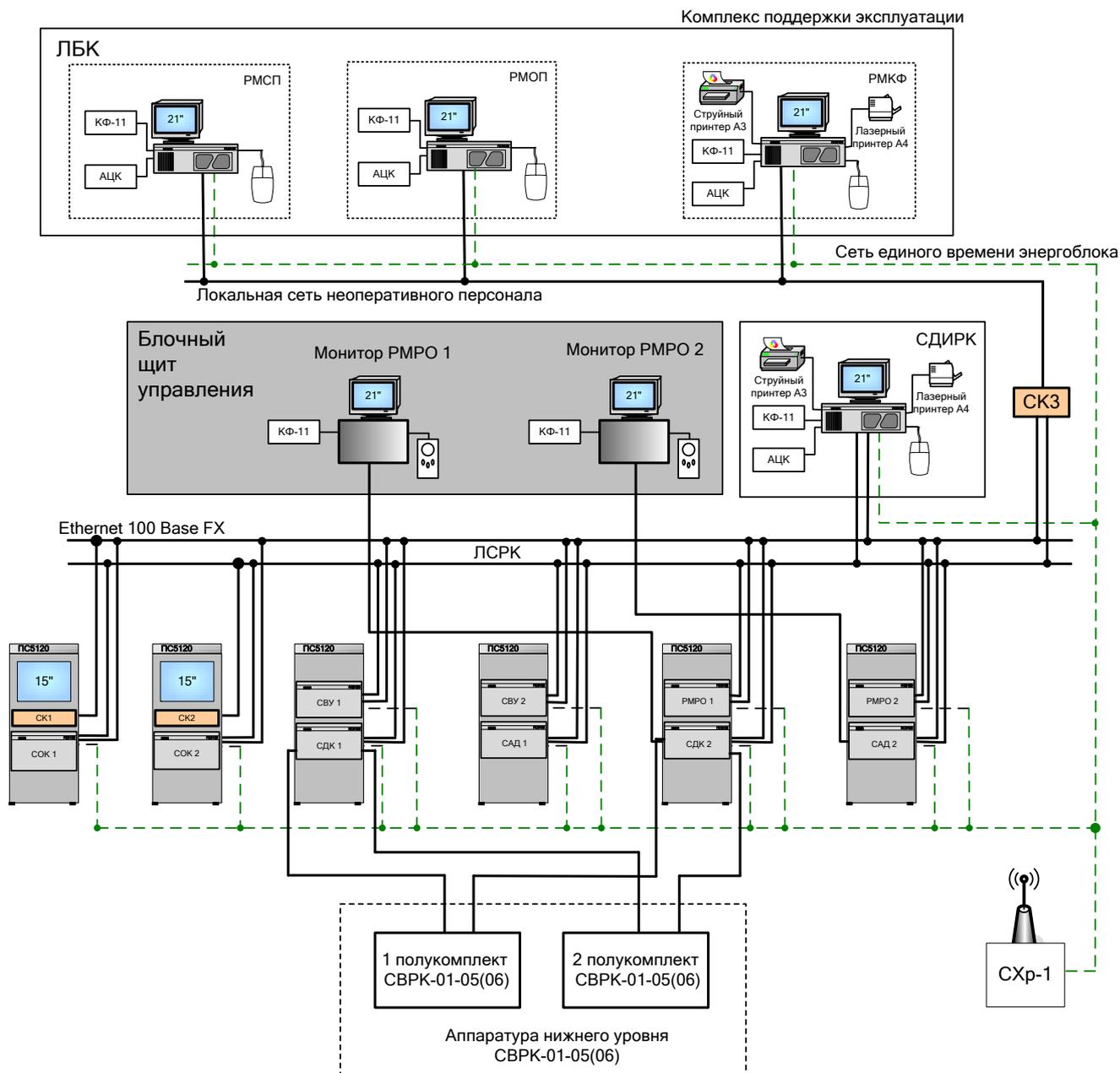
эксплуатации, в то же время для эксплуатации смешанных топливных загрузок необходима замена ВМПО «Хортица».

В частности, в 2006 г. такая ситуация с эксплуатацией смешанных топливных загрузок сложилась на III энергоблоке ЗАЭС и II энергоблоке ЮУАЭС. Для обеспечения безопасной и экономичной эксплуатации АкЗ РУ на данных энергоблоках проводится частичная модернизация СВРК с заменой ВК СВРК на ВУ СВРК-М с МПО «Круиз».

При этом в проекте модернизации СВРК ЮУАЭС-2 предусмотрено функционирование ВУ СВРК-М совместно с аппаратурой СВРК-01-05(06), а в проекте СВРК-М ЗАЭС-3 совмещается функционирование ПТК НУ СВРК-М с верхним уровнем серийной СВРК-М.

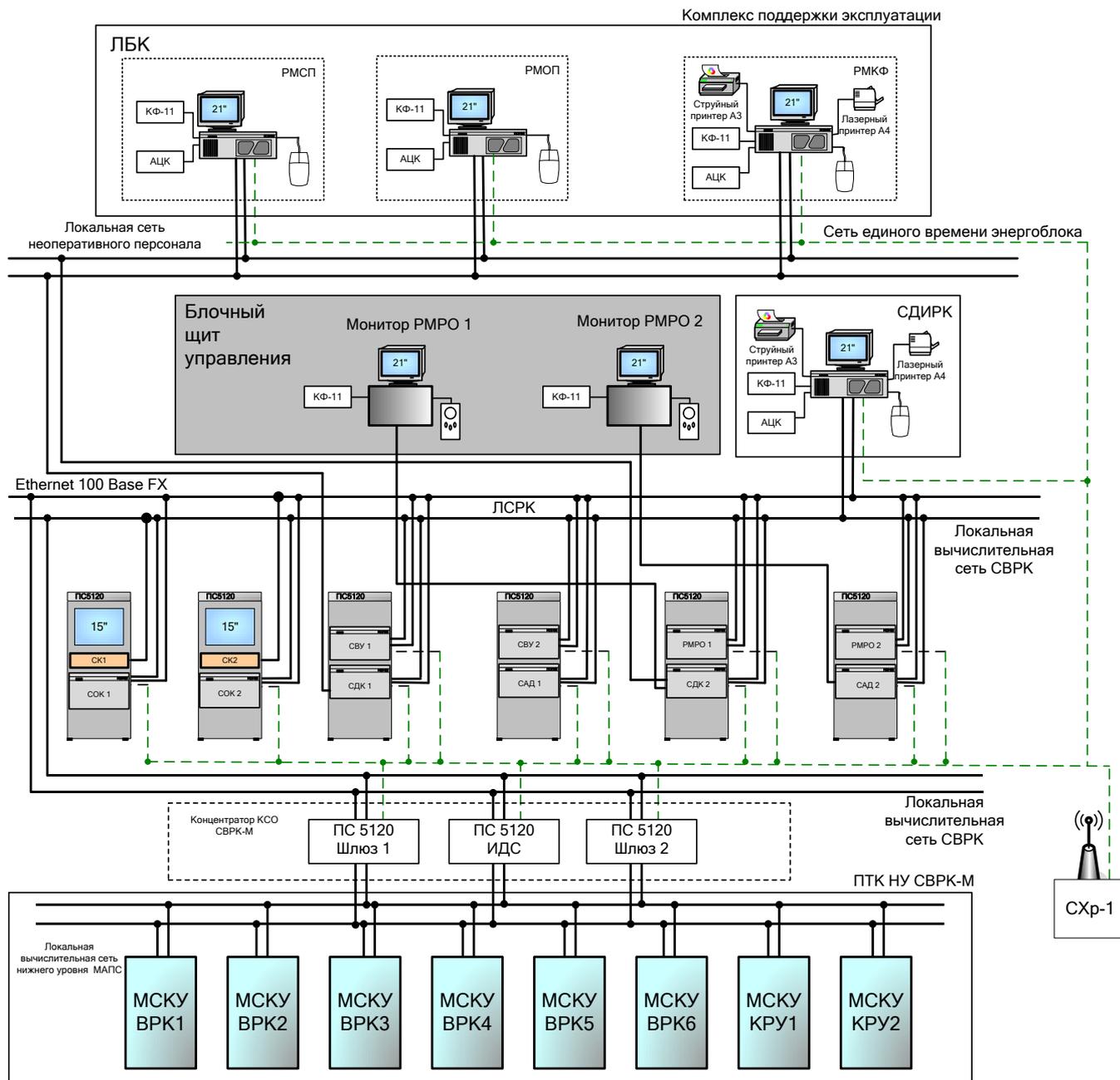
Структурные схемы ВУ СВРК-М ЮУАЭС-2 и СВРК-М ЗАЭС-3 приведены на рисунках 3, 4. Подробные технические и функциональные характеристики систем приведены в [], [] соответственно.

Особенностью обоих проектов модернизации СВРК является отработка в телеметрическом режиме многоплатформенной версии МПО «Круиз» в операционной системе Linux. Перевод МПО «Круиз» в ОС Linux осуществляется в рамках «Концепции модернизации и сопровождения эксплуатации СВРК-М АЭС Украины» с целью обеспечения долговременной совместимости базового общесистемного программного обеспечения в ОС Linux с достаточно быстро обновляемой номенклатурой технических средств рабочих станций ПС5120. Кроме того, перевод МПО «Круиз» в ОС Linux упрощает сопровождение программного обеспечения СВРК-М в процессе эксплуатации как разработчиками системы, так и эксплуатирующим персоналом АЭС.



РМСП – рабочее место сопровождающего программиста;  
 РМОП – рабочее место обслуживающего персонала;  
 РМКФ – рабочее место контролирующего физика;  
 РМО – рабочее место оператора реакторного отделения;  
 СДИРК – станция дежурного инженера;  
 СОК – сервер оперативного контроля;  
 САД – сервер архивирования данных;  
 СВУ – сервер верхнего уровня;  
 СДК – сервер данных и коммутаций;  
 СК – сетевой коммутатор.

Рисунок 3 – Структурная схема ВУ СВРК-М ЮУАЭС-2



РМСР – рабочее место сопровождающего программиста;  
 РМОП – рабочее место обслуживающего персонала;  
 РМКФ – рабочее место контролирующего физика;  
 РМО – рабочее место оператора реакторного отделения;  
 СДИРК – станция дежурного инженера;  
 СОК – сервер оперативного контроля;  
 САД – сервер архивирования данных;  
 СВУ – сервер верхнего уровня;  
 СДК – сервер данных и коммутаций;  
 СК – сетевой коммутатор.

Рисунок 4 – Структурная схема СВРК-М энергоблока №3 ЗАЭС

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Многолетний опыт модернизации СВРК энергоблоков АЭС с реактором ВВЭР-1000 позволил создать современную серийную СВРК-М, позволяющую осуществлять поэтапную реконструкцию действующих систем на базе унифицированных схемо-технических решений, обеспечивая при этом безопасную и экономную эксплуатацию активных зон с учетом современных требований.

Апробированная инженерно-техническая практика позволяет ЗАО «СНПО „Импульс”» успешно выполнять программы модернизации СВРК АЭС Украины в рамках «Комплексной программы модернизации и повышения безопасности энергоблоков атомных станций», действующей на основании распоряжения Кабинета министров Украины №504-Р от 29.08.2002 г.

### Литература

1. М.А. Ястребенецкий, В.М. Васильченко и др. Безопасность атомных станций. Информационные и управляющие системы. Под ред. М.А. Ястребенецкого. – К.:Техніка. 2004. – 472 с.
2. А.Х. Горелик, В.В. Елисеев, В.А. Орловский, С.П. Падун, В.Ф. Якубов. Концепция модернизации систем внутриреакторного контроля ВВЭР-1000 АЭС Украины. Ядерная и радиационная безопасность, 2005, №4.
3. Система внутриреакторного контроля ВВЭР-1000 СВРК-М. Концепция модернизации и сопровождения эксплуатации СВРК-М АЭС Украины. ГП НАЭК «Энергоатом», 2005 г.
4. В.А. Брагин и др. Системы внутриреакторного контроля АЭС с реакторами ВВЭР. Москва. Энергоатомиздат. 1987.
5. А.С. Кужиль. Практика поэтапного внедрения систем внутриреакторного контроля на 5-м блоке НВАЭС, на 1-м и 2-м блоках АЭС «Моховце» и 3-м блоке НВАЭС. Ядерные и измерительно-информационные технологии. 2002, №4. Стр. 62-67.
6. Комплексы программно-технические нижнего уровня модифицированной системы внутриреакторного контроля ПТК НУ СВРК-М. Технические условия. ТУ У 3.53-00229760-151-2000.
7. Техническое задание на модернизацию вычислительного комплекса системы внутриреакторного контроля водо-водяного энергетического реактора ВВЭР-1000 2-го энергоблока Южно-Украинской АЭС. ИТКЯ.90.0332 ТЗ.
8. Техническое задание на модернизацию системы внутриреакторного контроля водо-водяного энергетического реактора ВВЭР-1000 3-го энергоблока Запорожской АЭС (СВРК-М ЗАЭС-3). ИТКЯ.90.0330 ТЗ.

**Д. В. БУДИК**

*ЗАО «Северодонецкое научно-производственное объединение „Импульс”»*

## **МОДЕРНИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ВНУТРИРЕАКТОРНОГО КОНТРОЛЯ ДЛЯ РЕАКТОРНЫХ УСТАНОВОК ВВЭР-1000**

### **1 Введение**

До 2004 года на всех серийных ВВЭР-1000 АЭС Украины в качестве системы контроля активной зоны использовалась спроектированная в составе АСУ ТП измерительная аппаратура СВРК «Гиндукуш» и вычислительные комплексы на базе ЭВМ СМ-2М с Внешним Математическим и Программным Обеспечением (ВМПО) «Хортица». Разработка ВМПО «Хортица» осуществлялась в 80-е годы прошлого века с целью контроля активной зоны с **проектными топливными загрузками в стационарных режимах работы РУ**. Как показал многолетний опыт, в стационарных режимах работы реакторов с проектными топливными загрузками ВМПО «Хортица» удовлетворяет требованиям к точности восстановления объемного поля энерговыделения, хотя реализованная процедура адаптации требует сложной настройки после каждой перегрузки топлива.

В то же время опыт эксплуатации СВРК «Гиндукуш/Хортица» на АЭС с реакторами ВВЭР-1000 выявил следующие «узкие места»:

- настройка адаптации в ВМПО «Хортица» продолжается в отдельных случаях до нескольких суток. В это время восстановленное поле энерговыделения недостоверно;
- возможности внедрения новых сортов и видов топлива ограничены, так как ВМПО допускает использование ограниченного набора топлива (не более 12 видов);
- технические средства СВРК многократно выработали назначенный ресурс;
- не предусмотрена возможность учитывать изменения в конструкции и свойствах поглотителей ОР СУЗ;
- для новых (непроектных) топливных загрузок достоверность восстановления поля энерговыделения ВМПО «Хортица» не проверялась.

Для решения выявившихся при эксплуатации ВМПО «Хортица» проблем и приведения системы внутриреакторного контроля в соответствие с требованиями действующей нормативной базы по безопасности Украины, в сентябре 2000 года была начата работа по модернизации СВРК.

## 2 Цели модернизации

Перед разработчиками СВРК нового поколения ставились следующие цели:

- повышение качества и эффективности режимов работы реакторной установки за счет повышения точности и быстродействия процессов контроля и диагностики состояния активной зоны и ее динамического поведения
- расширение прикладного программного обеспечения, разработанного в рамках имевшей место ранее концепции внутриреакторного контроля, новыми функциями;
- приведение системы внутриреакторного контроля энергоблока ВВЭР-1000 в соответствие с требованиями действующих в Украине норм и правил по ядерной и радиационной безопасности:
- существенное повышение надежности и качества системы за счет:
  - 1) использования современных рабочих станций, интегрированных локальной вычислительной сетью;
  - 2) замены радиальных связей типа «точка – точка» на локальную вычислительную сеть повышенной надежности, с отдельным резервированием;
  - 3) реализации норм, относящихся к метрологическому обеспечению информационно-измерительных систем;
  - 4) осуществления эффективной диагностики отказов технических и программных средств.

На текущий момент 2-ой энергоблок Хмельницкой АЭС и 4-ый энергоблок Ровенской АЭС, оснащенные СВРК-М уже находятся в промышленной эксплуатации, а на 3-ем энергоблоке Ровенской АЭС, 3-ем энергоблоке Запорожской АЭС и 2-ом энергоблоке Южно-Украинской АЭС система проходит опытно-промышленную эксплуатацию. Таким образом, поставленные цели были достигнуты. В этих проектах происходило совершенствование структуры и свойств системы, модернизация уже созданных и апробированных программных и технических средств, а также нарабатывались возможные варианты их компоновки. Архитектура одного из возможных вариантов рассматривается в этой статье.

## 3 Архитектура системы

### Функциональная структура

Хотя модернизированная система является единым целым, она состоит из достаточно независимых программных компонентов-подсистем, каждая из которых реализует определенный набор функций.

На рисунке 1 приведена схема, которая отображает структуру программных средств и взаимодействие между ними.

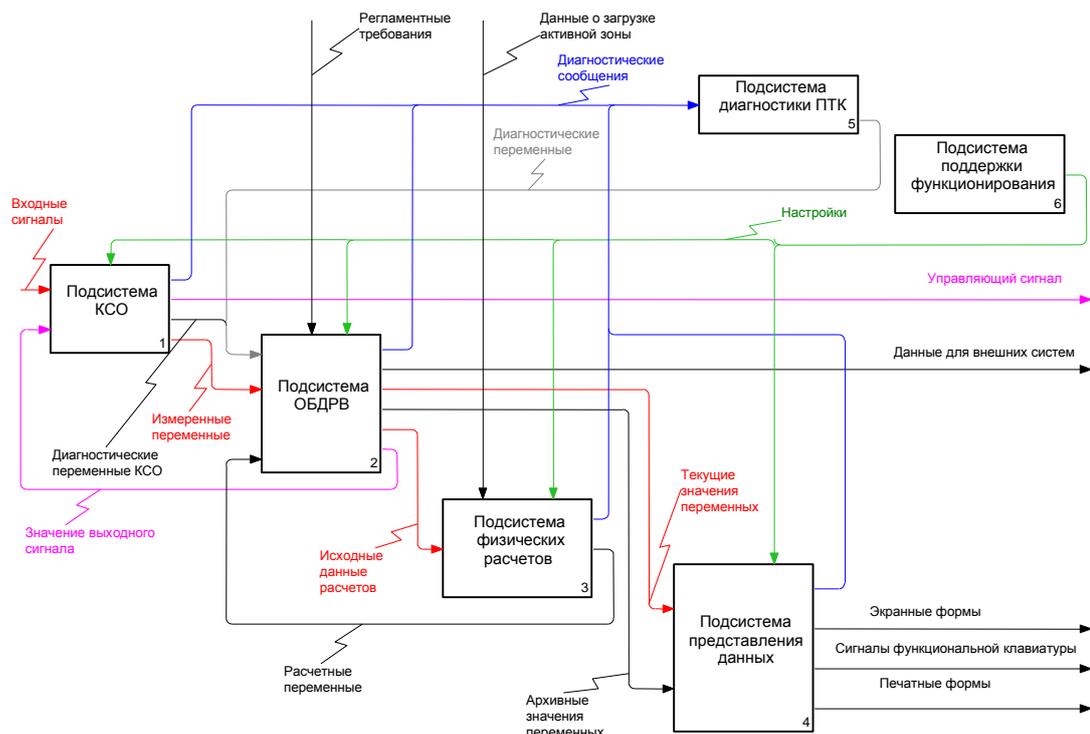


Рисунок 1 – Схема функциональной структуры

Ниже приведены общие характеристики подсистем.

Подсистема комплекса связи с объектом (КСО). Обеспечивает измерение и первичную обработку входных данных, поступающих от датчиков и систем автоматики энергоблока. Кроме того, выполняет выдачу сигнала предупредительной защиты, формируемого другими подсистемами.

Подсистема общесистемной базы данных реального времени (ОБДРВ). Обеспечивает прием, регистрацию, хранение и выдачу текущих и архивных значений измеряемых и вычисляемых переменных по запросам задач других подсистем. Выполняет контроль текущих значений по технологическим уставкам, формирует сигналы об отклонениях.

Подсистема физических расчетов (ПФР). Выполняет расчеты нейтронно-физических и тепло-гидравлических характеристик состояния активной зоны и первого контура РУ. Производит нормирование части измеряемых переменных, связанных с физическими расчетами.

Подсистема представления данных (ППД). Выполняет отображение текущих и архивных значений измеряемых и вычисляемых переменных в форме видеogramм, отчетов, протоколов и графиков.

Подсистема диагностики (ПД). Выполняет контроль работоспособности вычислительных узлов и сетевых каналов ПТК, программного обеспечения и системы в целом.

Подсистема поддержки функционирования (ППФ). Выполняет вспомогательные функции, связанные с настройкой и управлением функционированием системы.

## Структурная схема

На рисунке 2 приведена структурная схема комплекса технических средств, которая дает представление о составе и взаимодействии узлов системы.

СВРК-М можно условно представить в виде 2-х уровней (верхнего и нижнего), каждый из которых состоит из конечного числа компонент и реализуется определенными вычислительными узлами. Связь между уровнями реализована программным компонентом – Шлюзом КСО.

Верхний уровень включает:

- два дублирующих друг друга сервера данных и коммуникаций (СДК-1,2);
- два дублирующих друг друга вычислительных комплекса, состоящие из серверов оперативного контроля и серверов верхнего уровня (СОК-1,2 и СВУ-1,2);
- две дублирующие друг друга рабочие станции оператора БЩУ (РМО-1,2);
- рабочую станцию дежурного инженера (СДИРК),
- два дублирующих друг друга сервера архивирования и документирования (САД);
- три удаленные рабочие станции – рабочие места контролирующего физика (РМКФ), сопровождающего программиста (РМСП) и обслуживающего персонала – лаборатории СВРК (РМОП).

Узлы СДК-1,2, СОК-1,2, СВУ-1,2, РМО-1,2, СДИРК и САД-1,2 объединены дублированной локальной сетью ЛВС, а узлы РМКФ, РМСП и РМОП в не резервированную сеть неоперативного персонала.

Нижний уровень выражен единой подсистемой – комплексом связи с объектом (КСО). Он включает восемь узлов – субкомплексов связи с объектом (МСКУ ВРК-1,2,3,4,5,6 и МСКУ КРУ-1,2), два узла - дублирующие друг друга шлюзовые компьютеры концентратора КСО (ККСО-1,2) и инженерно-диагностическую станцию (ИДС). Узлы объединены дублированной локальной сетью КСО (ЛСК).

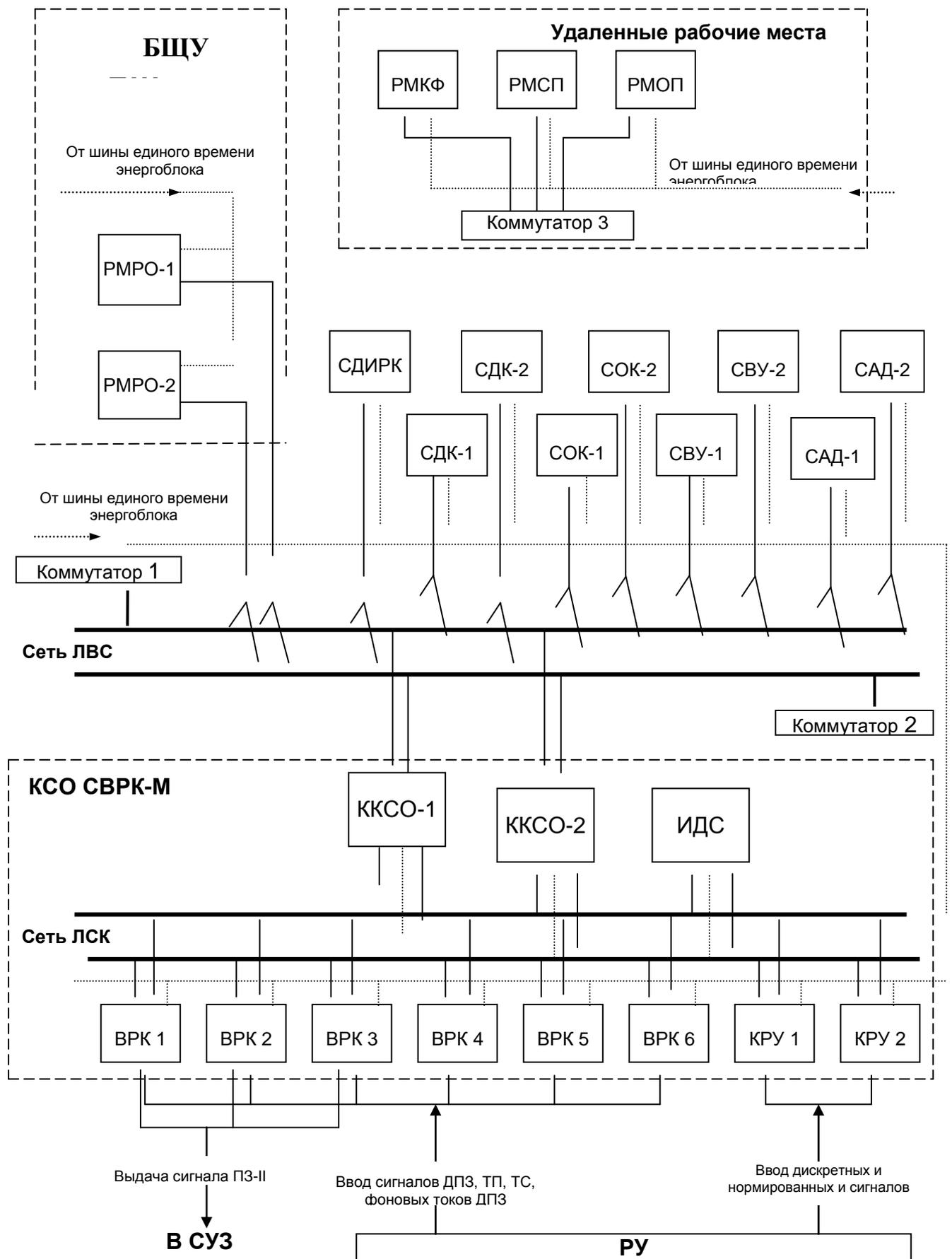


Рисунок 2 – Структурная схема КТС СВРК–М

## Технические средства

СВРК-М реализована на технических средствах в исполнении для АЭС, разработанных и производимых ЗАО «СНПО “Импульс”».

В качестве элемента нижнего уровня используется субкомплекс связи с объектом МСКУ2, а в качестве сетеобразующей аппаратуры - аппаратура сети МАПС. Основным элементом МСКУ2 является троированный контроллер КМп-20. Максимальное количество адресуемых блоков ввода/вывода МСКУ2 – 32 шт.

В качестве основы для узлов верхнего уровня, а также концентратора КСО используется рабочая станция ПС5110/ПС5120 (архитектура IBM-PC), основные технические характеристики которой следующие:

Процессор	Pentium III/IV 850/2200 MHz
ОЗУ	256/512/1024 МВ (в зависимости от узла СОК/СВУ/РМ)
Интерфейсы	EIDE, SCSI (опция), FDD, один SPP (EPP, ECP), два RS 232, два USB
Контроллер SCSI	(Ultra 160 SCSI)
Дисковые и др. накопители	HDD, MO, DVD/CD-RW, FDD (набор зависит от узла)
Видеоконтроллер	PCI (видеопамять до 64 МВ)
Контроллеры Ethernet	100 Mbit/s, FX

## Системное программное обеспечение Linux

Для системы внутриреакторного контроля характерно создание значительного по вычислительной сложности программного обеспечения с участием многих компонентов. Как показывает опыт Украинских АЭС, длительность этапа эксплуатации прикладного программного обеспечения (ППО), например того же ВМПО «Хортица», значительно больше эксплуатации собственно технических средств, на которых оно установлено. С другой стороны, необходимо было создать ПО, которое могло бы функционировать с несколькими операционными системами, обеспечивающими соответствующий интерфейс между собой и используемыми техническими средствами для построения системы.

Выбор операционной системы (ОС) Linux в качестве ОС для СВРК-М был обусловлен анализом функциональных характеристик и возможностью дальнейшей модификации, верификации, обслуживания и сопровождения.

ОС Linux отличается неукоснительным соблюдением таких стандартов как POSIX и ISO, является многозадачной и обеспечивает многопользовательский режим. Так же обладает встроенной на уровне ядра поддержкой TCP/IP-стека и такими достоинствами как:

- отсутствие лицензионных ограничений,

- поставка с открытым исходным кодом,
- поддержка основными производителями вычислительных средств,
- модульное построение.

На рабочих станциях системы устанавливается операционная система Linux, сконфигурированная для работы в сети с максимальной производительностью, изначально выполненная на базе дистрибутива Red Hat Linux 7.2/7.3, но в процессе своей жизни значительно модернизированная. Пакеты с компонентами ОС скомпилированы с максимально возможной оптимизацией для архитектуры i686.

### **Прикладное программное обеспечение**

Компоненты ПО реализованы как достаточно независимые программные подсистемы, каждая из которых выполнена в виде одного или нескольких модулей. Между собой подсистемы взаимодействуют, используя библиотеки программного интерфейса, которые, в свою очередь, используют соединения посредством протокола TCP/IP, обеспечивающего неограниченные возможности в плане размещения ПО на узлах системы. За исключением КСО, где программное обеспечение подсистемы распределено на многих узлах, для большинства узлов верхнего уровня характерна конфигурация, в которой на одном узле установлены компоненты нескольких подсистем. Вообще, при проектировании и разработке ПО СВРК-М реализовывались принципы, которые позволяют конфигурировать его в широком диапазоне возможностей. Так, например, компоненты верхнего уровня могут быть установлены и работать на одном узле (режим мини-полигона), или каждая подсистема может быть установлена на выделенном только для нее узле, или может быть реализована комбинация подсистем.

Поскольку прикладное программное обеспечение реализовано в среде UNIX-подобной операционной системы, оно является работоспособным на многих платформах и архитектурах.

Верхний уровень СВРК-М посредством специфического программного шлюза КСО может быть интегрирован в систему с любой другой реализацией нижнего уровня, для случаев, когда в силу каких-либо причин невозможно провести модернизацию всей СВРК.

Комплекс расчетных задач (КРЗ) «Круиз», которым, фактически, реализована подсистема физических расчетов, предназначен для восстановления поля ЭВ и его функционалов, а также для прогнозирования динамического поведения активной зоны при переходных процессах.

КРЗ «Круиз» разрабатывался на базе современных информационных технологий с учетом опыта эксплуатации активных зон реакторов ВВЭР-1000, опыта разработки и эксплуатации ВМПО «Хортица» в составе штатных СВРК ВВЭР-1000, с использованием проверенных алгоритмических решений.

Важнейшей функцией КРЗ является восстановление поля энерговыделения, с которым связаны определяющие критерии безопасности – запас до кризиса теплообмена и максимальная линейная нагрузка на ТВЭЛ.

Реализованный для их оценки алгоритм отличается тем, что в нем интерполяция по пространству и экстраполяции по времени поля энерговыделения осуществляется с помощью дискретного аналога двухгруппового трехмерного уравнения диффузии нейтронов [БИПР]. Такой подход, помимо преимущественности по отношению к проектным и исследовательским программам, обеспечивает учет измерений непосредственно в ходе решения уравнения и тем самым позволяет естественно увязать медленную эволюцию поля энерговыделения с быстрыми вариациями при управляющих воздействиях.

Одним из важнейших свойств разработанного алгоритма восстановления поля энерговыделения является его малая чувствительность к изменению объема входной информации. При отказе ряда датчиков (термопары, ЭД), сбоях в электронно-измерительном тракте система продолжает выдавать информацию о поле энерговыделения. При этом лишь возрастает погрешность соответствующих величин.

Важно отметить, что эволюция поля энерговыделения описывается посредством расчета эволюции потока нейтронов и концентрации топлива — исходных переменных состояния, функцией которых является энерговыделение.

Для остальных переменных состояния активной зоны и других узлов реактора (кроме управляемых переменных) использовались независимые стационарные модели эволюции и вытекающие из этих моделей известные алгоритмы фильтрации. В дальнейшем, по мере разработки математических моделей, более адекватно описывающих теплофизические свойства реактора и ориентированных на задачи контроля и управления, такие модели могут быть использованы в системе.

Помимо новых алгоритмов, заложенных в КРЗ, другие расчетные возможности реализованы и на более низких уровнях, - в подсистемах КСО, ОБДРВ и даже в ППД.

Так, например, на шлюзе КСО внедрен учет индивидуальных калибровочных характеристик ТП, предназначенных для температурного контроля на выходе ТВС и петлях I-го контура.

На этом же уровне устраняется запаздывание тока детекторов ДПЗ при контроле быстроизменяющихся нейтронных потоков, путем применения корректирующего фильтра с запаздыванием до 0.5 сек. и фильтра Калмана с доработкой Цимбалова с запаздыванием до 2 сек.

#### **4 Оценка качества и безопасности программного обеспечения и системы в целом**

Вся деятельность по модернизации СВРК осуществлялась в соответствии с требованиями программы обеспечения качества (ПОК), которая отвечает

требованиям государственных и международных стандартов по обеспечению качества. В ПОК предусмотрены меры по обеспечению качества на всех этапах жизненного цикла системы – при проектировании, разработке, наладке, испытаниях и в процессе опытно-промышленной эксплуатации и установлены правила деятельности Разработчика и его субподрядчиков.

Анализ отчетной документации по верификации и валидации проектов показывает, что новая система отвечает принципам и критериям обеспечения ядерной и радиационной безопасности и учитывает требования действующих в атомной энергетике нормативных документов.

В таблице 1 перечислены требования по ядерной и радиационной безопасности к информационно-управляющим системам (ИУС) класса безопасности 3 и относящемуся к ним ПО и показано соблюдение этих требований в СВРК-М.

Проиллюстрируем несколькими примерами выполнение требований по ядерной и радиационной безопасности к информационно-управляющим системам (ИУС) класса безопасности 3 принятыми техническими решениями.

Таблица 2

Регулирующие требования к ИУС (ПТК) согласно НП 306.5.02/3.035-2000

Регулирующие требования НП 306.5.02/3.035-2000		Выполнение требований	
Наименование требования	Номер пункта	ИУС класса безопасности ЗН, ЗНУ	СВРК-М
Установление класса безопасности	3.1.3	+	+
Установление категории сейсмостойкости	3.1.6	+	+
Требования к функциям	4.2	+	+
Соблюдение принципа единичного отказа	4.3	±	+
Соблюдение принципа резервирования	4.4	±	+
Соблюдение принципа независимости	4.5	±	+
Соблюдение принципа разнообразия	4.6	±	–
Требования к защите от отказов по общей причине	4.7	+	+
Требования к точности	4.8	+	+
Требования к временным характеристикам	4.9	+	+
Требования к надежности	4.10	+	+

Требования к интерфейсу “человек-машина”	4.11	+	+
Требования к предотвращению ошибок персонала	4.12	+	+
Требования к защите от несанкционированного доступа	4.13	+	+
Требования стойкости к воздействию внешних факторов	4.14	+	+
Требования по стойкости к изменению параметров электропитания	4.15	+	+
Требования к техническому диагностированию	4.16	+	+
Требования к апробации	4.17	+	+
Требования к качеству	4.18	+	+
Требования к испытаниям и приемке	4.19	+	+
Требования к структуре и элементам ПО	6.2.1÷6.2.3	+	+
Требования к диагностированию и самоконтролю ПО	6.3	+	+
Требования к обеспечению защиты от отказов, искажений, ошибочных и несанкционированных действий	6.4.1÷6.4.4	+	+
Требования к процессу разработки ПО	6.5	+	+
Требования к верификации ПО	6.6.1	+	+
	6.6.3	+	+
	6.6.5-6.6.12	+	+
Примечание: В таблице приняты следующие условные обозначения: + - требования должны применяться или применяются ± - применение требований не обязательно и устанавливается в ТЗ и/или ТУ			

Повышение надежности системы достигается применением структурной, функциональной и другими формами избыточности по отношению к объему, минимально необходимому и достаточному для выполнения заданных функций (принцип резервирования).

Типовым фрагментом ЛВС верхнего уровня СВРК-М является конфигурация, когда каждый вычислительный узел подключен к двум сетевым коммутаторам, которые обеспечивают работу локальных сетей Л-1 и Л-2 (см. рис. 3). Таким образом, каждый коммутатор устанавливает каналы связи со всеми действующими абонентами сети и каждый абонент сети (вычислительный узел) имеет два канала связи к любому другому абоненту, с

которым ему предписано обмениваться информацией, оба из которых действуют на прием и передачу данных. Один канал связи реализован в сети Л-1, другой - в сети Л-2.

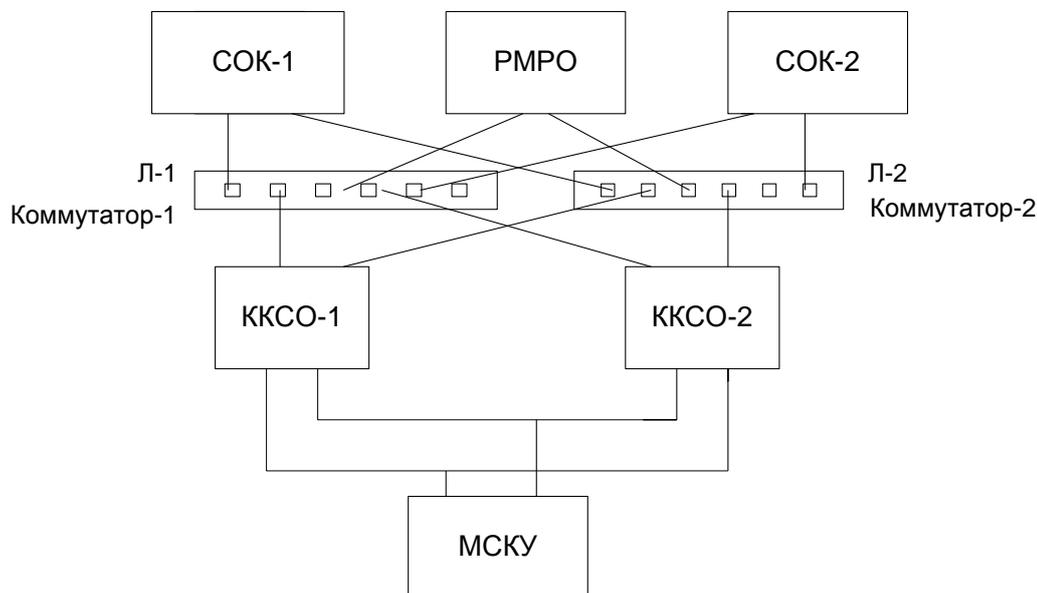


Рисунок 3 – Схема принципа резервирования

На рисунке 3:

РМРО	одна (любая) из операторских рабочих станций;
СОК-1/СОК-2	резервированный сервер оперативного контроля,
Л-1/Л-2	резервированная ЛВС,
МСКУ	один (любой) из субкомплексов связи с объектом;
ККСО-1/ККСО-2	концентраторы комплекса связи с объектом
Коммутатор-1/Коммутатор-2	резервированный коммутатор ЛВС

Такой структурой обеспечивается принцип отдельного резервирования элементов сети. Это позволяет любому серверу данных и коммуникаций (СДК-1 или СДК-2) взаимодействовать с любым абонентом (рабочей станцией) через дублированный коммутатор (коммутатор-1 и коммутатор-2). При отдельном резервировании отказы или сбои не одноименных дублированных технических и программных средств не приводят к отказу ни системы в целом, ни отдельных функций.

С целью исключения взаимовлияния и распространения неисправностей и помех общего вида, информационные связи с другими подсистемами (СУЗ, АКНП, ИВС и др.) гальванически развязаны. Передача информации в блочную информационно-вычислительную систему (ИВС) осуществляется по сети Ethernet IEEE 802.3 (протокол TCP/IP) с использованием оптоволоконных линий связи. Кроме того, волоконно-оптическими средствами реализованы линии связи верхнего уровня (ЛВС), осуществлено отдельное питание резервированных технических узлов и каналов связи, гальваническое

разделение и экранирование входных цепей (соблюдение принципа независимости).

Все это обеспечило СВРК-М способность выполнять заданные функции при отказе или выводе из работы любого резервированного узла, канала связи и/или внешней системы, связанной с СВРК (СУЗ, АКНП и др.).

Верификация разрабатываемого ПО проводилась согласно Плану верификации после этапов:

- разработки требований к ПО СВРК-М,
- проектирования ПО,
- кодирования ПО.

Целью осуществляемой деятельности по верификации ПО являлись:

- проверка соответствия разрабатываемого ПО требованиям технического задания на разработку ПО, требованиям к структуре и элементам ПО, к диагностированию и самоконтролю, к обеспечению защиты от отказов, ошибочных и несанкционированных действий, к процессу разработки ПО;

- обеспечение качества создания ПО СВРК-М на всех этапах модернизации, начиная с выработки требований к системе до ввода ее в эксплуатацию;

- демонстрация выполнения на каждом этапе разработки требований к системе в разрабатываемом ПО;

- получение данных, обеспечивающих анализ и оценку показателей качества реализации требований к ПО.

Немаловажным этапом тестирования явились испытания представительских макетов, в которые входили компоненты ПО. Эти испытания проводились на 1-ом энергоблоке Хмельницкой АЭС в 16-ю и 17-ю топливные кампании, на 3-ем энергоблоке Запорожской АЭС в 16-ю и 17-ю топливные кампании и на 3-ем энергоблоке Южно-Украинской АЭС в 15-ю топливную кампанию, т.е. - еще до ввода в эксплуатацию того или иного варианта СВРК-М.

В результате всех мероприятий установлено, что разработанное ПО:

- выполняет функции контроля реактора в части обеспечения оперативного персонала достоверной информацией об эксплуатации ядерного топлива в объеме, достаточном для обеспечения существующих требований "Технологического регламента безопасной эксплуатации энергоблока";

- соответствует предъявляемым требованиям по выполнению расчетных задач оперативного расчёта (расчёт мощностей, температур и др. технологических параметров);

- обеспечивает достоверность расчётов параметров применительно к штатному (производства РФ) ядерному топливу (поузловой расчёт полей энерговыделения);

- адекватно реагирует на объективное изменение входных параметров расчётной модели.

Таким образом, еще до первого внедрения СВРК-М основные технические решения и компоненты ПО были апробированы практическим опытом эксплуатации прототипа на действующих блоках АЭС Украины.

### Заключение

В результате работ по модернизации системы внутриреакторного контроля на энергоблоках украинских АЭС была создана СВРК нового поколения.

В настоящее время варианты системы находятся где-то уже в промышленной, где-то еще в опытной эксплуатации. В период поэтапного выхода энергоблоков на номинальную мощность, система продемонстрировала:

- правильность функционирования в соответствии с требованиями технических заданий,
- соответствие требованиям к интерфейсу «человек-машина»,
- соответствие метрологических характеристик измерительных каналов и характеристик точности выполнения информационных функций, не связанных с прямыми измерениями.

Использование пакета прикладных программ нейтронно-физических и тепло-гидравлических расчетов "Круиз", разработанного российской Инновационной Firmой "СНИИП АТОМ", а также SCADA-системы и комплекса современных технических средств, разработанных и произведенных СНПО «Импульс» позволило:

- значительно увеличить быстродействие (время завершения циклов расчетов не более 0,6 сек.);
- обеспечить регистрацию переходных процессов и действий оперативного персонала;
- начать создание многолетнего архива движения топлива;
- обеспечить возможность увеличения количества типов и видов, используемых в активной зоне ТВС, ПС СУЗ, ДПЗ и других первичных преобразователей;
- внедрить защиту активной зоны по локальным параметрам (при необходимости);
- создать современный удобный человеко-машинный интерфейс;
- создать условия для внедрения усовершенствованных топливных циклов;
- создать условия для замены в будущем состава и конструкции внутриреакторных датчиков нейтронного потока и температуры по мере оснащения активной зоны ТВС с измененной верхней головкой и соответствующим образом перфорированной центральной направляющей трубкой для размещения КНИ (КНИТ, ВИК, КНИТУ).

Таким образом, можно констатировать, что представленная система способна выполнять управляющие, защитные, информационные,

диагностические функции и обеспечить повышение качества, надежности и безопасности эксплуатации ядерного топлива и энергоблоков АЭС.

## Приложение А. Перечень функций, выполняемых программными подсистемами СВРК-М

Подсистема комплекса связи с объектом (КСО) и шлюз КСО обеспечивает:

- ♦ измерение (ввод) аналоговых и дискретных сигналов датчиков;
- ♦ первичную обработку данных, поступающих от датчиков и систем автоматики энергоблока (определение достоверности на основании диагностики каналов ввода, преобразование кодов АЦП в единицы электрических сигналов);
- ♦ формирование оперативной базы данных КСО и обеспечение доступа к ней;
- ♦ выдачу сигнала предупредительной защиты, формируемого другими подсистемами;
- ♦ преобразование единиц электрических величин сигналов в единицы физических величин параметров;
- ♦ сглаживание значений сигналов;
- ♦ определение значений термоэлектрических датчиков (термопар) с учетом температуры холодных спаев;
- ♦ учет запаздывания токов ДПЗ;
- ♦ формирование обобщенных значений дублированных сигналов;
- ♦ формирование значений 2-х позиционных дискретных сигналов;
- ♦ преобразование значений сигналов в единицы других шкал (например, абсолютные значения в относительные);
- ♦ обработка значений сигналов с использованием predetermined алгоритмов (инвертирование, вычисление обратно-пропорционального значения, суммирование значений, вычисление среднего арифметического значения).

Подсистема «Общесистемная база данных реального времени» (ОБДРВ) выполняет функции:

- ♦ прием текущих значений от комплекса связи с объектом управления и расчетных параметров от задач прикладного ПО. Перечень задач-источников данных может расширяться;
- ♦ контроль текущих значений по технологическим уставкам (допустимым границам). Предусматривается до шести границ:
  - верхняя и нижняя регламентные;
  - верхняя и нижняя аварийные;
  - верхняя и нижняя возможные;

Настройка значений уставок, зоны возврата и признаков разрешения контроля может производиться на этапе наладки и в ходе эксплуатации. Режимно-зависимые уставки могут актуализироваться в ОБДРВ динамически, в результате выполнения заданного алгоритма, реализующего формирование значений уставок, соответствующих режиму работы объекта контроля и другим

параметрам. Выполнение алгоритма является функцией встроенного расчетного аппарата ОБДРВ. Подобно алгоритму актуализации значений уставок могут быть заданы и другие расчетные алгоритмы, разработанные пользователем;

- ♦ формирование групповых сигналов об отклонениях и дискретных событиях. Отклонения определяются по отношению к границам, заданным уставками;

- ♦ регистрация данных в архиве с целью их последующего отображения и печати подсистемой представления данных в виде видеограмм, графиков, протоколов и отчетов. Предусматриваются два режима регистрации – оперативный и долговременный. Архив является дублированным. Запись данных в архив ведется параллельно и независимо двумя серверами ОБДРВ. Каждая переменная (параметр) ОБДРВ имеет индивидуальные атрибуты, управляющие регистрацией ее значений в архиве, которые включают:

- признак и метод регистрации в оперативном архиве;
- апертуру регистрации в оперативном архиве;
- признак и метод регистрации в долговременном архиве (разрешает регистрацию значений переменной в долговременном архиве);
- апертуру регистрации в долговременном архиве;
- тип данных в архиве.

Может быть определен также общий апертурный коэффициент, используемый для изменения апертур всех регистрируемых переменных в указанное число раз.

Обеспечивается взаимное автоматическое дополнение пропущенных интервалов данных (синхронизация) между дублированными серверами ОБДРВ.

- ♦ выборка данных из архива по запросам задач представления и обработки данных (клиентов) по списку переменных за указанный интервал или на указанный момент времени;

- ♦ передача текущих значений переменных клиентам, расположенным на узлах системы:

- задачам прикладного ПО;
- комплексу связи с объектом. Передаются значения выходных параметров и сигналы защит;
- подсистеме диагностики.

- ♦ самодиагностика;

- ♦ сервисные функции ОБДРВ:

- начальная загрузка и массовая корректировка перечня и атрибутов переменных ОБДРВ;

- представление и редактирование перечня и атрибутов переменных ОБДРВ;

- формирование и редактирование списков переменных;

- локальное отображение текущих значений переменных;

- управление регистрацией;

- отображение протокола диагностических сообщений сервера;
- отображение состояния и управление каналами связи с клиентами (поставщиками и потребителями данных).

Подсистема физических расчетов (ПФР), фактически представленная комплексом «Крузиз» выполняет оперативные расчеты теплогидравлики и нейтронной физики в следующем объеме:

- ♦ определение температуры теплоносителя на входе и выходе из реактора, подогрева и расхода теплоносителя в реакторе
- ♦ восстановление индивидуальной температуры на входе 163 ТВС
- ♦ расчет тепловой мощности РУ по:
  - параметрам питательной воды на линии подогрева высокого давления;
  - параметрам питательной воды в парогенераторах;
  - параметрам теплоносителя в петлях первого контура;
  - показаниям ионизационных камер;
  - показаниям ДПЗ
- ♦ расчет среднего достоверного значения тепловой мощности реактора
- ♦ крупносеточное восстановление (уровень ТВС) объемного распределения поля энерговыделения
  - ♦ расчет запаса до кризиса теплообмена
  - ♦ объемное крупносеточное распределение выгорания топлива по восстановленным Kv на 16 аксиальных участках активной зоны во всех 163 ТВС
  - ♦ мелкосеточное восстановление (уровень ТВЭЛ) энерговыделения в активной зоне
  - ♦ определение нуклидного состава в объеме активной зоны с учетом динамики процессов выгорания топлива, отравления ксеноном и самарием:
    - определение концентрации изотопов урана и плутония
    - определение концентрации шлаков
    - определение концентрации ксенона-135 и йода-135
  - ♦ адаптация нейтронно-физических характеристик по совокупности показаний ДПЗ
  - ♦ учет значений нейтронно-физических характеристик, используемых в расчетах, в соответствии с развитием процессов в активной зоне:
    - эффективных сечений деления
    - коэффициентов размножения материальных параметров
    - длин линейной экстраполяции для границ активной зоны
    - эффективных сечений захвата ксенона-135
  - ♦ автоматическая корректировка коэффициентов связи линейного энерговыделения с токами ДПЗ в процессе эксплуатации
  - ♦ определение индивидуальных поправочных коэффициентов термодатчиков
  - ♦ контроль и диагностика состояния измерительного тракта и качества определения технологических параметров:
    - определение достоверности контроля технологических параметров

- определение сопротивления изоляции ДПЗ
- проверка наличия расцепления каскет СУЗ с приводом (по запросу оператора)
- проверка наличия перепуток адресов сигналов ДПЗ (по запросу оператора)
- определение погрешностей восстановления поля энерговыделения путем сравнения с контрольными ДПЗ (по запросу оператора)

Подсистема представления данных и параметров (ППД) выполняет следующие основные функции:

- ♦ Обмен данными с другими подсистемами:
  - прием текущих значений измеряемых, вычисляемых и диагностических переменных от подсистемы ОБДРВ;
  - передача текущих значений показателей работоспособности в подсистему диагностики;
  - передача сигналов квитирования в подсистему ОБДРВ.
- ♦ Формирование и представление видеogramм состояния технологического процесса, отображающих значения переменных как:
  - поле вывода цифрового значения, значения даты/времени, состояния группового сигнала и перехода на связанный видеоформат, селектора перехода на другие видеоформаты,
  - поле вывода обобщенного состояния узла контроля и выбора контролируемого параметра/видеоформата, связанного с этим узлом;
  - статические геометрические фигуры или тексты;
  - поле вывода значений параметров в виде вертикальной или горизонтальной гистограммы;
  - поле-гистограмма распределения значений параметра в выбранном уровне, выбранного вертикального сечения объекта;
  - поле вывода значений параметра в элементах плоскости выбранного вертикального сечения объекта;
  - поле-гистограмма распределения значений параметра по выбранной вертикали объекта;

При формировании видеogramм-мнемосхем используется библиотека графических элементов, применяемых для технологических (оборудование), электрических и логических схем. Объекты видеogramмы привязываются к переменным из перечня переменных ОБДРВ, путем указания (выбора из информационной базы данных) их идентификаторов. Видеogramма может быть подключена к текущим данным или отображать архивные. Пример видеogramмы представлен на рисунке 4.

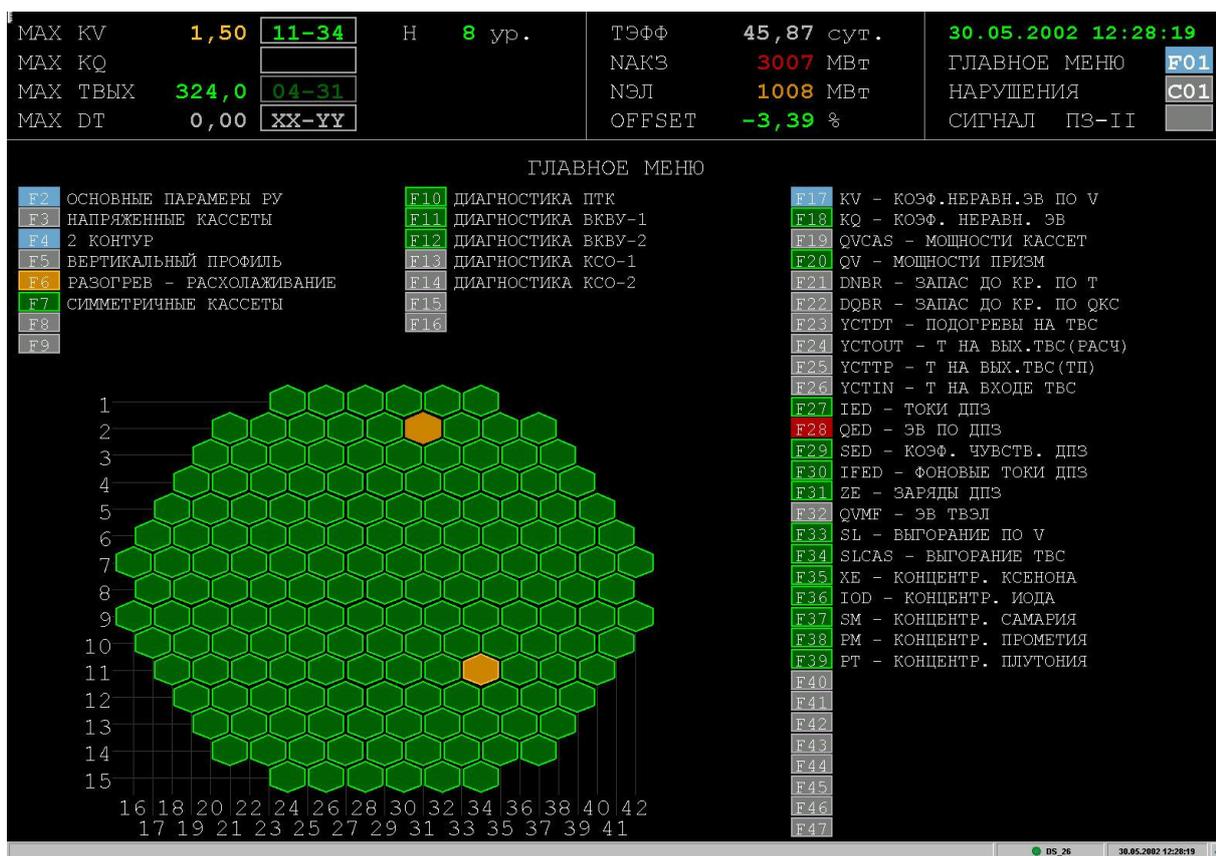


Рисунок 4 – Видеограмма

♦ Формирование и представление графиков текущих или архивных значений переменных. График строится для одной или более переменных, входящих в список. График представляет собой изменение значения переменных на отрезке времени. Шкала времени располагается внизу и направлена слева направо. Шкала (шкалы) значений располагается слева и направлена вниз (отрицательные значения) и вверх (положительные значения). Пример графика для двух переменных представлен на рисунке 5.

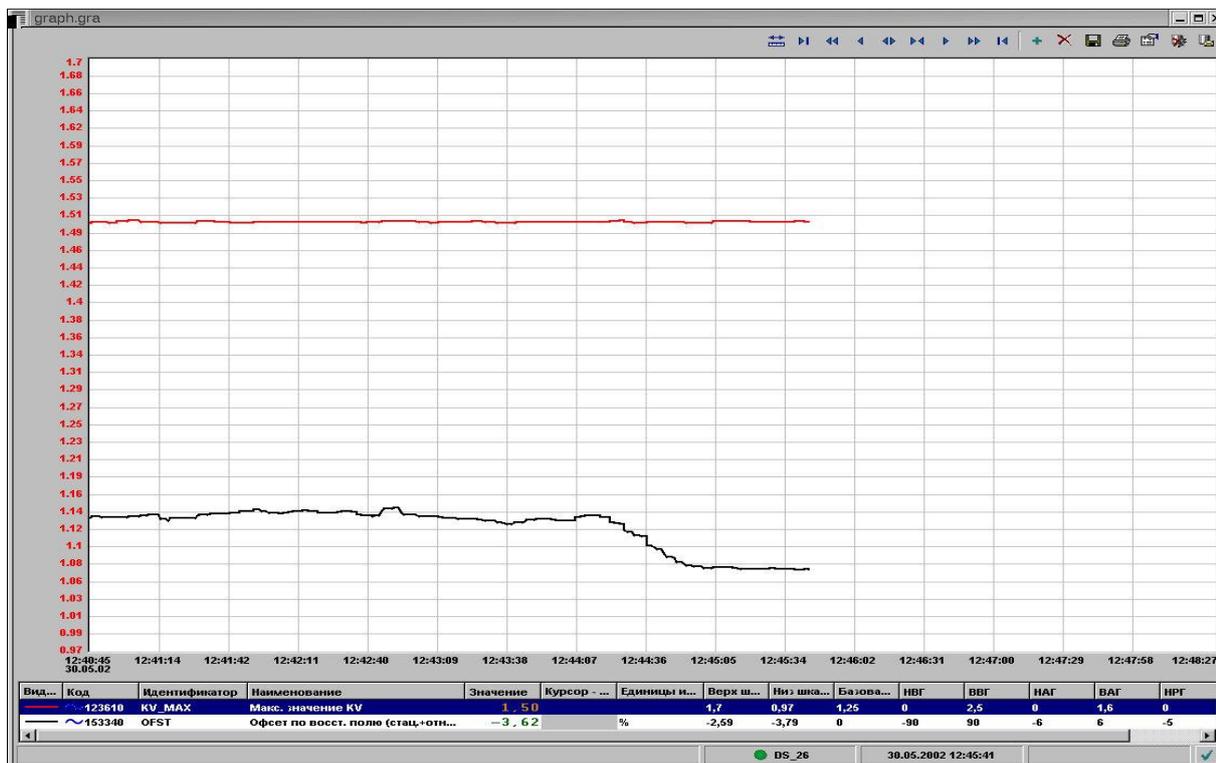


Рисунок 5 – График текущих значений

♦ Протоколы текущих событий (РТС). Протокол РТС представляет собой таблицу, содержащую упорядоченные по времени строки – сообщения о событиях. Одна строка представляет одно событие. Событием является изменение статуса аналоговой переменной (переходы значений через уставки, изменение признаков достоверности) и изменение значения или статуса дискретной переменной. Пример протокола РТС представлен на рисунке 6.

♦ Протоколы регистрации значений переменных во времени (РСА). Протокол РСА представляет собой таблицу, содержащую упорядоченные по времени строки, содержащие время регистрации и зарегистрированные значения. Колонки таблицы значений содержат, в качестве заголовков, идентификаторы переменных. Одна колонка соответствует одной переменной.

♦ Протоколы одномоментных значений переменных (РСМ). Протокол РСМ представляет собой таблицу, содержащую отсортированные в заданном порядке строки – значения выбранных переменных сообщения о событиях. Одна строка представляет одно значение. Строка протокола содержит идентификатор, наименование и значение переменной. Все значения (строки протокола РСМ) относятся к одному моменту времени, указываемому в заголовке протокола.

♦ Протоколы одномоментных значений полей (РСП). Протокол РСП представляет собой таблицу, отображающую поле (поля) в табличной форме или в виде картограммы. Все значения относятся к одному моменту времени, указываемому в заголовке протокола.

Время	Код	Идентификатор	Наименование	Значение	Единицы изме...
30.05.2002 12:47:08.342	~ 392030	УСН_А	Нак: ↓ средневзв. зн. тепловой мощности Ак3	ВАГ→ВРГ 2999	МВт
30.05.2002 12:47:09.362	~ 392030	УСН_А	Нак: ↓ средневзв. зн. тепловой мощности Ак3	ВРГ→ВАГ 3000	МВт
30.05.2002 12:47:11.382	~ 392030	УСН_А	Нак: ↓ средневзв. зн. тепловой мощности Ак3	ВАГ→ВРГ 2999	МВт
30.05.2002 12:47:12.382	~ 392030	УСН_А	Нак: ↓ средневзв. зн. тепловой мощности Ак3	ВРГ→ВАГ 3002	МВт
30.05.2002 12:47:19.452	~ 392030	УСН_А	Нак: ↓ средневзв. зн. тепловой мощности Ак3	ВАГ→ВРГ 2998	МВт
30.05.2002 12:47:23.492	~ 392030	УСН_А	Нак: ↓ средневзв. зн. тепловой мощности Ак3	ВРГ→ВАГ 3005	МВт
30.05.2002 12:47:28.532	~ 392030	УСН_А	Нак: ↓ средневзв. зн. тепловой мощности Ак3	ВАГ→ВРГ 2996	МВт
30.05.2002 12:47:52.732	~ 392030	УСН_А	Нак: ↓ средневзв. зн. тепловой мощности Ак3	ВРГ→ВАГ 3003	МВт

Рисунок 6 – Протокол РТС

Для выполнения выборки данных из архива ОБДРВ при формировании протоколов и графиков должен быть указан интервал времени, либо момент времени (для одномоментных протоколов).

Протоколы и графики могут быть подключены к текущим данным.

Видеограммы, протоколы и графики могут быть сформированы и сохранены как шаблоны, содержащие списки переменных, моменты/интервалы времени и другие вспомогательные опции, или как объекты с отображаемыми данными.

Подсистема представления данных и параметров выполняет следующие сервисные и вспомогательные функции:

- ♦ подготовка списков переменных для протоколов и графиков;
- ♦ навигация и выбор объектов для представления выполняется в окне с иерархической структурой отображаемых объектов. Структура содержит следующие папки объектов:
  - видеограммы;
  - графики;
  - протоколы РТС;
  - протоколы РСМ;
  - протоколы РСА;
  - протоколы РСП;
  - пользовательская папка;
- ♦ управление объектами представления с функциональной клавиатуры:
  - вызов предварительно подготовленных протоколов, графиков и видеограмм;
  - квитирование групповых сигналов;
  - управления отображаемыми объектами;

♦ самодиагностика и динамическое переключение между источниками данных. Подсистема представления данных формирует следующие показатели работоспособности:

- обобщенное состояние комплекса;
- корректность рабочей копии информационной базы данных;
- состояние синхронизации информационной базы данных;
- состояние связи с сервером ОБДРВ.

Сервисные и вспомогательные функции ППД инициируются оператором в окне-консоли ППД, пример которой представлен на рисунке 7.

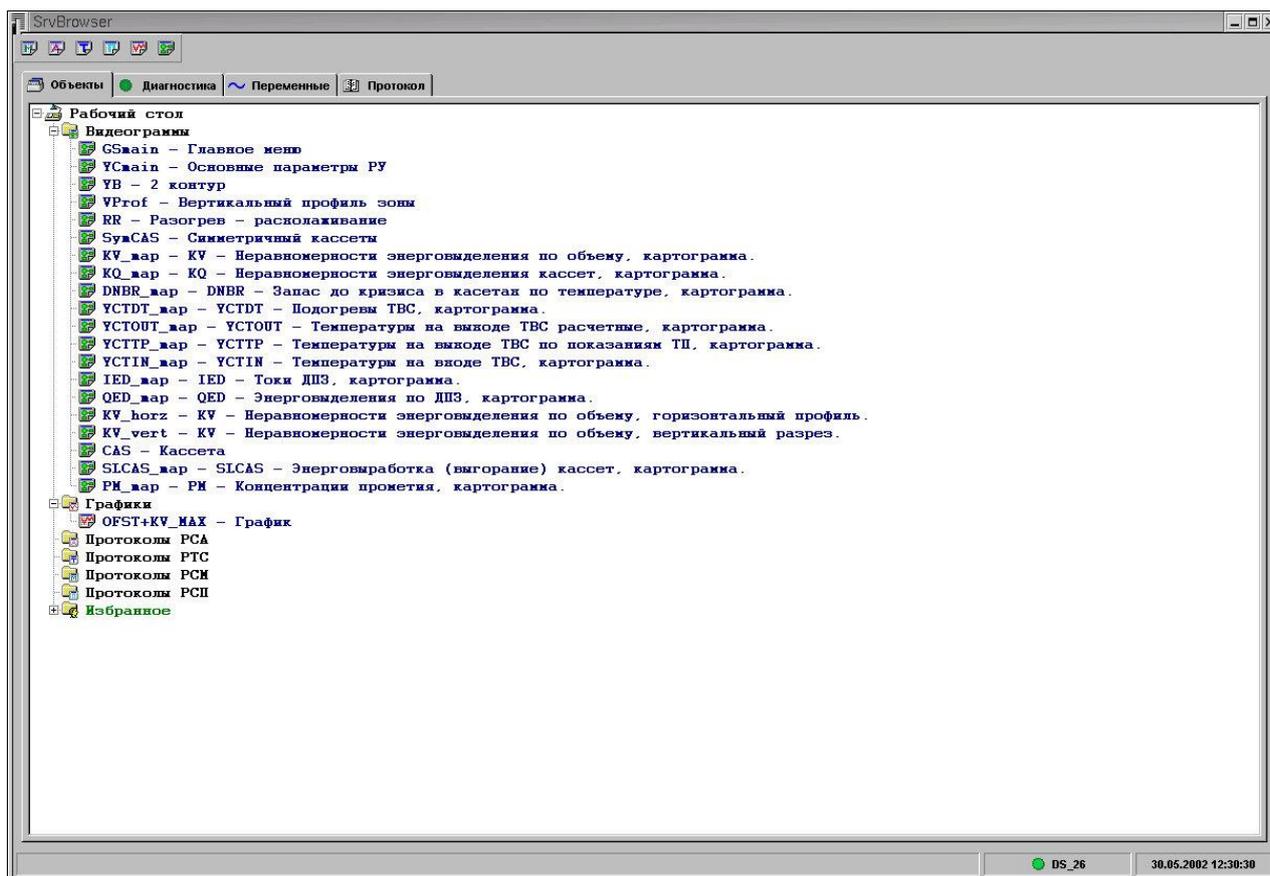


Рисунок 7 – Рабочий стол

Подсистема диагностирования (ПД) выполняет следующие функции:

- ♦ формирование показателей работоспособности технических и системных программных средств;
- ♦ формирование показателей работоспособности прикладного программного обеспечения;
- ♦ контроль работоспособности каналов связи;
- ♦ сбор данных о работоспособности компонентов и формирование показателей работоспособности узлов;
- ♦ получение информации о работоспособности узлов подсистемы КСО;
- ♦ формирование команд управления работой компонентов;
- ♦ сбор данных о работоспособности узлов и формирование показателей работоспособности системы;

- ♦ отображение результатов диагностирования;
- ♦ регистрация результатов диагностирования;
- ♦ реконфигурирование подсистемы диагностирования.

Функции диагностирования выполняются в циклическом режиме, при этом, на первом этапе определяется работоспособность элементов, на втором – работоспособность компонентов, включающих эти элементы, на третьем – работоспособность узлов, содержащих эти компоненты и каналов связи со смежными узлами, на четвертом этапе определяется работоспособность системы в целом (включая обобщенное состояние основных и резервных каналов связи). Диагностируемые показатели представляются иерархической древовидной структурой, в которой главный корень - это показатель обобщенного состояния системы, подчиненные корни - показатели состояния узлов системы, а ветви, входящие в подчиненные корни - показатели состояния компонентов узлов.

Диагностические функции формирования показателей работоспособности технических средств, состояния ресурсов и элементов операционной системы реализуются отдельным модулем, входящим в состав ПД.

Подсистема диагностирования выполняет запись диагностической информации в ОБДРВ для возможности регистрации ее в архиве, обработки и представления.

Подсистема поддержки функционирования (ППФ) выполняет функции сервисного и вспомогательного характера, а именно:

- ♦ поддержка единого времени на узлах системы;
- ♦ защита от несанкционированного доступа;
- ♦ резервное копирование и восстановление;
- ♦ системное администрирование:
  - установка, обновление и настройка операционной системы, прикладного и инструментального ПО и ИО;
  - восстановление системы после сбоев;
  - возобновление работы различных системных сервисов при сбоях в работе;
  - мониторинг и управление процессами;
  - проверка целостности ПО;
  - профилактическая очистка дискового пространства.
- ♦ ведение базы данных проекта (БДП). Информация базы данных проекта включает:
  - перечень всех переменных системы (сигналов и расчетных параметров), как технологических, так и системных (диагностических), их атрибуты;
  - данные для механизма технологической сигнализации (уставки и управляющие флаги);
  - данные о подключении сигналов в КСО и их характеристики;

- данные о типах переменных и их значений;
- данные о дисциплинах обработки переменных;
- данные о конфигурации узлов системы;
- данные для генерации настроек других подсистем.
- ♦ генерация настроек для других подсистем.

База данных проекта устанавливается на рабочей станции сопровождающего программиста. Права доступа к базе данных предоставлены только данному пользователю.

В системе используется журналируемая файловая система ext3, которая значительно снижает вероятность потерь при некорректной перезагрузке узла.

Проверка целостности ПО выполняется при помощи менеджера пакетов RPM.

Установка и обновление компонентов системы осуществляется Сервером Программного и Информационного Обеспечения (СПИО).

**В.Н. РУДНЕВ**

*ЗАО «Северодонецкое научно-производственное объединение „Импульс”»*

## **ПОРЯДОК УЧЕТА УРОВНЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ, ПОСТАВКИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПРОИЗВОДСТВА ЗАО «СНПО „ИМПУЛЬС”»**

Рассматриваются вопросы ведения учета уровня изготовления, поставки и эксплуатации технических средств производства ЗАО «СНПО „Импульс”».

### **ВВЕДЕНИЕ**

В ЗАО «СНПО „Импульс”» постоянно ведутся работы по улучшению контроля и повышению качества выпускаемой продукции как на этапах разработки и изготовления, так и на этапах эксплуатации на площадке Заказчика.

Работы в данном направлении наиболее актуальны для изделий, разрабатываемых и поставляемых на объекты атомной энергетики, поскольку позволяют в любой момент времени однозначно определить уровень изготовления и эксплуатации конкретного изделия и, кроме того, вести статистику надежностных характеристик блоков для выявления «малонадежных» элементов с целью их дальнейшего устранения.

### **УЧЕТ УРОВНЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ, ПОСТАВКИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ИЗДЕЛИЯ**

Для поставленной задачи принято применять подход, использующий так называемый «паспорт» изделия. В таком паспорте производятся записи о цикле жизни изделия, чаще всего, начиная с момента начала изготовления. В целом цикл жизни любого изделия представляет собой стандартную, в общем случае, последовательность этапов (рисунок 1), начиная от этапа изготовления, и заканчивая этапом утилизации. Следует отметить, что каждый из этапов представляет собой некоторую последовательность подэтапов.

Как уже отмечалось ранее, на этапе изготовления (этап открытия заказа) соответствующими службами начинает формироваться паспорт изделия. В данном паспорте производят отметки о извещениях, согласно которых данное изделие дорабатывалось в процессе изготовления, о возникших в процессе наладки изделия трудностях и способе их решения, о технологическом прогоне, вносят данные о процессе изготовления, контроле и приемке изделия и его составных частях, дате и местоназначении отгрузки изделия и т.д. После этапа наладки, проверки и приемки изделия паспорт изделия передается в архив, для его хранения и дальнейшего ведения на этапе эксплуатации (внесении данных о

вводе изделия в опытную и промышленную эксплуатации, работах по гарантийному и послегарантийному обслуживанию). Таким образом, в ЗАО «СНПО „Импульс”» каждое выпускаемое изделие имеет свой паспорт со всеми данными о цикле его жизни.

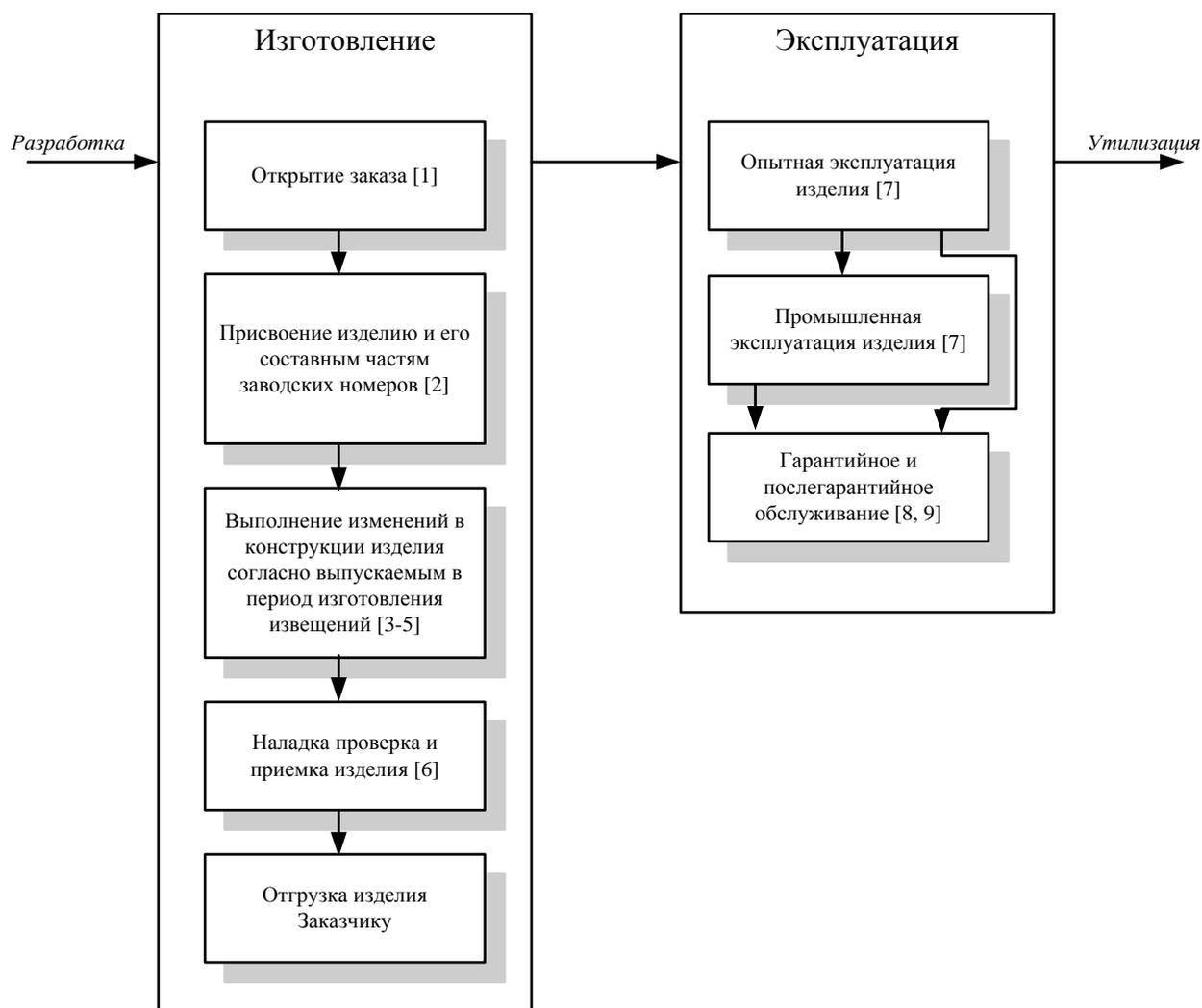


Рисунок 1 – Обобщенный цикл жизни изделия

Для более эффективного хранения паспортов целесообразно хранение их в электронном виде и формирование любого из паспортов по запросу. Кроме того, электронный вариант хранения паспортов позволяет производить разнообразные выборки данных и эффективное ведение статистики. Следует отметить, что чаще всего для хранения паспортов используется табличная форма хранения данных, в которой каждое изделие представляет одну строку таблицы. Данный подход обладает рядом недостатков, основной из которых это избыточность информации. Для задач подобного класса наиболее эффективно использование баз данных.

Цикл жизни конкретного изделия с точки зрения учета уровня на любом этапе его существования удобно описать не одной (избыточной) таблицей, а несколькими таблицами, связанными между собой (рисунок 2).

Каждая таблица хранит данные, относящиеся только к своему этапу жизни изделия, и соединяется с другими таблицами посредством ключевых полей (показано связями между таблицами). Данные связи позволяют иметь полную, достоверную информацию о конкретном изделии, начиная от номера заказа по которому оно изготавливалось, и заканчивая информацией о возможном его ремонте.

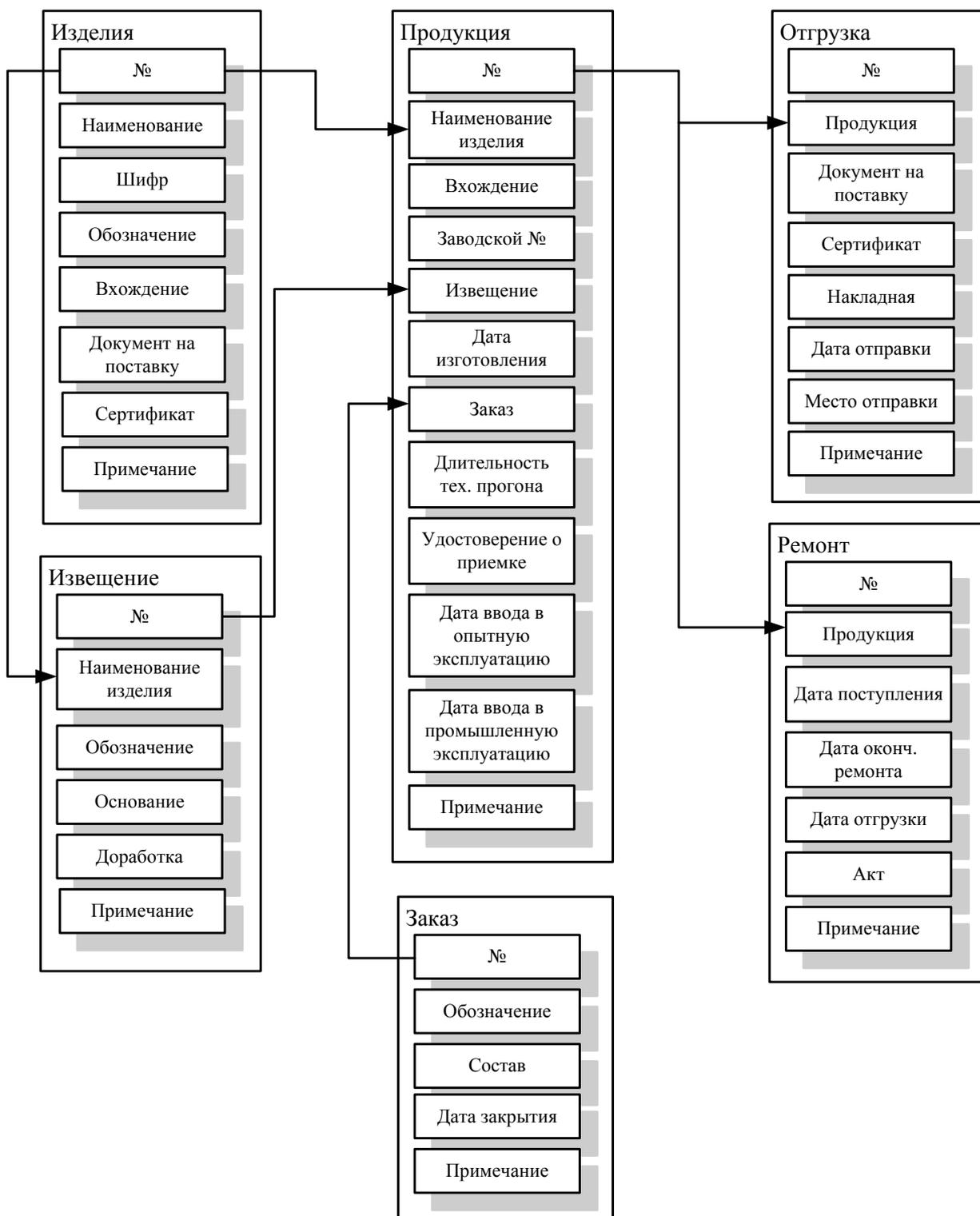


Рисунок 2 – Структура базы данных паспортов изделий

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подход, предложенный в данной статье, позволяет избавиться от основного недостатка «табличного» способа хранения паспортов – избыточности данных и, кроме того, позволяет:

- производить эффективные выборки на любом (любых) этапе жизни изделия;
- используя сетевые средства и методы разделения прав пользователей, вносить и контролировать внесенные данные различным, ответственным за конкретный этап, подразделениям ЗАО «СНПО „Импульс”».

### Литература

1. СТП 0227932-37-2002 Система управления качеством. Порядок взаимодействия служб ЗАО «СНПО „Импульс”» при изготовлении изделий.
2. СТП 0227932-99-2002 Система управления качеством. Технические средства. Порядок учета уровня их изготовления и поставки. Ведение базы данных.
3. СТП 0227932-57-2002 Система управления качеством. Внесение изменений в конструкторскую документацию.
4. ГОСТ 2.503-90 ЕСКД. Правила внесения изменений.
5. ГОСТ 2.603-68 ЕСКД. Внесение изменений в эксплуатационную и ремонтную документацию.
6. СТП 0227932-54-2002 Система управления качеством. Приемо-сдаточные испытания. Предъявление продукции представителю Госцентркачества.
7. СТП 0227932-94-2002 Система управления качеством. Порядок подготовки и проведение работ в местах эксплуатации изделий.
8. СОУ 31393258-8:2005 Система менеджмента качества. Порядок выполнения гарантийного и послегарантийного ремонта оборудования.
9. СТП 0227932-53-2002 Система управления качеством. Порядок анализа и устранения дефектов изделий и причин их возникновения.

**В.А. УСТИМОВ, Д.С. ВОЛОШИН, А.С. МОДЕСТОВ, А.П. НИКИТИН**

*ЗАО «Северодонецкое научно-производственное объединение „Импульс”»*

**А.Н. БАЛАГАНОВ**

*ОП «Запорожская АЭС»*

## **КАНАЛЫ КОНТРОЛЯ ПЛОТНОСТИ ПОТОКА НЕЙТРОНОВ АКНП-ИФ**

### **Введение**

Аппаратура контроля нейтронного потока (АКНП) является основным средством контроля мощности энергетических реакторов типа ВВЭР-1000 и ВВЭР-440, основанном на использовании нейтронных детекторов, расположенных за пределами корпуса реактора.

На большинстве энергоблоков АЭС Украины необходима модернизация АКНП в связи с истечением срока службы эксплуатирующейся аппаратуры. В 2003 году в ЗАО «СНПО "Импульс"» была разработана АКНП-И [1] с использованием устройств детектирования потока нейтронов, ранее использовавшихся в составе АКНП-7-02 производства СНИИП (г. Москва).

Опыт эксплуатации АКНП-И на энергоблоках АЭС Украины с 2004 года показал, что она успешно выполняет все возложенные на нее функции в составе системы управления и защит (СУЗ). В тоже время был выявлен ряд недостатков, которые вызывают замечания при эксплуатации.

К числу недостатков, которые связаны с использованием в составе АКНП-И устройств детектирования, разработанных еще в 80-х годах прошлого века, относятся:

- использование блоков детектирования двух разных типов (на основе ионизационных камер КНК15 и КНК53М) для контроля плотности потока нейтронов (ППН) в пусковом и рабочем диапазонах вызывает трудности при "сшивке" диапазонов – практически невозможно добиться безударного переключения диапазонов;

- использование в энергетическом диапазоне урановой камеры деления КНК15 приводит к появлению в каналах контроля ППН рабочего диапазона после снижения мощности реактора остаточных показаний, вызванных накоплением  $\alpha$ -активных изотопов;

- низкое значение частоты выходных сигналов устройств детектирования в начале диапазона измерения (от 0,05 Hz) определяет высокую погрешность вычисления частоты и большое время вычисления;

- в некоторых образцах устройств детектирования пускового диапазона наблюдалась заметная потеря линейности в конце диапазона, что вызывало

необходимость опускать границу переключения из пускового в рабочий диапазон и, соответственно, увеличивать погрешность вычисления мощности.

В связи с этим, была поставлена задача разработки модификации АКНП-ИФ с использованием устройств детектирования собственной разработки, построенных на основе покупных детекторов нейтронов.

### **Каналы контроля ППН пускового и рабочего диапазонов**

В пусковом и рабочем диапазонах АКНП-ИФ должна была обеспечивать контроль плотности потока тепловых нейтронов в пределах:

- от 1 до  $1,2 \times 10^9$   $n/(cm^2 \cdot s)$  – для ВВЭР-1000;
- от 1 до  $1,2 \times 10^{10}$   $n/(cm^2 \cdot s)$  – для ВВЭР-440.

В результате рассмотрения нескольких вариантов в качестве детектора нейтронов для устройства детектирования пускового и рабочего диапазонов была выбрана широкодиапазонная камера деления CFUL08/F16 фирмы Photonis (Франция). Эта камера деления охватывает требуемый диапазон контроля ППН. Кроме того, камеры деления этого типа уже успешно использовались на АЭС с реакторами типа ВВЭР-440 Богунице (Словакия) и Пакш (Венгрия) в составе аппаратуры фирмы Siemens. Блок детектирования потока нейтронов на основе камеры деления CFUL08/F16 имеет обозначение БДПН-1 (рисунок 1).



Рисунок 1 – Внешний вид БДПН-1

Камера деления CFUL08 может работать в трех режимах [2]: импульсном, флуктуационном и токовом.

Импульсный режим работает в диапазоне ППН от 1 до  $10^6$   $n/(cm^2 \cdot s)$ . В этом режиме детектор формирует отдельные зарядовые импульсы, количество которых пропорционально ППН. Номинальная чувствительность камеры деления CFUL08 в импульсном режиме составляет  $1 \text{ imp} \cdot s^{-1}/(n \cdot cm^{-2} \cdot s^{-1})$ ,

соответственно, диапазон частоты следования выходных импульсных сигналов в диапазоне ППН – от 1 Hz до 1 MHz.

Флуктуационный режим работает в диапазоне ППН от  $10^4$  до  $2 \times 10^9$  n/(cm<sup>2</sup>·s). В этом режиме детектором формируется так много близко расположенных зарядовых импульсов, что их невозможно разделить на отдельные импульсы. Однако, если их подать на RC-цепочку, то сигнал будет представлен флуктуациями тока, подобными электронному шуму, чей спектр зависит от постоянной времени RC-цепочки. Квадрат полученного флуктуационного тока, согласно теореме Кэмпбелла, пропорционален ППН. Номинальная чувствительность камеры деления CFUL08 во флуктуационном режиме (при использовании RC-цепочки с полосой пропускания от 1 до 35 kHz) составляет  $1,4 \times 10^{-21}$  A<sup>2</sup>/(n·cm<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>), соответственно, диапазон измеряемого флуктуационного тока в диапазоне ППН – от 3,7 nA до 1,7 μA.

Токовый режим работает в диапазоне ППН от  $10^4$  до  $1,2 \times 10^{10}$  n/(cm<sup>2</sup>·s). В этом режиме детектор формирует постоянный ток, величина которого пропорциональна ППН. Номинальная чувствительность камеры деления CFUL08 в токовом режиме составляет  $2 \times 10^{-13}$  A/(n·cm<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>), соответственно, диапазон измеряемого постоянного тока в диапазоне ППН – от 2 nA до 2,4 μA.

Преобразователь сигналов детектора нейтронов (ПСДН-1), разработанный в ЗАО «СНПО "Импульс"» и предназначенный для работы с БДПН-1 обеспечивает:

- формирование напряжения питания (600 V) для БДПН-1;
- усиление, дискриминацию (с регулируемым порогом дискриминации) и подсчет отдельных импульсов, формируемых детектором, в импульсном режиме;
- измерение величины флуктуационного тока во флуктуационном режиме;
- измерение величины постоянного тока в токовом режиме;
- передачу по интерфейсу "токовая петля" полученных значений с циклом 10 ms в устройство накопления и обработки (УНО) для обработки и вычисления мощности, периода и реактивности реакторной установки.

Вместе БДПН-1 и ПСДН-1 составляют устройство детектирования потока нейтронов УДПН-1 для контроля ППН в пусковом и рабочем диапазонах АКНП-ИФ. С целью подтверждения возможности использования УДПН-1 в каналах контроля ППН АКНП-ИФ была выполнена апробация опытного образца на энергоблоке №3 Запорожской АЭС. Результаты апробации приводятся далее.

### **Каналы контроля ППН для системы контроля перегрузки топлива**

В диапазоне системы контроля перегрузки топлива (СКП) АКНП-ИФ должна была обеспечивать контроль плотности потока тепловых нейтронов в пределах от  $10^{-3}$  до  $10^2$  n/(cm<sup>2</sup>·s).

В качестве детекторов нейтронов для устройства детектирования диапазона СКП были выбраны коронные счетчики медленных нейтронов

СНМ18-1 (с радиатором  $^3\text{He}$ ), которые успешно применяются для этой цели в устройствах детектирования из состава АКНП-7-02 [3]. Для счетчиков СНМ18-1 характерно присутствие постоянного коронирующего разряда в рабочем состоянии. При попадании нейтрона в радиатор, происходит ионизация атома гелия, в результате чего образуется  $\alpha$ -частица и электрон. Под действием электрического поля они ускоряются и вызывают вторичную ионизацию, которая приобретает лавинный характер, обеспечивая усиление выходного импульса счетчика. Для повышения чувствительности в одном блоке детектирования собирается три параллельно соединенных счетчика СНМ18-1. Блок детектирования потока нейтронов на основе трех СНМ18-1 имеет обозначение БДПН-2 (рисунок 2).



Рисунок 2 – Внешний вид БДПН-2

Конструкция БДПН-2 обеспечивает его установку в канал ионизационных камер (ИК) биологической защиты реактора, оборудованный механизмом перемещения с электроприводом. Это позволяет в полуавтоматическом режиме, с использованием устройства управления механизмом перемещения, вводить блок детектирования в канал ИК на уровень центра активной зоны реактора перед перегрузкой топлива и выводить его из канала ИК (в положение с низким уровнем ППН при работающем реакторе) после перегрузки топлива, что существенно продлевает срок службы счетчиков СНМ18-1. Кабель фирмы Nabia для БДПН-2 был выбран с учетом требований по радиационной стойкости, высокому рабочему напряжению и механической прочности.

Преобразователь сигналов детектора нейтронов (ПСДН-2), разработанный в ЗАО «СНПО "Импульс"» и предназначенный для работы с БДПН-2 обеспечивает:

- формирование напряжения питания (1800 V) для БДПН-2;
- усиление, дискриминацию (с регулируемым порогом дискриминации) и подсчет отдельных импульсов, формируемых детектором;
- передачу по интерфейсу "токовая петля" полученных значений с циклом 20 ms в устройство накопления и обработки (УНО) для обработки и вычисления мощности и периода реакторной установки.

Вместе БДПН-2 и ПСДН-2 составляют устройство детектирования потока нейтронов УДПН-2 для контроля ППН в диапазоне СКП АКНП-ИФ. С целью

подтверждения возможности использования УДПН-2 в каналах контроля ППН АКНП-ИФ была выполнена апробация опытного образца на энергоблоке №2 Хмельницкой АЭС. Результаты апробации приводятся далее.

### Апробация каналов контроля ППН АКНП-ИФ на АЭС

Структурная схема канала контроля ППН АКНП-ИФ приведена на рисунке 3.

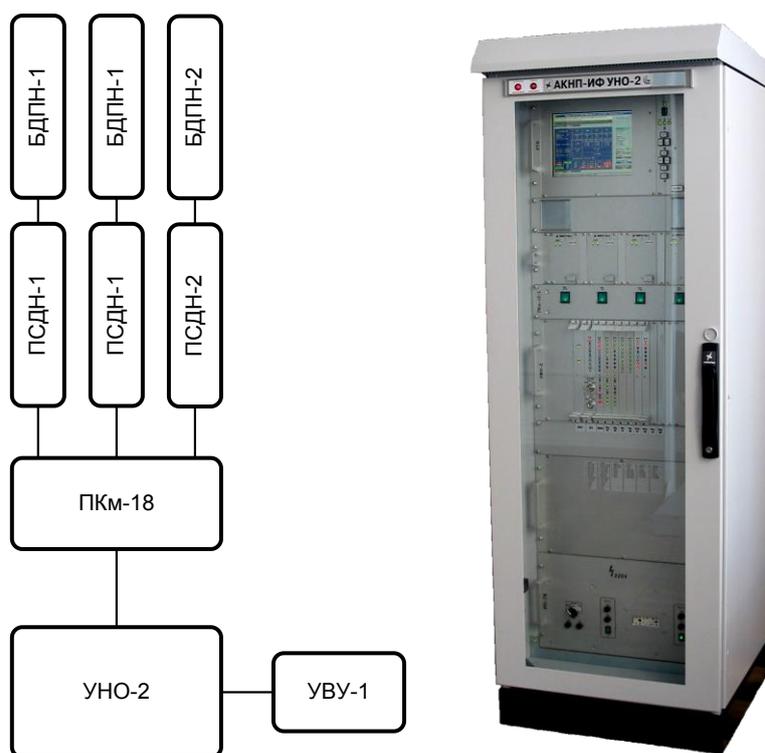


Рисунок 3 – Структура канала контроля ППН АКНП-ИФ и внешний вид УНО-2

Два блока детектирования БДПН-1 размещаются в одном канале ИК на разной высоте относительно центра активной зоны реактора (длина кабеля блока детектирования – 16 метров). Блок детектирования БДПН-2 размещается в отдельном канале ИК (длина кабеля блока детектирования – 25 метров), оборудованном механизмом перемещения. Нормирующие преобразователи ПСДН-1 и ПСДН-2 размещаются на стенах в помещении, расположенном под реакторной установкой. Там же размещается пассивная коммутационная панель ПКМ-18 для подключения трех устройств детектирования к УНО-2.

Устройство накопления и обработки УНО-2 размещается на расстоянии до 200 метров от устройств детектирования в зоне свободного режима. УНО-2 имеет блочную архитектуру, каждый блок элементов выполняет свои функции в составе канала контроля ППН. Блоки элементов реализованы в виде микропрограммных автоматов на основе микропроцессоров и микроконтроллеров. Основные функции защиты (вычисление по данным от

устройств детектирования значений относительной физической мощности, скорости ее изменения и реактивности реакторной установки, сравнения полученных значений с уставками и формирование дискретных сигналов аварийной и предупредительной защиты) реализованы в одном блоке элементов, построенном на основе сигнального процессора серии ADSP-2191 фирмы Analog Devices. Устройство ввода уставок УВУ-1, размещаемое на пульте оператора блочного щита управления (БЩУ), предназначено для задания в УНО-2 уровня уставок для формирования сигналов защит по мощности реакторной установки).

Апробация устройства детектирования диапазона СКП (УДПН-2) проводилась в период планово-предупредительного ремонта (ППР) энергоблока №2 Хмельницкой АЭС (октябрь-ноябрь 2005 г.). Результаты апробации показали, что УДПН-2 обеспечивает выполнение контроля ППН при перегрузке ядерного топлива (рисунки 4 и 5).

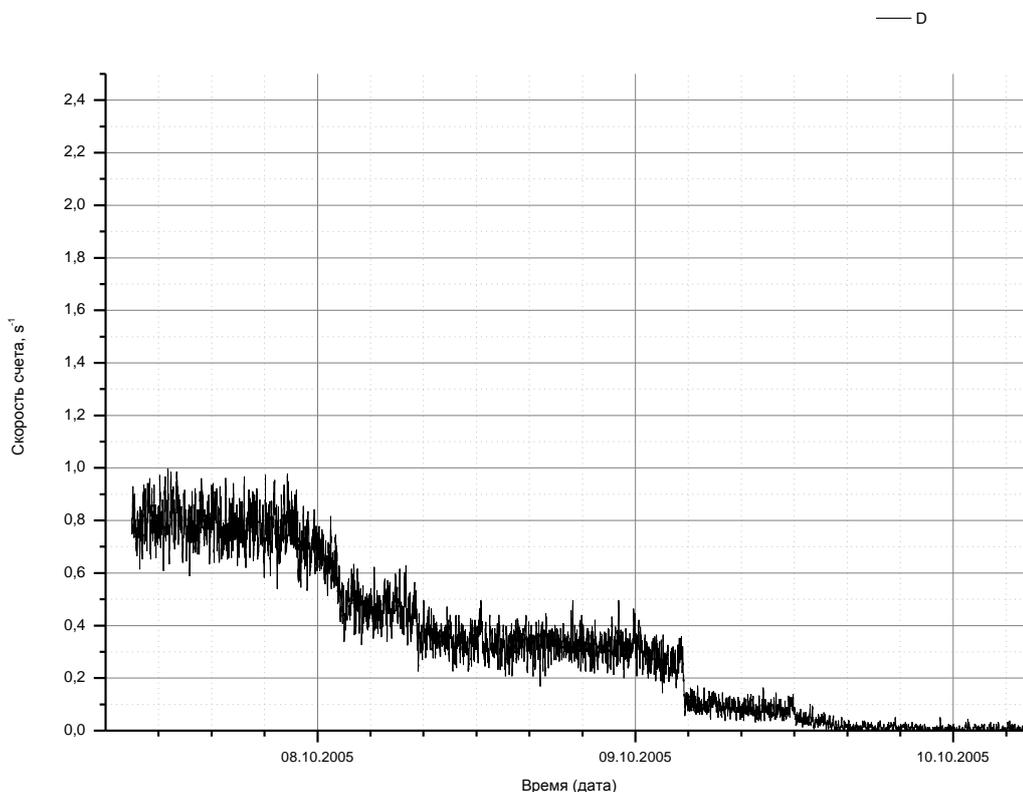


Рисунок 4 – Показания УДПН-2 при выгрузке топлива из реактора

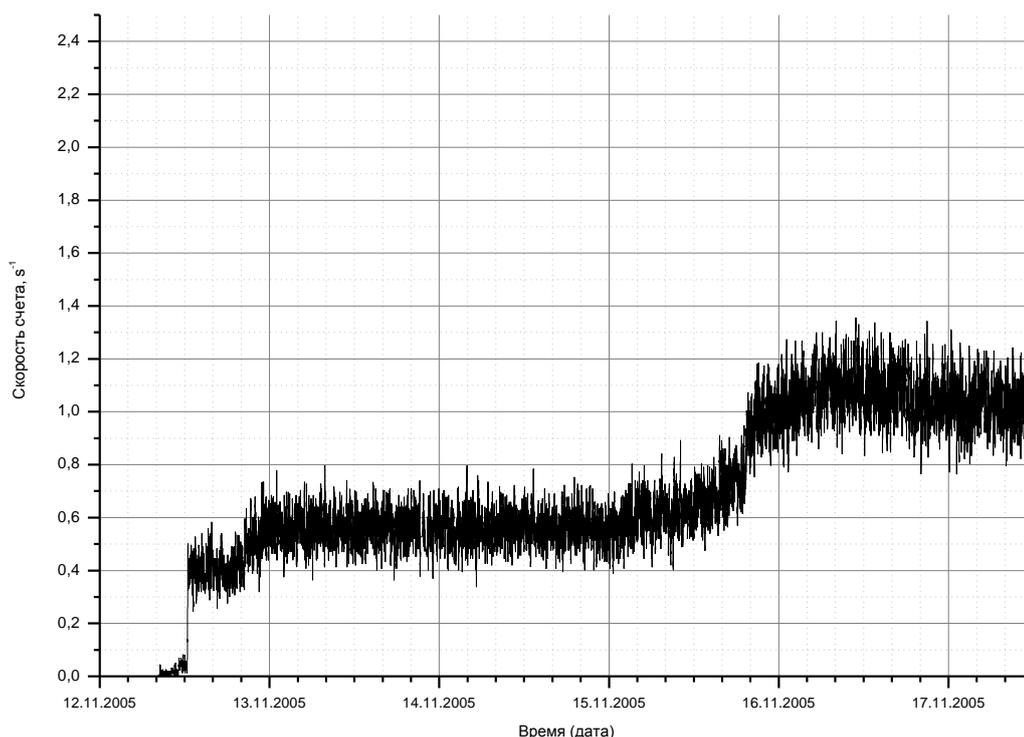


Рисунок 5 – Показания УДПН-2 при загрузке топлива в реактор

Апробация устройства детектирования пускового и рабочего диапазонов (УДПН-1) проводилась на энергоблоке №3 Запорожской АЭС (в период с ноября 2005 г. по март 2006 г.). В процессе апробации выполнялся контроль ППН в процессе:

- выхода реактора из подкритического состояния на минимально-контролируемый уровень и набора мощности (рисунок 6);
- работы реактора на мощности в энергетическом диапазоне (рисунок 7);
- снижения мощности реактора до минимально-контролируемого уровня (рисунок 8).

По результатам апробации УДПН-1 было установлено, что:

- в импульсном режиме линейность показаний сохраняется до уровня ППН более  $5 \times 10^6 \text{ n}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$ , что соответствует требованиям и значительно превосходит характеристики устройства детектирования из состава АКНП-И;
- флуктуационный режим не чувствителен к фоновому гамма-излучению, не имеет остаточных показаний после работы реактора на мощности и начинает стабильно работать с уровня ППН не более  $5 \times 10^4 \text{ n}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$ , что позволяет его использовать в качестве промежуточного между импульсным и токовым;
- остаточные показания после работы реактора на мощности в токовом режиме на полтора порядка меньше уровня начала диапазона ДР2 (1 %  $P_{\text{ном}}$ ),

что обеспечивает гарантированное переключение в диапазон ДР1 при снижении мощности.

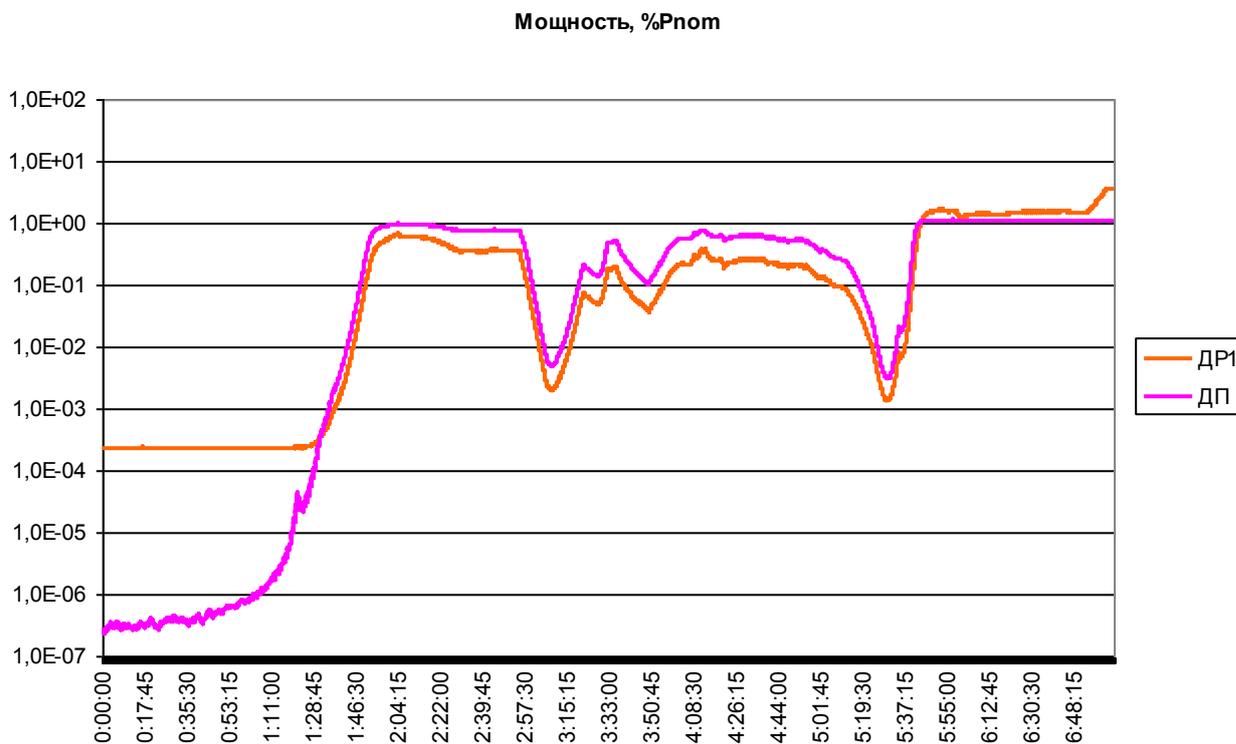


Рисунок 6 – Показания УДПН-1 при наборе мощности

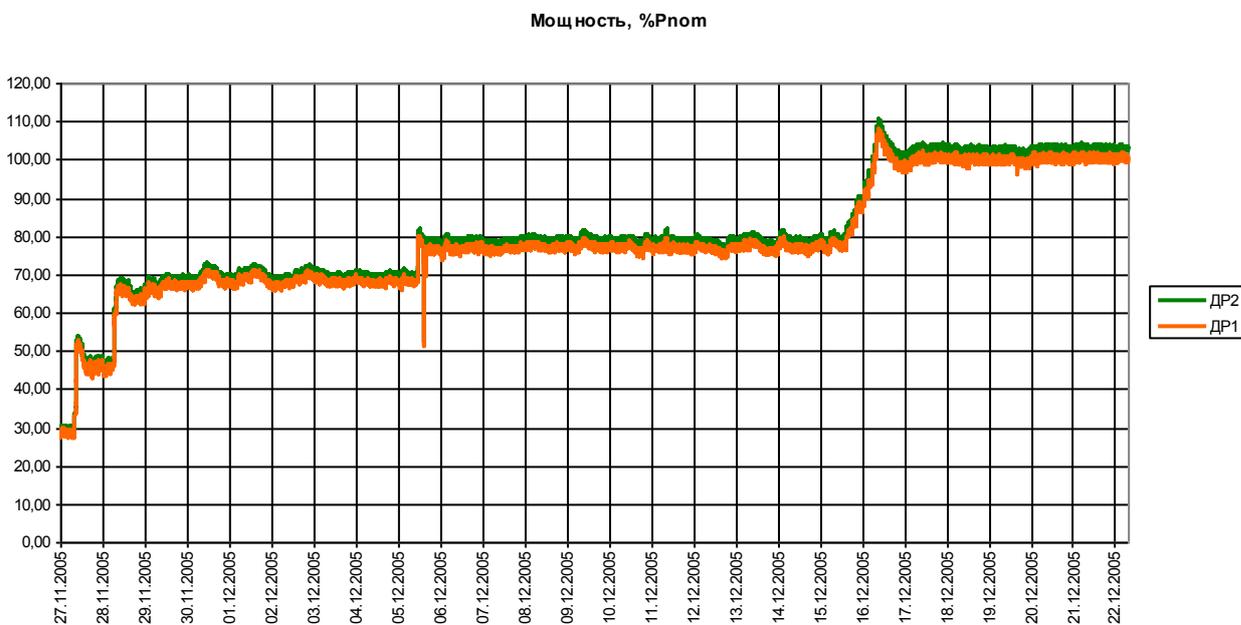


Рисунок 7 – Показания УДПН-1 при работе на мощности

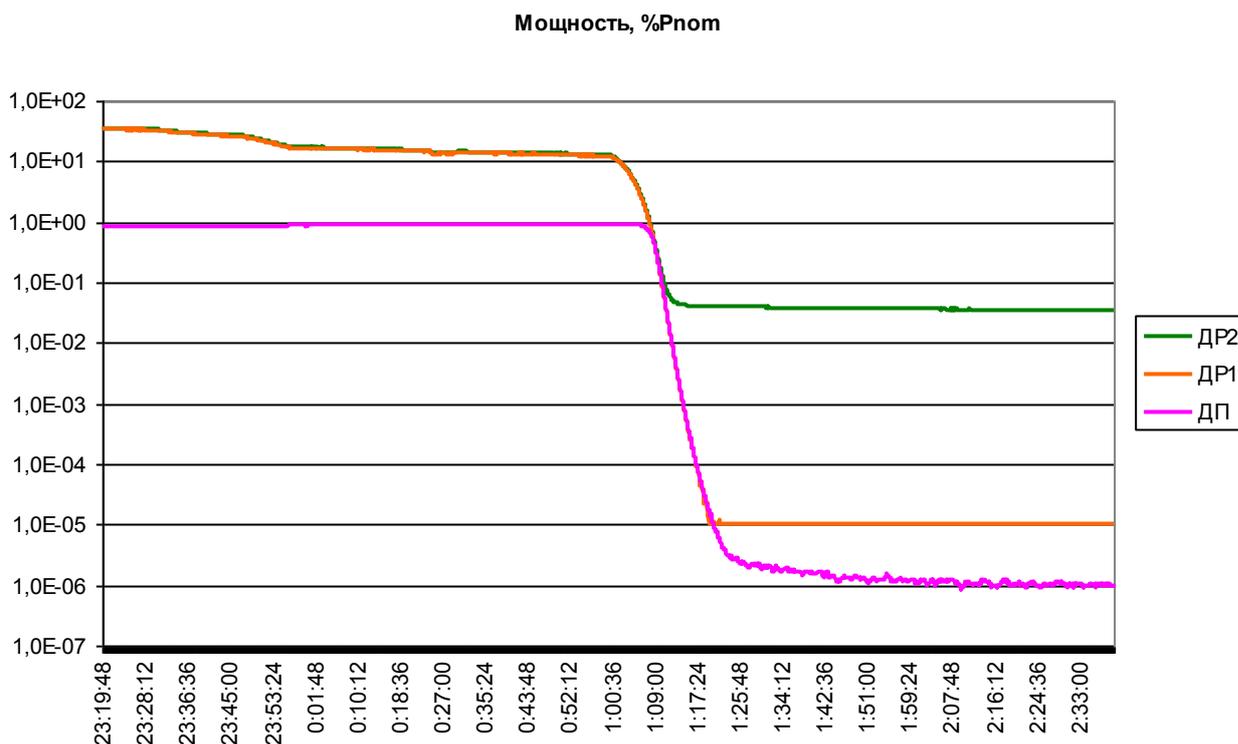


Рисунок 8 – Показания УДПН-1 при снижении мощности

### Метрологическое обеспечение АКНП-ИФ

При выпуске из производства АКНП-ИФ проводится государственная метрологическая аттестация:

- устройств детектирования – на материально-технической базе ННЦ "Институт метрологии" (г. Харьков);
- каналов контроля ППН – на площадке ЗАО «СНПО "Импульс"».

Номенклатура метрологических характеристик устройств детектирования:

- уровень собственного фона;
- чувствительность;
- основная относительная погрешность измерения ППН;
- дополнительная относительная погрешность измерения ППН;
- нестабильность показаний за 24 h.

Номенклатура метрологических характеристик каналов контроля ППН:

- относительная погрешность и время измерения относительной физической мощности реактора;
- относительная погрешность измерения периода (скорости изменения относительной физической мощности) реактора;
- время формирования сигналов аварийной защиты по периоду;
- относительная погрешность измерения реактивности реактора.

В процессе эксплуатации АКНП-ИФ калибровке подвергаются каналы контроля ППН; устройства детектирования калибровке не подвергаются. В отличие от АКНП-И, калибровка каналов контроля ППН (рисунок 9) обеспечивает проверку не только УНО, но и нормирующих преобразователей (ПСДН-1 и ПСДН-2) с отключенными блоками детектирования (при калибровке на энергоблоке блоки детектирования физически не отключаются от нормирующих преобразователей, а отключается их высоковольтное электропитание).

В качестве имитатора сигналов блоков детектирования, подключаемых к нормирующим преобразователям, используется разработанный для этой цели имитатор кинетики реактора ИКР-1. ИКР-1 подключается к отдельным соединителям ПСДН-1 и ПСДН-2, что не требует физического отключения блоков детектирования для выполнения калибровки. На время проведения калибровки ИКР-1 приносится в помещение строгого режима, в котором размещаются нормирующие преобразователи устройств детектирования. ИКР-1 подвергается метрологической аттестации при выпуске из производства и калибровке в процессе эксплуатации.

Выполнение метрологической аттестации и калибровки каналов контроля ППН АКНП-ИФ выполняется в автоматическом режиме с использованием комплекта программ метрологического обеспечения АКНП-ИФ. Программы выполняются на терминале метрологического обеспечения ТМО-1, подключаемом к УНО-2 по интерфейсу RS422. ТМО-1 осуществляет выдачу через УНО-2 и ПКМ-18 команд управления в ИКР-1 и прием из УНО-2 результатов вычисления мощности, периода и реактивности.

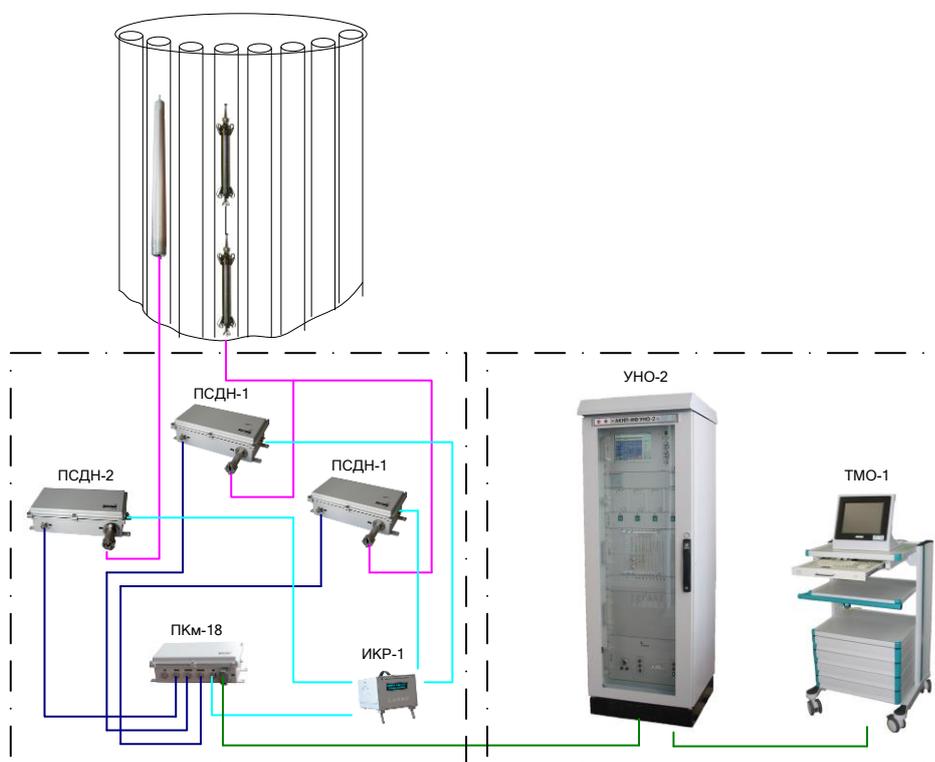


Рисунок 9 – Схема проведения калибровки каналов контроля ППН АКНП-ИФ

## **Выводы**

По результатам предварительных испытаний и апробации на АЭС можно сделать вывод, что каналы контроля ППН АКНП-ИФ, построенные на основе разработанных в ЗАО «СНПО "Импульс"» устройств детектирования УДПН-1 и УДПН-2, превосходят по своим характеристикам каналы контроля ППН АКНП-И, построенные на основе устройств детектирования АКНП-7-02.

Первое внедрение АКНП-ИФ планируется в июне 2006 года на энергоблоке №3 ЮУАЭС (комплект АКНП-ИФ для СУЗ).

## **Литература**

1. Елисеев В.В., Пивоваров Г.Ю., Набатов А.С., Мошинский С.А., Склад В.В., Спектор Л.И. Система контроля нейтронного потока для реактора ВВЭР-1000: обеспечение и оценка безопасности // Ядерная и радиационная безопасность. 2005, №1. С.51-65.
2. Neutron and gamma detectors // Photonis S.A.S. Product's catalogue. 2002.
3. Волков С.В., Михайлов Г.И., Прохоров Ю.Б. Экспериментальные исследования блоков и устройств детектирования аппаратуры контроля нейтронного потока // Ядерное приборостроение. 1989, №1. С.75-82.

**Ю.Н. ХЛЕПЕТЬКО**

***ЗАО «Северодонецкое научно-производственное объединение „Импульс”»***

## **АППАРАТУРА УПРАВЛЕНИЯ ОРГАНАМИ РЕГУЛИРОВАНИЯ ВВЭР-440**

Рассматриваются вопросы модернизации оборудования управления органами регулирования, реализующего функции управления реактивностью в системе управления и защиты реакторной установки типа ВВЭР-440. Предлагается вариант функциональной декомпозиции системы управления (СУОР-И), ориентированной на применение современных информационных технологий, «цифровых» технических средств, а также приводятся потенциальные характеристики СУОР-И.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Актуальность модернизации системы управления и защиты (СУЗ) действующих реакторных установок типа ВВЭР-440 predetermined истечением эксплуатационного ресурса практически всех видов использованной при их создании аппаратуры, воспроизводство которой стало невозможным ввиду морального старения. К тому же, с момента ввода в эксплуатацию действующих энергоблоков существенно изменились подходы к вопросам обеспечения ядерной безопасности, что нашло отражение в ряде обязательных к применению международных и национальных нормативных документах. Важным аспектом повышения эксплуатационной безопасности является совершенствование интерфейса «человек-машина» как в части информативной насыщенности оперативного персонала, так и в автоматизации ряда операций, что требует применения современных решений в реализации средств визуализации состояния объекта управления.

Аппаратура управления органами регулирования СУОР-И представляет собой исполнительную часть СУЗ реакторной установки типа ВВЭР-440, предназначенную для регулирования, прекращения или замедления реакции деления в активной зоне реактора путем воздействия на приводы СУЗ в соответствии с принятыми извне и сформированными командами управления. По классификации ПБЯ РУ СУОР-И должна относиться к элементам, выполняющим управляющие функции систем, важных для безопасности.

Основными целями разработки СУОР-И являются:

- возможность замены выработавших ресурс и морально устаревших технических средств на функционально-совместимые программно-технические средства, соответствующие современным требованиям по безопасности и современному техническому уровню;
- совершенствование эксплуатационных характеристик СУЗ, увеличение срока службы технических средств;

- существенное расширение функциональных возможностей аппаратуры, направленных на своевременное обнаружение дефицита безопасности, уменьшение времени на его устранение;
- значительное повышение информативности средств визуального наблюдения оперативного персонала щитов управления;
- сокращение времени восстановления компонентов аппаратуры СУЗ за счет разветвленных средств встроенного диагностирования;
- предотвращение аварийных остановов и разгрузок энергоблоков.

## **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ**

Исполнительным механизмом для управления реактивностью реакторной установки (РУ) являются низкооборотные электродвигатели (ЭД) синхронно-реактивного типа РД42-4РВ с 37-ю приводами, которые обеспечивают перемещение кассет АРК в активной зоне реактора.

Электродвигатель служит для создания крутящего момента с целью перемещения рейки с кассетой АРК и удержания их в пределах рабочего хода. Низкая частота питающего напряжения, подаваемая на ЭД, обусловлена малым передаточным отношением редуктора, при котором нужно обеспечить приемлемую для безопасности скорость перемещения кассеты АРК и, следовательно, скорость изменения положительной реактивности (согласно ПБЯ РУ АС-89 должна быть не более 0,07 β/сек). В тормозном режиме (частота питающего напряжения на двигателе равна 0) двигатель удерживает рейку с приводом в заданном положении по высоте активной зоны (АкЗ). Ход вниз, вверх определяется чередованием фаз питающего напряжения ЭД.

Кроме того, вращательное движение двигателя преобразуется в поступательное движение гайки-шунта в датчике положения типа ЛД-1. Внутри корпуса ЛД-1 установлены индукционные катушки, изменение напряжения во вторичной обмотке которых пропорционально положению привода.

## **СОСТАВ И ОСНОВНЫЕ ФУНКЦИИ СУОР-И**

Структурная декомпозиция позволяет выделить из всей совокупности предполагаемых функций СУОР-И ряд функциональных подсистем, представляющих собой совокупность технических и программных средств, объединенных по признаку участия в выполнении однородных функций:

- подсистема контроля и управления приводами (ПКУП);
- подсистема группового управления приводами (ПГУ);
- подсистема электропитания (ПЭ);
- подсистема взаимодействия с оператором (ПВО);
- подсистема контроля и диагностирования состояния технических и программных средств (ПКД).

**Подсистема контроля и управления приводами ПКУП** предназначена для управления электродвигателями по командам подсистемы группового управления, определения зоны положения кассет АРК по сигналам от датчиков типа ЛД-1 и представления ее на индивидуальных индикаторах положения (на БЩУ и РЩУ).

**Подсистема группового управления ПГУ** предназначена для принятия решения и формирования (в соответствии с алгоритмами управления и текущими положениями приводов) управляющих воздействий (команд) в подсистему контроля и управления приводами на основе:

- анализа сигналов от АРМ и органов ручного управления оператора БЩУ,
- по командам аварийных защит от внешних подсистем СУЗ

ПГУ также обеспечивает расчет точного положения приводов в миллиметрах, динамический контроль перемещения кассет АРК.

**Подсистема электропитания ПЭ** предназначена для обеспечения электропитания силовой аппаратуры напряжением 220 V постоянного тока, а также питания части технических средств СУОР-И, аппаратуры РОМ и АРМ трехфазным напряжением переменного тока 220/380 V частотой 50 Hz.

**Подсистема взаимодействия с оператором ПВО** предназначена для обеспечения ручного управления органами регулирования, представления в графическом и цифровом виде информации о текущем положении и состоянии кассет АРК, формирования предупреждений и сигнализации нарушений на мониторе пульта оперативного наблюдения БЩУ. Также должна обеспечивать автоматизацию выполнения тестовых операций «Эксперимент» и «Осциллографирование».

**Подсистема контроля и диагностирования ПКД** предназначена для выполнения контроля работоспособности и правильности функционирования технических и программных средств СУОР-И, а также для регулярного сбора, регистрации и представления в графическом и текстовом видах параметров функционирования СУОР-И. На ПКД также должна возлагаться передача (посредством цифровых сообщений) информации о точном положении кассет АРК в систему внутрореакторного контроля (СВРК)

В общем виде, предполагаемая функциональная схема СУОР-И представлена на рисунке 1.

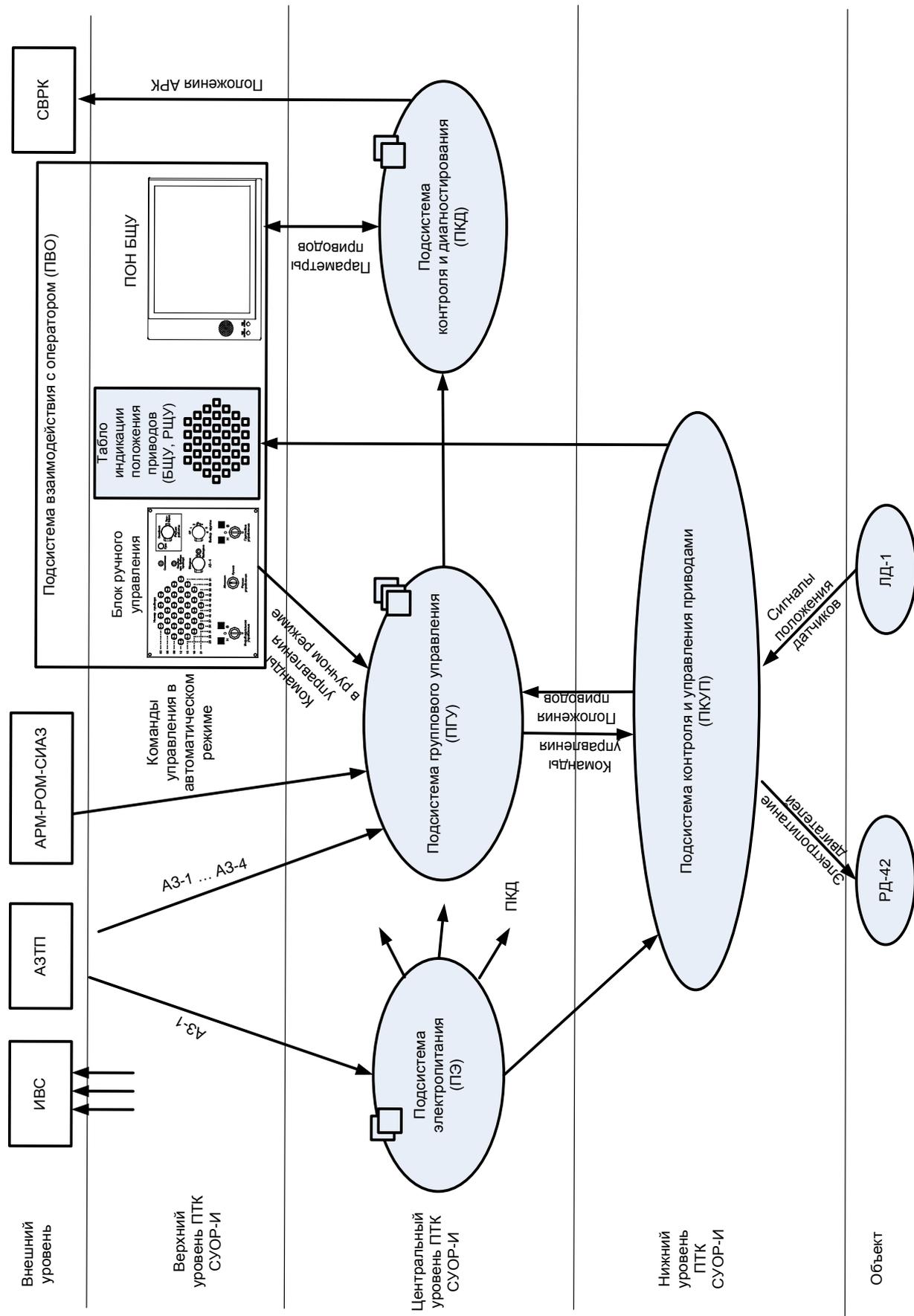


Рисунок 1 – Функциональная схема СУОР-И

## ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ СУОР-И

Для соответствия своему назначению СУОР-И предусматривает следующие режимы функционирования:

- режим начального запуска;
- основной режим;
- режим проверки.

В режиме начального запуска выполняется проверка соответствия состава и конфигурации СУОР-И проекту, контроль работоспособности каждого из узлов в отдельности, линий связи, инициализация исходных данных и при успешном завершении начальных действий осуществляется автоматический переход к основному режиму функционирования. В противном случае – включается вызывная световая сигнализация на БЩУ, а переход к выполнению основных функций не выполняется.

В основном режиме функционирования СУОР-И непрерывно обеспечивает выполнение следующих режимов управления АРК:

- ручной режим управления по командам оператора БЩУ;
- автоматический режим управления по командам от АРМ;
- автоматический режим управления по командам аварийной защиты.

**Ручной режим управления по командам оператора БЩУ** предназначен для управления перемещением кассетами АРК при пуске и останове реактора, при подъеме АРК с НЖУ, а также в других специальных режимах, определенных технологическим регламентом и инструкциями оператора БЩУ.

Ручной режим управления может быть одним из следующих:

- ручной групповой, в жесткой проектной последовательности;
- ручной, одной группой;
- ручной, кассетами АРК в индивидуальном режиме.

**Автоматический режим управления по командам от АРМ** предназначен для управления перемещением кассет АРК при работе реактора на энергетическом уровне мощности. Переход в ручной (по командам оператора БЩУ) или автоматический режим управления (по командам от АРМ) осуществляется по инициативе оператора установкой переключателя выбора режима управления в соответствующее положение.

**Режим управления по командам аварийной защиты** предназначен для аварийного останова или снижения мощности реактора в случае возникновения нарушений в работе самого реактора или оборудования, обеспечивающего его функционирование. Режим управления по командам аварийной защиты обеспечивает один из следующих аварийных режимов:

- быстрый аварийный останов реактора сбросом всех АРК по команде АЗ-1;
- медленный аварийный останов реактора сбросом групп АРК в жесткой проектной последовательности по команде АЗ-2;

- аварийное снижение мощности реактора движением вниз групп АРК в жесткой проектной последовательности по команде АЗ-3;
- аварийный запрет на подъем мощности запрещением отработки команд на движение вверх по команде АЗ-4.

Переход в режим управления по командам аварийной защиты осуществляется автоматически и не зависит от положения переключателя выбора режима управления.

**Режиме проверки СУОР-И** предназначен для выполнения следующих операций:

- имитация застревания одной кассеты АРК при одновременном падении всех остальных кассет АРК (режим “Эксперимент”);
- проверка рабочего хода и падения кассет АРК (режим “Осциллографирование”);
- сброс индивидуальной кассеты АРК.

В режиме проверки СУОР-И должно обеспечиваться выполнение всех основных функций по управлению АРК. Переход в один из режимов проверки и обратно осуществляется по инициативе человека установкой переключателя в соответствующее положение.

Выполнение функций ПТК СУОР-И по управлению органами регулирования должно обеспечивать однозначно определенное изменение состояний АРК в соответствии с принятыми командами и исходными состояниями АРК.

Правила изменения состояния АРК в зависимости от внешних воздействий можно представить в виде графа состояний, приведенного на рисунке 2.

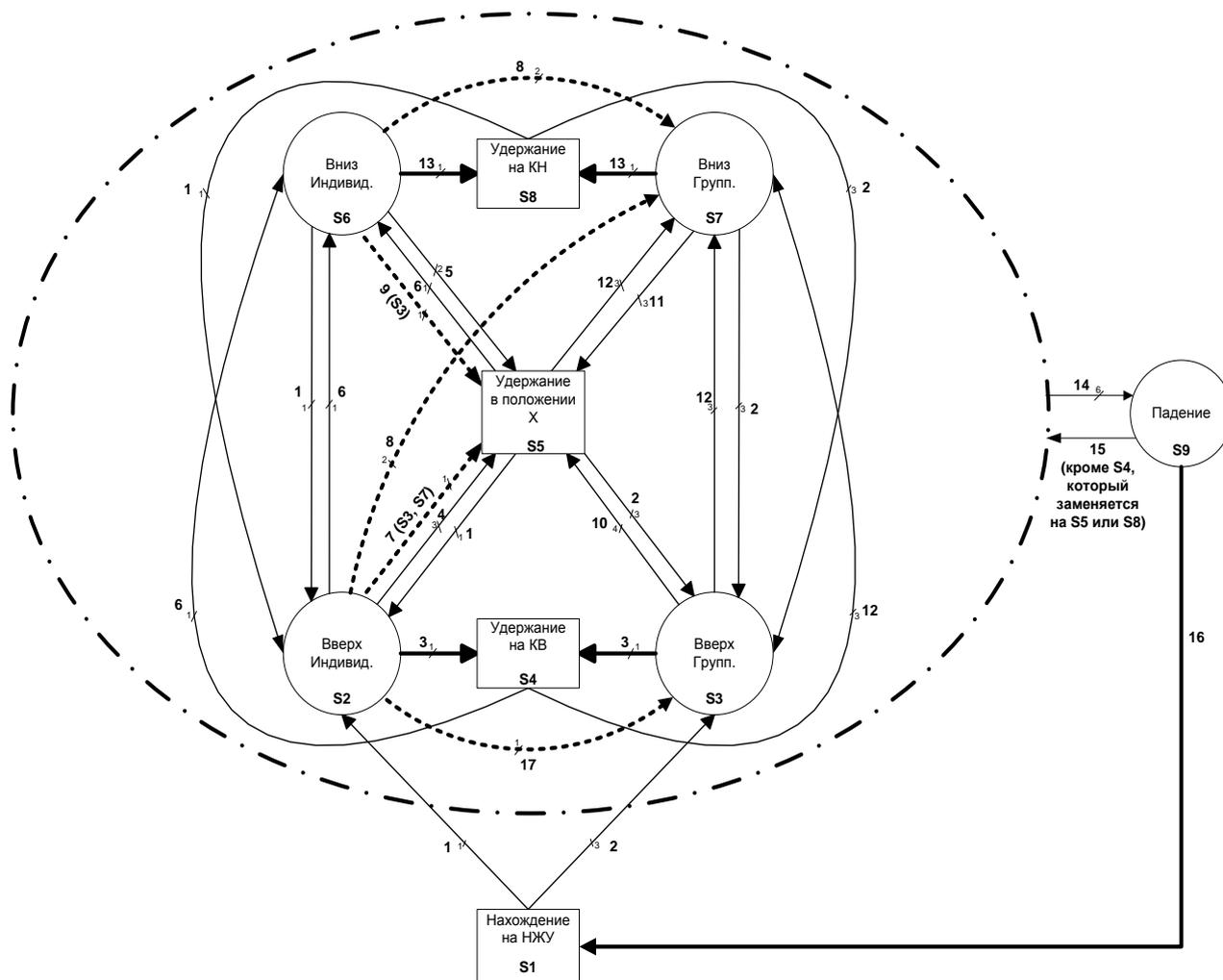


Рисунок 2 – Граф состояний кассеты АРК

Примечания

1 Прямоугольником на рисунке показаны устойчивые состояния, характеризующиеся неизменным положением кассеты АРК.

2 Кругом на рисунке показаны динамические состояния, характеризующиеся динамически меняющимся во времени положением кассеты АРК.

3 Обычной линией со стрелкой (например, линии № 1 или 2) показаны дуги перехода из одного состояния в другое, вызванные внешними воздействиями (изменением команды).

4 Жирной линией со стрелкой (например, линии № 4 или 13) показаны дуги перехода из одного состояния в другое, инициированные ШГУ.

5 Жирной штриховой линией со стрелкой (линии № 7, 8 и 9) показаны дуги перехода из одного состояния в другое, инициированные ШГУ и имеющие свойство возврата в исходное состояние при исчезновении условия.

6 Штрихпунктирной линией выделены состояния S2 – S8, имеющие общие условия перехода в (из) состояние(-я) S9.

## АРХИТЕКТУРНЫЕ АСПЕКТЫ РЕАЛИЗАЦИИ СУОР-И

Для прикладной реализации СУОР-И, обеспечивающей выполнение описанных выше функций необходима разработка комплекта технических средств, обеспечивающих оптимальную реализацию каждой из подсистем.

Учитывая фактор важности выполняемых СУОР-И функций для обеспечения ядерной безопасности, организация информационного взаимодействия между подсистемами должна обеспечивать требуемый уровень функциональной живучести. Учитывая опыт предыдущих разработок, наиболее целесообразной структурной основой построения СУОР-И является двухуровневая локальная сеть с «радиальной» организацией потоков данных (термин «сеть» подразумевает *организованную совокупность абонентов, взаимодействующих по predetermined правилам, называемым «протоколом»*).

**Локальная сеть нижнего уровня (ЛСНУ)** должна состоять из каналов обмена «точка-точка». Каждый канал обмена включает линию связи, предназначенную либо для приёма, либо для передачи информации и совокупность программно-аппаратных средств, обеспечивающих прием или передачу информации по данной линии связи. Для каждого абонента, участвующего в двунаправленном обмене данными, процессы обслуживания канала приема и передачи являются независимыми друг от друга. При этом отсутствие данных по каналу приёма, либо наличие ошибок приёма не влияет на процесс передачи данных, и наоборот – невозможность передачи данных не влияет на процесс приема данных. Выход из строя какого либо канала обмена не влияет на работу остальных каналов и на работу СУОР-И в целом.

Функционально ЛСНУ можно разделить на:

- локальную **управляющую** сеть нижнего уровня (ЛУСНУ) для передачи команд управления и данных, обеспечивающих функционирование СУОР-И;
- локальную **информационную** сеть нижнего уровня (ЛИСНУ) для сбора диагностической информации составных частей СУОР-И.

Предпочтительный физический уровень каналов ЛСНУ- токовая петля (4 - 20 mA) и RS422

**Локальная сеть верхнего уровня (ЛСВУ)** по своим функциям является информационной сетью, предназначенной для обеспечения СВРК и внешних систем энергоблока оперативными данными результатов функционирования, контроля и диагностирования СУОР-И. Предпочтительный физический уровень каналов ЛСВУ:

- среда передачи – оптоволокно, скорость передачи – 100 MBps;
- электрические характеристики – в соответствии со стандартом IEEE 802.3 (Ethernet);

В основу прикладного протокола обмена для ЛСВУ легли требования документа «Техническая спецификация сопряжения ИВС «КОМПЛЕКС АЭС» с локальными системами энергоблока».

Техническое обеспечение предлагаемой реализации СУОР-И требует разработки следующей основной номенклатуры технических средств (наименования коррелируются с привычными для персонала энергоблока терминами):

- шкаф промклеммников (ШПК);
- шкаф управления приводом (ШУП);
- шкаф группового управления (ШГУ);
- шкаф контроля питания (ШКП);
- комплекта шкафов электропитания (ШП-14,15,16; ШРПу, ШРПс);
- шкаф сервера контроля и диагностирования (ШСКД);
- пульта оперативного наблюдения БЩУ (ПОН);
- блока ручного управления БЩУ (БРУ);
- табло индикации положения привода (ТИП).

Обобщенная структурная схема аппаратуры СУОР-И приведена на рисунке 3.

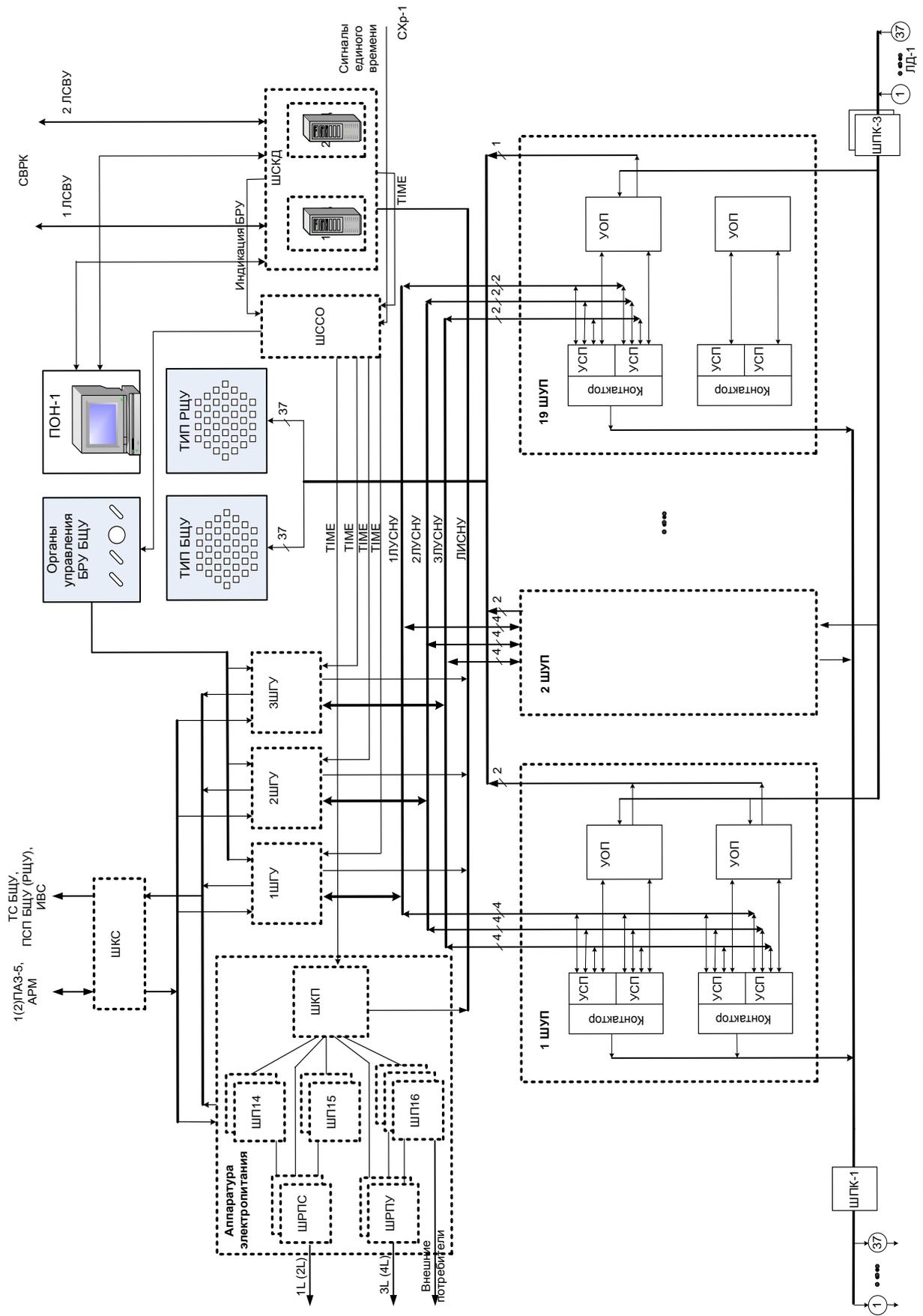


Рисунок 3 – Структурная схема информационного взаимодействия СУОР-И

## ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СУОР-И

К целевым показателям при создании новых компонент СУОР-И (в отличие от действующего электрооборудования управления органами регулирования) относятся:

- дублирование аппаратуры силового управления электродвигателями с функцией автоматического подхвата управления кассетой АРК после перехода с отказавшего канала на резервный;
- исполнение аппаратуры группового и индивидуального управления приводами по трехканальной схеме с полной независимостью каналов;
- определение точного положения в миллиметрах (дискретность – 3,4 mm) и контроль перемещения приводов АРК во всех режимах работы с предоставлением оператору информации на мониторе пульта БЩУ и статистическим накоплением данных в архивах сервера;
- введение диагностирования исправности программно-технических средств со сбором, обработкой, хранением и отображением информации;
- автоматизация проведения испытаний приводов АРК на реакторе (режим “Эксперимент” и режим “Осциллографирование”);
- оповещение оперативного персонала (посредством пульта на БЩУ) о событиях (нарушении работы или состоянии приводов АРК), требующих принятия решений;
- визуализация текущего состояния АРК на видеокадрах пульта оперативного наблюдения БЩУ и сервера контроля и диагностирования.

## ОЖИДАЕМЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СУОР-И

Основные точностные характеристики СУОР-И приведены в таблице 1.

Таблица 1

Наименование	Единица измерения	Значения
1 Предел допускаемой абсолютной погрешности позиционирования, не более	mm	±15
2 Предел допускаемой абсолютной погрешности индикации положения АРК	mm	±3,5
3 Дискретность индикации положения АРК, не более	mm	3,5
4 Предел допускаемой относительной погрешности сигнализации отклонений, не более	%	5

Основные временные характеристики СУОР-И приведены в таблице 2.

Таблица 2

Наименование характеристик	Значение	Примечание
1 Период обработки сигналов датчика ЛД-1, ms, не более	23	-
2 Период обработки данных в ШГУ, ms, не более	20	-
3 Период обновления данных в ШГУ, ms, не более	40	-
4 Задержка формирования команд аварийных защит АЗ-1, АЗ-2, АЗ-3, ms, не более	100	От момента поступления сигнала АЗ в ШГУ до появления управляющего воздействия на электродвигателе
5 Задержка оповещения персонала (сигнализации) о нарушениях, s, не более	1	В момент обнаружения до формирования сигнала на табло сигнализации БЩУ и в аппаратуру сигнализации первопричины
6 Задержка оповещения персонала о результатах технического диагностирования, s, не более	60	-
7 Период обновления данных на мониторе пульта оперативного наблюдения БЩУ, s, не более	2	-
9 Период выдачи данных в СВРК, s, не более	1	-
10 Точность фиксации событий по времени, ms, не более	$\pm 1$	По отношению к единому времени энергоблока
11 Время накопления информации в оперативном архиве, h, не менее	48	-
12 Время включения в работу после передачи электропитания для компонент, обеспечивающих выполнение управляющих функций s, не более	60	Не требует вмешательства персонала

## **АПРОБАЦИЯ ОСНОВНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ**

Для подтверждения реализуемости концептуальных технических решений и подтверждения ожидаемых характеристик, были проведены мероприятия по реальной их апробации на энергоблоке РАЭС 2. При этом был разработан прототип аппаратуры управления приводом АРК и включен в 2005 г. в управление 37 приводом РУ. Успешные результаты работы подтвердили правильность принятия основных технических решений.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Использование аппаратуры СУОР-И в качестве оборудования АСУ ТП при модернизации (реконструкции) СУЗ реакторной установки типа ВВЭР-440 позволяет повысить безопасность эксплуатации РУ, вывести на более высокий уровень надежности и увеличить срок службы технических средств за счет существенного расширения функциональных возможностей аппаратуры, направленных на своевременное обнаружение дефицита безопасности, уменьшение времени на его устранение и значительное повышение информативности средств визуального наблюдения оперативного персонала щитов управления.

Основными качественными признаками реализации этой аппаратуры являются:

- минимизация используемых дискретных компонент;
- переход к высокоскоростным радиальным цифровым каналам передачи сигналов взамен магистральных и индивидуальных электрических соединений;
- наличие автономных встроенных средств контроля и диагностики с независимым каналом передачи сообщений.

Разработанная аппаратура СУОР-И за счет гибкой адаптируемости аппаратных интерфейсов позволит обеспечить поэтапное внедрение новых технических средств (выполнить модернизацию смежных подсистем СУЗ) наряду с наличием фрагментов устаревшей аппаратуры.

### **Литература**

1. М.А. Ястребенецкий, В.М. Васильченко и др. Безопасность атомных станций. Информационные и управляющие системы. Под ред. М.А. Ястребенецкого.-К.:Техніка. 2004. - 472 с.

**К.Е. ГЕРАСИМЕНКО, В.И. ДЕДУХНО, О.Н. ЗАРЕМСКАЯ, В.И. ЯЩЕНКО**

*ЗАО «Северодонецкое научно-производственное объединение „Импульс”»*

## **СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К МОДЕРНИЗАЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ АСУ ТП АЭС НА ПРИМЕРЕ СИСТЕМЫ АВАРИЙНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ АКТИВНОЙ ЗОНЫ РЕАКТОРА ВВЭР-440**

Рассматриваются вопросы модернизации оборудования АСУ ТП, реализующего функции защит в системе аварийного охлаждения активной зоны реакторной установки типа ВВЭР-440.

### **Введение**

Необходимость модернизации оборудования существующих АСУ ТП энергоблоков с реакторами ВВЭР-440 обусловлена следующими причинами [1]:

- целесообразность продления сроков эксплуатации энергоблоков;
- увеличение количества отказов по мере истечения срока службы технических средств;
- несоответствие эксплуатируемого оборудования требованиям современных НТД по пожаробезопасности, сейсмостойчивости [2], ЭМС, диагностированию;
- отсутствие систем информационной поддержки персонала;
- громоздкость (большое количество шкафов), что требует значительных трудозатрат обслуживающего персонала.

### **1 Подходы к модернизации**

Модернизация предполагает замену выработавшего эксплуатационный ресурс и морально устаревшего оборудования, установленного на энергоблоках ВВЭР-440 на новое современное оборудование [3].

При модернизации АСУТП применяются подходы, учитывающие следующие основные особенности и требования к технологии выполнения работ и новому оборудованию АСУТП:

- соблюдение требований нормативных документов в области ядерной безопасности;
- фрагментарность выполнения работ, ограниченная сроками планово-предупредительных ремонтов;
- невозможность изменения конструкций здания и коммуникаций;
- необходимость полной замены всей кабельной продукции;

- максимальное внедрение принципа «многократного использования одного измерения»;
- обеспечение возможности гибкой адаптации аппаратных и программных интерфейсов, обеспечивающей поэтапное внедрение новых технических средств наряду с наличием фрагментов устаревшей аппаратуры;
- обеспечение возможности изменения диапазонов в аппаратуре нормализации и преобразования сигналов от датчиков.

## **2 Область применения**

КТЗ-И ориентирован на применение в качестве оборудования АСУТП при реконструкции (модернизации) действующих и создании новых управляющих систем безопасности и систем нормальной эксплуатации. КТЗ-И является элементом управляющей системы безопасности (УСБ), относится к классу безопасности 2 и имеет классификационное обозначение 2У в соответствии с НП 306.1.02/1.034 [4] и НП 306.5.02/3.035 [5].

Одна из областей практического применения КТЗ-И - система аварийного охлаждения активной зоны (далее - САОЗ) водо-водяного энергетического реактора ВВЭР-440, предназначенная для отвода тепла от активной зоны реактора с целью экстренного перевода защищаемого технологического оборудования в безопасное состояние после срабатывания аварийной защиты.

САОЗ состоит из трёх идентичных независимых каналов. КТЗ-И применяется в качестве центральной части оборудования АСУТП каждого канала САОЗ.

## **3 Анализ состава и функций КТЗ-И**

КТЗ-И соответствует требованиям НП 306.1.02/1.034, НП 306.5.02/3.035 к ПТК.

КТЗ-И рассчитан на режим круглосуточной непрерывной работы с учетом проведения технического обслуживания и ремонта (восстановления).

Состав КТЗ-И с указанием принадлежности входящих устройств к классам безопасности, группам условий эксплуатации и размещения приведен в таблице 1.

КТЗ-И выполняет следующие основные функции:

- приём и первичную обработку входных непрерывных и дискретных сигналов, определение текущих значений технологических параметров;
- сравнение текущих значений технологических параметров с заданными граничными значениями (уставками), выполнение вычислительных и логических операций в соответствии с алгоритмами срабатывания защит;
- логическую обработку в каждом канале (УКЗ) сигналов, которые формируются в нём самом и в двух других каналах (УКЗ) при идентификации исходного события срабатывания защиты;

- формирование и выдачу команд защиты (сигналов включения ИМ, запрета включения и других) при выходе контролируемых технологических параметров за пределы установленных граничных значений (уставок) и/или по другим условиям срабатывания защиты;
- формирование и выдачу на БЦУ и РЦУ сигналов при выходе текущих значений технологических параметров за пределы установленных граничных значений и при обнаружении неисправностей технических средств, контролирующих выход параметров за пределы уставок;
- формирование и выдачу в ИВС сигналов о срабатывании САОЗ по отдельным видам защит;
- приём сигналов от сети единого всемирного координированного времени, счёт времени с помощью встроенных средств, синхронизацию результатов независимого счёта с сетью единого времени.

Таблица 1 - Состав КТЗ-И

Наименование	Количество	Класс безопасности	Группа условий эксплуатации
1 Рабочая станция ПС5120.21	1	3Н	2.2
2 Шкаф выходных реле ШВР-1	1	2У	2.2
3 Шкаф выходных реле ШВР-2	1	2У	2.2
4 Комплекс управляющий вычислительный МСКУ 3.01/002 АС	3	2У	2.2
5 Стойка сервисного оборудования ССО	1	4	2.2

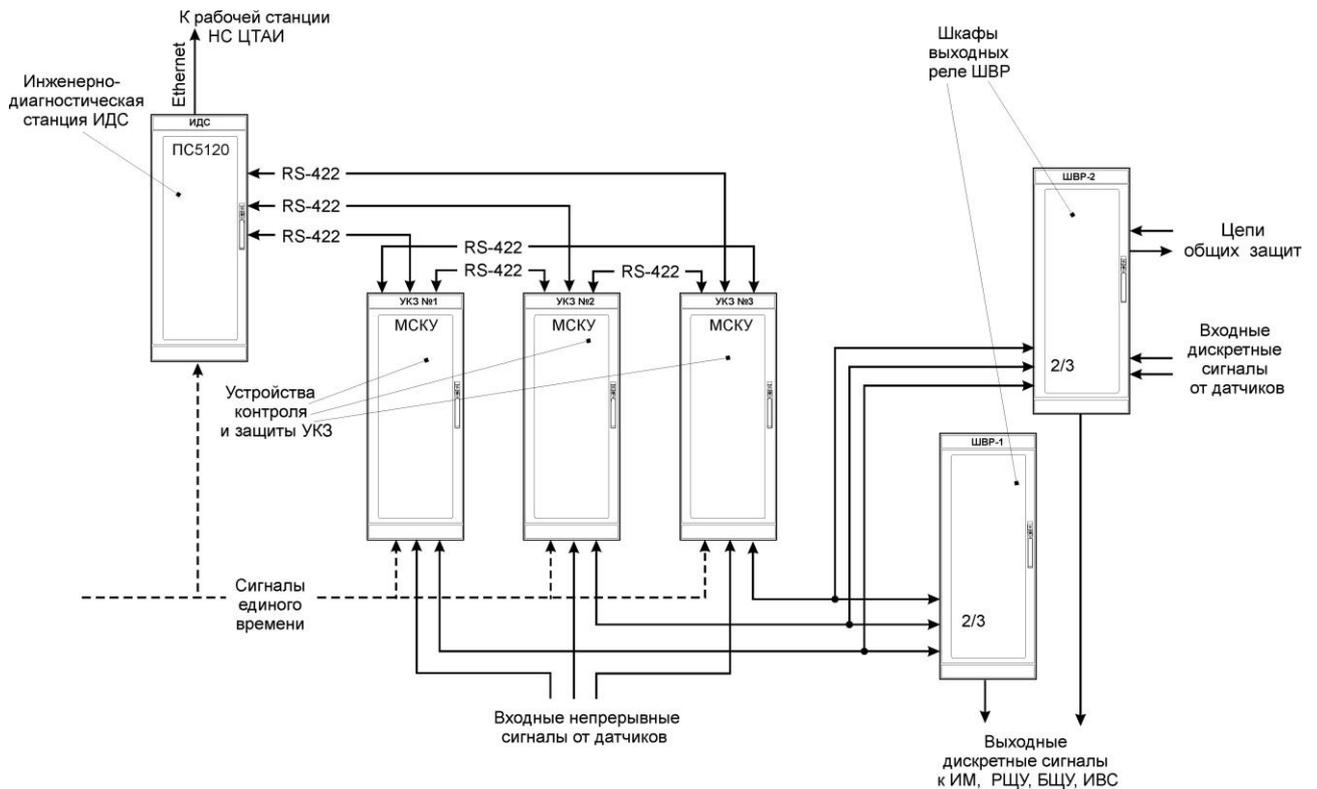
КТЗ-И функционирует в следующих режимах посредством перевода переключателя панели опробования в одно из положений:

- режим «Работа»;
- режим «Опробование».

В режиме «Работа» КТЗ-И выполняет все основные функции и следующие вспомогательные функции:

- непрерывный автоматический контроль входных и выходных непрерывных и дискретных сигналов, архивирование, отображение и регистрацию данных о текущих значениях технологических параметров, состоянии технологического оборудования, срабатывании защит и условиях, вызвавших эти срабатывания (далее – данные о первопричинах срабатывания);
- непрерывный автоматический контроль технического состояния аппаратных средств (УКЗ, ШВР-1, ШВР-2) и программного обеспечения, архивирование, отображение и регистрацию данных о времени, месте и характере обнаруженных дефектов.

В режиме «Опробование» КТЗ-И обеспечивает выполнение вспомогательных функций и следующих дополнительных вспомогательных



функций:

Рисунок 1 - Структурная схема одного канала САОЗ при использовании КТЗ-И

- автоматизированный периодический контроль (опробование) технического состояния аппаратных и программных средств с помощью проверяющих тестов (без нарушения входных цепей);
- автоматизированная проверка исправности путём имитации условий срабатывания защит и автономной проверки технических средств из состава КТЗ-И с использованием ССО;
- автоматизированная поверка (калибровка) измерительных каналов.

В КТЗ-И предусмотрена возможность блокировки срабатывания уставок по каждому из входных сигналов посредством перевода тумблера в положение ВКЛЮЧЕНО на соответствующем устройстве блокировки технологических параметров. При блокировании входного сигнала предусмотрена выдача сигнала «Неисправность» в схему технологической сигнализации на БЩУ по данному технологическому параметру.

Устройства блокировки по каждому входному сигналу имеют ограниченный доступ.

## 4 Анализ технических характеристик КТЗ-И

Количество входных сигналов:

- от датчиков давления, уровня, расхода – 18 (от 0 до 5 мА);
- от датчиков скорости падения давления – 6 (от 4 до 20 мА);
- от преобразователей температуры – 6 (от 0 до 5 мА);
- от сигнализаторов уровня – 4 («сухой контакт»).

Количество выходных сигналов:

- команды защит на исполнительные механизмы – 169;
- команды запретов на включение/отключение ИМ – 116;
- сигналы сигнализации на БЩУ – 19;
- информационные сигналы в ИВС – 7.

Устройство контроля и защиты УКЗ (МСКУ 3) из состава КТЗ-И обеспечивает:

- ввод и обработку входных аналоговых и дискретных сигналов;
- сравнение с заданными уставками и формирование дискретных сигналов;
- выполнение вычислительных и логических операций в соответствии с алгоритмами защиты, блокировки и сигнализации;
- формирование и выдачу управляющих сигналов (сигналов защит, блокировок и сигнализации) в шкафы выходных реле ШВР;
- формирование и передачу информации в инженерно-диагностическую станцию ИДС (ПС5120);
- непрерывный автоматический контроль технического состояния устройств контроля и защиты УКЗ (МСКУ 3).

Инженерно-диагностическая станция ИДС (ПС5120) из состава КТЗ-И обеспечивает:

- прием и обработку данных от каждого устройства контроля и защиты УКЗ (МСКУ 3);
- визуализацию текущей диагностической и технологической информации;
- ведение протокола событий и нарушений по каждому из устройств контроля и защиты УКЗ (МСКУ 3);
- ведение протоколов выполнения периодического тестирования в режиме «Опробование»;
- архивирование информации;
- просмотр архивных параметров на экране монитора;
- передачу информации в стойку сервисного оборудования ССО при проведении периодического контроля технического состояния КТЗ-И в период ППР;
- передачу информации в другие системы по сети Ethernet.

В шкафу выходных реле ШВР размещается оборудование исполнительной части КТЗ-И, обеспечивающее интерфейс с объектовыми

входными и выходными цепями высокого напряжения, а также оборудование, обеспечивающее пользовательский интерфейс при эксплуатации (блок опробования, панели блокировок и т.п.). В состав ШВР входят:

- две взаиморезервирующие группы блоков выходных реле (БР-36) управления исполнительными механизмами, управляемые по мажоритарной схеме «2 из 3-х»; общее число выходных резервированных каналов ШВР - 64 шт. (количество резервированных контактов: НО - 256 шт., НЗ - 256 шт.);

- по два взаиморезервирующих источника питания цепей управления блоками реле для каждой группы с двумя режимами функционирования: 27 В - РАБОТА, 6 В - ОПРОБОВАНИЕ;

- блок опробования для перевода из режима РАБОТА в режим ОПРОБОВАНИЕ (и обратно), а также выбора режима автоматической проверки работоспособности оборудования;

- две взаиморезервирующие группы блоков выходных реле (БР-37) управления исполнительными механизмами, управляемые от цепей с напряжением 220 В постоянного тока: общих защит и дистанционного (индивидуального) управления от БЩУ, РЩУ;

- устройства блокировки технологических параметров защит по любому из входных сигналов посредством ручного перевода соответствующего тумблера на панели блокировки.

- нормализаторы входных дискретных сигналов напряжения 220 В постоянного тока.

Параметры коммутируемых электрических цепей для БР:

- коммутируемый переменный ток - от 0,06 до 1 А;
- коммутируемое напряжение переменного тока - до 250 V;
- коммутируемый постоянный ток - до 0,3 А;
- коммутируемое напряжение постоянного тока – от 24 до 220 V;
- коммутируемая мощность, W/V\*А, не более – 120/1250;
- сопротивление контактов реле – не более 0,1 Ω;
- время срабатывания реле – не более 15 ms.

Стойка сервисного оборудования ССО из состава КТЗ-И обеспечивает:

- периодическую проверку исправности КТЗ-И в автоматизированном режиме (по командам оператора);

- калибровку измерительных каналов КТЗ-И;

- формирование и выдачу аналоговых и дискретных сигналов в соответствии с программой проверяющих тестов;

- прием информации от инженерно-диагностической станции ИДС (ПС5120) по сети Ethernet;

- формирование и хранение протоколов проверки КТЗ-И и протоколов поверки измерительных каналов КТЗ-И, а также копирования протоколов на магнитооптические носители информации.

После включения электропитания технических средств автоматизации КТЗ-И автоматически контролируются:

- работоспособность УКЗ (МСКУ 3) №1- №3, ШВР-1, ШВР-2, ИДС (ПС5120);
- отсутствие искажений в программах и данных, хранящихся в постоянной памяти УКЗ (МСКУ 3) №1 - №3;
- соответствие состава и конфигурации КТЗ-И проектным характеристикам;
- соответствие загруженной версии ПО УКЗ (МСКУ 3) №1- №3 и ИДС (ПС5120) фактическому составу и конфигурации КТЗ-И;
- исправность цепей передачи сигналов и команд КТЗ-И;
- правильность обмена сообщениями по цифровым линиям связи между УКЗ (МСКУ 3) №1 - №3 и передачи информации в ИДС (ПС5120).

Переход к выполнению основных функций КТЗ-И возможен только в случае, если при контроле технического состояния КТЗ-И после включения питания дефекты не обнаружены.

В процессе работы КТЗ-И производится непрерывный автоматический контроль:

- наличия электропитания УКЗ (МСКУ 3) (уровень вторичного напряжения);
- достоверности непрерывных и дискретных входных сигналов;
- отсутствия ошибок при обмене данными между устройствами контроля и защиты УКЗ (МСКУ 3);
- отсутствия ошибок при передаче информации от устройств контроля и защиты УКЗ (МСКУ 3) в инженерно-диагностическую станцию ИДС (ПС5120);
- отсутствия сбоев, вызвавших прекращение выполнения программ посредством контроля загруженности процессора с целью защиты от закливания программ, контроля допустимой продолжительности выполнения программ (использование аппарата «watch-dog»);
- положения дверей, температуры, задымленности шкафов УКЗ (МСКУ 3), ШВР-1, ШВР-2.

## **5 Анализ программного обеспечения КТЗ-И**

Программное обеспечение (ПО) КТЗ-И соответствует требованиям, предъявляемым к ПО по обеспечению ядерной и радиационной безопасности АЭС [6]. ПО КТЗ-И состоит из:

- программного обеспечения устройства контроля и защиты УКЗ (МСКУ 3) класса безопасности 2 по реализации функций защиты и блокировки;
- программного обеспечения инженерно-диагностической станции ИДС (ПС5120) класса безопасности 3 по реализации функций непрерывного и периодического контроля технического состояния КТЗ-И в режиме «Опробование»;

- программного обеспечения стойки сервисного оборудования ССО класса безопасности 4 по реализации функций проверки исправности КТЗ-И и поверки (калибровки) измерительных каналов КТЗ-И.

ПО устройства контроля и защиты УКЗ (МСКУ 3) имеет модульную структуру. Текст одного модуля содержит ограниченное количество операторов, имеет ясную структуру, легко модифицируется и тестируется, использование прерываний ограничено приемом сигналов от таймера. ПО УКЗ (МСКУ 3) осуществляет непрерывный автоматический контроль технического состояния и определяет неисправность до сменной единицы (блок, модуль) технических средств.

Программное обеспечение обеспечивает возможность проведения периодического контроля технического состояния КТЗ-И и самодиагностику (самоконтроль) программных средств.

Реализация программами непрерывного автоматического контроля не влияет на выполнение программ по реализации функций защиты.

ПО обеспечивает защиту от ошибок обслуживающего персонала и защиту от несанкционированного доступа.

### **Заключение**

Использование КТЗ-И в качестве оборудования АСУТП при реконструкции (модернизации) САОЗ реакторной установки типа ВВЭР-440 позволяет:

- заменить выработавшее ресурс и морально устаревшее оборудование АСУТП действующих САОЗ современными программно-техническими средствами;

- повысить надежность (безотказность, ремонтпригодность, долговечность) по сравнению с оборудованием АСУТП, применяемым в действующих САОЗ;

- обеспечить соответствие оборудования АСУТП требованиям действующих в Украине норм и правил по ядерной и радиационной безопасности;

- повысить качества (глубины, достоверности, оперативности) диагностирования технологического оборудования САОЗ и собственных технических и программных средств КТЗ-И;

- улучшить информационную поддержку персонала при использовании по назначению и обслуживании КТЗ-И, уменьшение вероятности ошибочных действий персонала.

- фиксировать изменения состояний входных и выходных сигналов до и после возникновения исходного события, вызвавшего срабатывание защиты;

- оперативно отображать данные о состоянии технологического оборудования и работе САОЗ;

- обеспечить возможность увеличения объема данных, передаваемых в информационно-вычислительную систему (ИВС) энергоблока;

- производить архивирование событий и состояний в реальном времени (для последующего анализа) и хранение архивных данных за длительный период;
- контролировать и отображать состояние оборудования технологических защит (КТЗ-И) в процессе эксплуатации;
- выдавать сигналы тревоги при обнаружении дефектов, определять их место, отображать, архивировать и регистрировать диагностические сообщения,
- упростить проверку готовности САОЗ и КТЗ-И перед пуском энергоблока и сократить время проверки;
- уменьшить затраты времени и риск возможных ошибок при техническом обслуживании оборудования технологических защит;
- автоматизировать операции периодического контроля (опробования) и проверки исправности КТЗ-И, а также документирования их результатов;
- обеспечить срок службы компонентов оборудования АСУТП в составе САОЗ, соответствующий установленному сроку службы энергоблока.

### Литература

2. М.А. Ястребенецкий, В.М. Васильченко и др. Безопасность атомных станций. Информационные и управляющие системы. Под ред. М.А. Ястребенецкого.-К.:Техніка. 2004. - 472 с.
3. ПНАЭ Г-5-006-87. Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций.
4. М.Н. Михайлов Современное состояние энергоблоков АЭС // Ядерные измерительно-информационные технологии 2004 № 3. - С. 3 – 10.
5. НП 306.1.02/1.034-2000. Загальні положення забезпечення безпеки атомних станцій.
6. НП 306.5.02/3.035-2000. Норми и правила з ядерної та радіаційної безпеки. Вимоги з ядерної та радіаційної безпеки до інформаційних і керуючих систем, важливих для безпеки атомних станцій.
7. В.С. Харченко, М.А. Ястребенецкий, В.Н. Васильченко Нормирование и оценка безопасности информационных и управляющих систем АЭС (7): регулирующие требования к программному обеспечению // Ядерная и радиационная безопасность, 2002, № 1. – С. 18 – 33.

**В.И. ЯЩЕНКО, В.И. ДЕДУХНО, К.Е. ГЕРАСИМЕНКО,  
С.В. НОВОСЕЛЬЦЕВ**

*ЗАО «Северодонецкое научно-производственное объединение „Импульс”»*

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ**

Рассматривается система автоматического управления газоперекачивающим агрегатом нового поколения на базе микропроцессорных систем контроля и управления МСКУ.

### **Введение**

Северодонецкое научно-производственное объединение «Импульс» имеет многолетний опыт разработки микропроцессорных средств контроля и управления, а также систем автоматизации в различных областях промышленности.

Системы автоматизации с использованием технических средств СНПО «Импульс» на протяжении длительного времени работают в различных отраслях промышленности, в первую очередь в атомной и газотранспортной, где за время эксплуатации показали высокие технические и надежность характеристики.

В настоящее время в СНПО «Импульс» разработана система автоматического управления газоперекачивающим агрегатом, которая относится к новому поколению систем автоматизации технологических процессов на базе микропроцессорных систем контроля и управления МСКУ, при разработке которых в максимальной степени учтен опыт построения и эксплуатации систем предыдущих поколений, а также использованы передовые архитектурные и технологические решения ведущих зарубежных фирм, таких как Intel, Motorola и др.

При разработке САУ ГПА использован комплекс технических решений, направленных в первую очередь на обеспечение повышенной живучести и надежности системы.

Приобретая САУ ГПА производства СНПО «Импульс», заказчик получает весь современный набор функций (в том числе – функции регулирования), современную систему представления информации, открытые средства сопряжения с другими системами.

### **Характеристика системы**

Функции управления:

- проверка пусковой готовности;
- проверка исправности каналов защиты ГПА;
- «холодная» прокрутка двигателя;

- автоматический пуск ГПА с автоматическим выводом его на заданный режим и поддержание режима работы в соответствии с заданием, выдаваемым оператором-технологом;
- нормальный останов;
- аварийный останов со стравливанием или без стравливания газа;
- антипомпажное регулирование;
- автоматическое управление дозатором двигателя;
- автоматическое управление исполнительными механизмами и кранами газовой обвязки агрегата;
- отработка режимов работы, задаваемых оператором;
- автоматическая защита по технологическим параметрам;
- дистанционное управление исполнительными механизмами с панели управления и от рабочей станции;
- автоматический перезапуск, с интервалом 3 с, вспомогательных механизмов по заданному алгоритму;
- экстренный останов ГПА по заданному алгоритму ЭО по команде оператора.

#### Функции контроля:

- автоматический непрерывный контроль исправности цепей управления особо ответственными исполнительными механизмами и вспомогательным оборудованием ГПА;
- автоматический непрерывный контроль цепей аналоговых датчиков и цепей дискретных датчиков, участвующих в аварийных защитах;
- контроль состояния оборудования и отклонений технологических параметров при достижении параметрами предельных значений (уставок);
- автоматический контроль исправности САУ ГПА на уровне блоков;
- защита программного обеспечения САУ ГПА от несанкционированного доступа.

#### Информационные функции:

- непрерывный контроль технологических параметров, в том числе измерение и представление по вызову оператора на экране рабочей станции аналоговых параметров САУ ГПА с одновременным указанием уставок (предупредительных и аварийных);
- вызов группы контролируемых параметров по желанию оператора с отображением в виде трендов;
- отображение вычисляемых параметров;
- представление на экране рабочей станции мнемосхем агрегата с указанием значений контролируемых параметров и положений исполнительных механизмов;
- постоянное представление на цифровых табло температуры газа перед СТ, частоты вращения СТ и перепада давлений «масло-газ»;
- отображение, звуковая и мигающая световая сигнализации при достижении технологическими параметрами предупредительных и аварийных уставок;
- представление информации о невыполненных предпусковых условиях;

- представление информации об основных режимах работы агрегата: «ГОТОВ К ПУСКУ», «АВТОМАТИЧЕСКИЙ ПУСК», «КОЛЬЦО», «МАГИСТРАЛЬ», «НОРМАЛЬНЫЙ ОСТАНОВ», «Требование НО», «АВАРИЙНЫЙ ОСТАНОВ», «ЭКСТРЕННЫЙ ОСТАНОВ»;

- запоминание сигналов, вызвавших аварийный останов, а также значений основных параметров агрегата, положения исполнительных механизмов и кранов при срабатывании защиты с возможностями ретроспективного анализа состояния агрегата (с дискретностью 0.1 сек) за 10 мин до начала аварии и 5 мин после аварии;

- формирование массивов текущей и ретроспективной информации в виде непрерывно обновляемых массивов данных технологических параметров, режимов работы, отклонения от заданных уставок и действий оператора;

- обмен информацией с системой управления высшего уровня.

### **Структура системы**

По технической реализации структура САУ ГПА состоит из шкафа контроля и управления (ШКУ) и рабочей станции оператора ГПА (РСО). Структура САУ ГПА приведена на рис. 1.

РСО предназначена для визуализации процесса функционирования ГПА и дистанционного управления оператором (рис. 2). Панельный компьютер с цветным сенсорным экраном АМВ-2053НТТ является основным техническим средством, которое обеспечивает диалог оператора ГПА с системой управления. При помощи сенсорного экрана оператор получает всю необходимую информацию о состоянии объекта автоматизации и производит действия по управлению ГПА. Кроме того, в состав РСО входят пульт дистанционного управления и цифровые индикаторы МТМ310.

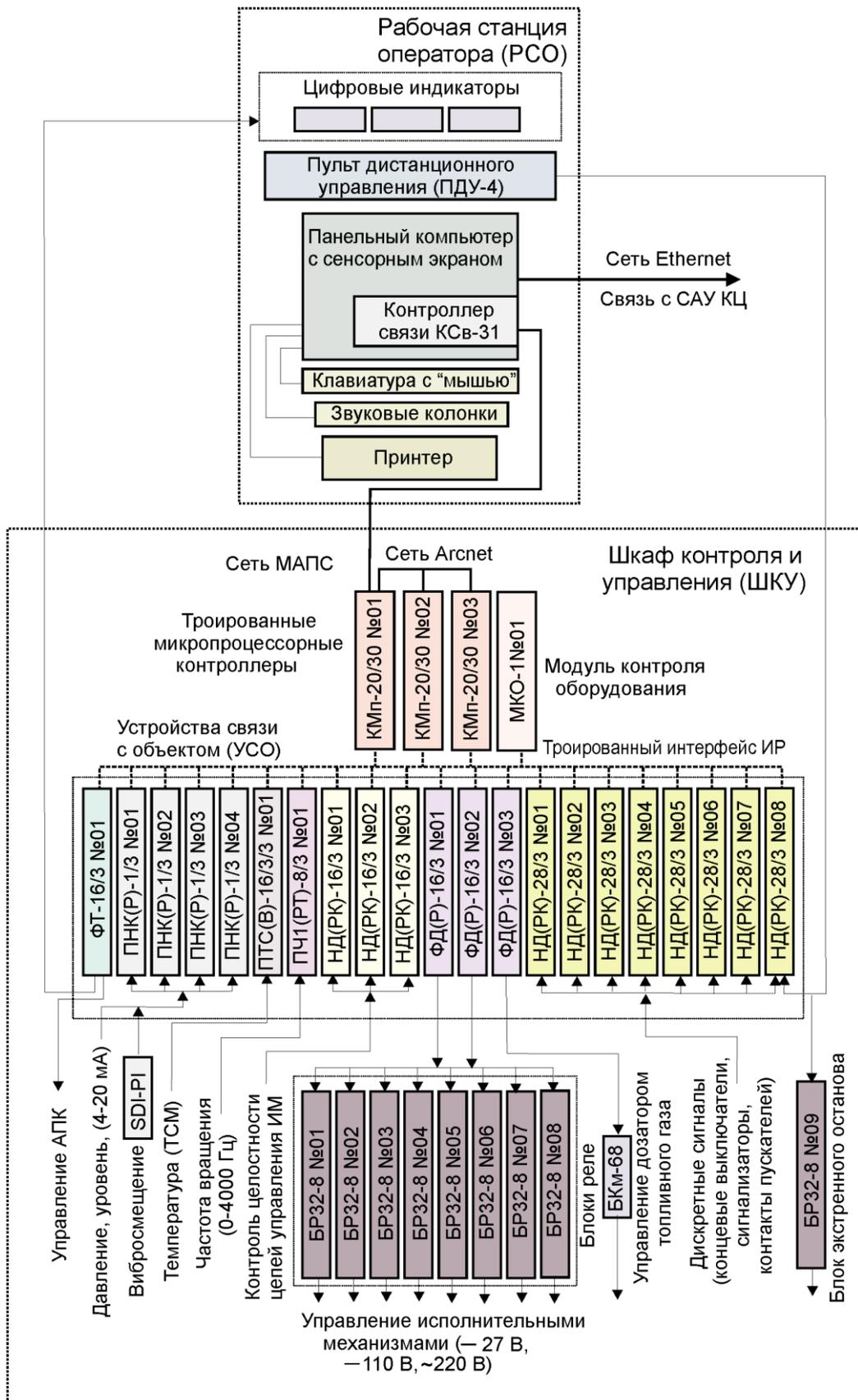


Рисунок 1 - Структура САУ ГПА

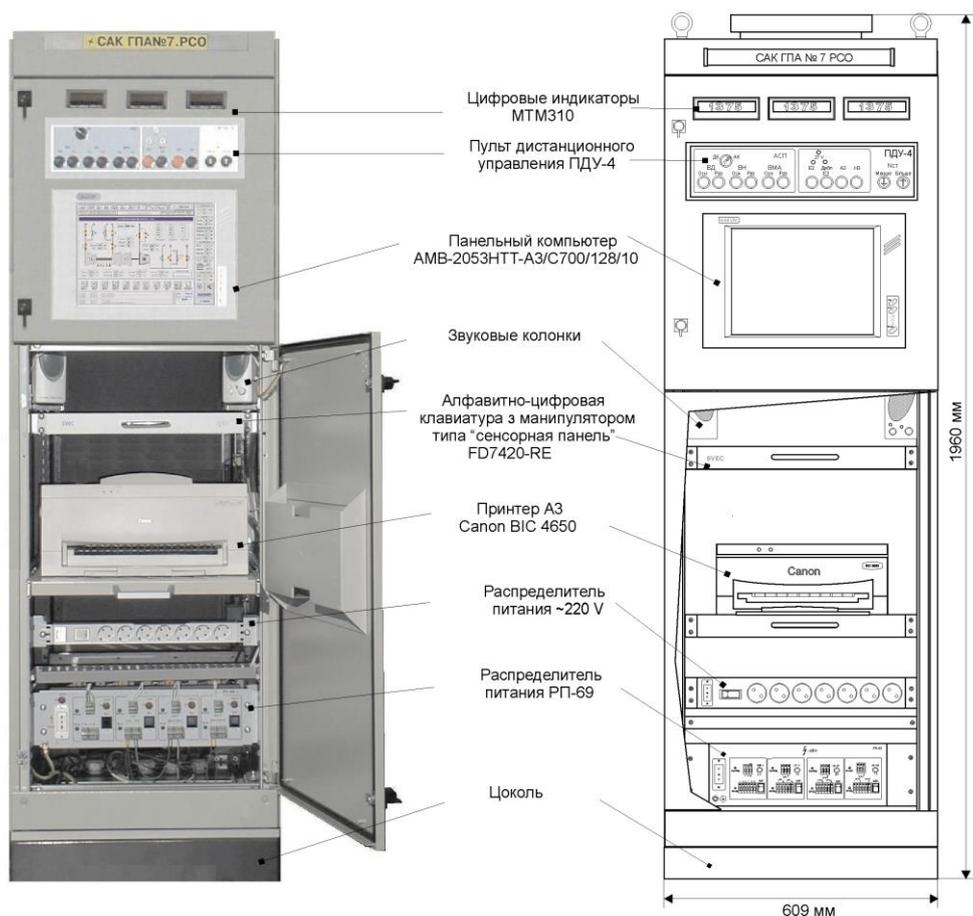


Рисунок 2 - Рабочая станция оператора РСО

ШКУ в составе САУ ГПА предназначен для ввода, обработки входных сигналов и выдачи управляющих сигналов и состоит из микропроцессорной системы управления, источников питания и коммутационного оборудования (блоков реле для управления исполнительными механизмами), источников питания первичных измерительных преобразователей, барьеров искробезопасности для первичных преобразователей вибро смещения, а также панелей соединительных (ПСд) для подключения межшкафных и объектовых кабелей (рис. 3 и 4).

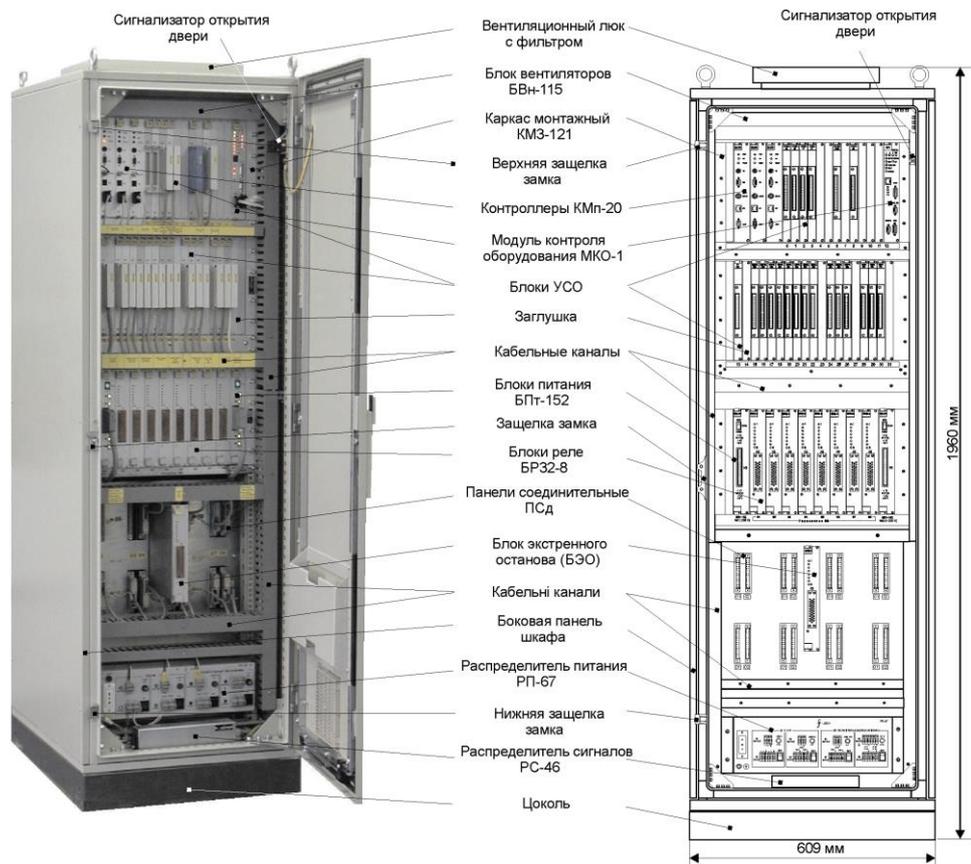


Рисунок 3 - Шкаф контроля и управления ШКУ (передняя сторона)

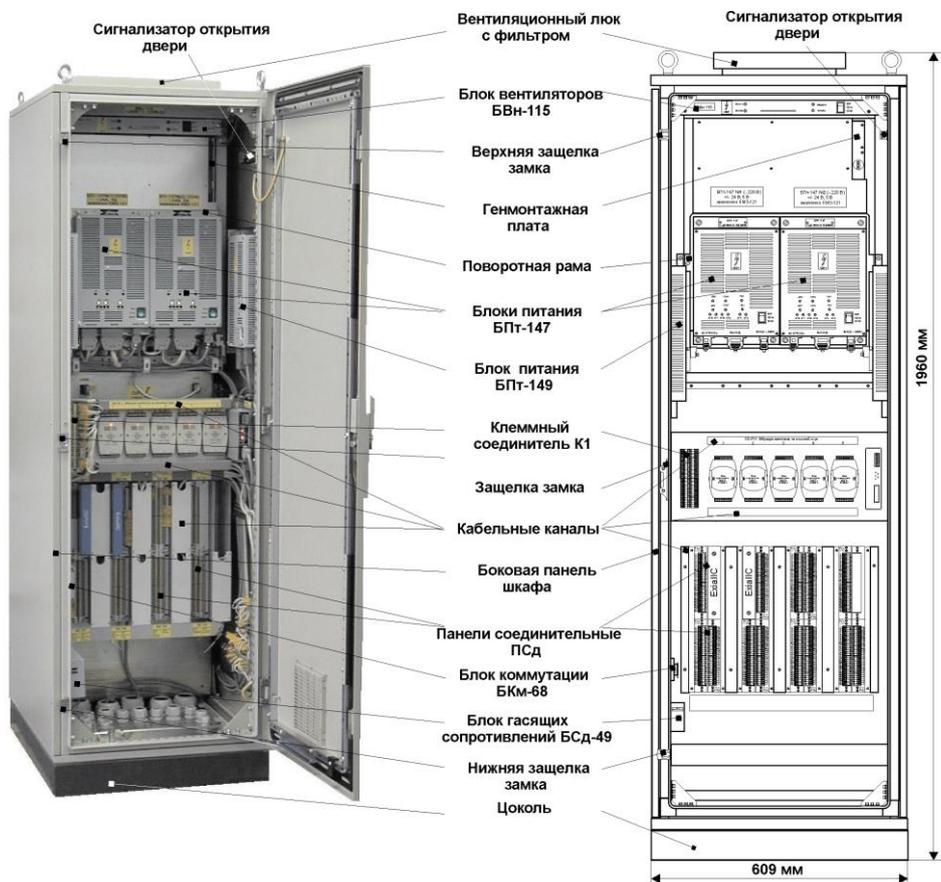


Рисунок 4 - Шкаф контроля и управления ШКУ (задняя сторона)

Питание технических средств САУ ГПА осуществляется от двух независимых стационарных источников питания:  $\sim 220\text{ В} + 10\%$ , минус 15 % переменного напряжения (основной источник питания),  $- 220\text{ В} \pm 20\%$  (резервный источник питания) и  $- 27\text{ В} \pm 10\%$  постоянного напряжения. Частота переменного напряжения от 49 до 51 Гц (рис. 5).

Мощность, потребляемая техническими средствами САУ ГПА (ШКУ и РСО) от источника питания  $\sim 220\text{ В}$  не превышает 1.0 кВт, от источника питания  $- 220\text{ В}$  не превышает 0,5 кВт и от источника питания  $- 27\text{ В}$  не превышает 100 Вт.

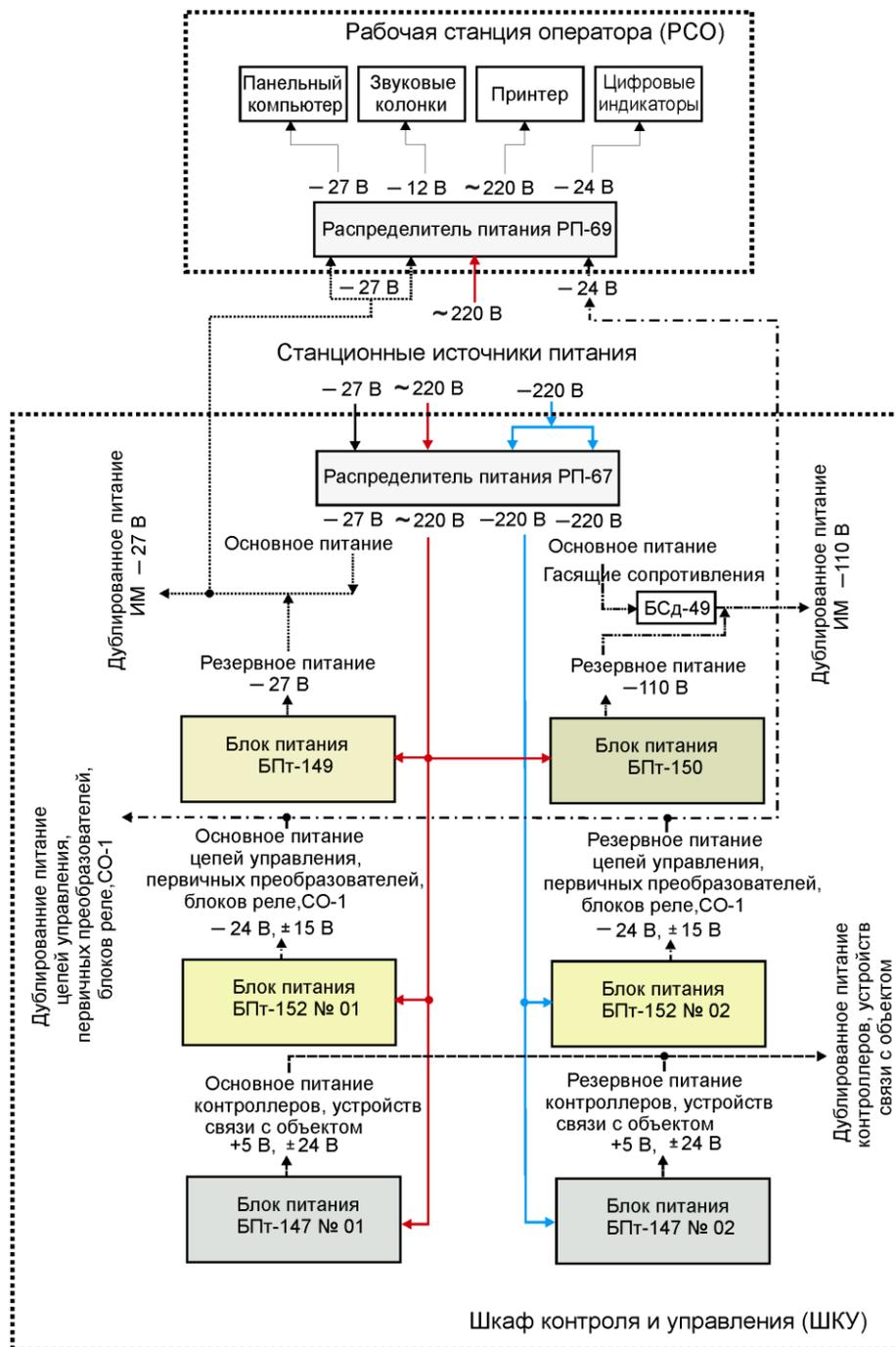


Рисунок 5 - Структура питания САУ ГПА

Основной частью шкафа контроля и управления ШКУ являются микропроцессорные контроллеры КМп-20/30 (рис. 6) и устройства связи с объектом (УСО).

Для обеспечения повышенной надежности системы применена троированная структура контроллеров, которые объединены сетью Arcnet. Каждый контроллер имеет одну магистраль троированного интерфейса ИР, при помощи которого осуществляется обмен информацией с блоками УСО. Каждый блок УСО имеет выход на три магистрали интерфейсу ИР. Таким образом обеспечивается тройной обмен информацией с блоками УСО. Полученная от блоков УСО информация анализируется (операция «выравнивания» информации) и передается по сети МАПС в рабочую станцию оператора РСО. Блок МКО-1 обеспечивает контроль за состоянием оборудования ШКУ (блоков питания, вентиляторов и др.).

Входные сигналы от первичных измерительных преобразователей, сигнализаторов, концевых выключателей, контактов пускателей и от РСО поступают на входы соответствующих блоков УСО.

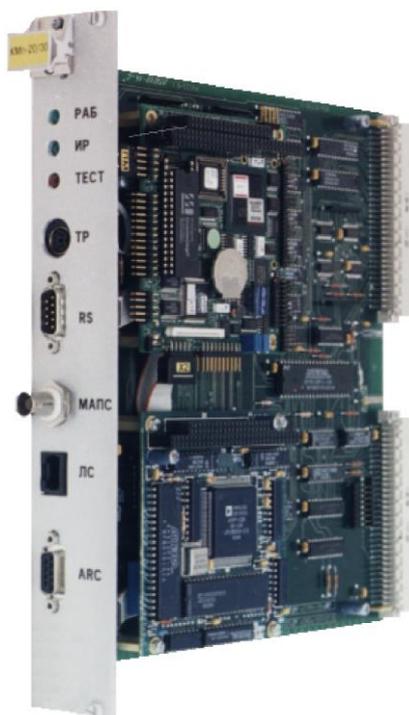


Рисунок 6 - Контроллер КМп-20/30

Аналоговые сигналы от первичных измерительных преобразователей с выходным сигналом 4 – 20 мА, которые измеряют такие технологические параметры как давление, перепад давления, разряжение, уровень, вибросмещение и осевой сдвиг, поступают на вход блоков УСО ПНК(Р)-1 через панели соединительные ПСд, которые используются как кроссовое оборудование и как нормализаторы сигнала постоянного тока 4 – 20 мА в сигнал напряжения 1 – 5 В.

Частотные сигналы от первичных измерительных преобразователей измерения частоты вращения с выходным сигналом 0 – 4000 Гц поступают на вход блока УСО ПЧ1(РТ)-8/3 через нормализатор НЧ(Р)-8-3, который используется как кроссовое оборудование и нормализатор частотного сигнала.

Аналоговые сигналы от первичных измерительных преобразователей температуры поступают на вход блоков УСО ПТС(В)-16/3 (с барьерами искробезопасности) через панели соединительные ПСд, которые также используются как кроссовое оборудование.

Дискретные входные сигналы типа “сухой контакт” от сигнализаторов, концевых выключателей, контактов пускателей и РСО поступают параллельно на вход двух блоков УСО с контролем линий связи НД(РК)-28/3 (дублированный ввод для увеличения надежности системы) через панели соединительные ПСд. Для контроля целостности цепей управления ИМ используются блоки УСО по вводу дискретных сигналов НД(РК)-16/3 с соответствующими панелями соединительными ПСд.

Аналоговые выходные сигналы формируются блоком УСО ФТ-16 и поступают на входы цифровых индикаторов РСО для представления значений частоты вращения СТ, температуры газа перед СТ и перепада давления маслогаз, а также на вход АПК.

Выходные дискретные сигналы формируются блоками УСО ФД(Р)-16/3, и поступают на входы силовых блоков реле БР32-8 и на вход блока коммутации БКм-68 для обеспечения соответствующих характеристик коммутации цепей управления исполнительными механизмами. Блоки УСО ФД(Р)-16/3 дублированные по параллельной схеме для увеличения надежности выдачи сигналов управления. Управление блоками реле БР32-8 производится адресным способом с запоминанием сигнала управления. Блоки коммутации БКм-68 предназначены для управления дозатором топливного газа.

Рабочая станция оператора РСО обеспечивает оператора ГПА всей необходимой информацией по контролю и управлению технологическим процессом. Основным техническим средством РСО является панельный компьютер с цветным сенсорным экраном 15” (рис. 7), при помощи которого оператор получает всю необходимую информацию и производит управление ГПА. Вызов необходимой информации производится путем прикосновения пальцем на графическое изображение соответствующей кнопки, клавиши или мнемознака ИМ. Панельный компьютер при помощи контроллера связи КСв-31 осуществляет обмен информацией с шкафом контроля и управления ШКУ по сети МАПС. К панельному компьютеру также подключены алфавитно-цифровая клавиатура с мышью типа «сенсорная панель» (для сервисного обслуживания), звуковые колонки (для выдачи звукового сигнала) и принтер (для вывода информации на печать).

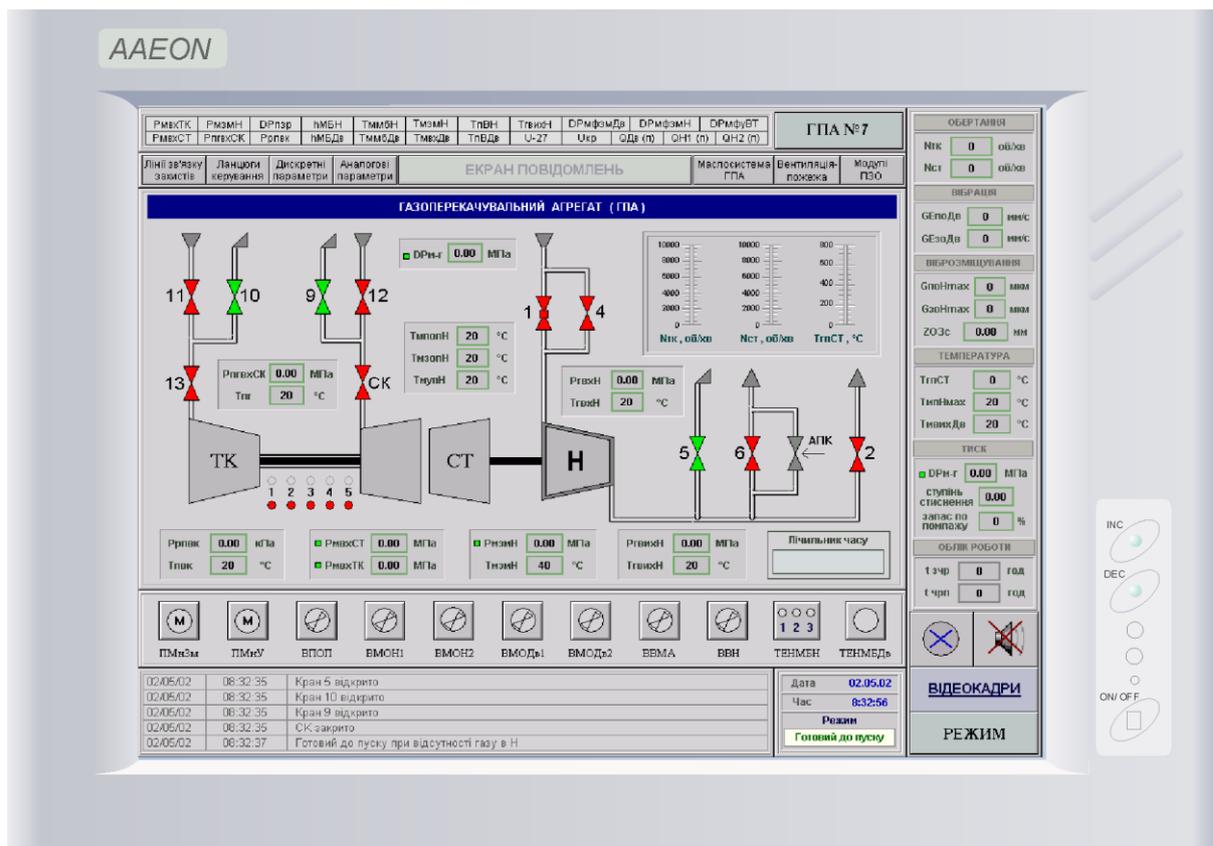


Рисунок 7 - Панельный компьютер с сенсорным экраном

Пульт дистанционного управления ПДУ-4 предназначен для выдачи оператором команд непосредственно в ШКУ экстренного (ЭО), аварийного (АО), нормального (НО) останова ГПА, а также на уменьшение или увеличение оборотов СТ.

Связь с вышестоящей системой управления осуществляется по сети Ethernet по протоколу TCP/IP через OPC-сервер PCO.

Системное программное обеспечение шкафа контроля и управления ШКУ – управляющая система МСКУ и пакет технологического программирования.

Системное программное обеспечение рабочей станции оператора PCO – лицензионная операционная система Windows NT и лицензионная среда исполнения SCADA – системы InTouch.

### Техническая характеристика системы

Таблица 1 – Общие показатели

Наименование показателя	Значение показателя
Температура окружающей среды	от + 5 до + 40 °С
Относительная влажность при + 35 °С	80 %

Окончание таблицы 1

Наименование показателя	Значение показателя
Атмосферное давление	от 84 до 107 КПа
Степень защиты	IP20
Стойкость к механическим воздействиям	группа L3
Устойчивость к электростатическим разрядам	степень жесткости 2
Электрическое сопротивление изоляции	не менее 20 МОм
Изоляция электрически несвязанных цепей	1500 В

Таблица 2 – Показатели назначения

Параметры системы	Параметры сигналов	Количество каналов, шт.
<b>1. Аналоговые входные:</b>		
- температура ТС, ТП	0-200 Ом, 0 – 80 мВ	не менее 16
- давление, перепад давления, уровень, вибрация	4 - 20 мА	не менее 32
- частота вращения двигателя	0-4000 Гц	не менее 8
<b>2. Дискретные входные:</b>		
- типа "сухой контакт" с контролем линии звязи	0 – 130 Ом - замкнутый, 1.4 – 1.8 КОм – разомкнутый, > 20 КОм - обрыв	не менее 112
- контроль цепей исполнительных механизмов	~220 В, —220 В, —27 В	не менее 64
<b>3. Дискретные выходные:</b>		
- управление исполнительными механизмами постоянного и переменного тока (напряжение/ток);	27 В/5 А, 220 В/3 А	не менее 64
<b>4 Аналоговые выходные:</b>		
- управление исполнительными механизмами	4-20 мА	не менее 16

Таблица 3 – Показатели надежности

Наименование показателя	Значение показателя
1 Средняя наработка на отказ типа “Пропуск аварии”	100 000 ч
2 Средняя наработка на отказ типа “Ложный аварийный останов”	40 000 ч
3 Средняя наработка на отказ типа “Неисполнение команды”	40 000 ч
4 Средняя наработка на отказ по каждому из каналов контроля	50 000 ч

Таблица 4 – Показатели быстродействия

Наименование показателя	Значение показателя
Время от изменения входного сигнала до выдачи управляющего сигнала	0.03 с
Период опроса параметров	0.03 с
Период накопления информации в архивных файлах	0.1 с
Время смены видеокадров	0.5 с

Таблица 5 – Метрологические характеристики центральной части САУ ГПА

Наименование показателя	Значение показателя
Приведенная погрешность измерения сигналов среднего уровня (4 – 20 мА, 0 – 5 В)	$\pm 0.10 \%$
Приведенная погрешность измерения сигналов термометров сопротивления	$\pm 0.25 \%$
Приведенная погрешность измерения частотных сигналов (0 – 4000 Гц)	$\pm 0.20$ Гц

Таблица 6 – Техническая характеристика панельного компьютера

Процессор	<b>AMB Celeron</b>
Тактовая частота	<b>700 МГц</b>
Объем оперативной памяти	<b>128 МБа</b>
Объем жесткого диска	<b>10 ГБа</b>
Дисководы	<b>1.44 МБа, CD-ROM</b>
Дисплей	<b>Цветной, TFT, 15”</b>
Сенсорный экран	<b>резистивный</b>
Сетевой адаптер	<b>Ethernet 10/100 Base-T</b>
Слот расширения	<b>ISA</b>
Порты	<b>RS-232/422/485, ECP/EPP, PS/2</b>

Открытость программно-аппаратного обеспечения системы позволяет использовать проверенные временем решения для различных типов газоперекачивающих агрегатов. Особенностью предлагаемых решений является комплекс мер, предпринятых для повышения живучести и надежности системы в целом, который определяет основные преимущества САУ ГПА производства

ЗАО «СНПО „Импульс”» перед аналогичными системами производства стран СНГ.

1. Высоконадежная троированная структура контроллеров, включающая в себя три процессорных блока с тремя независимыми друг от друга информационными шинами, обеспечивает выживаемость САУ ГПА при отказах и гарантирует достоверность поступающих в нее данных от объекта.

2. САУ ГПА имеет в своем составе резервные источники питания с входным напряжением питания  $\sim 220$  В, используемые для организации, совместно со стационарными источниками питания, дублированных сетей питания исполнительных механизмов —27 В и —110 В (—220В) постоянного напряжения, что дает возможность продолжать работу ГПА в обычном режиме при пропадании напряжения питания от стационарных источников.

3. САУ ГПА имеет в своем составе два источника питания с входными напряжениями питания  $\sim 220$  В и —220 В, которые используются для организации дублированной и автономной (от стационарного источника) сети питания датчиковой аппаратуры — 24 В.

4. Рабочая станция, входящая в состав САУ ГПА выполнена в виде стойки и имеет в своем составе, как основное средство отображения информации, панельный компьютер промышленного исполнения с плоскопанельным монитором, оснащенный сенсорным экраном. В качестве средства отображения трех основных технологических параметров ГПА используются блоки цифровой индикации, имеющие автономное питание и управляемые контроллером.

5. Рабочая станция в составе САУ ГПА, в отличие от схем с использованием блока бесперебойного питания, имеет полноценное дублированное питание: панельный компьютер запитывается от дублированных сетей питания —27 В, а блоки цифровой индикации от дублированной сети питания — 24 В.

6. Схема контроля целостности цепей исполнительных механизмов ГПА, применяемая в САУ ГПА, осуществляет контроль целостности всей цепи, включая контроль установки разъема в блок, через который осуществляется управление исполнительным механизмом. Данная схема позволяет полностью продиагностировать состояние цепи управления на уровне « до разъема блока», что особо важно для цепей управления кранами и в особенности для цепей управления кранами, идущих от блока экстренного останова.

7. Другие фирмы производители САУ ГПА используют в своих системах не только импортные комплектующие, но и полностью готовые блоки, что ставит их в зависимость от технической политики фирм - производителей этих блоков, которые периодически меняют номенклатуру производимых изделий, снимая с производства блоки уже применяемые в САУ ГПА. Данная причина создает проблему при поэтапной замене существующих САУ ГПА на новые с сохранением единой номенклатуры блоков для новых САУ ГПА, а следовательно и сложности с их техническим обслуживанием. Напротив, в САУ ГПА производства ЗАО «СНПО „Импульс”» импортные комплектующие

применяются в блоках, разработанных и изготовленных самим ЗАО «СНПО „Импульс”», что позволяет при поэтапной замене сохранять номенклатуру блоков и на должном уровне обеспечивать техническое обслуживание поставляемых систем, включающем в себя не только пополнение комплекта ЗИП, но и поставку заказчику сервисного оборудования, а также всей необходимой для обслуживания и ремонта документации.

Технические средства системы (ШКУ, РСО) перед выпуском с производства проходят все виды испытаний (климатические, механические, электростатические, электромагнитная совместимость и т. п.) в специализированных лабораториях предприятия.

САУ ГПА поставляется с комплектом ЗИП, который рассчитан на обеспечение срока эксплуатации 12 лет. В поставку также входят комплект инструментов и принадлежностей и комплект монтажных частей.

САУ ГПА поставляется с лицензионной операционной системой Windows NT и лицензионной SCADA – системой InTouch.

Гарантий срок эксплуатации САУ ГПА – 24 месяца.

В поставку САУ ГПА входит также комплект эксплуатационной документации, состоящий из документации на САУ ГПА, на техническое и программное обеспечение.

**А.Х. ГОРЕЛИК, В.А. ОРЛОВСКИЙ, И.Д. РОЗЕНБАУМ**

*Харьковский научно-исследовательский институт комплексной автоматизации (ХИКА)*

## **ЦИФРОВАЯ МНОГОКАНАЛЬНАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ВЫСОКОЙ НАДЕЖНОСТИ**

В настоящей статье рассмотрен вариант реконструкции системы автоматического регулирования (САР) энергоблока АЭС с реактором ВВЭР-1000 на средствах вычислительной техники, выпускаемых ЗАО «СНПО „Импульс”», и программном обеспечении разработки ХИКА.

Реконструкция состоит в полной или частичной замене устаревших аппаратных средств регулирования современной системой на базе средств вычислительной техники.

Реконструкция САР обеспечивает достижение следующих целей:

- расширение объемов и функциональных возможностей САР;
- улучшение качества регулирования;
- существенное сокращение объема технических средств, реализующих САР энергоблока, за счет исключения блоков УКТС<sup>\*</sup> – БВР (блок включений регулятора), БУК (блок управления клапаном) и др.;
- снятие проблемы обслуживания и ремонта устаревшей аппаратуры;
- предоставление обслуживающему персоналу удобных современных средств наладки и контроля функционирования САР.

Программно технический комплекс, реализующий САР энергоблока, имеет двухуровневую структуру (рисунок 1).

---

\* Универсальный комплекс технических средств, применяемых на станциях для реализации защит, блокировок, дистанционного управления, размножения нормированных сигналов, сигнализации и управления исполнительными механизмами.

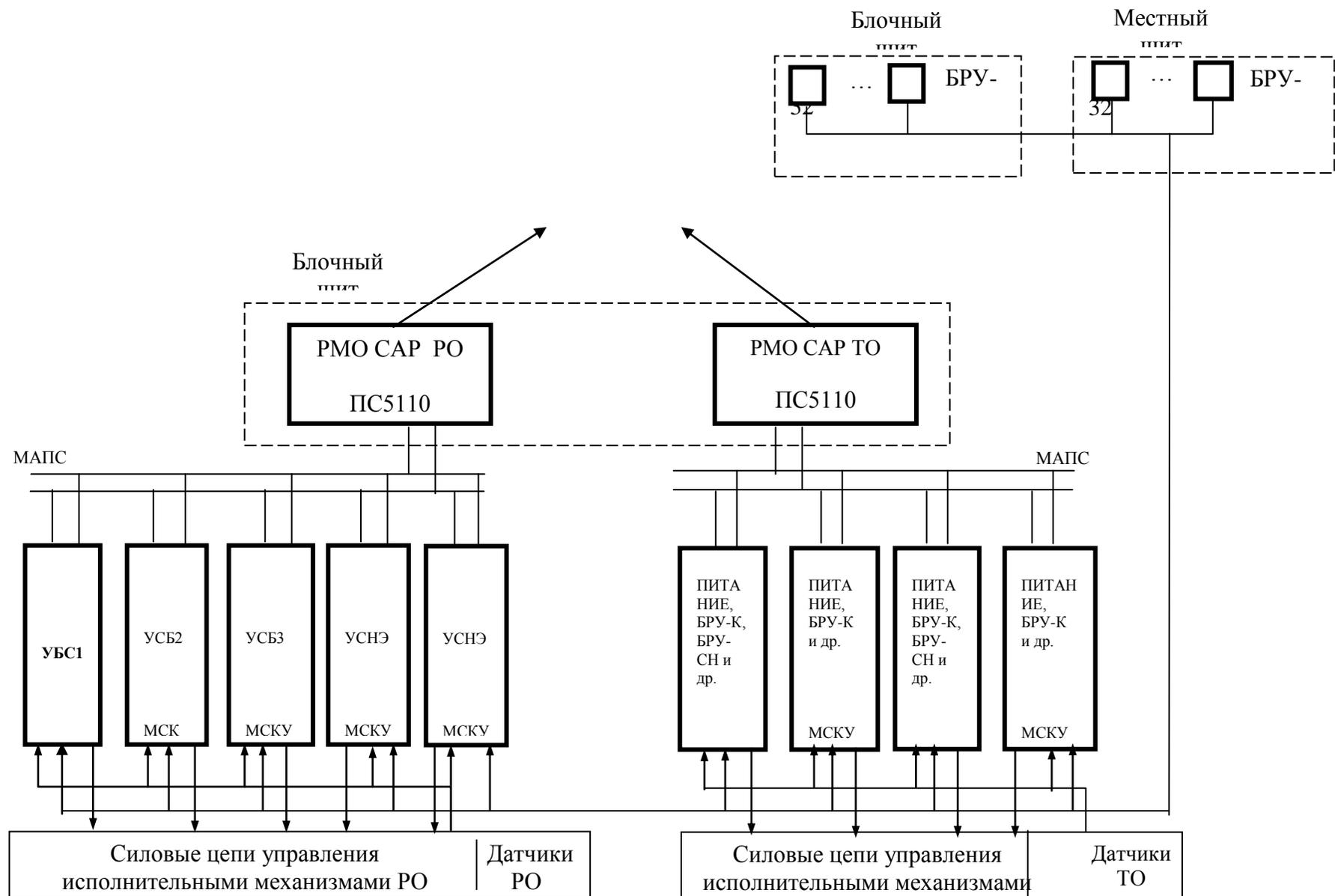


Рисунок 1 – Структурная схема САР энергоблока

Нижний уровень составляют троированные микропроцессорные субкомплексы контроля и управления типа МСКУ.

На входы МСКУ заведены сигналы от аналоговых и дискретных датчиков, а также сигналы от блоков ручного управления регулирующими клапанами (БРУ). Сопряжение выходов МСКУ с силовыми цепями управления исполнительными механизмами осуществляется через сборки распределителей токовых запорных органов (РТЗО) или другую аппаратуру коммутации сигналов соответствующей мощности.

Верхний уровень составляют два IBM PC совместимых промышленных компьютера типа PC5110. Каждый из них представляет собой рабочее место оператора реакторного (РМО САР РО) и турбинного (РМО САР ТО) отделений и комплектуется двумя цветными мониторами, манипулятором типа мышь, а также алфавитно-цифровой клавиатурой и принтером.

Связь между верхним и нижним уровнями осуществляется по дублированной модульной асинхронной перестраиваемой сети МАПС.

САР энергоблока 1000 МВт может быть реализована на 9 МСКУ, 5 для реакторного отделения (РО) и 4 для турбинного отделения (ТО). При этом в одном МСКУ размещается до 30 контуров регулирования. Распределение систем регулирования по стойкам МСКУ-2, приведенное на структурной схеме (рис. 1), определено не только возможностями МСКУ, но и требованиями к надежности САР и безопасности эксплуатации основного оборудования.

Система может интегрироваться в информационно-вычислительную систему (ИВС) блока\*, реализованную на тех же технических средствах, что и САР, путем добавления субкомплексов МСКУ в соответствующие комплексы связи с объектом. Предлагается добавление 1 шкафа МСКУ в каждый КСО систем безопасности (КСО-1, КСО-2, КСО-3), 2 шкафов МСКУ в КСО-5 РО и по 2 шкафа в КСО-6 и КСО-7 ТО (рис.2). Связь МСКУ с верхним уровнем выполнена через дублированные концентраторы (КССО), выполненные на базе PC5100. В одном конструктиве с КССО размещена информационно-диагностическая станция (ИДС).

Предлагаемые средства в режиме автоматического управления энергоблоком выполняют следующие функции:

- управляющие;
- информационные;
- вспомогательные.

Управляющие функции реализуются в МСКУ и включают в себя:

- автоматическое цифровое регулирование;
- автоматическое формирование заданий регуляторам;
- ручную коррекцию заданий регуляторам;
- автоподстройку регуляторов;

---

\* Статья: Весельский В.Ц., Горелик А.Х., Елисеев В.В., Орловский В.А. «Опыт разработки информационно-вычислительной системы для блока №2 Хмельницкой АЭС» Энергетика и электрификация – Киев, 2003, №6

- автоматическое управление работой регуляторов и реализацию локальных блокировок;
- дистанционное управление регуляторами и регулируемыми клапанами;
- логическое (шаговое) управление.

Функционирование МСКУ в режиме автоматического регулирования, логического и дистанционного управления не зависит от верхнего уровня. Связь МСКУ с верхним уровнем используется только в следующих случаях:

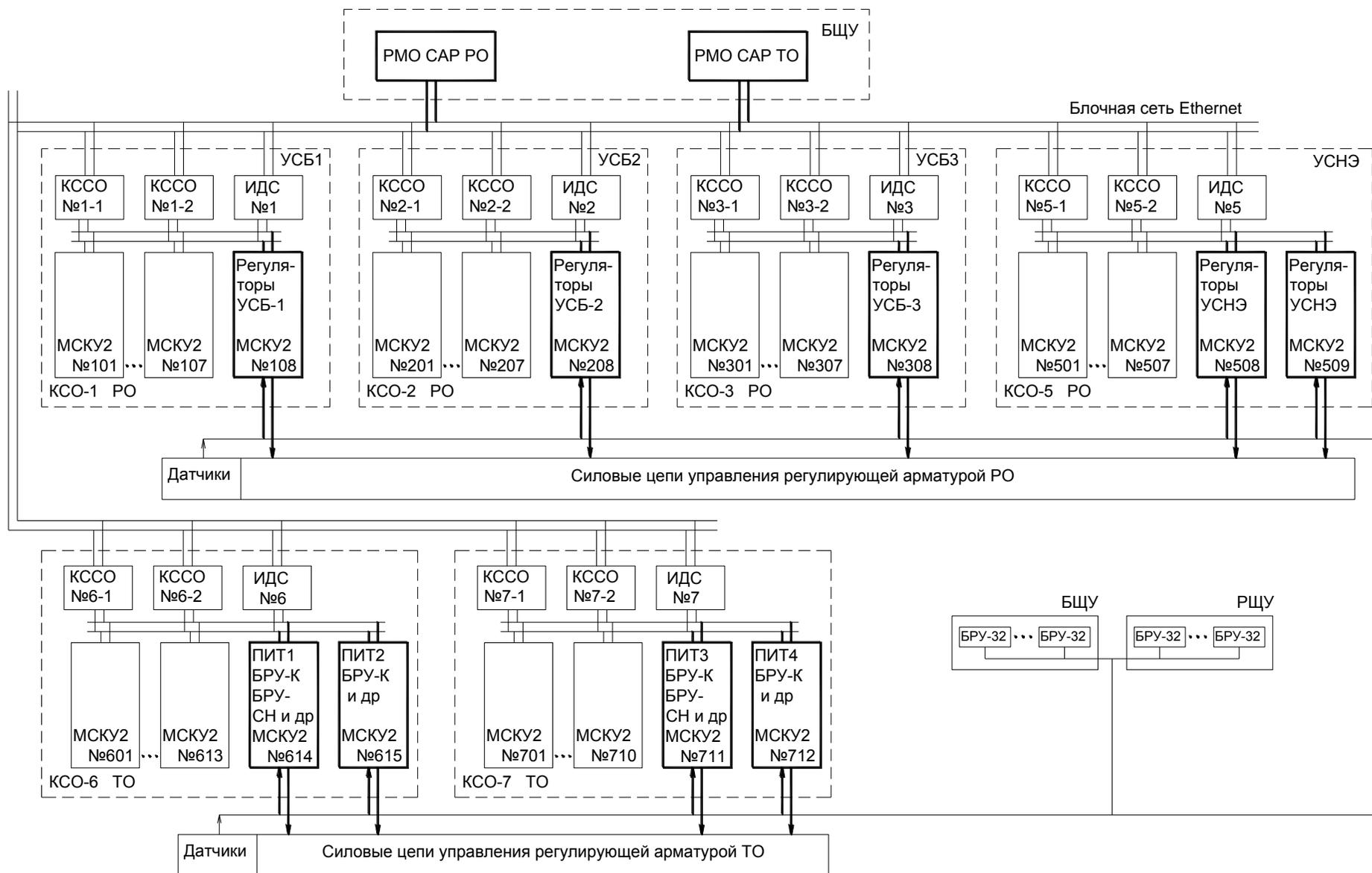
- при изменении заданий регуляторам;
- при коррекции настроек регуляторов;
- при наладке регуляторов;
- для диагностики МСКУ;
- при осуществлении дистанционного управления через экраны верхнего уровня.

Система автоматического регулирования на базе МСКУ является проектно-компонентной. Состав управляющих функций, реализуемых в МСКУ, определяется требованиями заказчика. Предусмотрены различные варианты сочетания МСКУ со штатной системой управления, выполненной на традиционных технических средствах.

Возможности МСКУ по реализации управляющих функций определяются библиотекой типовых функциональных модулей управления из состава прикладного программного обеспечения.

В библиотеку включены следующие модули:

- динамические: ПИД - регулятор, реальный дифференциатор, интегратор, апериодический фильтр;
- логические: И, ИЛИ, таблицы решений, триггер, переключатель, компаратор (аналого-дискретное преобразование), мажоритарный элемент;
- математические: умножение, деление, сложение, вычитание, извлечение корня, абсолютное значение, кусочно-линейная аппроксимация, счетчик импульсов, min, max, сортировка;
- временные: линия задержки, выдержка времени, импульс заданной длительности, таймер;
- специальные: блок управления регулятором (аналогичен БВР в УКТС), блок управления клапаном (аналогичен БУК в УКТС), блок управления задвижкой (аналогичен БУЗ в УКТС), блок управления двигателем (аналогичен БУД в УКТС), шаг логического автомата, блок автоматического включения резерва (АВР), блок технологических защит, контроль исправности одиночных, дублированных и троированных датчиков.



**Рисунок 2 – Структурная схема САР в составе ИВС энергоблока**  
 Утолщенными линиями показано оборудование САР и его включение в ИВС

Автоматическое цифровое регулирование осуществляется по стандартным законам регулирования (ПИД, ПИ, П, Д) с логическими, алгебраическими, динамическими и другими необходимыми преобразованиями входной информации.

В схемах цифрового регулирования может использоваться:

- автоподстройка регуляторов;
- опережающие сигналы по скорости отклонения параметров и возмущениям;
- учет динамических связей между контурами регулирования для компенсации взаимного влияния на объект;
- автоматическая балансировка и безударное включение регуляторов;
- учет люфтов исполнительных механизмов;
- формирование заданий регуляторам другими регуляторами в роли корректоров (каскадные схемы);
- формирование заданий регуляторам по временной и параметрической зависимости (программные задатчики);
- автоматическое управление работой регуляторов по сигналам логического управления и от блокировок;
- дистанционное изменение режимов работы и заданий регуляторов.

Основным элементом в схемах автоматического регулирования является цифровой ПИД - регулятор.

Структурная схема регулятора приведена на рисунке 3.

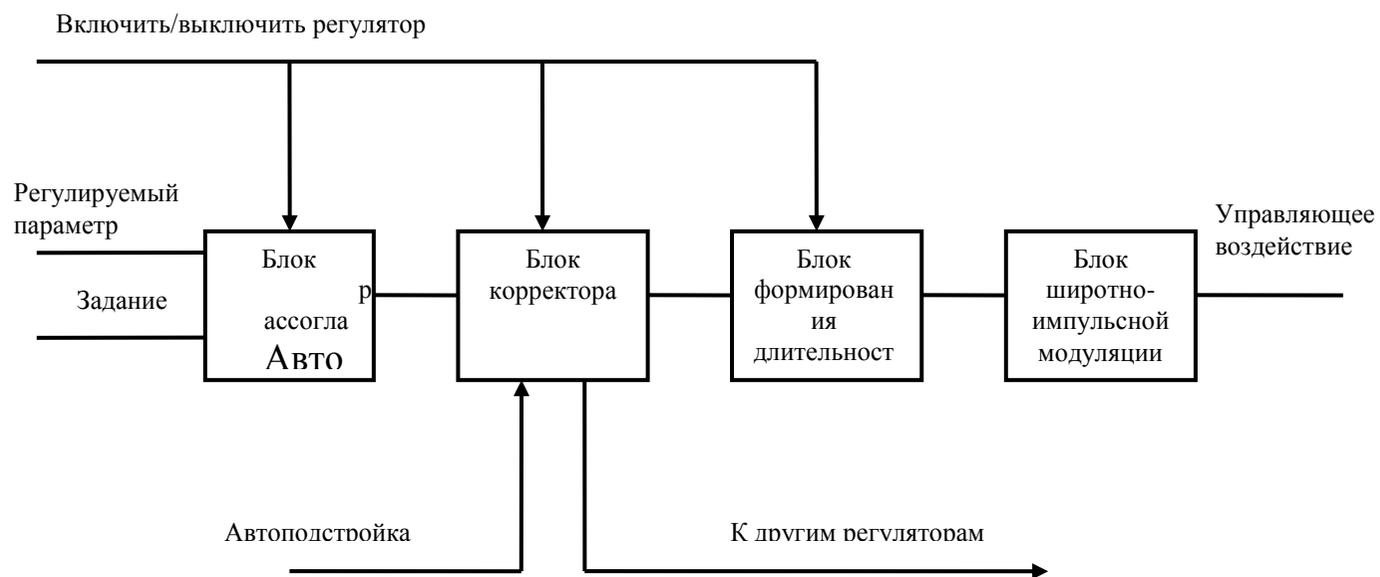


Рисунок 3 – Структурная схема цифрового ПИД-регулятора

Регулятор рассчитан на работу с интегрирующим исполнительными механизмами (ИМ) постоянной скорости.

Включение/отключение регулятора производится по сигналам от модуля «Блок управления клапаном».

Блок рассогласования регулятора выполняет:

- вычисление разности между текущим и заданным значением регулируемого параметра (рассогласования);
- функцию зоны нечувствительности по рассогласованию;
- безударное включение (балансировку) регулятора.

Блок корректора реализует в цифровой форме заданный настройкой регулятора закон регулирования (ПИ, П, ПИД ...)

Для наиболее распространенного ПИ – закона дифференциальное уравнение имеет вид:  $y = kx + \frac{1}{T} \int_0^t x dt$ . Это уравнение, преобразованное в

уравнение в конечных разностях имеет вид:  $y_i = y_{i-1} + k \left[ \frac{\Delta t}{T} x_i + (x_i - x_{i-1}) \right]$ ,

где:

$y_i$  и  $y_{i-1}$  – выходной сигнал корректора в текущем и предыдущем цикле;  
 $x_i$  и  $x_{i-1}$  – рассогласование между регулируемым параметром и заданием в текущем и предыдущем цикле;

$k$  – коэффициент усиления (настройка);

$T$  – постоянная времени (настройка);

$\Delta t$  – дискретность расчета.

В блоке предусмотрен ограничитель выходного сигнала.

В блоке формирования длительности импульсов вычисляется разность между текущим и предыдущим (вычисленным в предыдущем цикле) значениями выхода корректора. Эта разность преобразуется в длительность управляющего воздействия на ИМ:

$T_{имп} = (y_i - y_{i-1}) \frac{T_{им}}{100\%}$ , где:

$y_i, y_{i-1}$  – выходной сигнал корректора в текущем и предыдущем цикле;

$T_{им}$  – полное время хода ИМ.

В блоке формирования импульсов предусмотрены:

- ограничение максимального значения  $T_{имп}$  до значения периода расчета;
- зона нечувствительности по  $\min$  длительности выходного сигнала;
- интегрирование (накопление) сигналов, не прошедших через зону нечувствительности, с последующей выдачей при отсутствии реверса ИМ (с учетом люфтов);
- сброс накопленных значений при отключении регулятора по сигналам БУК;
- ограничение минимальной паузы между сигналами, выдаваемыми на ИМ (объединение импульсов с учетом в последующих вычислениях) для ограничения частоты срабатывания ИМ.

Блок широтно - импульсной модуляции (ШИМ) преобразует вычисленные длительности импульсов (аналоговые сигналы) в серии дискретных импульсов, управляющих исполнительным механизмом.

Логическое шаговое управление реализуется с использованием модуля «шаг». Функциональный модуль «шаг» предназначен для реализации функций логического автомата. В шаг включаются команды управления исполнительными механизмами, которые должны быть выданы одновременно при выполнении общих разрешающих условий. Шаги выполняются в задаваемой последовательности (цепочки шагов) с возможностью альтернативных ветвлений. Контролируется превышение шагом допустимого времени проверки разрешающих условий и, если не предусмотрено альтернативной ветви – выдается сигнал сбоя. Контролируется превышение шагом допустимого времени выдачи команд и формируется сигнал сбоя. Предусмотрена возможность обхода условий (команд) шага по командам оператора.

Разрешающие условия шага задаются при настройке в виде таблицы решений.

Предусмотрена возможность выдачи команд в виде непрерывных сигналов, сигналов «пульс – пары», импульсов заданной длительности, импульсов с задержкой. Характеристики каждой команды задаются при настройке.

Типовая функциональная схема управления регулирующим клапаном приведена на рисунке 4.

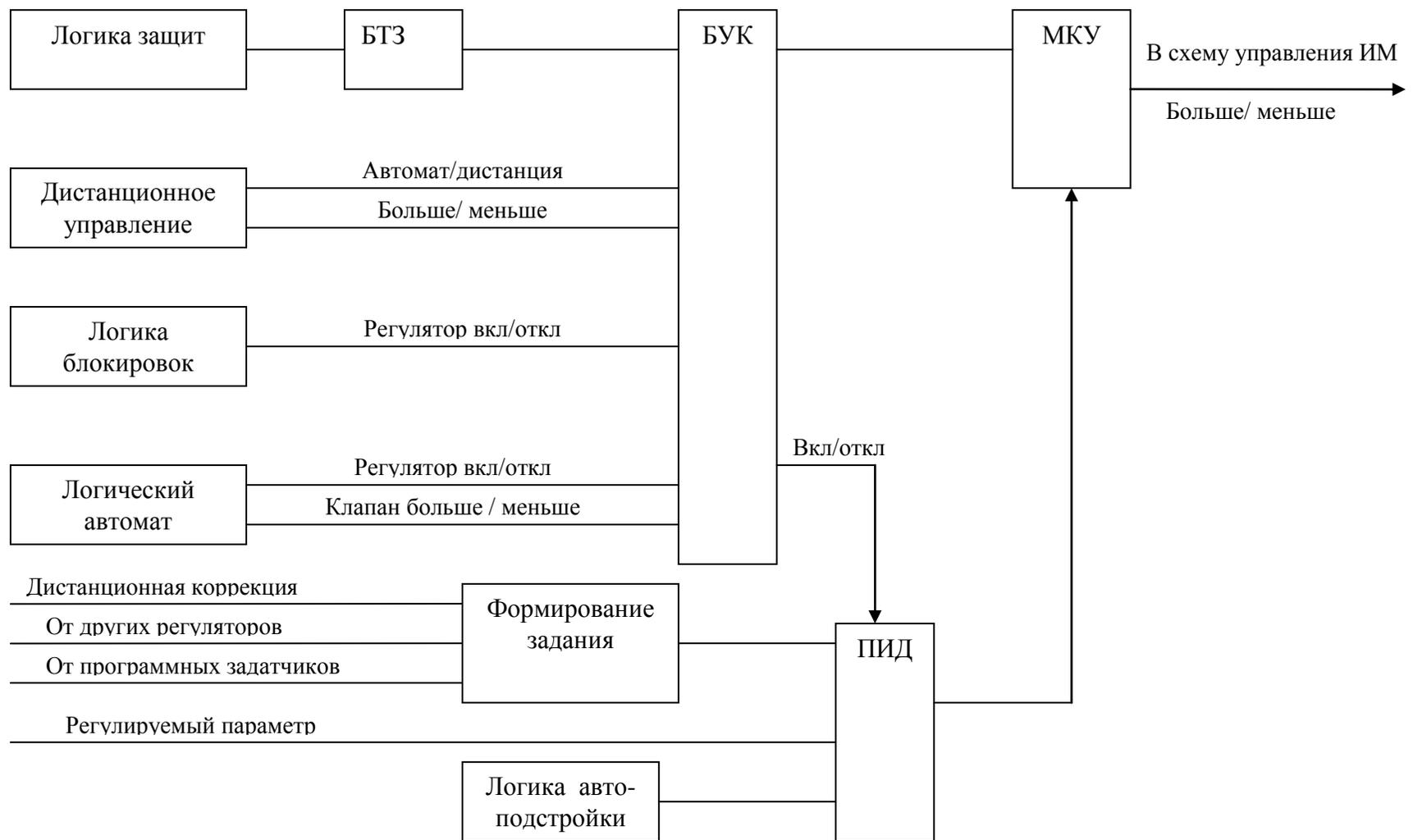


Рисунок 4 – Типовая Функциональная схема управления регулирующим клапаном

В схеме для ранжирования команд защит, блокировок, логического управления, дистанционного управления и регулирования используется модуль «Блок управления клапаном» (БУК).

Модуль «Блок управления клапаном» предназначен:

- для управления регулирующим органом по командам защит, блокировок, логического и дистанционного управления, регулирования.
- для управления режимом работы цифрового регулятора по командам защит, блокировок, логического и дистанционного управления.

Установлен следующий приоритет управления:

1. Защиты и блокировки.
2. Дистанционное управление.
3. Логическое управление.
4. Регулирование.

Команды управления регулирующим органом в модуле не запоминаются, т.е. команды выдаются на регулирующий клапан только тогда, когда они поступают от защит, блокировок, дистанционного управления и регулятора.

Максимальное количество регуляторов (контуров регулирования) определяется максимальным количеством модулей контроля и управления МКУ, в одном МСКУ - до 30 МКУ. МКУ предназначен для приема и обработки входных аналоговых и дискретных сигналов и выдачи выходных сигналов одного регулятора и обеспечивает прием 5 аналоговых, 6 дискретных входных сигналов и формирование 6 дискретных выходных сигналов.

Цикл опроса входной информации задается дифференцированно для групп входных сигналов в диапазоне – 0,1...5 секунд.

Цикл расчета управляющих воздействий задается индивидуально для каждого контура регулирования в диапазоне – 0,1...5 секунд.

Длительность управляющего воздействия:

- минимальная - 0,1 секунда;
- максимальная – не ограничена.

Максимальное время от изменения параметра на входе МСКУ до выдачи управляющего воздействия в соответствии с алгоритмом управления:

- при минимальном цикле опроса и расчета – 0,2 секунды;
- при односекундном цикле опроса и расчета – 1,5 секунды.

Период обновления информации на дисплеях РМО САР – 1 секунда.

Время перевызова видеокладов на дисплеях рабочих мест операторов технологов – 1...1,5 секунды.

Среднее время наработки на отказ, приведенное к одному контуру регулирования (прием информации, обработка и выдача команд на ИМ) - 200 тыс. часов при среднем времени восстановления 1 час.

Приведенный показатель надежности достигается:

- использованием троированных МСКУ, в которых выполняется «выравнивание» входных сигналов и мажоритированием управляющих воздействий:

- использованием индивидуальных модулей связи с объектом МКУ в составе МСКУ для каждого контура регулирования;
- энергонезависимой памятью МСКУ для хранения программ и данных;
- независимостью МСКУ от работы устройств верхнего уровня управления.

В объем поставки программно-технического комплекса входит подсистема автоматизированного проектирования и наладки систем автоматического управления – П А Н .

П А Н устанавливается на РМО САР РО и ТО. Кроме того, П А Н в режимах, не требующих связи с МСКУ (проектирование и документирование алгоритмов), может быть установлена на лабораторной ПЭВМ.

П А Н рассчитана на автоматизированное выполнение следующих функций:

- проектирования систем автоматического регулирования;
- документирования систем автоматического регулирования;
- генерации загрузочных модулей МСКУ – преобразования спроектированных описаний систем автоматического управления в загрузочные модули;
- оперативной коррекции параметров настройки регуляторов;
- моделирования объектов управления или их участков в МСКУ;
- наладки систем автоматического управления в МСКУ в автономном режиме на моделях объектов и на реальном оборудовании энергоблока.

В основу П А Н заложено графическое представление алгоритмов автоматического управления в виде взаимосвязанных наборов типовых функциональных модулей управления и табличное представление параметров настройки модулей.

«Общение» с П А Н во всех режимах выполняется с помощью системы меню, обеспечивающей пользователю максимальные удобства в работе.

В меню пользователю предлагается ВЫБОР:

- - режимов работы;
- - модулей из библиотеки типовых функциональных модулей;
- - входных и выходных параметров из таблиц подключений датчиков и исполнительных механизмов к МСКУ;
- - допустимых настроечных параметров модулей, алгоритмов и др.

В некоторых случаях, когда диапазон возможных значений настроечных параметров функциональных модулей достаточно широк (например – коэффициент пропорциональности, постоянная времени, зона нечувствительности ПИ – регулятора), вместо выбора предусмотрена прямая запись числовых значений с контролем допустимых диапазонов.

Система меню, основанная на выборе, исключает синтаксические и минимизирует семантические ошибки при проектировании и наладке алгоритмов. Полный контроль и выявление ошибок с выводом сообщений выполняется автоматически при генерации загрузочных модулей МСКУ и при оперативной коррекции параметров настройки регуляторов.

Работа с П А Н не требует от пользователя знаний по программированию или изучения специальных «технологических» языков программирования; проектировщик или наладчик систем автоматического управления оперирует с общепринятыми терминами функциональных схем и параметров настройки типовых функциональных модулей управления.

Проектирование, моделирование, генерация и наладка алгоритмов выполняется с экрана монитора РМО с использованием стандартной клавиатуры и манипулятора типа мышь или трекбол. Используется многослойный «оконный» пользовательский интерфейс.

Пример на рисунке 5 иллюстрирует некоторые режимы работы П А Н при проектировании и наладке алгоритмов САР.

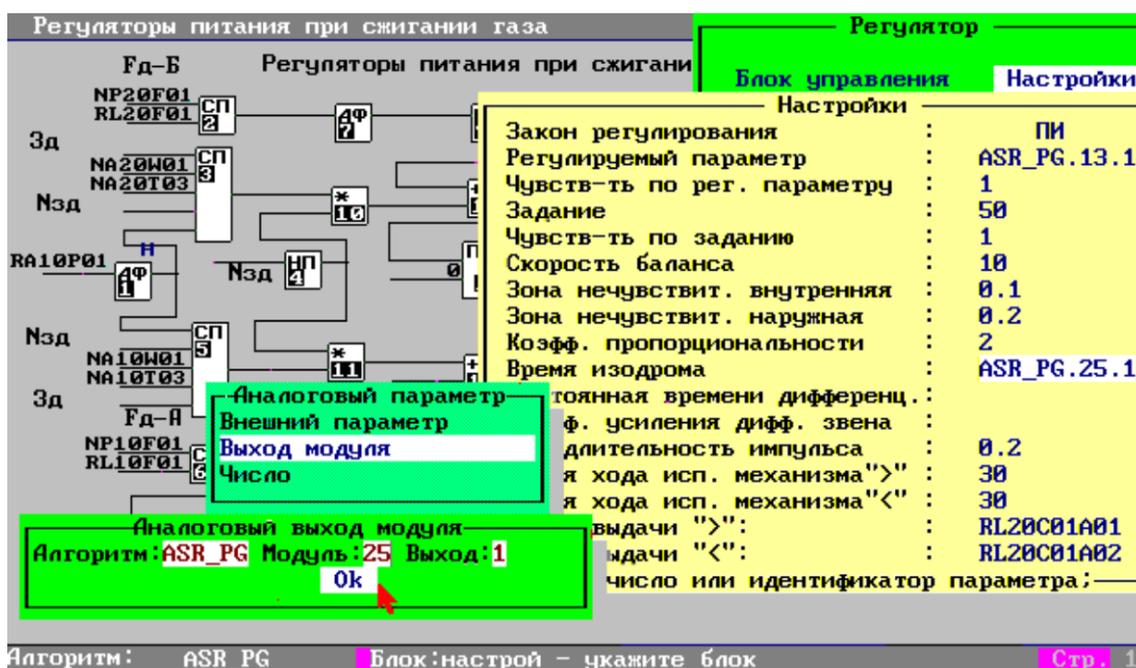


Рис.5 Функциональная схема алгоритма САР при настройке ПИД-регулятора

На экране – функциональная схема алгоритма. Выбран режим настройки функционального модуля. Объект настройки – ПИД – регулятор с автоподстройкой; настраивается постоянная времени (время изодрома) как функция технологического режима. Последовательно открыты окна: «Регулятор», «Настройки», «Аналоговый параметр (тип)», «Аналоговый выход модуля»; выбранный параметр (выход модуля из схемы автоподстройки) автоматически вписан в таблицу настройки регулятора.

При создании и реконструкции систем автоматического регулирования используется опыт ХИКА и ЗАО «СНПО „Импульс”» в сотрудничестве с технологическими организациями по созданию систем управления на базе МСКУ на энергоблоках мощностью 800 Мвт и 300 Мвт Запорожской, Углегорской и Змиевской ТЭС, а также многолетний опыт ХИКА и ЗАО «СНПО „Импульс”» по разработке и внедрению АСУ ТП в тепловой и атомной энергетике.

Отличительной особенностью предлагаемого проекта является то, что реконструкция САР строится на базе сертифицированных технических средств разработки ЗАО «СНПО „Импульс”», а также математическом и программном обеспечении, прошедшем апробацию в составе АСУ ТП энергоблоков различного класса, включая АЭС (в частности САР на базе МСКУ, УЛУ2-ЭВМ и УЛУ2-МПК с математическими и программным обеспечением ХИКА эксплуатируются на энергоблоках №6 ЗАЭС, №3 РАЭС, №3-7 Запорожской ТЭС и №4 Углегорской ТЭС и №9 Змиевской ТЭС).

**БУГАЕВ Н.Н., ВОРОБЬЕВ В.А., ГОМОН А.В.,  
ПЕСОЦКИЙ В.И., ЩЕРБАКОВ Н.Н., ЯЩЕНКО В.В.**

*ЗАО «Северодонецкое научно-производственное объединение „Импульс”»*

## **СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УЧЕТА ВЫРАБОТКИ И ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА БАЗЕ КОМПЛЕКСА КУЭП**

### **I Экономическая целесообразность автоматизации энергоучета**

Для поддержания рентабельности предприятия в условиях постоянного роста цен на энергоносители естественным является постановка вопроса о необходимости минимизации потребления энергоресурсов с целью предельного снижения производственных затрат на единицу выпускаемой продукции.

Энергетическая составляющая в стоимости большинства выпускаемой продукции составляет сегодня примерно четверть ее себестоимости.

Следует также учитывать, что в условиях роста цен на углеводородные энергоресурсы, прежде всего – нефти и газа, связанного с уменьшением их природных запасов, значение электрической энергии существенно возрастает, как и возрастает вопрос ее производства и рационального использования.

В соответствии с Указом Президента Украины от 04.04.95 г. № 282/95 „Про перехід електроенергетики на роботу в умовах ринку” и распоряжений Национальной Комиссии по вопросам Регулирования Электроэнергии (НКРЭ) Украины о концепции построения автоматизированных систем коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ) в условиях рынка электроэнергетики, важнейшее значение приобретают вопросы достоверного учета электроэнергии на всех участках и уровнях ее производства, передачи и потребления.

Обязательным условием построения АСКУЭ является использование современных средств измерительной техники, внесенных в Государственный Реестр средств измерительной техники Украины.

Технология учета АСКУЭ по концепции НКРЭ позволяет осуществить переход на тарифы реального времени, автоматизировать взаиморасчеты между участниками энергорынка, определять истинные затраты электрической энергии, и в конечном итоге повысить эффективность использования электроэнергии.

По оценкам зарубежных специалистов современные технологии учета и контроля производства, передачи и потребления электроэнергии позволят получать до 20% дополнительного дохода.

Основными критериями оптимизации при этом должны стать: точность, достоверность, оперативность, возможность выявления мест нерационального использования энергоресурсов, регулирование и планирование

энергосберегающих мероприятий на основе наблюдений за процессом энергопотребления в реальном и ретроспективном масштабах времени в текущих и архивных формах, на экранных и твердых носителях информации.

Предприятием ЗАО «СНПО “Импульс”» разработан комплекс автоматизированного учета и контроля потребления электроэнергии КУЭП.

КУЭП внесен в Государственный реестр средств измерительной техники под № У899-02 и разрешен к применению на территории Украины.

На базе КУЭП разработаны и внедрены в производство автоматизированные системы коммерческого и технического учета и контроля потребления электроэнергии на таких предприятиях как ЗАО «НКМЗ» г. Краматорск, ГП «Северодонецкая ТЭЦ».

Наработан пакет прикладного программного обеспечения, ориентированный на учет и контроль выработки и потребления электроэнергии.

Приобретенный опыт разработки и внедрения АСКУЭ, позволяет определить и произвести реальную оценку основных составляющих экономического эффекта от автоматизации учета и контроля выработки и потребления электрической энергии. Анализируя затраты предприятий до и после внедрения АСКУЭ можно выделить следующие составляющие экономического эффекта и их примерные числовые значения:

а) выявление мест нерационального использования энергоресурсов и планирование энергосберегающих мероприятий с ожидаемым экономическим эффектом до 0,7 %;

б) исключение холостой работы оборудования; с ожидаемым экономическим эффектом до 0,4 %;

в) индивидуальный контроль над энергоемким оборудованием и определение оптимального режима его работы; с ожидаемым экономическим эффектом до 0,12 %;

г) точное определение удельных норм расхода энергоресурсов на единицу продукции по подразделениям, цехам, участкам и возможность их оперативной корректировки; с ожидаемым экономическим эффектом до 0,15 %;

д) своевременное обнаружение и устранение небаланса принятой и потребленной электроэнергии (хищение, потери); с ожидаемым экономическим эффектом до 0,2 %;

е) оперативное выявление превышения лимитов энергии и мощности; с ожидаемым экономическим эффектом до 0,12 %;

и) устранение пиков нагрузки и уменьшение тем самым износа основного оборудования и затрат на его содержание с ожидаемым экономическим эффектом до 0,11 %;

к) получение данных о реальных потерях в трансформаторах и линиях передачи электроэнергии, организация на их основе оптимальных планово-предупредительных работ и как результат - сокращение затрат на запчасти и стоимость ремонтных работ с ожидаемым эффектом до 0,1 %;

л) обеспечение единого расчетного времени по всем точкам учета с точностью до 1 секунды за счет системы единого времени с ожидаемым

экономическим эффектом 0,21 % от потерь при расчетах с ручным съемом информации;

м) повышение класса точности приборов учета, с ожидаемым экономическим эффектом 0,35 %.

н) сокращение времени и достоверности формирования отчетных документов – 0,07 %.

Практика показывает, что наибольший экономический эффект (до 20 % от оплаты по среднему тарифу) от автоматизации энергоучета получают предприятия, использующие учет потребления электроэнергии, дифференцированный по зонам суток. В таблице 1 приведен пример цен по зонам суток и усредненная цена для потребителей II класса.

Таблица 1

II класс потребителей (6 kV и ниже)					
Наименование зоны	Период времени	Цена по зонам коп. за 1 kW·h		Усредненная цена коп. за 1 kW·h	
		Январь 2006 г.	Февраль 2006 г.	Январь 2006 г.	Февраль 2006 г.
Ночь	23.00 – 6.00	6,85	6,95	27,4	27,84
Полупик	6.00 – 8.00	27,95	28,4		
	11.00 – 20.00				
Пик	8.00 – 11.00	49,32	50,11		
	20.00 – 23.00				

Однако, переход на учет электроэнергии, дифференцированный по зонам суток, зачастую требует существенной реорганизации предприятия, начиная от изменения технологии производства основной продукции и заканчивая изменениями в социальной сфере.

Сопоставление выше изложенных критериев и показателей экономической эффективности с затратами, необходимых для реализации автоматизированного учета электроэнергии, позволяет в первом приближении оценить срок окупаемости и в конечном счете целесообразность построения АСКУЭ на конкретном предприятии.

## **II ТЕХНИЧЕСКИЕ И СИСТЕМНЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ РАЗРАБОТКИ АСКУ НА БАЗЕ КУЭП**

Большинство АСКУЭ содержат следующие основные структурные элементы: источник первичной информации, устройство сбора данных, центр обработки данных – автоматизированное рабочее место (АРМ) энергетика, диспетчера.

## Первичный источник информации

В основу разработки АСКУЭ на базе КУЭП были положены следующие основные предпосылки по каждому из структурных уровней.

а) системы на базе КУЭП должны обеспечивать как коммерческий, так и технический учет вырабатываемой и потребляемой электроэнергии; отсюда следует, что в качестве первичного источника информации в системе могут быть использованы счетчики электроэнергии (далее – счетчики) любого типа: индукционные, электронные и современные многофункциональные электронные счетчики на микропроцессорах;

б) энергорынок Украины насыщен большим количеством счетчиков различных производителей как отечественных, так и зарубежных;

в) все счетчики, внесенные в Государственный Реестр средств измерительной техники Украины, независимо от производителя должны соответствовать МЭК 1036-90 (ГОСТ 30207-94) и МЭК 687 92 (ГОСТ 30206 94) и должны иметь импульсный телеметрический выход типа «сухой» контакт;

г) кроме импульсного информационного выхода все современные счетчики имеют цифровой информационный выход различного типа: RS-232, R-485, токовая петля 20 мА как радиального, так и магистрального типа (например, счетчики LZQM работают на магистральную токовую петлю);

д) современные счетчики, с цифровым информационным выходом реализуют протокол обмена в соответствии с международным стандартом СЕI IEC 1107; однако, все производители счетчиков реализуют только некое подмножество этого стандарта, что создает прецедент закрытости протокола обмена и возможность монополизации на рынке систем фирменной разработки;

Архитектура КУЭП и разработанных на его базе АСКУЭ предполагает использование в качестве первичных источников информации датчиков типа «сухой» контакт (импульсный выход всех стандартных счетчиков электроэнергии). Такой подход не требует знания и реализации протоколов обмена и предполагает возможность использования в АСКУЭ на базе КУЭП счетчиков любого типа.

Практика показала, что это самый простой, надежный и точный способ подключения счетчиков к системе. Так в АСКУЭ ГП «Северодонецкая ТЭЦ» используются счетчики SL7000, установленные на границе балансовой принадлежности с заводской установкой 40000 импульсов на один kW·h. Это определяет точность учета равную 1:40000 kW, т.е. 0,02 W.

При таком способе учета база данных КУЭП хранит только приращения количества импульсов по каждому каналу учета, а расчет выработанной или потребленной электроэнергии производится по запросу оператора по формуле:

$$Q_{ni} = \frac{K_{tui} \times K_{tti}}{K_{imi}} \times N_{im} \quad (\text{kW} \cdot \text{h})$$

где:  $Q_{ni}$  – электроэнергия за учетный период (kW·h);

$K_{tui}$  – коэффициент трансформации трансформатора напряжения  $i$ -го канала учета;

$K_{tti}$  – коэффициент трансформации трансформатора тока  $i$ -го канала учета;

$K_{imi}$  – количество импульсов на один  $kW \cdot h$   $i$ -го канала учета;

$N_{ui}$  – количество счетных импульсов  $i$ -го канала за учетный период.

Магистральный способ подключения счетчиков по цифровым интерфейсам не может обеспечивать высокую точность учета, поскольку цикл опроса абонентов на магистрали никогда не может быть синхронизирован с моментом фиксации получасовых или часовых учетных показаний счетчиков и дискретность выдачи приращений показаний счетчиков зависит от времени опроса абонентов на магистрали.

### **Устройство сбора информации**

В качестве устройства сбора информации в системе КУЭП используются два типа устройств: КУЭП-32 (до 32 присоединений типа «сухой» контакт) и КУЭП-64 (до 64 присоединений типа «сухой» контакт).

В основу разработки данных устройств были положены следующие основные требования:

а) высокая надежность, возможность круглосуточной работы в промышленных условиях эксплуатации;

б) возможность автономного функционирования с предоставлением пользователям основных параметров энергоучета в экранных и печатных формах, что обеспечивает сохранение целевой функции системы даже при отказе центра обработки данных и коммуникаций.

в) радиальное подключение счетчиков с индивидуальной гальванической развязкой;

г) выход на стандартный интерфейс связи с целью максимального использования существующих коммуникаций предприятий.

КУЭП – это семейство проектно-компонованных комплексов, построенных на базе IBM PC – совместимых MPC 6030 фирмы OCTAGON SYSTEMS. Структурная схема КУЭП приведена на рисунке 1.

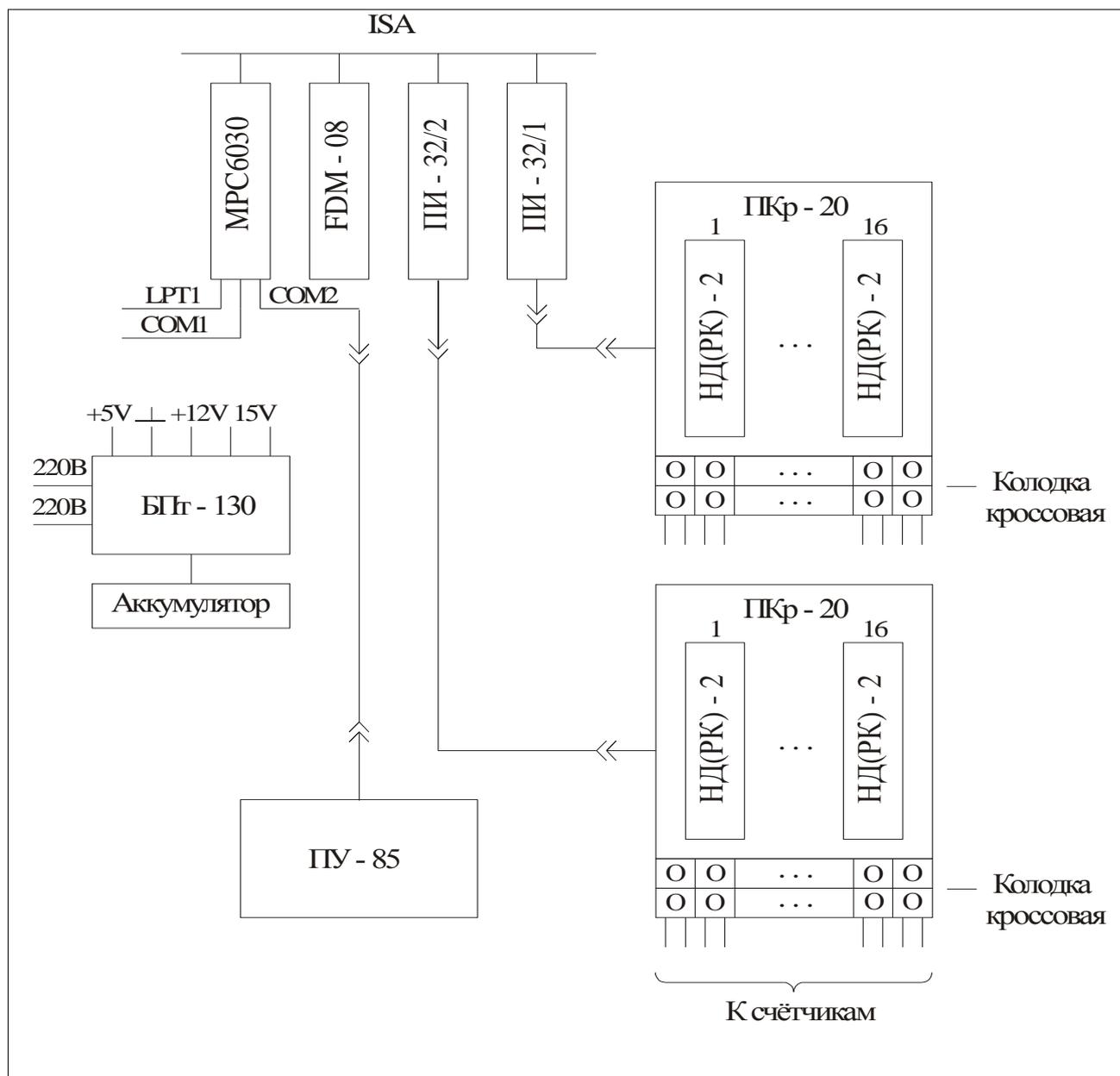


Рисунок 1 - Схема структурная КУЭП-64

КУЭП выполнены в автономных навесных или настольных конструктивах.

Для обеспечения автономного режима работы в дверцу шкафа КУЭП установлен пульт управления ПУ-85 с индикатором и клавиатурой. В нижней части шкафа КУЭП находится соединитель Centronics для подключения стандартного принтера типа EPSON LX-300+ и два соединителя COM1, и COM2.

Основные технические характеристики КУЭП:

- количество подключаемых счетчиков (датчиков типа «сухой» контакт) к одному КУЭП – до 32 или до 64;
- общее количество КУЭП в системе – до 32;

- количество тарифных зон – до 4;
- количество временных зон в сутки - до 48;
- точность хода часов в сутки – 1 s;
- время хранения данных в каждом КУЭП – 6 месяцев (получасовые), 5 дней (одноминутные);
- габаритные размеры, вес и потребляемая мощность:  
КУЭП-64 400x260x600 mm, 35 kg, 35 VA,  
КУЭП-32 400x260x460 mm, 30 kg, 28 VA;
- степень защиты – IP54;
- температура окружающего воздуха – от минус 10 до + 50°C.

Электропитание КУЭП осуществляется от двух независимых источников сети переменного тока с номинальным напряжением 220 V, частотой  $(50 \pm 1)$  Hz. При пропадании электропитания КУЭП от обоих внешних источников питания, встроенный источник (аккумулятор типа NP7-12 YUASA) обеспечивает работоспособность КУЭП в течение 8 h.

КУЭП рассчитаны на непрерывный, круглосуточный режим работы.

КУЭП поставляются как законченные, метрологически аттестованные изделия с полным набором эксплуатационной документации.

Связь счетчиков электроэнергии с КУЭП. выполняется витыми парами проводов без промежуточных соединений от панели кроссовой КУЭП до панели соединительной счетчиков. Максимальное удаление счетчиков от КУЭП – до 3 km, при омическом сопротивлении линии - не более 180 Ohm/km и емкости - не более 0,1  $\mu$ F/km.

КУЭП обеспечивает:

- радиальное и независимое подключение до 64 (для КУЭП-64) счетчиков электроэнергии с импульсным телеметрическим выходом;
- прием и преобразование импульсных сигналов от счетчиков электроэнергии;
- формирование базы данных с привязкой ее к всемирному координированному времени;
- хранение получасовой информации о потребленной электроэнергии за текущий и шесть предыдущих месяцев;
- хранение одноминутной информации за пять текущих дней;
- автоматический переход на зимнее и летнее время;
- ввод с пульта управления параметров расчета потребленной электроэнергии и мощности (под паролем);
- расчет электроэнергии по тарифам, дифференцированным по зонам суток по любому счетчику или группе счетчиков для коммерческого учета;
- расчет мощностей для каналов и групп для контроля потребления электроэнергии;
- регистрацию внешних и внутренних событий: попытка несанкционированного доступа, вскрытие шкафа, изменение

констант, отключение и включение питания, простои, помехи на линиях импульсной телеметрической связи;

- контроль работоспособности технических средств, самодиагностику;
- вывод на индикацию или печатающее устройство результатов расчета и контроля работоспособности по указанию оператора;
- прием от АРМ диспетчера сообщений единого времени и коррекцию хода собственных часов.

По командам, формируемым с пульта управления ПУ-85, КУЭП обеспечивает расчет и выводит на индикацию или печатающее устройство следующие показатели потребления активной и реактивной электроэнергии и мощности по указанному каналу учета (счетчику) или группе учета за прошедший или текущий учетный период:

- общее потребление электроэнергии;
- потребление электроэнергии по тарифным зонам;
- абсолютное и относительное отклонение (в процентах) потребления от лимита;
- среднюю мощность;
- среднюю мощность по тарифным зонам;
- абсолютное и относительное (в процентах) отклонение средней мощности от лимита по тарифным зонам;
- восемь наибольших значений средней получасовой мощности в каждой тарифной зоне с фиксацией даты и времени;
- текущую мощность, усредненную за 1, 5, 30 минут;
- "мгновенную" мощность по каналу учета, определенную по величине временного интервала между двумя смежными импульсами

Формы печатных документов КУЭП приведены в таблице 2.

Таблица 2

Формы печатных документов КУЭП

Ф1	Показания счетчиков на заданное время
Ф2к	Расход электроэнергии (канал)
Ф2г	Расход электроэнергии (группа)
Ф3к	Мощность за период (канал)
Ф3г	Мощность за период (группа)
Ф4к	Текущая мощность (канал)
Ф4г	Текущая мощность (группа)
Ф5к	Максимумы мощности за период (канал)
Ф5г	Максимумы мощности за период (группа)
Ф6к	Параметры каналов
Ф6г	Параметры групп
Ф7	Остановившиеся каналы
Ф8	Отказы питания
Ф9	Проверка аккумулятора

Ф10	Ввод пароля
Ф11	Отказы и сбои аппаратуры КУЭП
Ф12	Простои каналов и КУЭП
Ф13	Доступ в шкаф КУЭП
Ф14к	Расчет COS F (канала)
Ф14г	Расчет COS F (группа)
Ф15к	Расчет баланса (канал)
Ф15г	Расчет баланса (группа)
Ф16	Расход электроэнергии по всем каналам

По командам, формируемым с пульта управления, КУЭП обеспечивает автоматический вывод на печать указанной формы печатных документов.

С пульта управления КУЭП обеспечивается возможность ввода следующих данных:

- наименование (номер) канала или группы учета;
- заводской номер, емкость счетного механизма, передаточное число счетчика, начальные показания счетчиков;
- коэффициенты трансформации трансформаторов тока и трансформаторов напряжения;
- границы учетных периодов тарифных зон;
- лимиты потребления электроэнергии;
- всемирное координированное время: год, месяц, число, часы, минуты, секунды;
- пароля, определяющего возможность доступа к комплексу.

На индикацию пульта управления КУЭП выводится следующая информация технического контроля:

- текущие показания счетных механизмов (табло) счетчиков;
- текущий счет импульсов по каждому каналу учета;
- количество и номера каналов учета, от которых прекратилось поступление счетных импульсов, с указанием даты и времени;
- отказы электропитания с указанием даты и времени;
- результаты проверки аккумулятора;
- вскрытие шкафа с указанием даты и времени.

Перед запуском в работу в КУЭП должны быть введены следующие параметры:

- наименование присоединений (каналов учета) и групп присоединений (групп учета);
- заводской номер счетчика;
- активный/реактивный;
- размерность (MW/Mvar);
- емкость учета (количество знаков до запятой);
- передаточное число (количество импульсов на 1 кВт•h);
- начальные показания счетчиков;

- коэффициенты трансформации трансформаторов тока и напряжения;
- лимиты энергии и мощности по каждому присоединению;
- границы тарифных зон;
- время и дату перехода на зимнее и летнее время;
- точное время;
- коэффициент автоматической коррекции хода часов.

Изменение параметров КУЭП в процессе эксплуатации может производить только должностное лицо, владеющее паролем доступа к параметрам. Факт ввода пароля фиксируется в файле статистики КУЭП с указанием даты и времени ввода пароля.

Параметры любого канала или группы учета могут быть проверены в любой момент времени распечаткой на КУЭП или АРМ энергетика документов формы Фбк и Фбг.

### **Автоматизированное рабочее место энергетика**

Пакет программных модулей АРМ энергетика системы КУЭП обеспечивает:

- прием информации от КУЭП, формирование и хранение собственной базы данных;
- контроль работоспособности связи с КУЭП;
- расчет параметров потребления электроэнергии и мощности для коммерческого и технического учета;
- отображение процесса энергопотребления в виде графиков;
- отображение процесса энергопотребления в виде мнемосхем;
- формирование отчетных документов.

Оператору АРМ энергетика предоставляются следующие графики по присоединениям и группам присоединений с совмещенными значениями активной и реактивной энергии и мощности по приему и отдаче:

- потребления электроэнергии за прошедший и текущий учетный период с дискретностью одни сутки;
- суточного потребления электроэнергии с выделением тарифных зон;
- потребление электроэнергии за прошедший и текущий учетный период по тарифным зонам;
- мощности, усредненной за одни сутки за прошедший и текущий период;
- мощности средней получасовой за сутки с выделением тарифных зон и превышения лимита;
- текущей мощности, усредненной за 1, 3, 5, 30 min;
- ”мгновенной” мощности по каналу учета с дискретностью 10 s;
- балансов принятой, отданной и потребленной электроэнергии с дискретностью 1, 5, 30 min.

Оператору АРМ энергетика предоставляется возможность получения следующих документов:

- акт сверки съема показаний расчетных счетчиков на границе балансовой принадлежности;
- акт баланса электроэнергии полученной и израсходованной;
- расчет потерь в трансформаторах.

### **Автоматизированное рабочее место Диспетчера**

АРМ Диспетчера является сервером всей системы и одновременно выполняет все функции АРМ энергетика.

ПО АРМ диспетчера обеспечивает возможность включения звуковой сигнализации при возникновении аварийных ситуаций, например, при превышении лимитов активной и реактивной энергии и мощности. Перечень аварийных ситуаций формируется на стадии разработки ТП.

В АРМ диспетчера обеспечивается возможность формирования и передачи в КУЭП сообщений единого времени системы. Дискретность передачи сообщений единого времени определяется оператором АРМ диспетчера.

Для повышения надежности функционирования системы в состав АРМ диспетчера (сервер) должно быть включено устройство бесперебойного питания (УБП).

### **Съем данных**

Съем данных производится:

- непосредственно на КУЭП с выводом данных и параметров потребления электроэнергии на принтер, подключенный к КУЭП. Формы печатных документов КУЭП приведены в "Инструкции оператора комплекса 467414.016 Д2", поставляемой в составе эксплуатационной документации КУЭП;
- на ПЭВМ АРМ энергетика или АРМ диспетчера с выводом данных и параметров электропотребления на принтер в соответствии с документом "Пакет программных модулей автоматизированного рабочего места энергетика комплекса учета энергопотребления. Описание применения. 0229767.00233-01 31 01".

Формы отчетных документов по расчету стоимости электроэнергии, расчету потерь в линиях и трансформаторах, актов сверки съема показаний расчетных счетчиков уточняются в процессе разработки технических требований.

### **Построение АСКУЭ на базе КУЭП**

В качестве примера построения АСКУЭ на базе комплексов КУЭП на рисунке 2 приведена структурная схема АСКУЭ ГП «Северодонецкая ТЭЦ».

ГП «Северодонецкая ТЭЦ» является предприятием, которое вырабатывает, отпускает и потребляет электроэнергию. Часть электроэнергии ГП «Северодонецкая ТЭЦ» может получать из единой энергосистемы или выдавать в единую энергосистему.

Система строится на базе пяти КУЭП-64, одного КУЭП-32, одного АРМ диспетчера (сервер) и двух АРМ энергетика. Всего в системе задействовано 232 счетчика различного типа: SL7000, LZQM, Ф68700В, ЦЭ6811. Часть счетчиков установлена на границе балансовой принадлежности (граница с энергорынком и основными потребителями), часть счетчиков установлена на генераторах, большая часть счетчиков используется в системе учета потребления электроэнергии для собственных нужд.

АРМ диспетчера (сервер) размещается на главном щите управления. Один АРМ энергетика установлен в электроцехе, второй - в кабинете главного энергетика, расположенного в административном здании ГП «Северодонецкая ТЭЦ».

Для передачи данных используются стандартные модемы, выделенные и коммутируемые линии связи из числа резервных линий местной АТС.

АРМ диспетчера и АРМ энергетика имеют выход на локальную сеть Ethernet.

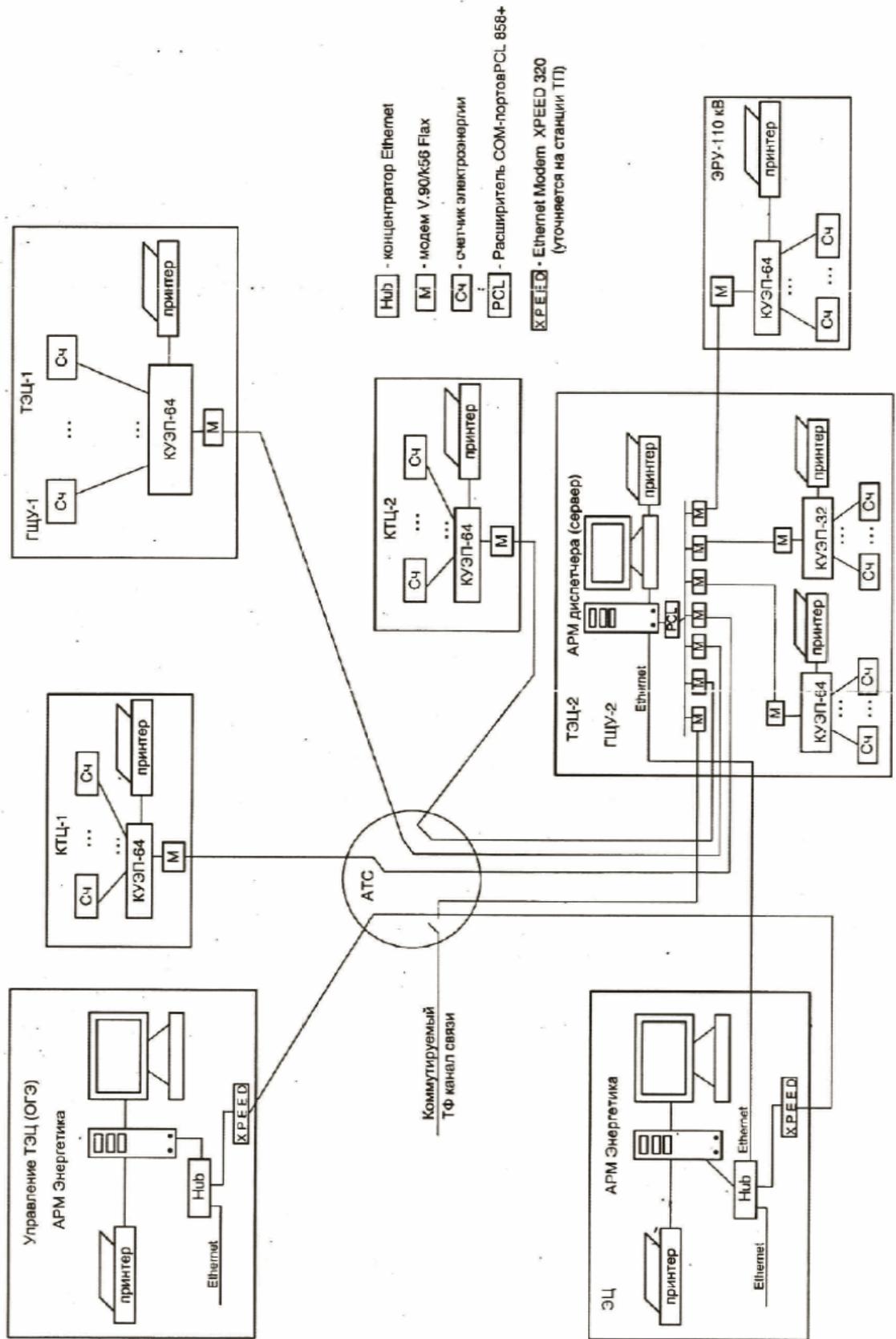


Рисунок 2 – Структурная схема АСКУЭП ГП «Северодонецкая ТЭЦ»

**М.И. ВАСЮХИН, В.В. СМОЛИЙ**

*Киевский национальный авиационный университет, Северодонецкий технологический институт ВНУ*

## **ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ СТРУКТУРЫ И АЛГОРИТМЫ В СИСТЕМАХ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ**

Окружающий нас мир представляет собой большую совокупность параллельно протекающих процессов. Это одновременно едущие автомобили, светофоры, регулирующие их движение, грузовые и пассажирские составы на магистралях и станциях, корабли и самолеты, реакторы атомных энергоблоков, работающие на одной электростанции.

Скорости их движения транспортных средств возрастают, атомные реакторы могут быть в недалеком будущем быть заменены нейтронными. Требования к времени принятия решения о выдаче предупреждающих и управляющих воздействий становятся жестче, уменьшаясь в длительности, и, хотя все больше задач возлагается на средства вычислительной техники, как правило основным звеном, принимающим окончательное решение, является человек со своими способностями, интуицией и накапливаемым опытом. Для повышения эффективности принимаемых им решений, ставятся задачи наиболее полного и своевременного предоставления информации. С этой целью разработаны системы представления информации оператору, построенные на его человеческих особенностях, и носящие название инженерной психологии [1,2], когнитивной графики [3-5] и других технологий. Одной из наиболее трудоёмких задач при реализации систем оперативного управления являются именно задачи визуализации обрабатываемых данных. При этом, можно выделить несколько этапов в решении этих задач – обработка всего потока входных данных, распределение данных между пользователями системы, передача данных пользователям, обработка на рабочих станциях и визуализация на рабочих станциях.

Часто даже самые несложные с точки зрения вычислений задачи становятся крайне трудоемкими, например, обработка запросов по банковским кредитным карточкам. Однако, количество этих запросов и правила их обработки такие, что ресурсов одной вычислительной машины с классической архитектурой становится крайне мало и вычисления возлагаются либо на распределенные вычислительные системы, либо на много процессорные майнфрейм-системы.

Другой типичный пример параллельной обработки данных из современной жизни – это крупные FTP-, WEB- и почтовые сервера, сервера поисковых систем.

В процессе доставки информации так же, иногда, необходимо наличие параллельных структур и каналов связи. Например, в [6], рассматривались

вопросы доставки информации на рабочие станции операторов в локальной сети диспетчерской службы аэропорта. С логической точки зрения организация строится на основе клиент-серверной технологии. Сервер обрабатывает поток входной информации о транспортных средствах (в рассматриваемом случае самолётах), распределяет их по определенным признакам за рабочими станциями и должен их туда доставить. В рассматриваемой работе анализ проводился для 10 Мб сети Ethernet (без учета задержек на разрешение коллизионных конфликтов), и давал неудовлетворительные показатели даже для векторного описания контура изображения объекта, с общим объемом 15 байт, в особенности для режимов типа пакетной передачи данных для абонентов сети (верхние совпадающие графики на рисунке 1).

Результаты моделирования для скорости 100 Мб, как видно из графика на рисунке 2, при тех же значениях остальных параметров не ведут к значительному увеличению производительности сети - с 16 абонентов до 27 - на 56% при увеличении скорости шины в 10 раз. Такой выход можно сделать из того, что даже в реализации Fast-Ethernet абоненты сети и сервер их обслуживающий, должны будут находиться в одном коллизионном домене. Соответственно, возможны ситуации в отказе в обслуживании, что является недопустимым в критических приложениях систем оперативного управления. Единственный путь, который может решить эту задачу – использование параллельных каналов связи.

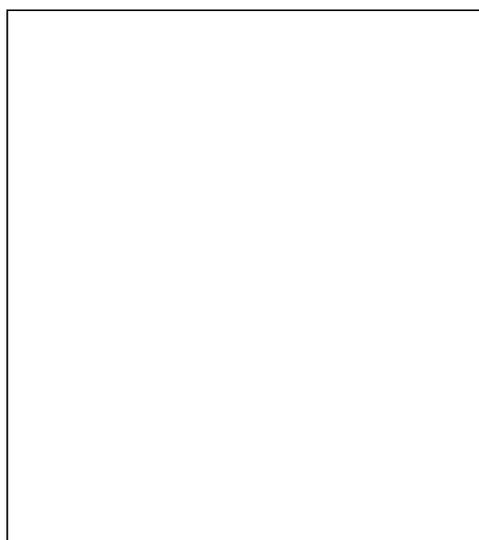


Рисунок 1 – Зависимость приведенной плотности заявок в сети Ethernet 10 Мб

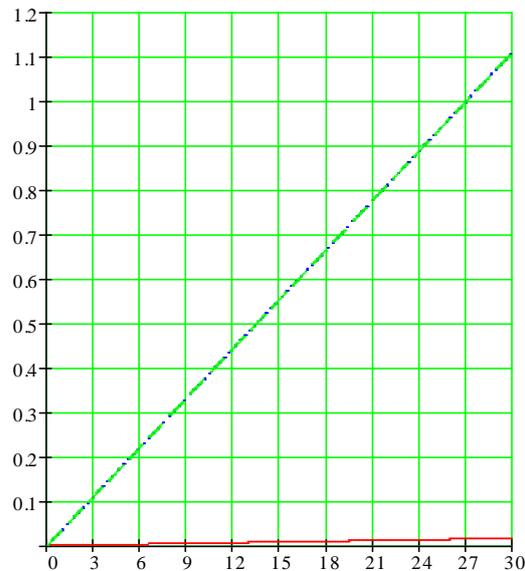


Рисунок 2 - Зависимость приведенной плотности заявок в сети Ethernet 100 Mb

Перспективным, в этом смысле, является использование структуры типа сети МАПС с некоторыми изменениями в алгоритмах её администрирования – в случае возникновения необходимости передачи критической информации и при занятом канале необходимо *реконфигурировать* сеть таким образом, чтобы дублирующий канал пропустил эту информацию абоненту, после чего вернуть систему в исходное состояние. Роль дублирующего канала в это время остается за третьим каналом. При еще большем увеличении нагрузки, возможно выделять в пользование и третий канал передачи данных, хотя, как известно из теории систем массового обслуживания [7], вероятность того, что никакой из  $k$  каналов за время  $t$  не освободится, обратно пропорциональна экспоненте в степени  $k$ :

$$p = e^{-k\mu t}, \quad (1)$$

где  $k$  – количество каналов в системе передачи данных,

$\mu$  - интенсивность потока обслуживания в канале,

$t$  – рассматриваемый период времени.

Анализ этих данных указывает, что наличие уже двух каналов значительно снижает вероятность отказов в обслуживании.

### Литература

1. Основы инженерной психологии. Учеб. пособие под ред. Б.Ф. Ломова/ М., Высшая школа,- 1977.- 335 с.
2. Инженерная психология. Под ред. Г.К. Середы/ Киев, Высшая школа,- 1976.- 308с.
3. Поспелов Д.А. Когнитивная графика – окно в новый мир// Программные продукты и системы.- 1992.- № 2.- С.4-6.
4. Зенкин А.А. Когнитивная компьютерная графика. – М.: Наука, 1991. – 187с.
5. Пушкин В.Н. Психология и кибернетика. – М.: Педагогика, 1971.- 230 с.

6. Васюхін М.І., Смолій В.В., Воловод Є.В. Мережеві технології в графічних системах моніторингу рухомих об'єктів// Вісник ХГТУ.-2000.-№.1(7)-С.163-167:-бібліогр.: 8 найм.
7. В.П. Сигорский Математический аппарат инженера– Київ:Техніка,1978.-768 с.

**А.М. БРЕЖНЕВ**

*Северодонецкий технологический институт*

## **СЕТЬ КОХОНЕНА В ЗАДАЧЕ НЕЧЕТКОГО ПОИСКА СЛОВ**

В статье оцениваются возможности искусственной нейронной сети для решения одной из задач нечеткой логики - нечеткого поиска слов, соответствующих искаженным входным словам. Показано, что данная задача может рассматриваться, как задача классификации, в которой центрами классов являются слова из орфографического словаря, а для входного слова определяется класс куда оно попадает. Дана оценка с точки зрения правильности классификации способам представления входных данных сети в виде линейки битов и числового вектора. Приведены экспериментальные данные и даны рекомендации по выбору параметров сети Кохонена для решения подобных задач.

На сегодняшний день с помощью нечеткой логики реализованы тысячи проектов - от посудомоечных машин, автомобилей и фотокамер с автофокусировкой в потребительском секторе до контроллеров поточного производства, атомных реакторов, аэрокосмических систем и систем военного назначения. Общая структура микроконтроллера, использующего нечеткую логику, обычно содержит в своем составе блок фазификации, базу знаний, блок решений и блок дефазификации. Блок фазификации преобразует четкие величины, измеренные на выходе объекта управления, в нечеткие величины, описываемые лингвистическими переменными в базе знаний. Блок решений использует нечеткие условные правила, заложенные в базе знаний, для преобразования нечетких входных данных в требуемые управляющие воздействия также нечеткого характера. Блок дефазификации преобразует нечеткие данные с выхода блока решений в четкую величину, которая используется для управления объектом.

В данной работе под нечетким поиском понимается возможность найти достаточно близкое приближение к запрошенному термину или фразе из некоторого заранее заданного справочника терминов и/или фраз. Нечеткий поиск устраняет для пользователя необходимость знать правильное написание каждого термина, с которым он работает. Нечеткий поиск особенно полезен в ситуациях, когда ввод данных осуществляется с помощью оптического распознавания символов, которое не является на 100% точным даже при очень высоком качестве печати исходного документа. Аналогичная задача возникает в системах распознавания речи, построенных на фонемно - ориентированном методе, где из списка фонем, распознанных с определенной точностью, составляется шаблон, по которому происходит подбор наиболее подходящего слова. Наиболее известной и часто встречающейся областью применения нечеткого поиска является задача проверки орфографии, которая решается многими текстовыми процессорами, например, Microsoft Word. Текстовый

процессор при отсутствии текущего слова в словаре предлагает для возможной замены совокупность наиболее «близких» слов из словаря.

*Постановка задачи.* Имеется орфографический словарь  $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ , где  $s_j$  - слово некоторого языка. Для очередного слова  $t_i$  (возможно с ошибками) из проверяемого текста  $T$  необходимо определить слово  $s_j \in S$ , которое либо совпадает, либо «близко» к  $t_i$ .

В такой постановке данная задача становится задачей классификации, в которой слова  $s_j \in S$  из орфографического словаря становятся центрами классов, и необходимо определить класс, в который попадает очередное слово  $t_i$  из текста  $T$ .

Степень близости слова к классу определяется с помощью специальной метрики. Обычно для решения этой задачи применяются алгоритмы нечеткого сопоставления слов или фрагментов текста и статей орфографического словаря. Наиболее известны алгоритмы вычисления расстояния Левенштейна [1, 2], алгоритмы на базе trie-деревьев [3], алгоритмы использующие методы  $N$ -грам [4]. Независимо от метода сопоставления все алгоритмы выполняют проходы по словарю системы, что вызывает существенные затраты ресурсов системы при росте словарного запаса.

В начале 90-х годов появились разработки, связанные с управлением большими массивами электронных документов и использующие результаты, полученные в области искусственных нейронных сетей. Они позволили сформулировать новые концепции построения систем управления неструктурированной информацией в электронном виде. Компания Excalibur Technologies разработала и представила на рынке технологию адаптивного распознавания образов APRP (Adaptive Pattern Recognition Processing) [5,6]. Технология APRP основана на нейронных сетях и позволила понизить процент ошибок распознавания текстов.

Если рассматривать задачу нечеткого поиска слова, как задачу классификации, то наиболее подходящим кандидатом для ее решения среди искусственных нейронных сетей является сеть Кохонена [7,8,9]. Несмотря на обилие публикаций по тематике сетей Кохонена ряд положений определены нечетко, что создает трудности при программной реализации сети. Нечеткости связаны с получением ответов на следующие вопросы: какими значениями должны инициализироваться весовые коэффициенты на входах нейронов, чтобы обеспечить быструю сходимость процесса обучения сети; должны ли нормироваться сигналы на входе сети; какая функция активации обеспечивает более точное определение принадлежности некоторого элемента его классу при наличии искажений; каков критерий завершения процесса обучения сети. Кроме того, если минимальной информационной единицей, подаваемой на вход сети, будет слово, то как представить код слова: как совокупность байтов или совокупность битов? Некоторые частные рекомендации по решению перечисленных проблем можно получить в [10]. Однако, излагаемые в данной статье рекомендации и результаты получены при решении частной задачи

распознавания цифр по их бинарным раграм. Поэтому необходимо провести дополнительные исследования о применимости результатов, полученных в [10], для решения поставленной задачи.

### Определение сети для проведения исследований

Сеть Кохонена для классификации на  $k$  классов состоит из  $k$  нейронов (ядер), каждый из которых вычисляет близость объекта к своему классу. В сети один слой нейронов. Все нейроны работают параллельно.

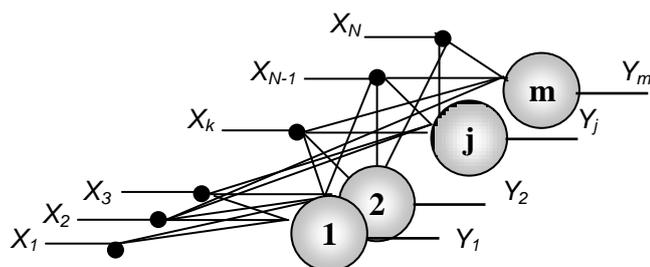


Рисунок 1 – Схема сети Кохонена

Состояние ( $S_k$ ) и выход ( $Y_k$ ) любого  $k$ -го нейрона определяется по формулам:

$$S_k = \sum_i w_{i,k} * x_i ; \quad Y_k = F(S_k),$$

где:  $x_i$  - значение сигнала на  $i$ -м входе;  
 $w_{i,k}$  - весовой коэффициент  $i$ -го входа;  
 $S_k$  - состояние нейрона;  
 $Y_k$  - выход нейрона;  
 $F(S_k)$  - активационная функция.

В классической сети Кохонена активационная функция каждого нейрона - линейная:  $Y_k = D * S_k$ .

При обучении сети считается, что целевой функционал не задан. Обучающая выборка представлена лишь входными векторами. Процесс обучения сети Кохонена с нулевой окрестностью состоит из циклического повторения ряда шагов: 1) случайный выбор вектора исходных данных из массива и подача на входы; 2) нормирование исходных данных, если необходимо; 3) нахождение выходного значения каждого нейрона; 4) определение "победившего" (с наибольшим значением на выходе) нейрона; 5) корректировка весов "победившего" нейрона; 6) переход на шаг 1, если обучение не завершено.

Весовые коэффициенты победившего  $j$ -того нейрона корректируются по следующему правилу:

$$w_{i,j}(t) = w_{i,j}(t-1) + \alpha * [x_i - w_{i,j}(t-1)],$$

где  $w_{i,j}(t)$ ,  $w_{i,j}(t-1)$  - новое и предыдущее значение весового коэффициента на  $i$ -м входе  $j$ -того нейрона;

$x_i$ - значение на входе  $i$ ;  $\alpha$  - скорость обучения.

Нормирование входных данных часто выполняется с помощью известной формулы, в которой каждый компонент вектора делится на его евклидову длину:  $x'_k = x_k / L$ , где  $L = \sqrt{\sum_j x_j^2}$ .

В известных публикациях по тематике сетей Кохонена [7, 8, 10] по разному определяют момент окончания обучения сети. В классической сети Кохонена вначале определяют окрестность. Окрестность - это несколько нейронов, окружающих нейрон-победитель. Соответственно скорости обучения, размер окрестности постепенно уменьшается, так, что сначала к нему принадлежит довольно большое число нейронов (возможно вся карта), на самых последних этапах окрестность становится нулевой и состоит лишь из нейрона-победителя. В [10] сразу рассматривается сеть с нулевой окрестностью, а обучение заканчивается, когда каждый нейрон распознает соответствующий ему вектор не менее 40 раз подряд.

Эксперименты автора показали, что в процессе обучения сети с нулевой окрестностью в различных циклах для одного и того же входного вектора меняется нейрон победитель. Процесс обучения завершается, когда в очередном цикле не было смен соответствия между нейронами - победителями и входными векторами. В дальнейшем этот критерий будет основным при определении окончания процесса обучения сети.

### Формат входных данных

Основной единицей входных данных в содержательной постановке является слово текста. Возможны два способа представления отдельных символов слова на входе нейронной сети (рисунок 2): как битового вектора или как одного числа, соответствующего коду символа.

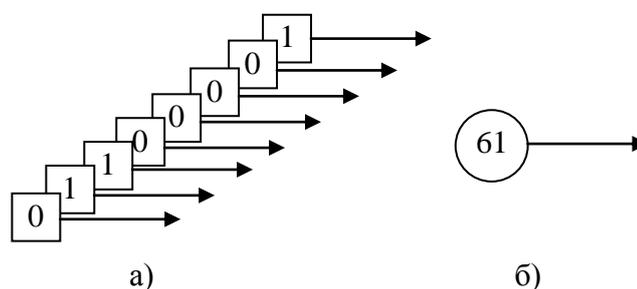


Рисунок 2 – Способы представления символа «а»

В дальнейшем представление слова по первому способу будем называть битовой линейкой, а по второму - числовым вектором.

Очевидно, что первый способ представления проигрывает второму по затратам ресурсов на реализацию сети в 8 раз. Другой особенностью битовой линейки является то, что нахождение евклидовой длины вырождается в нахождение квадратного корня из количества единиц, имеющих в битовом представлении слова. Это значит, что различные слова могут иметь одинаковую евклидову длину. С учетом этого обстоятельства был составлен тестовый словарь, в который были включены слова и их «двойники» с такой же евклидовой длиной: (вор, ров), (кат, так, акт), (рост, сорт, торс), (уклон, кулон), (газон, загон), (плохо, холоп), (фирма, рифма), (бельмо, мольбе), (колоть, локоть).

### Исследования работы сети

Перед проведением исследований необходимо решить вопрос о параметре  $D$  функции активации. Вопрос решался путем анализа графиков

линейной функции  $Y_k = D * S_k$  и SOFTMAX-функции:  $Y_k = \frac{e^{S_k}}{\sum_i e^{S_i}}$ , которая

часто используется для решения задач классификации. На рисунке приведены графики функций в двух диапазонах изменения значений  $S_k$ .

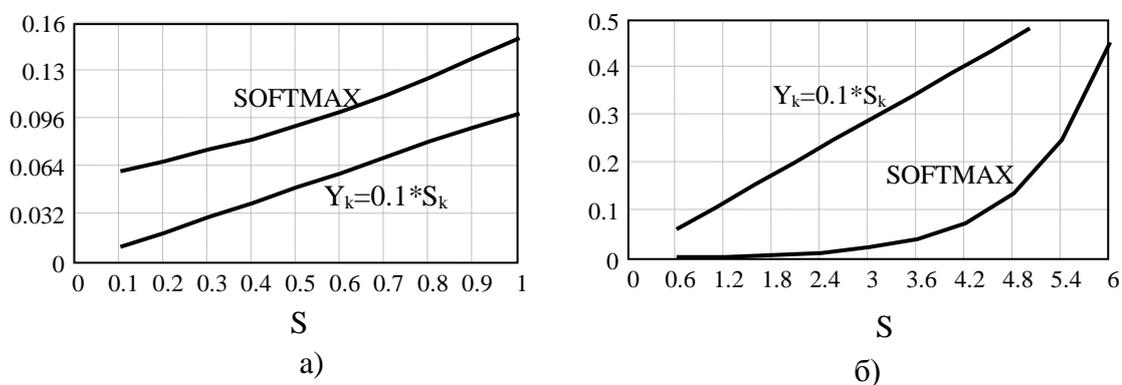


Рисунок 3 – Графики линейной и SOFTMAX-функции

Если аппроксимировать SOFTMAX-функцию на рисунке 1, а прямой линией, то можно определить угол наклона и использовать это значение для определения коэффициента  $D$  в линейной функции. Это обеспечит примерно одинаковую реакцию нейронов в области «малых» входных сигналов - 1 - 2 ненулевых значения на входах сети. Однако, с увеличением количества ненулевых сигналов значение переменной  $S$ , определяющей состояние нейрона, будет расти, что приведет к проявлению нелинейности SOFTMAX-функции (рисунок 1, б). Поэтому, при проведении экспериментов в качестве функции активации будет использоваться линейная функция с коэффициентом  $D=0.1$ .

На первом этапе исследовалось *влияние начального значения* весовых коэффициентов на сходимость процесса обучения. В литературе вопросу выбора начального значения весовых коэффициентов нейронов мало уделяется внимание. Зачастую рекомендуется весовым коэффициентам всех нейронов присвоить «небольшие случайные» значения. Рекомендации, которые даны в [10], более конкретны: всем весам присваивается одно и то же значение  $\frac{1}{\sqrt{m}}$ , где  $m$  - количество нейронов. То есть, при возрастании количества классов (а в нашем случае - количества слов в словаре) начальное значение будет уменьшаться. Для проверки правомерности такой рекомендации были проведены эксперименты со словарями различного объема. В результате было выявлено, что для словарей объемом более двух десятков слов процесс обучения практически не сходится. Проведенные дополнительные исследования показали уязвимость рассматриваемой сети от начального значения весовых коэффициентов: при работе с линейками битов процесс обучения не сходился, если весовые коэффициенты инициализировались одним и тем же значением 0.2; а при работе с числовыми векторами - значением 0.5. Эксперименты с тестовым словарем, а также со словарями, получаемыми из произвольно выбранных текстов, с количеством слов от нескольких десятков до нескольких сотен, позволили установить, что процесс обучения сети нормально сходится, если весовые коэффициенты инициализировать одним и тем же значением, равным половине максимально возможного значения на одном из входов сети. В случае битовых линеек это значение равно 0.5, а в случае числовых векторов - 127.

На втором этапе исследовались возможности сети Кохонена правильно классифицировать слова, в которых искажен один из символов. Для каждого слова из тестового словаря организовывался цикл поочередного искажения каждого символа, в котором, в свою очередь, запускался цикл поочередной установки в 1 каждого из 8 битов символа. Далее искаженное таким образом слово подавалось на вход сети и определялся нейрон-победитель и слово, которое сопоставлено этому нейрону в процессе обучения. Ошибкой считалось, если слово на выходе сети не совпадало с неискаженной формой слова на входе. Для тестового словаря общее количество искажений составило 728. При использовании для входных данных формата линейки битов количество неправильных классификаций слов составило 4 (или 0.55%), а при использовании формата числового вектора - 155 (или 21.3 %).

Было выявлено, что на эти показатели не оказывают влияния: скорость обучения - при изменении от 0.1 до 1; многократное (20 и более раз) обучение сети.

Третий этап заключался в исследовании возможностей сети правильно классифицировать слова, в которые добавлен один лишний символ. Для каждого слова из тестового словаря организовывался цикл добавления лишнего символа поочередно во все позиции слова. Для тестового словаря общее количество искажений составило 111.

Результаты эксперимента «лишний символ»

Добавляемый символ	Общее количество ошибок классификации	
	Линейка битов	Числовой вектор
«-»	47 (42.34 %)	96 (86.50%)
«я»	47 (42.34 %)	97 (87.38 %)
«ё»	50 (45.04 %)	97 (87.38 %)

Эксперимент, который условно назван «нет одного символа», показал что при использовании для входных данных формата линейки битов количество неправильных классификаций слов составило 44 (или 61.97 %), а при использовании формата числового вектора - 69 (или 97.18 %). Общее количество искажений слов - 91.

### Выводы

Процесс обучения сети Кохонена гарантировано сходится, если весовые коэффициенты инициализировать одним и тем же значением, равным половине максимально возможного значения на одном входе сети.

В задаче нечеткого поиска слов целесообразно:

- использовать модель нейрона с линейной функцией активации, коэффициент наклона которой 0.1;
- для представления слов использовать формат линейки битов.

Сеть Кохонена устойчива к искажениям кодов символов, если не искажается длина слова.

### Литература

1. A. Ehrenfeucht, D. Haussler. A New Distance Metric on Strings Computable in Linear Time. *Discrete Applied Mathematics*, 20:191-203, 1988.
2. Ricardo Baeza-Yates, Gonzalo Navarro, Fast Approximate Matching in a Dictionary. In 5th South American Symposium on String Processing and Information Retrieval (SPIRE'98), Sta. Cruz de la Sierra, Bolivia, September 1998. IEEE CS Press.
3. H. Shang & T. H. Merrett, 1996 Tries for Approximate String Matching *IEEE Trans. on Knowledge and Data Engineering*, special issue on Digital Libraries, Nabil R. Adam, ed., 8 4(August, 1996) pp. 540--7
4. Wu S. and U. Manber, Agrep — A Fast Approximate Pattern-Matching Tool, *Usenix Winter 1992. Technical Conference*, San Francisco (January 1992), pp.153-162.
5. Каменнова М. Управление электронными документами: технологии и решения.- *Открытые Системы*, 1995, № 4(12).
6. Чибисов А. Поисковые возможности Excalibur RetrievalWare. - *Открытые системы*, 1996, № 5.

7. Нейроинформатика: Учеб. пособие для студентов / Е.М. Миркес.- Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2002, 347 с.
8. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника: теория и практика. - М.: Мир, 1992.
9. Anil K. Jain, Jianchang Mao, K.M. Mohiuddin Artificial Neural Networks: A Tutorial, Computer, Vol.29, No.3, March/1996, pp. 31-44.
10. Шевелёв А. Нейронные сети Кохонена. - syleiman@mail.ru

Й. І. СТЕНЦЕЛЬ, А. В. ТОМСОН

*Сєвєродонецький технологічний інститут Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля***ЕЛЕКТРОДЕФОРМАЦІЙНІ ПРОЦЕСИ В П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧАХ**

Розглядається робота п'єзоелектричних перетворювачів при дії на них електричних імпульсів. Запропоновані фізична та математичні моделі п'єзоелектричних перетворювачів на основі принципу реологічних перетворень. Показано, що окрім електродеформаційних у п'єзоелектричних перетворювачів мають місце ще й чисто електричні резонансні процеси.

П'єзоелектричні перетворювачі (ПЕП) широко використовуються в дефектоскопії, для вимірювання рівня рідких і сипучих речовин, густини, в'язкості, витрати матеріальних потоків, концентрацій та багато інших фізичних параметрів. Вони призначені для перетворення вхідного електричного імпульсу в ультразвукові коливання, які подаються в тверде, рідке або газоподібне середовище. При ультразвукових вимірюваннях у більшості випадків вимірюють час проходження ультразвукових коливань (УЗК) через середовище до певної границі, або час прямого й зворотного ходу УЗК від границі розділу фаз. П'єзоелектричні перетворювачі одночасно можуть служити випромінювачами та приймачами УЗК [1].

При подачі на вхід ПЕП електричного імпульсу (рис. 1, поз. 1) тривалістю  $\tau$  виникає деформація п'єзоелемента, в результаті чого після припинення електричної дії створюються загасаючі коливання як показано на рис. 1 пунктирною лінією. Як показали експериментальні дослідження форма кривої перехідного процесу має складний характер (див. рис. 1, суцільна лінія), що свідчить про наявність високочастотної складової, яка накладається на низькочастотну.

Формально в п'єзоелектричному перетворювачі має місце трьохстадійне реологічне електродеформаційне перетворення (рис. 2). При подачі на вхід ступінчастого електричного сигналу  $E_0$  на першому реологічному переході виникають первинні коливальні деформаційні процеси  $y_1(t)$ , які за аналогією з мембранними процесами можуть бути описані наступним диференціальним рівнянням

$$m \frac{d^2 y_1(t)}{dt^2} + k_1 \frac{dy_1(t)}{dt} + c_1 y_1(t) = E(t), \quad (1)$$

де  $m$  - маса п'єзоелемента;  $k_1$  - коефіцієнт демпферування коливань;  $c_1$  - жорсткість п'єзоелемента;  $y$  - поточне значення механічного руху

п'єзоелемента;  $E(t)$  - вхідний електричний сигнал;  $t$  - поточне значення часу деформації ПЕП.

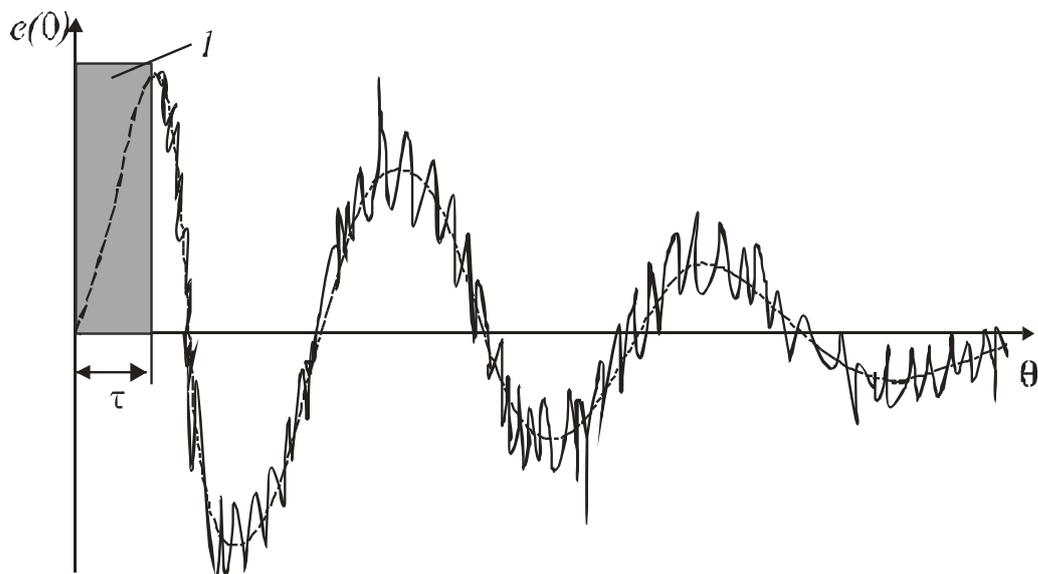


Рисунок 1 – Форма експериментальної кривої перехідного процесу п'єзоелектричного перетворювача

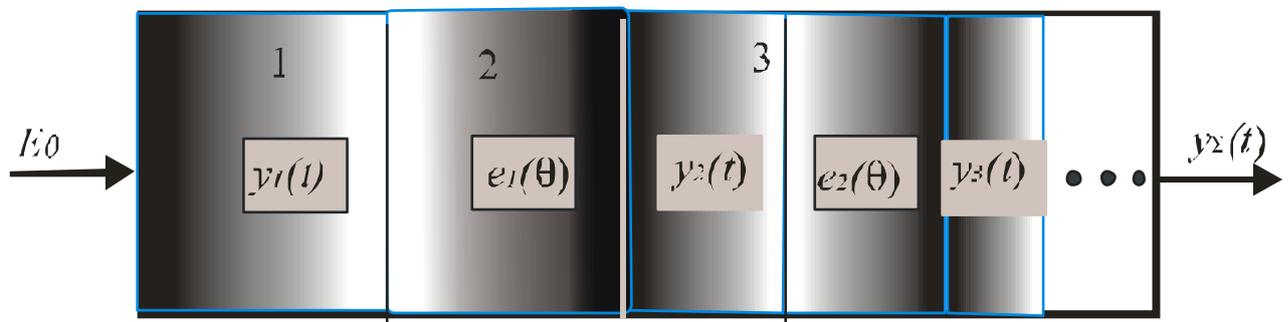


Рисунок 2 – Форми реологічних перетворень у п'єзоелектричному перетворювачі

На другому реологічному переході деформаційні коливальні процеси створюють електрорушійну силу  $e_1(\theta)$ , яку можна описати наступним диференціальним рівнянням

$$T_2^2 \frac{d^2 e_1(\theta)}{d\theta^2} + T_1 \frac{de_1(\theta)}{d\theta} + e_1(\theta) = \tau_2^2 \frac{d^2 y_1(t)}{dt^2} + \tau_1 \frac{dy_1(t)}{dt} + y_1(t), \quad (2)$$

де  $T_1, T_2$  - постійні часу п'єзоелемента;  $\theta$  - поточне значення часу дії електрорушійної сили;  $\tau_2 = \sqrt{m/c_1}$ ,  $\tau_1 = k_1/c_1$  - постійні часу первинних деформаційних процесів.

На третьому реологічному переході електрорушійна сила  $e_1(\theta)$ , діючи на п'єзоелемент, створює вторинні деформаційні процеси  $y_2(\psi)$ , які можна описати наступним рівнянням

$$(\tau'_2)^2 \frac{d^2 y_2(\psi)}{dt^2} + \tau'_1 \frac{dy_2(\psi)}{dt} + y_2(\psi) = T_2^2 \frac{d^2 e_1(\theta)}{d\theta^2} + T_1 \frac{de_1(\theta)}{d\theta} + e_1(\theta). \quad (3)$$

Таким чином, згідно зі запропонованою фізичною моделлю (рис. 2) електродеформаційні процеси у першому наближенні протікають за такою схемою:  $E_0 \rightarrow y_1(t) \rightarrow e_1(\theta) \rightarrow y_2(\psi) \rightarrow e_2(\xi) \rightarrow y_3(\vartheta) \dots$ , де  $\psi, \xi, \vartheta$  - час перехідного процесу другої деформації, другої ЕРС, третьої деформації відповідно. Амплітуди третьої, четвертої і т. д. деформацій незначні і ними можна знехтувати. Тому в подальшому обмежимося лише першою та другою деформаціями.

Створення електрорушійної сили є наслідком деформаційних процесів, які мають місце в п'єзоелементі, тому час  $\theta$  є дещо зміщеним відносно часу  $t$  за рахунок електричних параметрів - активного опору  $R$  та ємності  $C$ , якщо його еквівалентну схему представити електричним колом  $RC$ , як показано на рис. 3 [2]. Для даної еквівалентної схеми залежність ЕРС  $E(\omega)$  від частоти коливань  $\omega$  описується рівнянням

$$E(\omega) = I(\omega) \left[ \frac{R/\omega C}{R + 1/\omega C} \right], \quad (4)$$

де  $I(\omega)$  - струм;  $\omega = 1/2\pi T$  - кутова частота коливань;  $T$  - період деформаційних коливань.

З (4) випливає, що така еквівалентна електрична схема не має резонансних частот, а значить перехідний процес ПЕП після закінчення дії на нього електричного імпульсу повинен бути без високочастотної складової.

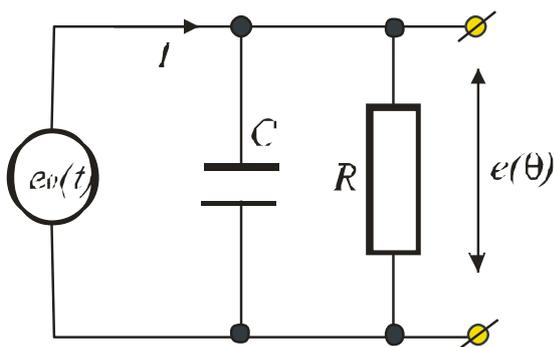


Рис. 3. Еквівалентна електрична схема п'єзоелектричного перетворювача.

У загальному випадку, виходячи з вищеобумовленого, фізичну модель п'єзоелектричного перетворювача для трьохстадійного реологічного перетворення можна зобразити структурною схемою,

показаною на рис. 4.

У статичному режимі роботи залежність електрорушійної сили  $e_2(\theta)$  є нелінійною функцією від деформаційного переміщення  $y_1(t)$ , це значить, що рівняння (2) і (3) є нелінійними. Якщо прийняти, що в першому наближенні електродеформаційні процеси п'єзоелектричного перетворювача є лінійними, а кожне реологічне перетворення описується диференціальним рівнянням другого порядку, то кожен динамічну ланку структурної схеми можна описати наступними рівняннями:  $Y_1(s) = W_1(s)E_0(s)$ ;  $E_1(s) = W_2(s)Y_1(s)$  і  $Y_2(s) = W_3(s)E_1(s)$ .

Тоді структурна схема для трьохстадійного реологічного перетворення матиме вигляд, показаний на рис. 5, а кожна динамічна ланка описуватиметься диференціальним рівнянням другого порядку. Структурна схема має паралельне з'єднання, яке показує, що на первинний перехідний процес, викликаний прикладеною напругою  $E_0$ , накладаються перехідні процеси, які обумовлені деформаційними та електрорезонансними діями першого деформаційного перехідного процесу.

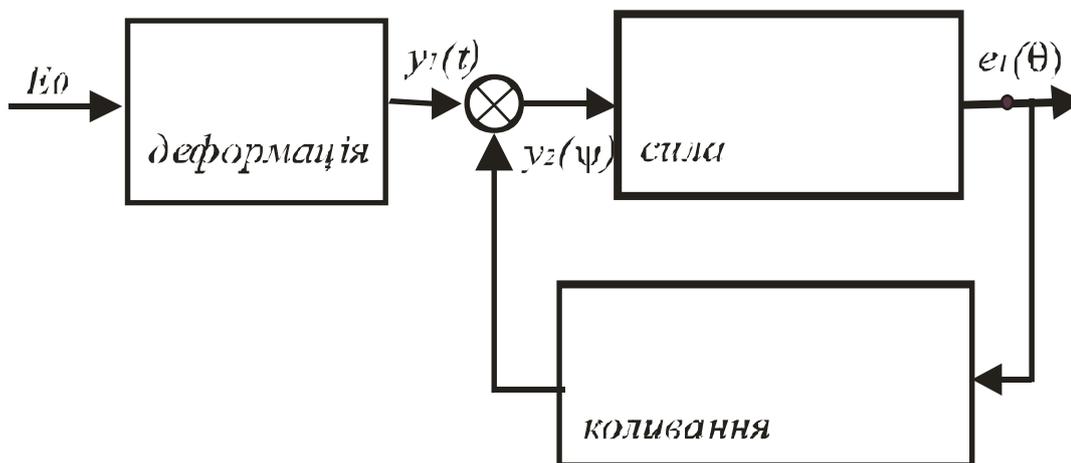


Рисунок 4 – Структурна модель п'єзоелектричного перетворювача

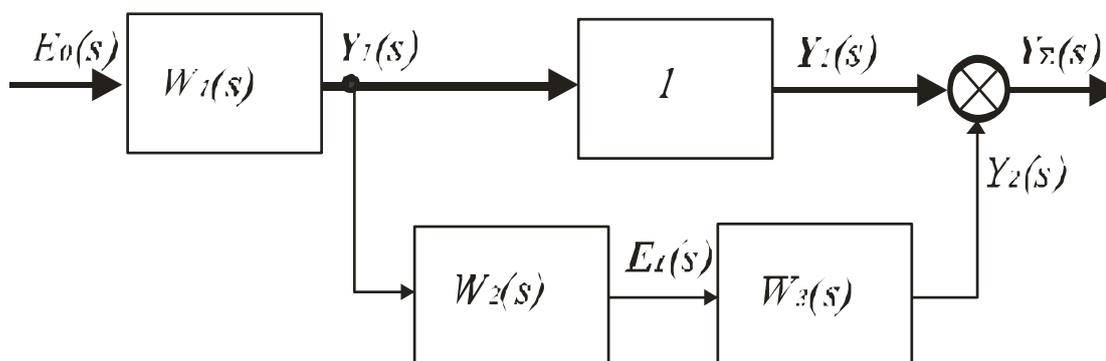


Рисунок 5 – Структурна схема перетворень п'єзоелектричного перетворювача

Еквівалентна передавальна функція перетворювача матиме вигляд

$$W_E(s) = \frac{Y_\Sigma(s)}{E_0(s)} = W_1(s)[1 + W_2(s)W_3(s)]. \quad (4)$$

У рівнянні (4) позначимо  $W_\theta(s) = W_1(s)W_2(s)W_3(s)$ . Тоді отримуємо

$$W_E(s) = W_1(s) + W_\theta(s). \quad (5)$$

З рівняння (5) видно, що на первинний перехідний процес  $y_1(t)$  накладається вторинний перехідний процес, який обумовлений динамічною ланкою з передавальною функцією  $W_\theta(s)$ . Співставляючи рисунок 1 і рисунок 6, бачимо, що тривалість першого напівперіода значно звужена, а тривалість інших практично однакова. Це підтверджує, що математична модель

п'єзоелектричного перетворювача адекватно описує електродеформаційні процеси.

З рисунку 1 видно, що на основний перехідний процес накладається високочастотна складова, яка суттєво змінює його форму. Експериментальні дослідження показують, що причиною виникнення високочастотних коливань можуть бути електричні резонансні процеси, які виникають в перетворювачі. Індуктивну складову еквівалентної електричної схеми можуть складати як провідники, які підводять напругу живлення до п'єзоелемента, так і індуктивність самого п'єзоелемента. У зв'язку з цим еквівалентну електричну схему п'єзоелемента можна представити так, як показано на рис. 7.

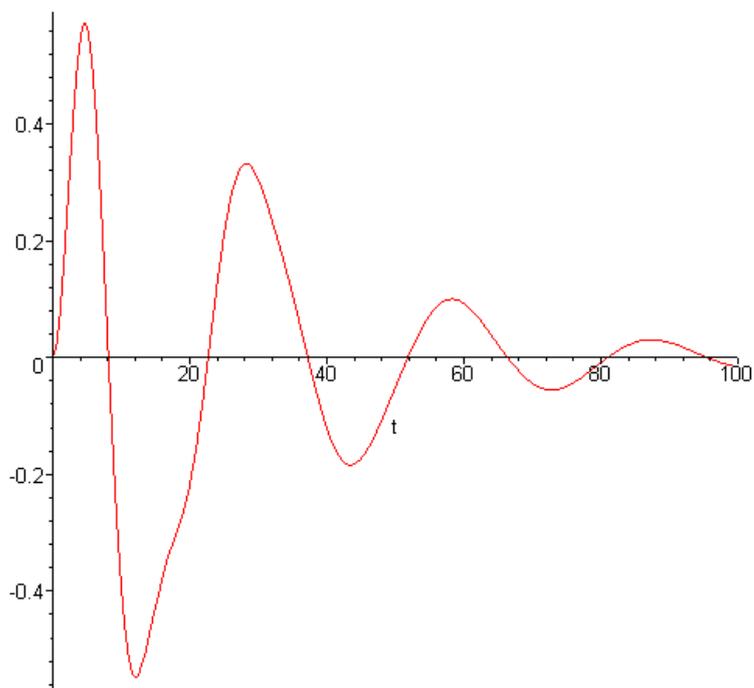


Рисунок 6 – Розрахунковий деформаційний перехідний процес перетворювача.

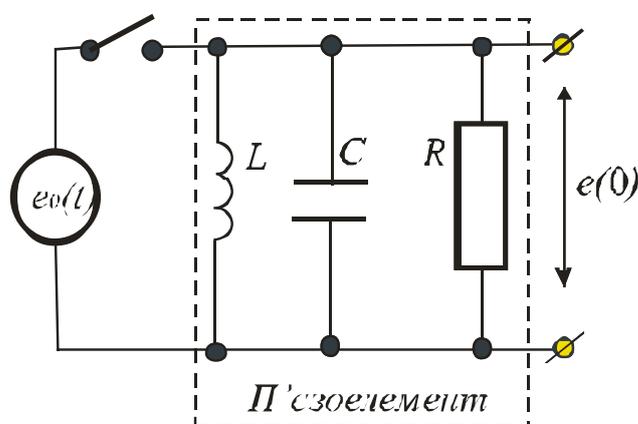


Рисунок 7 –Модифікована еквівалентна електрична схема п'єзоелектричного перетворювача

При такому підході до розгляду електричних процесів у п'єзоелементі, можна передбачити в ньому при певних умовах появу резонансу струму при виключеному джерелі живлення  $e_0(t)$ , що призводить на його виході наявність високочастотної складової перехідного процесу. При такому підході до розгляду електромеханічних процесів у п'єзоелементі передавальна функція  $W_\sigma(s)$  описуватиме резонансні процеси, які мають місце в перетворювачі.

Напругу на конденсаторі  $C$ , яка викликає резонансні явища, можна описати таким рівнянням:

$$(\mathcal{G}_2)^2 \frac{d^2 e_c}{dt^2} + \mathcal{G}_1 \frac{de_c}{dt} + e_c = T_2^2 \frac{d^2 e_1(\theta)}{d\theta^2} + T_1 \frac{de_1(\theta)}{d\theta} + e_1(\theta), \quad (6)$$

де  $\mathcal{G}_1 = RC$ ;  $\mathcal{G}_2 = \sqrt{LC}$  - постійні часу;  $e_c$  - напруга на конденсаторі.

Резонансна частота електричної схеми  $\omega_p = \sqrt{1/LC - \alpha}$ , де  $\alpha = R/2L$  - ступінь затухання. На рисунку 8 показані криві перехідного процесу п'єзоелектричного перетворювача при наявності в ньому резонансних процесів.

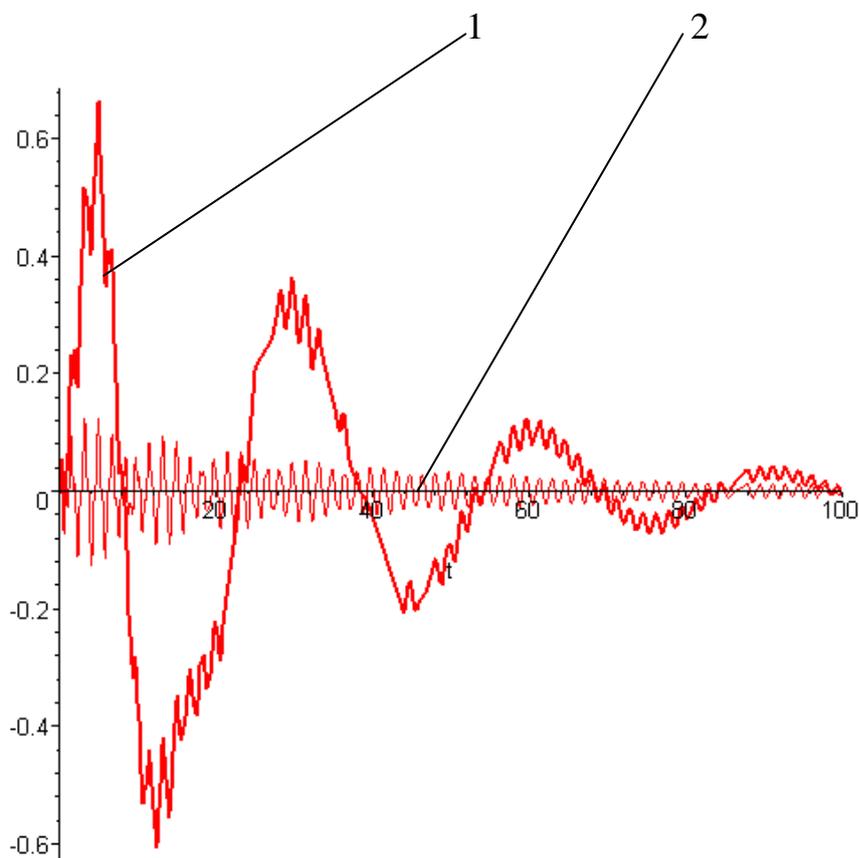


Рисунок 8 – Розрахункові перехідні процеси перетворювача, обумовлені деформаційними (1) та резонансними (2) процесами.

Таким чином, співставляючи криві рисунок 1 та 8, можна відмітити наступне. Окрім деформаційних у п'єзоелектричних перетворювачах мають місце електричні резонансні процеси, які накладаються на перші, спотворюючи ультразвуковий імпульс. Як показали дослідження, похибка перетворювача, яка

обумовлена електричною резонансною складовою, може змінюватися від 2 до 10 % величина якої залежить від типу й заводу-виготовлювача п'єзоелектричних перетворювачів.

### Література

1.В.Жданкин «Ультразвуковые датчики для систем управления». Современные технологии автоматизации, Москва, №1, №4 – 2003.

2.Туричин. А. М., Новицкий П. В., Левшина Е. С. И др. Электрические измерения неэлектрических величин. – Л.: Энергия, 1975. – 576 с.

**А.Ф. ГОРБАТЮК, С.А. ГОРБАТЮК, А.С. ТИМЧЕНКО**

*Северодонецкий технологический институт Восточноукраинского национального университета им. В.Даля*

### **АЛГОСТРУКТУРНЫЕ МОДЕЛИ АДАПТИВНЫХ АЛГОРИТМОВ КСУ**

Известно, что алгоритмы компьютерных систем управления основаны на математических моделях. Существует много программ, позволяющих их проектировать. Поэтому традиционная реализация КСУ на основе промышленных компьютеров понятна и принципиальных затруднений не вызывает. Однако в случае, когда предполагается использовать модели адаптивных алгоритмов и реализовать КСУ в виде некоторых микроселекционных структур в программируемых логических интегральных схемах, указанный подход не всегда эффективен, поскольку приходится пользоваться разнотипными инструментальными программными средствами и решать вопросы перенесения информации от одних используемых программ – к другим. Алгоструктурная технология позволяет устранить указанные проблемы.

Проектирование компьютерных систем управления (КСУ) и разработка их прикладного программного обеспечения (ППО) опирается на следующие понятия: объект управления (представляемый адекватной математической моделью), технические средства (необходимое оборудование), программное обеспечение. Если объект управления в рамках решаемой задачи является неизменным (может уточняться только его математическая модель), то, как технические средства, так и программное обеспечение к ним могут меняться. Теория автоматического управления предопределяет реализуемые в КСУ алгоритмы. При этом важнейшим этапом является определение математической модели структуры (схемы) регулятора, необходимого для отработки объектом с допустимым качеством некоторого задания и реализации этой математической модели регулятора средствами вычислительной техники. Математическая модель системы управления, учитывающая особенности регулятора и объекта управления, может быть представлена так:

$$\{U(Z, Y, C), Y(U, Y, \xi)\} \quad (1)$$

где:  $U$  – управляющее воздействие;  $Y$  – регулируемая величина;  $Z$  – задание;  $C$  – параметры настройки регулятора;  $\xi$  – возмущающее воздействие.

Компьютерное управление состоит в определении  $U = U\{Z, Y, C, \xi\}$  при наличии возможных ограничений на некоторые переменные в (1), а это - задача не из легких [1]. Поэтому разработчики, в большинстве случаев, пользуются одним из следующих способов: для имеющегося оборудования разрабатывают такое программное обеспечение, которое позволяет решить задачу регулирования заданным объектом управления; под имеющееся ППО для решения задачи регулирования заданным объектом управления, разрабатывают необходимое оборудование. Указанные способы содержат этапы подбора программ и оборудования с последующим многократным моделированием

решаемой задачи и оптимизацией полученных вариантов. В связи с этим, проектирование КСУ а также разработка их ППО, всегда были трудоемкой задачей, эффективно решаемые только с помощью специальных проблемно - ориентированных инструментальных программных средств.

Исследования показывают, что дальнейшая эволюция КСУ связана с использованием программируемых логических интегральных схем (ПЛИС). ПЛИС потому, что на основе «чистой» логической интегральной микросхемы разработчик может путем программирования реализовать любую нестандартную цифровую схему или дискретный автомат. При этом отмечают следующие достоинства: при создании специализированных логических устройств разработчик не ограничен возможностями имеющейся в его распоряжении элементной базы, т.к. для ПЛИС уже существуют библиотеки, содержащие от простейших логических элементов до микропроцессоров; использование ПЛИС позволяет сократить сроки внедрения реализованных на них устройств за счет упрощения процесса наладки, поскольку разработчик может многократно корректировать “виртуальную” схему, не внося изменений в печатный монтаж; применение ПЛИС позволяет существенно уменьшить габариты аппаратуры по сравнению с аналогичными устройствами, реализованными на традиционных БИС [2]. Однако в случае использования в КСУ ПЛИС, известные методы проектирования не всегда эффективны, поскольку приходится пользоваться разнотипными программными средствами и решать вопросы перенесения информации от одних используемых программ – к другим. Покажем, что если воспользоваться алгоструктурной технологией, то можно организовывать модели алгоритмов вычислительных процессов гораздо проще и в одной инструментальной среде *путем выбора соответствующих алгоструктур, их коммутации и настройки с последующим автоматическим преобразованием: АЛГОРИТМ → АЛГОСТРУКТУРА → ПЛИС-СТРУКТУРА* [3].

Алгоструктурная технология базируются на понятии алгоструктур, которыми являются алгоэлемент(ы) и алгоблок(и). Алгоэлементом будем называть гипотетический объект, имеющий вход(ы) и выход(ы) и выполняющий одну заданную функцию преобразования входной(ых) величин(ы) в выходную(ые). Алгоблоком будем называть гипотетический объект, построенный на основе нескольких алгоэлементов (алгоблоков). В результате представления действий, выполняемых КСУ, адекватными действиями совокупности определенных алгоструктур (алгоэлементов или алгоблоков), *процесс проектирования и программирования КСУ заменяется адекватным процессом выбора алгоструктур, ее коммутации и настройки с последующим автоматическим преобразованием в текст(ы) искомого ППО.*

Необходимые для решения задачи алгоструктуры выбираются из библиотеки базовых алгоструктур. В случае их отсутствия - они разрабатываются. Решаемая задача представляется проектом, включающим в себя базовые библиотечные алгоэлементы и разработанные алгоструктуры. В рамках проекта создаётся алгоблок, в состав которого входят рабочие

алгоструктуры. Для рабочих алгоструктур задаются связи, начальные условия, параметры настройки. С целью структурирования внутренней организации функциональных блоков (алгоструктур) в них должны быть однозначно определены выполняемые функции и типы используемых переменных, а также последовательность их исполнения. Кроме того, должны быть заданы связи между функциональными блоками, используемые параметры настройки и начальные условия. Функционирование всех алгоструктур (алгоэлементов и алгоблоков любой степени вложенности) происходит однотипно и включает следующие этапы: считывание входных параметров; выполнение одного прохода обчета; установка выходных параметров; обмен данными. Перечень некоторых базовых алгоструктур представлен в табл.1.

Таблица 1

Библиотека базовых алгоэлементов

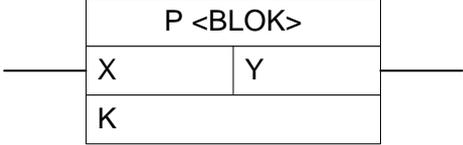
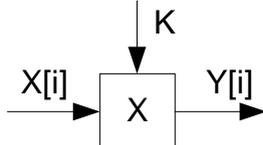
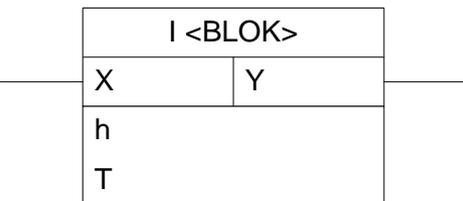
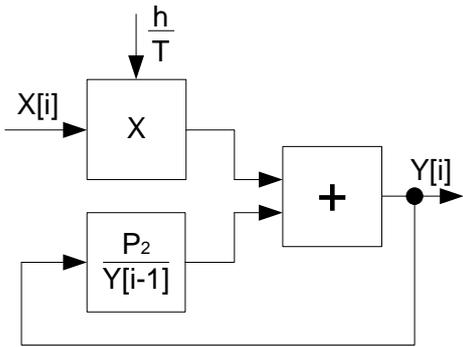
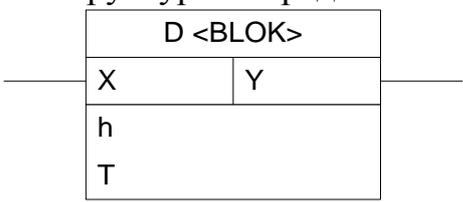
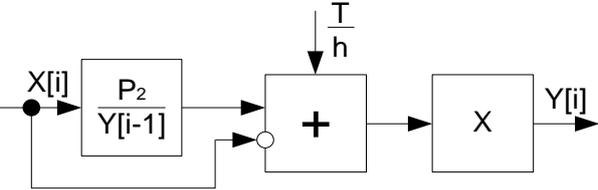
<p><b>EXPRESSION</b> – конструкция, предназначена для вычисления выражений различных видов, (список формул). В конструкции должны быть заданы конкретные выражения для вычисляемых функций: <math>Y_1 = f_1(X_1 \dots X_i, Z_1 \dots Z_j); \dots Y_m = f_m(X_a \dots X_b, Z_a \dots Z_b)</math>; <math>X_1 \dots X_n</math> – входы; <math>Y_1 \dots Y_m</math> – выходы; <math>Z_1 \dots Z_k</math> – параметры настройки.</p>	
<p>Алгоструктурное представление</p>	<p>Алгоритм работы</p>
<p><b>IF</b> – конструкция BЛОК с условием. Если условие выполнено, то включенная в BЛОК алгоструктура вычисляется, а иначе – не вычисляется. В конструкции должны быть заданы выражения логического типа <math>\{f(X_1 \dots X_n, Z_1 \dots Z_k)\}</math>, определяющее условие работы соподчиненных алгоструктур; <math>X_1 \dots X_n</math> – входы; <math>Z_1 \dots Z_k</math> – параметры настройки.</p>	
<p>Алгоструктурное представление</p>	<p>Алгоритм работы</p>

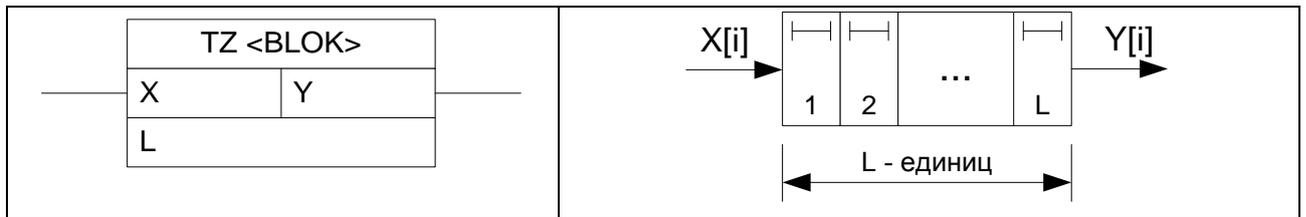
Из базовых алгоструктур - строятся более сложные. Так, например, для создания моделей систем автоматического управления на основе типовых динамических звеньев при наличии нелинейностей потребуются соответствующие библиотечные алгоэлементы. В табл.2 и табл.3 представлен перечень специализированных алгоструктур в такой последовательности

(название, передаточная функция, рекуррентное уравнение, алгоструктурное представление, структурная реализация).

Таблица 2

Специализированная библиотека алгоструктур динамического типа

<b>ПРОПОРЦИЯ</b>	
<p>Передаточная функция</p> $W(P) = K$	<p>Рекуррентное уравнение</p> $Y[i] = K * X[i]$
<p>Алгоструктурное представление</p> 	<p>Структурная реализация</p> 
<b>ИНТЕГРАТОР</b>	
<p>Передаточная функция</p> $W(P) = \frac{1}{T \cdot P}$	<p>Рекуррентное уравнение</p> $Y[i] = Y[i - 1] + \frac{h}{T} \cdot X[i]$
<p>Алгоструктурное представление</p> 	<p>Структурная реализация</p> 
<b>ДИФФЕРЕНЦИАТОР</b>	
<p>Передаточная функция</p> $W(p) = T * p$	<p>Рекуррентное уравнение</p> $Y[i] = \frac{T}{h} \cdot (X[i] - X[i - 1])$
<p>Алгоструктурное представление</p> 	<p>Структурная реализация</p> 
<b>ТРАНСПОРТНОЕ ЗАПАЗДЫВАНИЕ</b>	
<p>Передаточная функция</p> $W(P) = e^{-p\tau}$	<p>Рекуррентное уравнение</p> $Y[i] = X[i-L], L = 0,1,2,\dots$
<p>Алгоструктурное представление</p>	<p>Структурная реализация</p>



Продолжение таблицы 2

<b>ФИЛЬТР</b>									
<p>Передаточная функция</p> $W(P) = \frac{1}{T \cdot p + 1}$	<p>Рекуррентное уравнение</p> $Y[i] = B \cdot Y[i-1] + C \cdot X[i],$ $A = \frac{T}{h}; B = \frac{A}{1+A}; C = \frac{1}{1+A}.$								
<p>Алгоструктурное представление</p> <table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2">F &lt;BLOK&gt;</th></tr> <tr><td style="width: 50%;">X</td><td style="width: 50%;">Y</td></tr> <tr><td colspan="2">h</td></tr> <tr><td colspan="2">T</td></tr> </table>	F <BLOK>		X	Y	h		T		<p>Структурная реализация</p>
F <BLOK>									
X	Y								
h									
T									
<b>ФОРСИРУЮЩЕЕ ЗВЕНО</b>									
<p>Передаточная функция</p> $W(P) = T \cdot p + 1$	<p>Рекуррентное уравнение</p> $Y[i] = A \cdot X[i] - B \cdot X[i-1],$ $A = \frac{T+h}{h}; B = \frac{T}{h}.$								
<p>Алгоструктурное представление</p> <table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2">FZ &lt;BLOK&gt;</th></tr> <tr><td style="width: 50%;">X</td><td style="width: 50%;">Y</td></tr> <tr><td colspan="2">h</td></tr> <tr><td colspan="2">T</td></tr> </table>	FZ <BLOK>		X	Y	h		T		<p>Структурная реализация</p>
FZ <BLOK>									
X	Y								
h									
T									
<b>ИНТЕГРО-ДИФФЕРЕНЦИАТОР</b>									
<p>Передаточная функция</p> $W(P) = \frac{T_1 \cdot p + 1}{T_2 \cdot p + 1}$	<p>Рекуррентное уравнение</p> $Y[i] = A \cdot Y[i-1] + B \cdot X[i] - C \cdot X[i-1],$ $A = \frac{T_2}{T_2+h}; B = \frac{T_1+h}{T_2+h}; C = \frac{T_1}{T_2+h}.$								
<p>Алгоструктурное представление</p>	<p>Структурная реализация</p>								

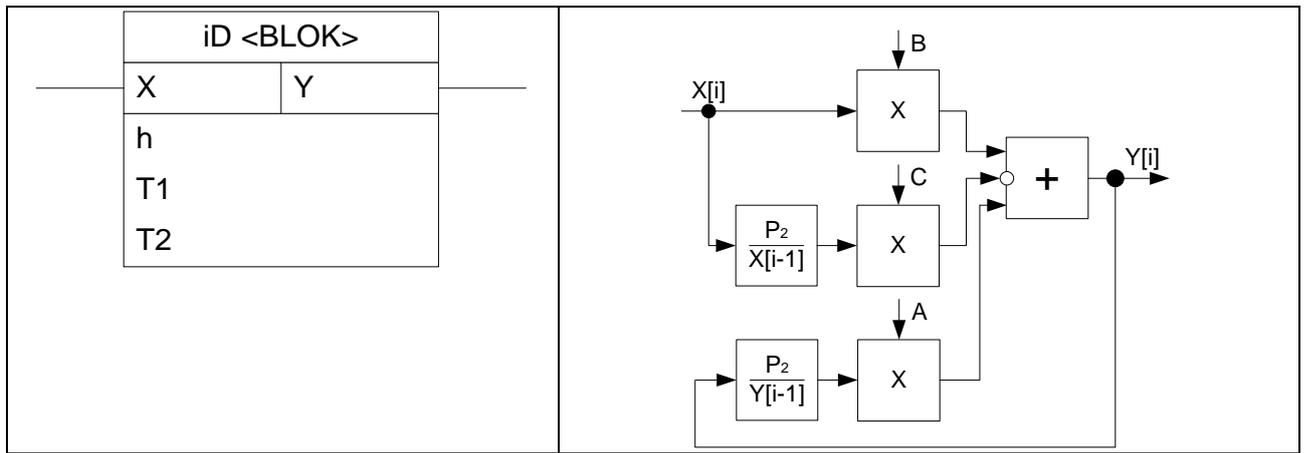
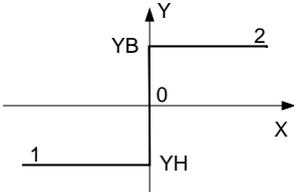


Таблица 3

Специализированная библиотека алгоструктур нелинейностей

<b>ЭЛЕМЕНТ ОГРАНИЧЕНИЯ</b>															
<p style="text-align: center;">Алгоритм работы</p> $Y = \begin{cases} YН, \text{ при } X \leq a, iY = 1; \\ K \cdot X, \text{ при } a \leq X \leq b, iY = 0; \\ YВ, \text{ при } X \geq b, iY = 2; \end{cases}$	<p>Где: YН – нижний предел изменения выход-ной величины; YВ – верхний предел измене-ния выходной величины; К – коэффициент пропорциональности; <math>a = \frac{YН}{K}; b = \frac{YВ}{K}</math> - вспомогательные величины; iY – индекс рабочего участка.</p>														
<p>Алгоструктурное представление</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin: 10px auto;"> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">OGR &lt;BLOK&gt;</th> </tr> <tr> <td style="width: 50%;">X</td> <td style="width: 50%;">Y</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">iY</td> </tr> <tr> <td colspan="2">K</td> </tr> <tr> <td colspan="2">YН</td> </tr> <tr> <td colspan="2">YВ</td> </tr> </table>	OGR <BLOK>		X	Y	iY		K		YН		YВ		<p style="text-align: center;">Реализуемая зависимость</p>		
OGR <BLOK>															
X	Y														
iY															
K															
YН															
YВ															
<b>ЭЛЕМЕНТ ЗОНЫ НЕЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ С ОГРАНИЧЕНИЕМ</b>															
<p style="text-align: center;">Алгоритм работы</p> $Y = \begin{cases} K \cdot (X + a), \text{ при } c \leq X \leq -a, iY = 1; \\ YН, \text{ при } X < c, iY = 2; \\ 0, \text{ при }  X  < a, iY = 0; \\ K \cdot (X - a), \text{ при } a \leq X \leq b, iY = 3; \\ YВ, \text{ при } X > b, iY = 4; \end{cases}$	<p>Где: YН – нижний предел изменения выход-ной величины; YВ – верхний предел измене-ния выходной величины; К – коэффициент пропорциональности; <math>a = \frac{YВ + Ka}{K}; b = \frac{YВ - ka}{K}</math> - вспомогательные величины; iY – индекс рабочего участка.</p>														
<p>Алгоструктурное представление</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin: 10px auto;"> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">ZN &lt;BLOK&gt;</th> </tr> <tr> <td style="width: 50%;">X</td> <td style="width: 50%;">Y</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">iY</td> </tr> <tr> <td colspan="2">K</td> </tr> <tr> <td colspan="2">a</td> </tr> <tr> <td colspan="2">YН</td> </tr> <tr> <td colspan="2">YВ</td> </tr> </table>	ZN <BLOK>		X	Y	iY		K		a		YН		YВ		<p style="text-align: center;">Реализуемая зависимость</p>
ZN <BLOK>															
X	Y														
iY															
K															
a															
YН															
YВ															
<b>ЭЛЕМЕНТ РЕЛЕЙНОСТИ</b>															
<p style="text-align: center;">Алгоритм работы</p>	<p>Где: YН – нижний предел изменения</p>														

$Y = \begin{cases} \text{YH}, & \text{при } X < 0, iY = 1; \\ 0, & \text{при } X = 0, iY = 0; \\ \text{YB}, & \text{при } X > 0, iY = 2; \end{cases}$	выход-ной величины; YB – верхний предел изменения выходной величины; iY – индекс рабочего участка.				
Алгоструктурное представление <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px auto; width: fit-content;"> <p style="text-align: center;">RID &lt;BLOK&gt;</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; width: 50%; height: 20px;">X</td> <td style="border: 1px solid black; width: 50%; height: 20px;">Y</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; width: 50%; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 50%; height: 20px;">iY</td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">YH YB</p> </div>	X	Y		iY	Реализуемая зависимость 
X	Y				
	iY				

Представленные алгоструктурные компоненты дают необходимое объяснение методике их разработки и особенностей использования в моделях САУ. В таблицах "раскрыта" содержательная сторона алгоструктурных компонент, чтобы показать удобство, простоту и принципиальную возможность с их помощью проектировать довольно большое многообразие как линейных, так и не линейных САУ: с автоподстройкой параметров, с переменной структурой, адаптивных. Некоторые этапы алгоструктурного проектирования моделей САУ приведены на рисунке 1.

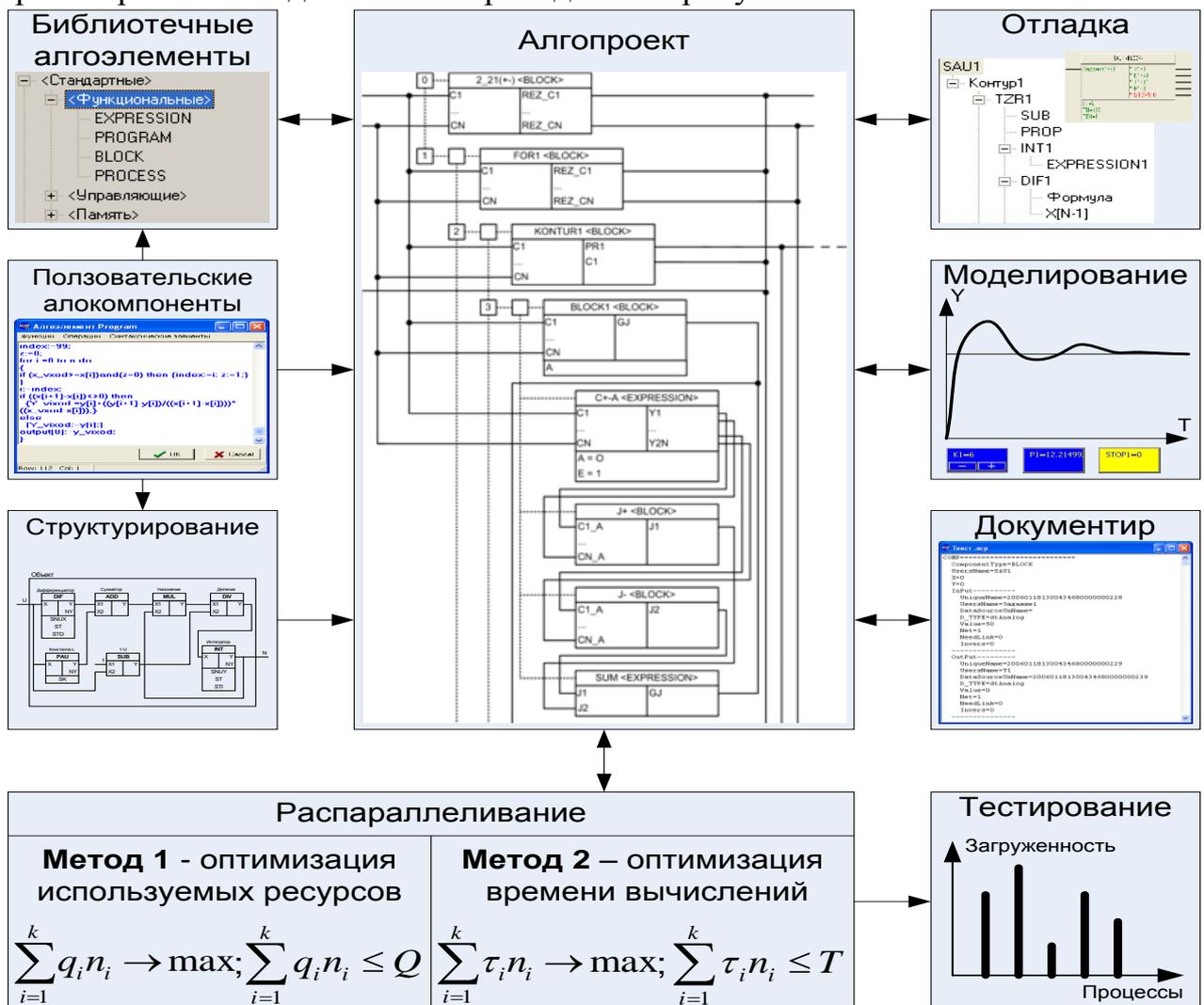


Рисунок 1 – Этапы проектирования алгоструктур

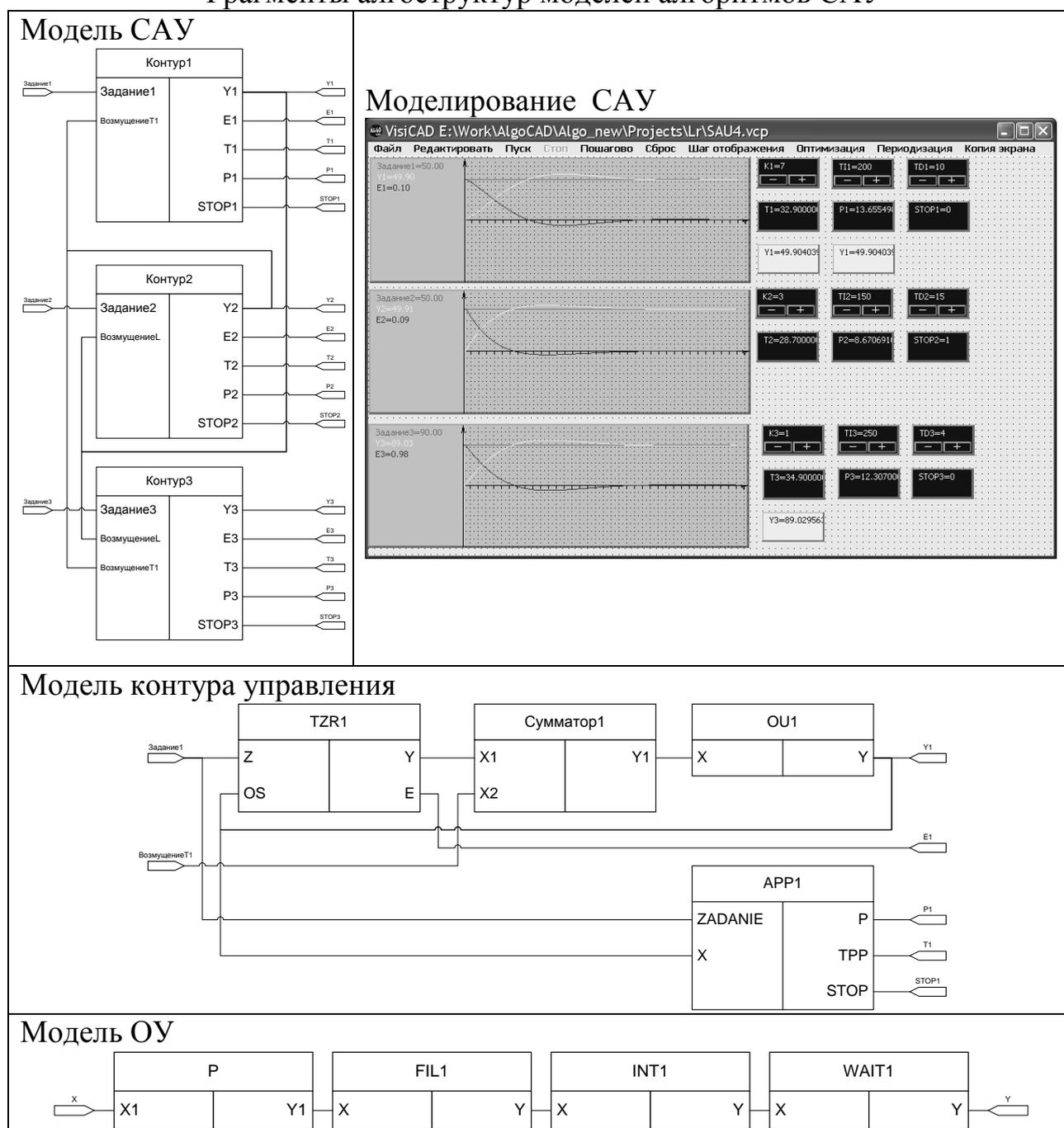
В табл.4 представлены фрагменты сгенерированных алгоструктур моделей алгоритмов САУ и результаты их моделирования. “Погружение” полученного алгопроекта в ПЛИС связано с логическим синтезом. Под логическим синтезом алгопроекта понимается эквивалентные преобразования, в результате которых будет получен алгопроект, построенный только из библиотечных логических примитивов L, т.е.:

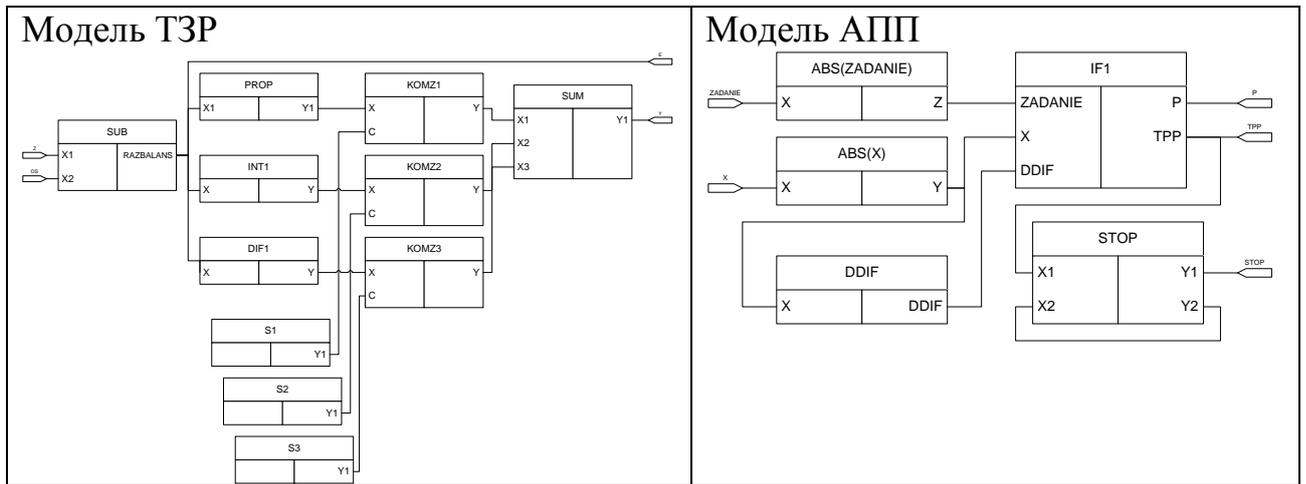
$$A_{AP} = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}, \text{ причем } \forall a \in A_{AP} : a \in L. \quad (2)$$

$L = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$  – это множество алгоэлементов, представляющих собой модели элементарных цифровой схемы на вентиляльном уровне в выбранном базисе.

Таблица 4

Фрагменты алгоструктур моделей алгоритмов САУ





Последовательность этапов логического синтеза представлена на рисунке 2.

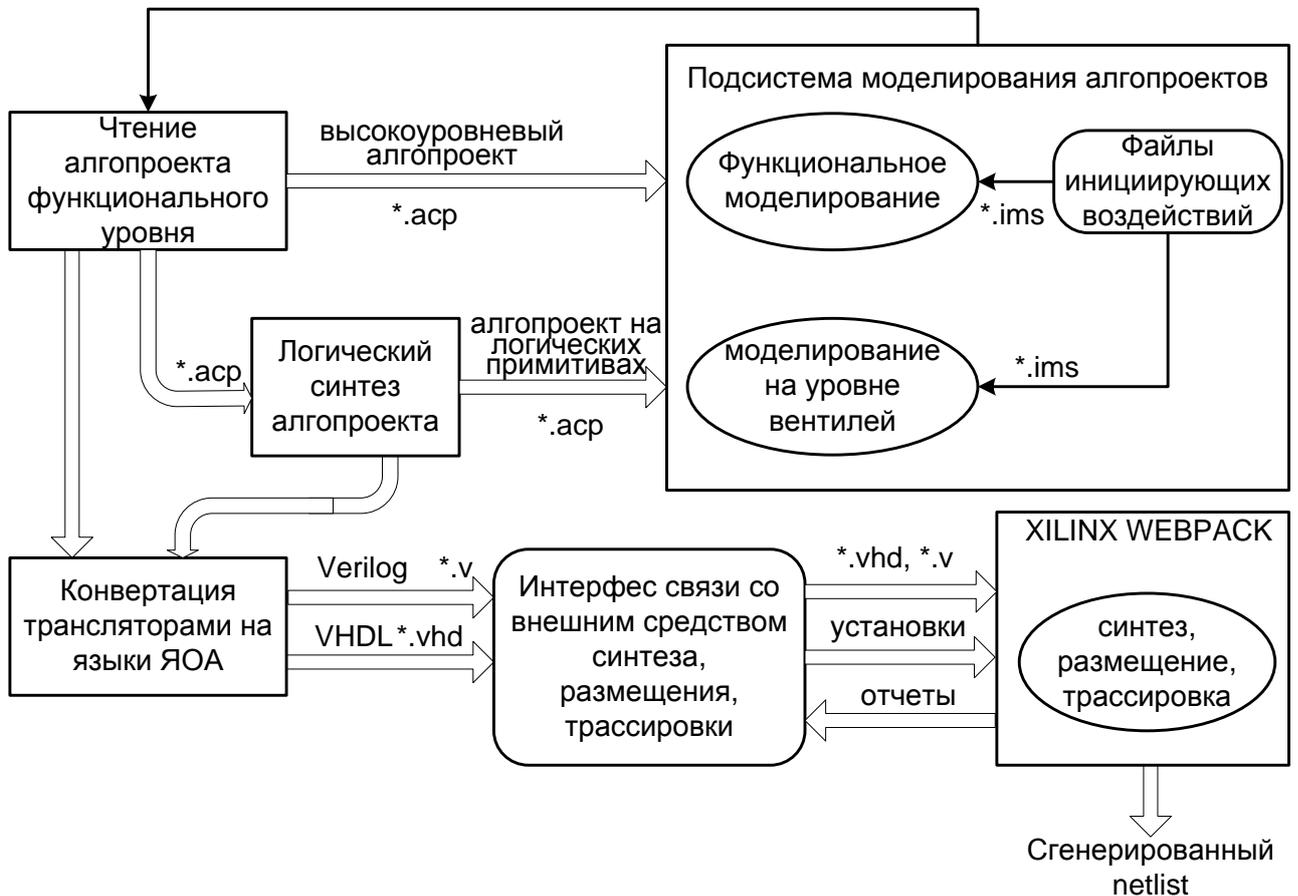


Рисунок 2 – Этапы логического синтеза

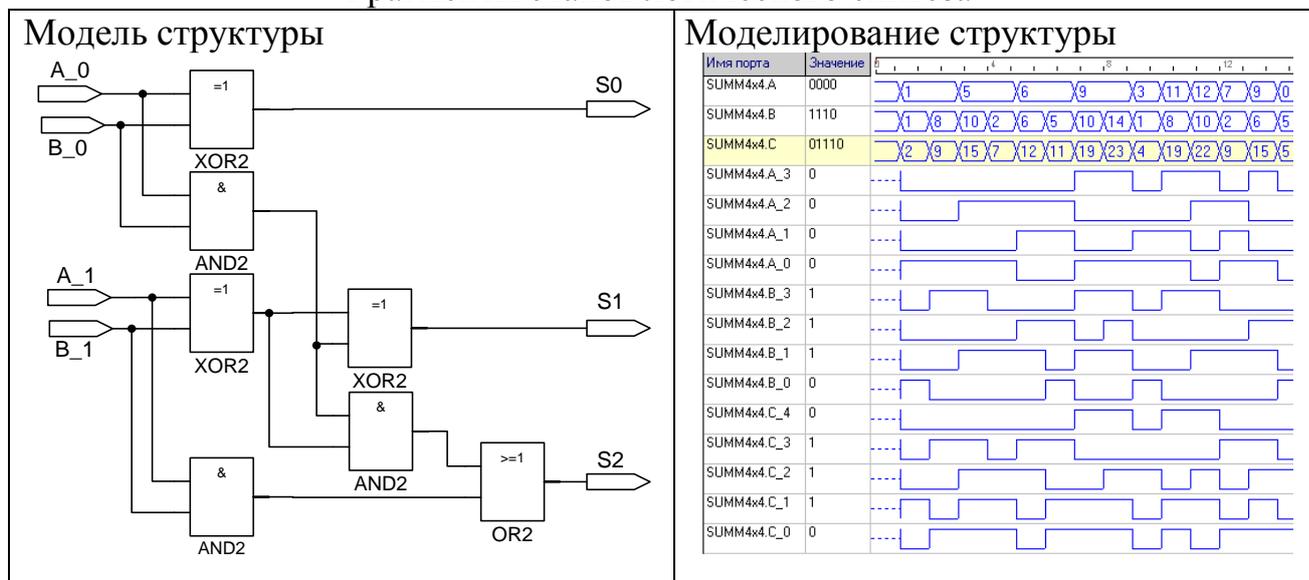
Логический синтез содержит выполнение эквивалентных преобразований алгоструктур. В результате этого, в алгопроекте решаемой задачи может измениться: состав вложенных алгоблоков  $A_{AP} = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$ ; функции алгоблоков  $\{F_1, F_2, \dots, F_m\}$ ; множества входов  $X_i$ , выходов  $Y_i$  и параметров настройки  $Z_i$  алгоблоков. Однако множества  $X_{AP}$ ,  $Y_{AP}$  самого алгопроекта и функция  $F_{AP} = f(X_{AP}, Z_{AP})$  останутся без изменения. Одним из этапов

выполнения логического синтеза является автоматическая генерация структуры модели вентиляного уровня и ее моделирование (см. табл.5).

Алгоструктурная технология совместно с XilinxWebPack осуществляет сопровождение проекта через стадии отображения, размещения и трассировки, генерации бинарного файла следующим образом. Из сгенерированного на основе алгопроекта HDL-описания проектируемого устройства формируется файл списка соединений в формате EDIF (Electronic Data Interchange Format). Синтезированный файл представляет собой текстовое (ASCII) описание проекта на более низком логическом уровне в формате, воспринимаемом программами трассировки Xilinx. На этапе отображения происходит разбиение логического описания проекта, полученного на предыдущем шаге, на блоки в соответствии с ресурсами выбранного типа ПЛИС. Далее происходит отображение логики проекта NGD файла на конфигурируемые логические блоки (CLB) и буферы ввода/вывода (IOB) физического устройства, а также запись физического проекта в NCD файл. Затем выполняется оптимизация с целью минимизации используемых (необходимых) ресурсов кристалла с учетом заданных ограничений. После этого происходит размещение и трассировка физических логических ячеек, содержащихся в NCD файле, основываясь на пространственных и временных требованиях, задаваемых в файле физических ограничений PCF (Physical Constraints File). При генерации бинарного файла происходит создание конфигурационного файла, основанного на содержании файла физического отображения (NCD). Этот конфигурационный файл определяет поведение программируемой ПЛИС.

Таблица 5

Фрагменты этапов логического синтеза



Таким образом, в соответствии с алгоструктурной технологией, для проектирования алгоритмов КСУ необходимо из проблемно-ориентированных алгоструктурных компонент “собрать” соответствующую решаемой задаче алгоструктуру. Затем, на стадии структурного синтеза (после того, как составлена и верифицирована алгоструктурная модель), нужно либо

преобразовать алгоструктурную модель всей, решаемой в КСУ задачи, в проект, написанный на языке описания аппаратуры (например, VHDL, Verilog или др.) и проводить дальнейшие исследования, либо сразу получить конфигурационный \*.bin файл, непосредственно используемый для программирования ПЛИС.

### Литература

1. Кунцевич В. М. Адаптивное управление: алгоритмы, системы, применение// К. - Выща шк. - 1988. – 64 с.
2. Соловьёв В.В. Проектирование цифровых систем на основе программируемых логических интегральных схем // М. - Радио и Связь. – 2001. – 636 с.
3. Горбатюк А.Ф., Бешкарев А.В. Применение алгоструктурной технологии в компьютерных системах управления // Луганск: Восточноукр. гос. ун-т. - 2000. - 200 с.

**Г.М. СМІРНОВ**

*Северодонецкий технологический институт Восточноукраинского  
национального университета им. В.Даля*

## **АЛГОСТРУКТУРНІ МЕТОДИ СИНТЕЗУ АЛГОРИТМІВ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ**

У статті розглянуто один з можливих методів автоматизації параметричного синтезу систем керування. Для цього запропоновано програмну систему, що реалізує відомі алгоритми оптимізації та комп'ютерне моделювання алгоритмів керування.

### **Актуальність**

Потреба розробки та впровадженні нових, більш досконалих технічних засобів спрямованих на автоматизацію вирішення задач, що постають перед виробництвом, існує завжди. Через це, розробка нових методів та систем, які забезпечують проектування систем керування та роблять його ефективнішим є актуальною.

### **Постановка задачі**

Відомо, що процес синтезу систем керування можна розглядати як поєднання двох рівних за значенням складових: структурного синтезу і параметричного синтезу [1]. Структурний синтез полягає у системоутворюючих діях, таких як визначення переліку складових частин майбутньої системи керування, їх функціональних можливостей та порядку їх поєднання між собою за допомогою інформаційних зв'язків. Перелік структурних елементів має підбиратися із таким розрахунком, щоби спроектована система була здатна належним чином виконувати необхідні закони керування. Фактично, на етапі структурного синтезу створюється певна інформаційна модель, в якій присутні як елементи призначені для аналізу і обробки інформації, так і канали, які визначають порядок руху інформації від одного елементу обробки до іншого. Подібний послідовний порядок обробки інформації дозволяє говорити про певний алгоритм функціонування системи керування.

З метою наочного зображення структури та принципів функціонування систем взагалі і систем керування зокрема, широко застосовуються так звані структурні схеми [2,3]. На структурних схемах, елементи, призначені для обробки інформації зображаються у вигляді прямокутників, а шляхи розповсюдження інформації – лініями зі стрілками.

Структурні схеми мають безперечні переваги під час аналізу та проектування систем керування. Якщо згадати, що аналіз – як метод пізнання, передбачає умовний поділ предмету, який досліджується на функціонально, логічно та, можливо, конструктивно, закінчені підсистеми з метою вияву структури, а також з метою окремого вивчення кожної складової, тоді стає зрозуміло, що структурна схема – наочний результат і наслідок аналізу.

Під час зворотнього процесу – синтезу систем, структурні схеми також можуть ефективно використовуватися; що і має місце в практиці. Рівень абстракції, притаманний структурним схемам, дозволяє проектувальнику не зосереджувати уваги на подробицях реалізації того чи іншого структурного компоненту (принаймні на початковому етапі проектування), а зосередитись, натомість, на вирішенні питань, пов'язаних з правильним вибором структури майбутньої системи, що безперечно є достатньо важливим з огляду на те, що помилки у проектних рішеннях на початкових етапах проектування матимуть серйозні наслідки і на подальших етапах.

## Рішення

Алгоструктурна технологія [4] передбачає спосіб проектування, який значною мірою нагадує проектування на основі структурних схем. Проект будується з так званих алгокомпонентів, – гіпотетичних об'єктів, кожен з яких у певний спосіб виконує алгоритмічну обробку інформації. При цьому початкова інформація надходить до інформаційних входів алгокомпонента, а результати її опрацювання алгокомпонент повертає через свої інформаційні виходи. Поєднання алгокомпонентів таким чином, щоб інформація з виходів одного алгокомпонента на входи іншого утворює алгоструктуру.

Для оперування алгоструктурами створена комп'ютерна програмна система AlgoCAD. Ця програма додає гіпотетичним об'єктам – алгокомпонента наочності і дозволяє складати з них алгоструктури.

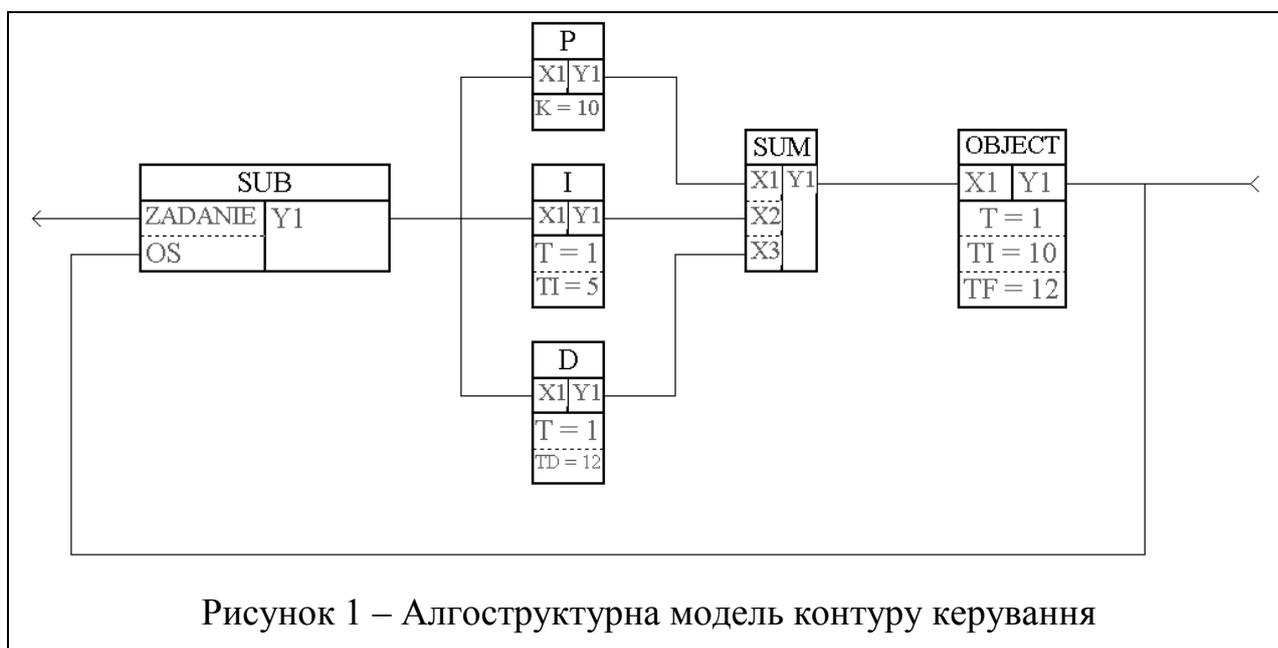
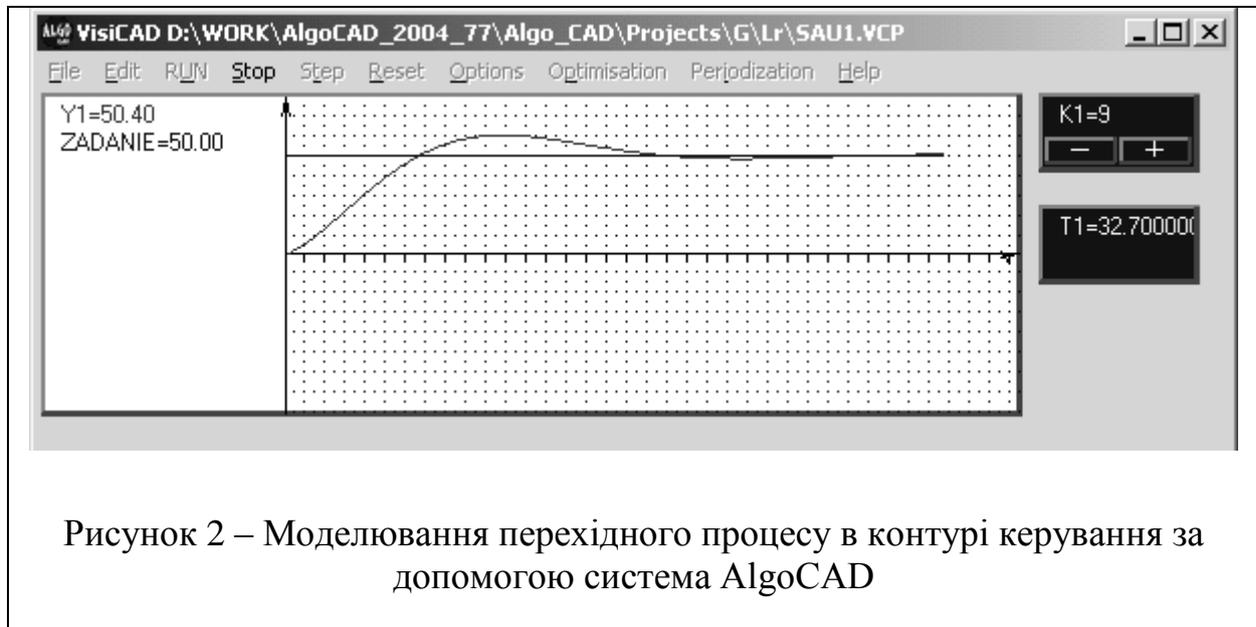


Рисунок 1 – Алгоструктурна модель контуру керування

Вочевидь, подібний спосіб проектування має бути зручним для проектувальників, які звикли працювати в термінах структурних схем, оскільки алгоструктура має багато спільного зі структурною схемою. Крім того, проект створений у середовищі AlgoCAD – є діючою моделлю проектованої системи. AlgoCAD дозволяє в динаміці вивчати поведінку моделі і переконатися у правильності алгоритму функціонування майбутньої системи керування.



Параметричний синтез застосовується до результатів структурного синтезу і має на меті за допомогою тих чи інших методів визначити оптимальні з огляду на певні критерії, або принаймні прийнятні, значення параметрів настроювання для тих структурних компонентів проектованої системи, котрі дозволяють таке налаштування. Наприклад, такими параметрами можуть бути постійні часу динамічних компонентів, які входять до складу регулятора.

Програмна система AlgoCAD дозволяє до певної міри автоматизувати процес параметричного синтезу систем керування. Для цього у складі AlgoCAD існує спеціальна підсистема-монітор, яка дозволяє організувати багаторазове моделювання логіки роботи проектованої системи керування щоразу з різними параметрами налаштування регулятора.

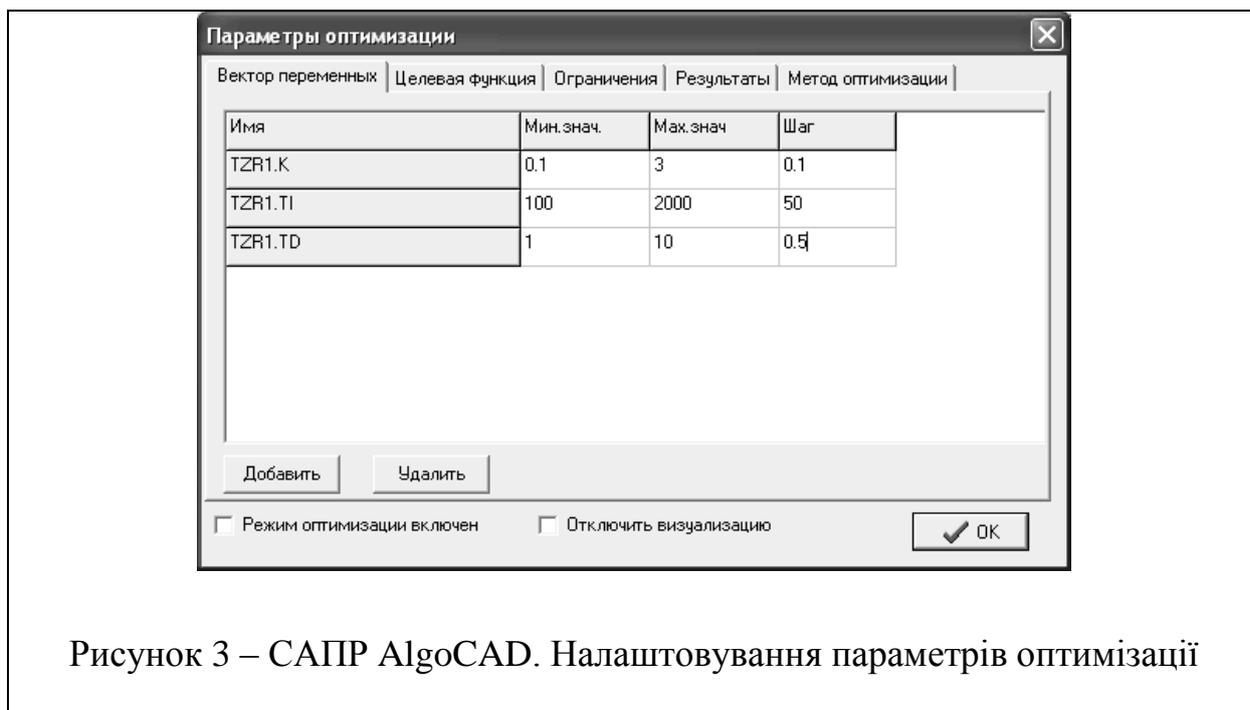


Рисунок 3 – САПР AlgoCAD. Налаштовування параметрів оптимізації

При цьому виконується збір інформації про якість перехідного процесу з тією метою, щоби згодом шляхом аналізу зібраної інформації визначити, за яких саме значень параметрів налаштування регулятора перехідний процес був найякіснішим. Ці значення і розглядатимуться як оптимальні.

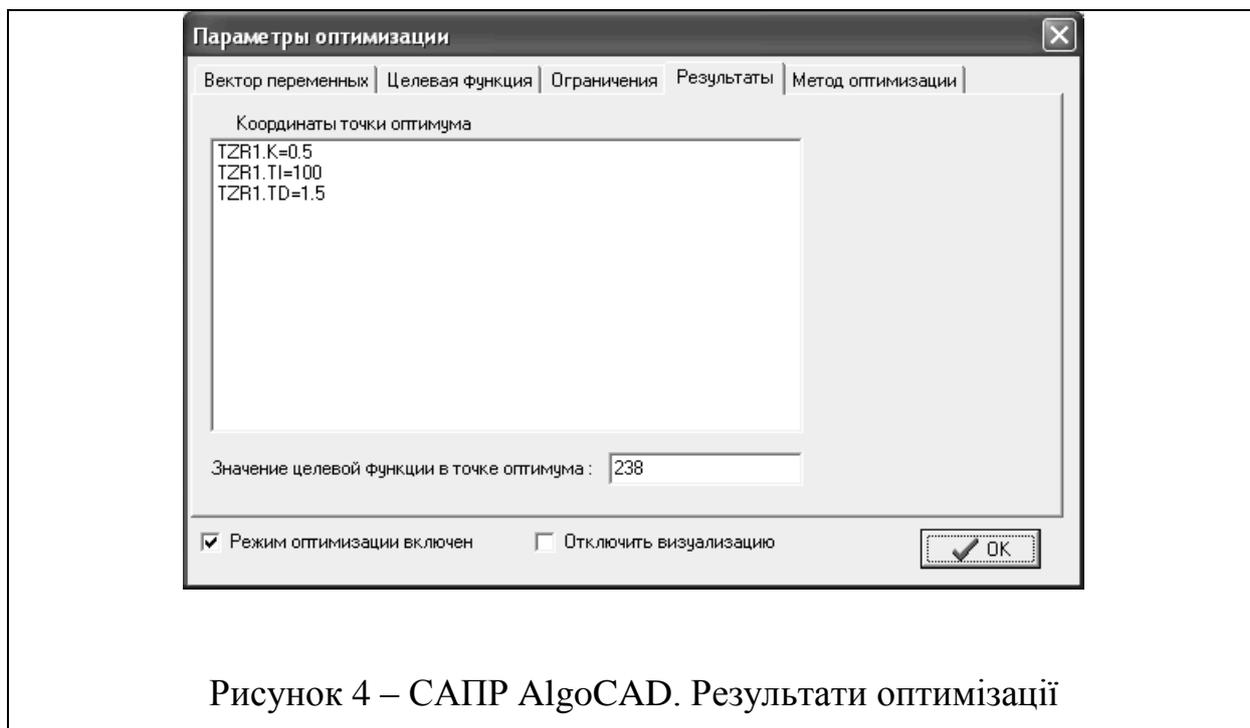


Рисунок 4 – САПР AlgoCAD. Результати оптимізації

Пошук оптимальних значень параметрів налаштування регулятора може виконуватися за різними схемами. Найпростіший варіант – застосування методу сіток. Дії AlgoCAD полягають у перебиранні всіх можливих комбінацій значень кожного з параметрів налаштування регулятора в означеному діапазоні з означеним кроком. Ця схема має як переваги так і недоліки. До переваг можна віднести простоту реалізації та гарантоване (з означеною точністю, та в

означеній області) знаходження оптимальної комбінації значень параметрів регулятора. До недоліків слід віднести значні обчислювальні потужності, необхідні для реалізації методу сіток.

Крім методу сіток в системі AlgoCAD реалізовано ще дві схеми оптимізації параметрів налаштування регулятора – за методом по координатного спуску і за градієнтним методом. Ці методи дають результат значно швидше, ніж метод сіток. Але, знайдений результат можна вважати лише локальним оптимумом.

## **Висновки**

Таким чином, алгоструктурна технологія проектування дозволяє достатньо ефективно виконувати як структурний, так і параметричний синтез алгоритмічної складової під час проектування систем керування. В подальшому, логіку, закладену у алгоструктурній моделі системи керування може бути втілено у конкретні технічні проекти, як програмні, так і апаратні. Варіантів втілення може бути багато. Наприклад, алгоритм функціонування регулятора, представлений за допомогою алгоструктурного проекту можна перетворити (за допомогою транслятора) на бінарний файл придатний для завантаження у програмовану логічну матрицю. Так само, можна транслювати алгоритм, закладений у алгоструктурі в комп'ютерну програму в термінах однієї з мов програмування високого рівня, і використовувати у контролерах.

## **Література**

1. Л.М. Бойчук., Оптимальные системы автоматического регулирования., Киев, «Наукова думка», 1965г.
2. Основы автоматического управления. Под редакцией В.С. Пугачева., Москва, «Наука», 1968г.
3. К.В. Егоров. Основы теории автоматического регулирования., Москва, «Энергия», 1967г.
4. Горбатюк А.Ф., Горбатюк С.А., Смирнов Г.Н. Алгоструктурная технология проектирования и программирования компьютерных систем управления Вестник ХГТУ №1(14), 2002г., стр. 266.

**В.Г.СМОЛИЙ, А.И.РЯЗАНЦЕВ**

*Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля,  
Северодонецкий технологический институт*

## **КОНЦЕПЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АСВТ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ ВУЗА**

### **Концепция интеллектуализации технологий обучения**

На современном уровне развития общества отрасль образования и науки является одним из объектов информатизации. Информатизация образования, в силу специфики используемых технологических приемов передачи знаний, требует тщательной проработки используемых технологий и возможности их широкого тиражирования. Так как в настоящее время общественное развитие характеризуется быстрой эволюцией содержания и методов общего и профессионального обучения, то информационные технологии обучения должны соответствовать этой эволюции.

Цели информационных технологий обучения [1]: сокращение времени обучения; гарантированное качество образования; индивидуализация обучения как метод развития творческих способностей обучаемого; обеспечение взаимосвязей между обучением, профессиональной и исследовательской деятельностью.

Основной целью внедрения информационных технологий в учебный процесс является повышение уровня и качества подготовки специалистов.

Для достижения этих целей необходим высокий уровень интеллектуализации компьютерного обучения, как по содержанию, так и по методам обучения.

Интеллектуализация содержания образования включает: учебное моделирование предметных областей и новые виды познавательной деятельности, такие, как создание обучаемых баз знаний по изучаемому материалу, создание обучаемых естественно-языковых интерфейсов к базам данных и знаний.

Интеллектуализация методов обучения содержит: адаптивное тестирование и обучение с помощью компьютера; участие в компьютерных учебных играх, а также в создании таких игр; дистанционное совместное решение задач обучаемыми и преподавателями.

Чтобы реализовать перечисленные свойства интеллектуализации в широком множестве учебных дисциплин, необходимо разработать специальные методики и инструментальные средства.

Для этого необходимо решить следующий комплекс задач: развитие и поддержка системного мышления объекта обучения; обеспечение всех видов познавательной деятельности; развитие и закрепление навыков и умений в

совокупности с активными методами обучения; ориентация обучающего процесса на индивидуальные потребности того, кого обучают, с сохранением целостности преподаваемого материала.

Направление творческой деятельности по созданию систем обучения, которое получило в последнее время широкое распространение, связано с комплексом проблем: как именно построить учебный курс; как перестроить учебный курс для его компьютеризации; как и какими способами осуществлять контроль знаний, оценивать уровень закрепления умений и навыков; какие информационные способы применить для решения поставленных задач обучения.

Принципы построения систем обучения в сфере информационных технологий образования рассмотрены в [1,2].

На какой основе знаний, методов и средств и какими способами реализуются эти принципы и технологии в образовательном процессе вуза, в частности, в Северодонецком технологическом институте (СТИ) Восточноевропейского национального университета (ВНУ) им. Владимира Даля? Ответ на этот вопрос основан на оценке взаимосвязи учебного процесса с прикладными исследованиями и разработками СВТ основателя факультета КЭТ СТИ – НПО «ИМПУЛЬС».

Исследуя опыт и значение разработок НПО «Импульс» для народного хозяйства страны, целесообразно указать и такой аспект, как значение опыта разработок НИИУВМ НПО «Импульс» в подготовке высококвалифицированных специалистов в области знаний СВТ, «Компьютерной инженерии» и применение этого опыта в учебном процессе ВУЗа, в частности, в СТИ.

Как же опыт научно-технических разработок и союз НИИУВМ с высшей школой поддерживает и влияет на решение ключевой проблемы образования – реализацию свойств интеллектуализации содержания и методов учебного процесса высшей школы? Подход к оценке достижений этой ключевой проблемы состоит в выявлении уровня реализации указанного комплекса задач, обеспечивающих реализацию свойств интеллектуализации, в развитии техники и в учебном процессе. Это параллельные, взаимно влияющие друг на друга процессы в научно-техническом комплексе «образование-наука-техника-производство». Почему «образование» в этом комплексе первая краевугольная проблема? Потому что ее пришлось решать НИИУВМ с первых шагов своего становления, как научно-исследовательской организации. Первой опорой НИИУВМ стали молодые специалисты с политехническим образованием с различных (не компьютерных) отраслей народного хозяйства страны. НИИУВМ сам стал высшей школой подготовки и переподготовки специалистов высокой квалификации и ученых, непосредственно участвующих в процессе создания первых новейших средств вычислительной техники в Советском Союзе, а по некоторым периферийным средствам и в мире. Политехническое образование молодых специалистов, их трудолюбие и энтузиазм в работе и учебе (в повышении квалификации) позволили НИИУВМ

в короткий срок добиться признания успехов коллектива в стране, в научном мире и за рубежом.

Понимая важность и ответственность решения кадровой проблемы для отрасли приборостроения в Северодонецке, руководство НИИУВМ (Новохатний А.А. и Резанов В.В.) и руководство города направило совместные усилия и решило задачу создания в Северодонецке подразделения вуза по специальностям СВТ. НПО «Импульс» стал научно-технической и производственной базой учебного процесса вуза, а идеология и технология проектирования АСВТ, признанное в Советском Союзе и за рубежом направление технического прогресса, стало одной из научно-технических баз учебного процесса вуза. Развитие техники НПО «Импульс», обусловленное потребностями производства и достижениями науки, открыло путь к становлению сложных технических систем и комплексов.

Концепция и технология проектирования АСВТ – прогрессивное развитие компьютерной техники

Оценить уровень научно-технических разработок НПО «Импульс» возможно, анализируя и сопоставляя их с качественной моделью развития техники. Известны научные разработки качественной модели развития техники [3] применительно к ряду отраслей в соответствии с принятой в мировой практике градацией поколений техники

Модель (табл.1.) позволяет производить укрупненную качественную оценку научно-технического уровня продукции при проведении фундаментальных и поисковых исследований, в процессе НИОКР, а также при разработке проектных заданий на реконструкцию и создание новых мощностей для серийного производства.

По основным качественным признакам техники уровень укрупненной качественной оценки техники, созданной объединением НПО «Импульс», возможно оценить на уровне выделенного жирным шрифтом.

Таблица 1

## Модель развития техники (качественный аспект)

Качественные признаки техники		Поколение техники				
		2-е	3-е	4-е	5-е	6-е
Функциональные	Уровень автоматизации управления в системе	Обучающиеся системы с признаками искусственного интеллекта				
		Гибко программируемые системы с адаптацией и внутренней диагностикой				
		Комплексно-автоматизированные системы с адаптацией к внешним воздействиям				
		Автоматизированные системы управления				
		Полуавтоматическое управление				
Функциональные	Уровень автоматизации управления в аппаратуре	Автоматическое управление с элементами искусственного интеллекта				
		Гибкое автоматизированное программируемое управление				
		Автоматизированное управление с адаптацией к внешним воздействиям и самодиагностикой				
		Автоматизированное управление отдельными устройствами				
		Полуавтоматическое и ручное управление				
Конструктивные	Средства вычислительной техники	СуперЭВМ, многосистемные сети				
		Микропроцессоры, микроЭВМ (программируемые контроллеры), встроенные локальные сети				
		Мини-ЭВМ (периферийные), локальные сети				
		ЭВМ второго поколения (центральные), многопроцессорные системы				

Окончание таблицы 1

Качественные признаки техники		Поколение техники				
		2-е	3-е	4-е	5-е	6-е
Конструктивные	Устройства функциональной электроники (интеграция функции в объеме)				Функциональные системы на принципах бионики	
	Изделия ЭТ (степень интеграции)				Многофункциональные средства	
Технологические	Технология создания программного продукта				Интегральные схемы СБИС	
					Интегральные схемы ( $10^5-10^6$ )	
Технологические	Оборудование и системы проектирования, производства и контроля изделий				Интегральные схемы ( $10^4$ )	
					Интегральные схемы ( $10^2-10^3$ )	
		Дискретные элементы				
Технологические	Технология создания программного продукта				Обучающиеся системы программирования	
					Системы программирования на едином языке высокого уровня	
Технологические	Оборудование и системы проектирования, производства и контроля изделий				<b>Автоматизированная технология программирования с применением языков высокого уровня</b>	
					Пакетное программирование с применением языков высокого уровня	
Технологические	Оборудование и системы проектирования, производства и контроля изделий				Программирование в машинных кодах с применением алгоритмических языков	
					Обучающиеся системы проектирования, производства и контроля	
Технологические	Оборудование и системы проектирования, производства и контроля изделий				Интегрированные системы проектирования, производства и контроля	
					Комплексные автоматизированные системы проектирования, производства и контроля	
Технологические	Оборудование и системы проектирования, производства и контроля изделий				Системы автоматизированного проектирования, производства и контроля	
					Оборудование для автоматизации отдельных операций проектирования, производства и контроля	

Качественный аспект верхнего уровня достижений НПО «Импульс» приблизился, по мнению авторов, к шестому поколению СВТ. Учитывая мировой опыт передовых в научно-техническом отношении стран, ориентиром научно-технических программ, планов НИОКР, реконструкции опытно-экспериментальных баз должно уже стать создание систем шестого поколения.

Приведенные в анализе оценки позволяют сделать вывод, что научно-техническая база НПО «Импульс», его идеология и технология проектирования АСВТ и современных комплексов технических средств МСКУ, является прогрессивным развитием компьютерной техники и с первых шагов факультета КЭТ стала и является в настоящее время надежным ориентиром в учебном процессе вуза при подготовке специалистов по СВТ и «Компьютерной инженерии».

Для понимания многогранной идеологии создания средств АСВТ и современных КТС НПО «Импульс» в учебном процессе требуется развитие и поддержка системного мышления будущего специалиста (объекта обучения), развитие и обеспечение всех видов познавательной деятельности. В совокупности с активными методами обучения необходимо развивать и закреплять навыки и умение системотехнического анализа и синтеза (проектирования) систем контроля и управления. Для решения этих задач на факультете КЭТ развиваются теоретические, методические и практические основы учебного процесса, тесно взаимосвязанные с научно-техническим опытом и подходом НПО «Импульс». Подход к решению этих задач реально состоит в нижеследующем (примеры).

#### Концепция организации АСВТ в программе учебной дисциплины

Программа дисциплины «Автоматизированные информационные системы» (АИС) в теоретической части курса в качестве компьютерной информационной базы использует составленные учебно-методические материалы по трем основным разделам курса:

- Методология системного подхода (системный анализ);
- Практика системного подхода (системотехника);
- Технические системы и организационные структуры (Прикладная теория ТС).

Для каждого из указанных разделов курса разработаны апробируемые учебные пособия [авторы: к.т.н, доценты Смолий В.Г., Смолий В.В.]. Пособия являются рукописями в электронной версии учебно-методического комплекса дисциплины (УМКД) АИС, доступного в локальной сети СТИ на сервере кафедры КИ.

Для связи теории с практикой (практическими и лабораторными занятиями) аналогично разработано апробируемое учебно-методическое пособие «Типовое проектирование терминальных субкомплексов ТОУ» (рукопись с электронной версией, тех же авторов) В этом пособии обобщаются

теоретические и практические аспекты проектирования компьютерных систем управления (КСУ), выполняется постановка целей и основных задач квалификационного (дипломного) проектирования. Базовыми комплексами технических средств для системотехнического анализа являются прототипные средства АСВТ-ПС/СМ ЭВМ [4]. В указанном промышленном каталоге [4] систематизированы сведения о конфигуураторах технических средств АСВТ и структурно-функциональной организации 98 исполнений субкомплексов связи с объектами по картам заказов потребителей. По этим сведениям создана информационная база для практических и лабораторных занятий и каталог вариантов индивидуальных заданий, включающих следующие основные типичные задачи:

- системотехнический анализ структурно-функциональной организации прототипных комплексов АСВТ;
- определение информационной структуры объекта управления для прототипного комплекса;
- постановка задачи проектирования КСУ для идентифицированной структуры технологического объекта управления (ТОУ);
- разработка для определенного по заданию ТОУ функционально-структурной и аппаратно-программной организации КСУ на базе современных СВТ (в частности, МСКУ).

Решение указанных типичных задач включает все необходимые этапы проектирования для квалификационной работы специалиста по направлению «Компьютерные системы и сети» (7.091.501).

Ориентиром для современных решений задач проектирования КСУ (по п.4) является опыт НПО «Импульс» в разработке ПТК на базе МСКУ М [5].

Таким образом, информационная база УМКД АИС целесообразно базируется на опыте научно-технических разработок НПО «Импульс», объективно отражая уровень разработок прототипных комплексов АСВТ и современный уровень ПТК на базе МСКУ М.

В многовекторном направлении деятельности НПО «Импульс», в научно-технических разработках первых поколений СВТ весомый вклад в авторитете разработок НИИУВМ имеют изобретения в области создания периферийных средств ВТ (ПСВТ). Разработки первого поколения ПСВТ достойно конкурировали в отечественном приборостроении и с ведущими зарубежными фирмами, а отечественные производители, прежде всего, Северодонецкий приборостроительный завод (СПЗ) и ПО «Орловский завод УВМ им. Руднева», практически реализовали все важнейшие государственные планы производства периферийных средств НПО «Импульс».

Научно-техническое сотрудничество подразделения НИИУВМ (отдел 10) с молодым факультетом ВКиС (его сотрудники: Нагулин Н.И., Генкин Б.И., Архипов А.Г.) в направлении теоретического обоснования защиты ПСВТ от трехкомпонентных вибрационных воздействий дало положительные результаты для ПСВТ и конструкторов АСВТ-ПС/СМ ЭВМ.

С Новочеркасским политехническим институтом отдел 10 выполнял исследования по разработке быстродействующих элементов печатающих

головок знаковосинтезирующих устройств регистрации. Развитие работ (в отделе 10) в этом направлении закончилось внедрением ряда устройств этого типа в серийное производство на Орловском заводе УВМ.

Многоцелевая программа создания АСВТ-ПС расширяла круг взаимодействия подразделений НИИУВМ с вузовской и академической наукой. Так сотрудничество отдела 10 НИИУВМ с подразделением Института кибернетики АН УССР дало возможность создать (еще к 30-летию НИИУВМ) для геофизических комплексов ЭГВК и РГВК устройства регистрации крупноформатных ((10000x10000) пиксел) многоцветных изображений [6].

Все разработки ПСВТ в НИИУВМ для систем АСВТ внедрялись в серийное производство и учебные процессы ряда вузов страны (Северодонецком факультете ВКиС, ХИРЭ, ДПИ и др.). Соответственно и современный УМКД по дисциплине «Периферийные устройства ЭВМ», аналогично, как и по дисциплине АИС, отражает лучшие достижения НПО «Импульс» по направлению ПСВТ.

Разработки АСВТ НПО «Импульс» использовались и продолжают использоваться в учебном процессе факультета КЭТ в СТИ Восточноукраинского национального университета им. Владимира Даля, а также в других вузов страны, в частности, кафедры ЭВМ в Донецком национальном техническом университете (ДНТУ, ДПИ), в Харьковском национальном университете радиоэлектроники (ХНУРЭ, ХИРЭ) и других вузах.

Разработки АСВТ в НИИУВМ НПО «Импульс» в истории отечественного приборостроения отражают этапы научно-технического прогресса в стране, были и являются надежным ориентиром и опорной базой учебного процесса на факультете КЭТ.

В разработку учебных программ, их непосредственную реализацию в учебном процессе и аттестацию выпускников на факультете КЭТ СТИ внесли опыт научно-технической работы ученые НИИУВМ, кандидаты технических наук, доценты: Новохатний А.А., Резанов В.В., Сомкин В.М., Елисеев В.В., Пивоваров Г.Ю., Набатов А.С., Ларгин В.А., Пилипчатин Е.Н., Борисенко В.М., Кузавков В.М., Лиманский Т.И., Недзельский Д.А., Сидоренко В.Я., Смолий В.Г., Щербаков Е.В. и другие ведущие специалисты.

### **Литература**

1. Интеллектуализация компьютерных технологий обучения: Сб. науч. тр./ АН Украины. Ин-т кибернетики им. В.Н. Глушкова, Науч. совет АН Украины по пробл. «Кибернетика»; -- Киев, 1993.-58 с
2. Коммуникационные и информационные компьютерные технологии в обучении: Сб. науч. тр./ АН Украины. Ин-т кибернетики им. В.Н. Глушкова, Науч. совет АН Украины по пробл. «Кибернетика»; -- Киев, 1993.-81 с
3. Спицнадель В.Н. Основы системного анализа: Учеб. пособие.- СПб.: Изддом «Бизнес-пресса», 2000г.-326с.
4. Серия АСВТ-ПС / СМ ЭВМ. Технические и программные средства. Часть 3. –М.: ELORG- 1986.-100с.

5. Елисеев В.В., Ларгин В.А., Пивоваров Г.Ю. Программно-технические комплексы АСУ ТП: Учебн. пособие – К.: Издательско-полиграфический центр «Київський університет»- 2003.-429с.

6. Смолий В.Г. Периферийные средства визуального документирования с перестраиваемой структурой (теоретические основы).- Луганск: Изд-во Восточнoукраинского национального университета имени Владимира Даля.-2002.-136 с.

**Н.П.РЕТИНСКАЯ, П.И.РЕТИНСКИЙ**

*Северодонецкий технологический институт Восточноукраинского национального университета им В.Даля*

## **К ВОПРОСУ ИДЕНТИФИКАЦИИ СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

Предложено использование сплайн-функции для расчета коэффициентов выражения аппроксимирующей авто- и взаимнокорреляционные функции в процессе получения моделей сложных объектов на основе статистических данных об их входных и выходных параметрах в условиях нормальной эксплуатации.

Получение дифференциального уравнения, адекватно описывающего статические и динамические характеристики объекта управления (ОУ), является одной из важнейших задач при разработке системы управления. На практике широко применяются экспериментальные методы определения этих характеристик. Для энергетики, химической, металлургической промышленности характерны процессы, в которых из-за их сложности ограничены возможности определения динамических характеристик при помощи детерминированных воздействий. Для идентификации таких объектов имеет смысл применение статистических методов, в которых используются значения входных и выходных величин, измеренные в условиях нормальной эксплуатации.

Дифференциальное уравнение, описывающее ОУ, может быть записано в виде:

$$\begin{aligned} \frac{d^n}{dt^n} R_{XY}(\tau) + a_{n-1} \frac{d^{n-1}}{dt^{(n-1)}} R_{XY}(\tau) + \dots + a_1 \frac{d}{dt} R_{XY}(\tau) + a_0 R_{XY}(\tau) = \\ b_m \frac{d^m}{dt^m} R_{YY}(\tau) + \dots + b_1 \frac{d}{dt} R_{YY}(\tau) + b_0 R_{YY}(\tau), \end{aligned} \quad (1)$$

где  $R_{YY}(\tau)$ ,  $R_{XY}(\tau)$  - соответственно, автокорреляционная и взаимнокорреляционная функции, которые являются математическими ожиданиями множеств  $y(t)y(t + \tau)$  и  $x(t)y(t + \tau)$ ;  $y(t)$ ,  $x(t)$  - входная и выходная переменные;  $\tau$  - время запаздывания.

Если вместо  $R_{YY}(\tau)$  в уравнении (1) использовать оценку этой функции  $\tilde{R}_{YY}(\tau)$ , полученную из экспериментальных данных в условиях нормальной эксплуатации, и ввести критерий близости к ее оценке  $\tilde{R}_{XY}(\tau)$ , полученной также в условиях нормальной эксплуатации, в виде:

$$E = \int_0^{\infty} [\tilde{R}_{XY}(\tau) - R_{XY}^{\exists}(\tau)]^l dt, \quad l > 1, \quad (2)$$

то задача получения динамической характеристики ОУ сводится к поиску коэффициентов уравнения (1), которые обеспечивают минимум функционала (2). Алгоритмы решения таких задач достаточно детально рассмотрены в [1].

Таким образом для построения математической модели объекта необходимо получить данные нормальной эксплуатации ОУ, которые затем используются для вычисления авто- и взаимокорреляционной функций. В случае дискретных измерений или квантования по времени часто используют нормированные корреляционные функции не для самих случайных величин  $x$  и  $y$ , а для их отклонений для средних значений  $M_X$  и  $M_Y$ :

$$r_{YY}(\tau) = \frac{1}{N - K + 1} \frac{\sum_{v=0}^{N-K} [y(v) - M_Y][y(v+k) - M_Y]}{M(y - M_Y)^2},$$

$$r_{XY}(\tau) = \frac{1}{N - K + 1} \frac{\sum_{v=0}^{N-K} [y(v) - M_Y][x(v+k) - M_X]}{\sqrt{M(y - M_Y)^2 M(x - M_X)^2}}, \quad (3)$$

где  $M(y - M_Y)^2$  и  $M(x - M_X)^2$  - дисперсии входной и выходной величин,  $N = T/\Delta t$ ,  $k = t/\Delta t$ ,  $v = \tau/\Delta t$ . Значение интервала наблюдений  $T$ , интервала дискретности  $\Delta t$  и максимально допустимого значения  $\tau = \tau_{\max}$  или  $k = k_{\max}$  получают из диапазона частот работы системы:

$$\tau_{\max} \geq f_H, \quad T \geq 10 \tau_{\max}, \quad \Delta \leq 1/2 f_B \quad (4)$$

где  $f_H$ ,  $f_B$  - соответственно нижняя и верхняя частоты интервала спектральной плотности.

Для сглаживания авто и взаимно корреляционных функций проводят аппроксимацию результатов их вычисления некоторым математическим выражением из определенного набора функций. Для вычисления значений коэффициентов аппроксимирующих уравнений традиционно используют один из оптимизационных методов нулевого порядка, например, метод Розенброка или Пауэла (2). Недостатками этого подхода являются: необходимость интуитивного выбора аппроксимирующего выражения; неустойчивость поисковых методов из-за возможного наличия локальных экстремумов; сложность выбора координат начальной точки поиска; большой объем вычислений.

Унифицировать и оптимизировать процесс аппроксимации позволяет использование для этой цели сплайн-функции (3). Использование этого математического аппарата гарантирует высокую точность приближения,

обеспечивает достаточную устойчивость численного метода, уменьшает объем вычислений.

Если заданы узлы  $\{\tau_1, r_1\}, \{\tau_2, r_2\}, \dots, \{\tau_n, r_n\}$ , то сплайн представляет собой функцию, непрерывную на интервале  $[\tau_1, \tau_n]$  вместе со своими производными и является кубическим полиномом:

$$S(\tau) = r_i + \alpha_i(\tau - \tau_i) + \beta_i(\tau - \tau_i)^2 + \gamma_i(\tau - \tau_i)^3 \quad (5)$$

В случае равноотстоящих узлов  $\tau_i = i\Delta t$ . Каждому интервалу между узлами соответствует фрагмент кубического полинома, заданный четверкой коэффициентов. Всего интервалов  $v - 1$ , соответственно сплайн задается  $4v - 4$  коэффициентами.

Для нахождения коэффициентов предварительно решается система  $v$  уравнений относительно  $v$  неизвестных  $\sigma$ :

$$\left. \begin{aligned} -\Delta t\sigma_1 + \Delta t^2\Delta_1^{(3)} \\ \Delta t\sigma_{i-1} + 4\Delta t\sigma_i + \Delta t\sigma_{i+1} = \Delta_i - \Delta_{i-1} \\ \Delta t\sigma_{n-1} - \Delta t\sigma_n = \Delta t^2\Delta_{n-3}^{(3)} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

где  $i = 2, 3, \dots, n - 1$ ;  $\Delta$  - разделенные конечные разности.

Матрица этой системы трехдиагональная, невырожденная и диагонально доминирующая, что обеспечивает ее высокую обусловленность. Система (6) решается методом прогонки с учетом ее трехдиагональности. По решениям системы (6) вычисляются коэффициенты сплайна:

$$\alpha_i = \frac{r_{i+1} - r_i}{\Delta t - \Delta t(\sigma_{i+1} + 2\sigma_i)}; \quad (7)$$

$$\beta_i = 3\sigma_i; \quad \gamma_i = \alpha_{i+1} - \frac{\sigma_i}{\Delta t}.$$

Изложенный подход к идентификации объектов не требует вмешательства человека, численно устойчивый, быстродействующий, позволяет разрабатывать на его основе работающую в АСУТП фоновую программу для уточнения модели объекта управления в процессе эксплуатации.

### Литература

1. Грон Д. Методы идентификации. -М.: Мир, 1978. -359с.
2. Химмельблау Д. Прикладное нелинейное программирование.-М.: Мир,1975. -534с.
3. Алберг Дж., Нильсон Э., Уолш Дж. Теория сплайнов и ее приложения. -М.: Мир, 1972. -280с.

**Г.Ф.КРИВУЛЯ, А.Ф.ГОРБАТЮК, В.Н. БАРБАРУК**

*Северодонецкий технологический институт Восточноукраинского национального университета им. В.Даля*

## **СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ И УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ОБУЧЕНИЯ**

В статье рассмотрено оценивание качества образовательной деятельности на основе компьютерного моделирования процессов обучения и самообучения. Полученные модельные данные подлежат дальнейшей обработке и анализу всеми участниками процесса обучения. К достоинствам разработанной компьютерной системы относятся: универсальность построения модели процесса обучения, простой интерфейс, возможность экспериментирования ходом обучения, графическое представление результатов. Наряду с известными теоретическими подходами в системе использованы оригинальные разработки авторов.

Оценка качества образовательной деятельности проводится на основе компьютерного моделирования процессов обучения и самообучения. Полученные модельные данные подлежат дальнейшей обработке и анализу всеми участниками процесса обучения. К достоинствам разработанной компьютерной системы относятся: универсальность построения модели процесса обучения, простой интерфейс, возможность экспериментирования ходом обучения, графическое представление результатов. Наряду с известными теоретическими подходами в системе использованы оригинальные разработки авторов. Комплексное использование разносторонних средств обеспечивает возможность применения системы в различных учебных заведениях Украины.

### **Введение**

В настоящее время большинство вузов Украины стараются выпускать высококвалифицированных кадров во всех отраслях. Повышенное внимание обусловлено возросшими требованиями, предъявляемыми к специалистам. Это в свою очередь, требует постоянного усовершенствования учебного процесса. Следовательно, становится актуальной задача разработки и усовершенствования технологий качества образования в высшей школе. Применение современных информационных технологий позволяет значительно упростить некоторые процедуры, связанные со сбором и обработкой информации для решения поставленной задачи, кроме того, предоставляется возможность применения сложного математического аппарата для исследований.

Качество разработанного и проведенного процесса обучения характеризуется совокупностью количественных и качественных оценок. Поведенный анализ проблем оценки качества подготовки

конкурентоспособных молодых специалистов показывает: процесс обучения и самообучения, выделенный как предмет исследования, представляет собой достаточно сложную по структуре и содержанию процедуру; является составной частью целостного образовательного процесса, подчиняется его закономерностям; проектирование моделей и методов процесса обучения предполагает обоснование и выбор соответствующих критериев, адекватных поставленной цели.

На сегодняшний день стало возможным разрабатывать и внедрять информационные технологии для решения задач оценки качества процесса обучения.

## **1. Постановка задачи**

Одним из возможных подходов решения этой задачи является внедрение системы контроля знаний и управления процессом обучения, обеспечивающей приемлемое управление информационным пространством: учебным процессом, проводимыми научными исследованиями, документооборотом, финансами, персоналом, библиотечным фондом, приемом студентов и их распределением и т.п. Предполагается, что системы контроля знаний и управления процессом обучения интегрируя информационные потоки учебного заведения, научноисследовательского института, промышленного предприятия, определит имеющиеся ресурсы и позволит наилучшим образом воспользоваться ими, например, с помощью автоматизированных рабочих мест (АРМ) структурных подразделений.

Под КСУ ИП учебного заведения, будем понимать совокупность всех информационных ресурсов учреждения, кроме которых необходимо создать и вычислительные (управляющие) ресурсы. Использование объектно-ориентированного подхода делает возможным представление КСУ ИП в виде некой многомерной структуры данных, каждый слой (компонент) которой отражает ту или иную компоненту пространства. Отдельные компоненты определяются в зависимости от внутренней организации учебного заведения, а также поставленных задач.

Подобными элементами могут быть структурные подразделения ВУЗа (рис. 1): ректорат, деканаты, кафедры, учебный отдел, отдел кадров, канцелярия, бухгалтерия, библиотека и т.д. Если же в качестве объекта на котором применяется система контроля знаний и управления процессом обучения выступает научно-исследовательский институт, то структурными подразделениями, участвующими в процессе обучения специалистов являются отделы, лаборатории, производственные цеха, отдел документооборота, библиотека, отдел кадров и другие структурные единицы. Аналогичное деление можно произвести и на промышленном предприятии любой отрасли. Но обучение специалистов лучше проводить в общих или специализированных учебных заведениях, используя современные педагогические, технические, нормативные методы.

Внутри каждой компоненты при необходимости предусматривается дальнейшая детализация объектов.



Рисунок 1 – Схема информационных потоков ВУЗа

Такие структурные единицы, как «Приемная комиссия», «Отдел кадров», «Ректорат», «Деканат», «Кафедра» [1], «Учебный отдел» [2], «Канцелярия», «Библиотека», в большинстве выполняемых функций, охватывают организацию, проведение, обеспечение и контроль учебного процесса.

В то время, как элементы информационного пространства «Преподаватель» и «Студент» непосредственно участвуют в процессе обучения, и дополнительно с этим, «Студент» принимает участие в процессе самообучения.

## 2. Решение

Учебный процесс, как сложная система, включает в себя четыре составные части: учебный план, структуру и содержание курса, обучающую среду (педагог, средства и технологии обучения) и контроль образовательного процесса. Первые две части образуют педагогическую модель знаний предметной области (так называемую «модель преподавателя»). В проводимых исследованиях модель преподавателя включает в себя две составные части: модель обеспечения и модель предметной области.

Контроль обучения осуществляется путем оценки соответствия между педагогической моделью знаний и личностной моделью знаний обучаемого («моделью студента») с помощью промежуточных и итоговых измерений уровней знаний, умений и навыков личностной модели знаний.

В проводимой работе предметная область (ПО) характеризуется сущностями и связями между ними. В качестве сущностей ПО в обучающих системах можно рассматривать понятия или темы, каждой из которых

соответствует единица учебного материала, не требующая (с точки зрения преподавателя) деления на подтемы. Каждая тема описывается набором параметров (атрибутов), существенных для управления обучением.

Связь между темами  $i$  и  $j$  подразумевает зависимость между ними, которую можно интерпретировать так: для понимания темы  $j$  нужно знать тему  $i$ . Таким образом, связи могут определять последовательность изучения тем. Связи между темами могут быть факультативными и обязательными. В случае факультативной связи последовательность изучения тем носит рекомендательный характер.

Связи могут иметь также различную семантику и взаимозависимости. В частности, структура ПО не может содержать циклов. В остальном никаких ограничений на структуру ПО не накладывается. Аналогичный подход по организации применим и к модели обеспечения, элементами которой являются нормативные документы, учебные пособия и другие документы, обеспечивающие учебный процесс.

Этим требованиям удовлетворяют фреймовая и семантическая модели представления знаний [6]. Семантические сети и фреймовые модели близки друг другу, но механизм вывода в семантических сетях более прозрачен.

Преставление этой модели в виде семантической сети позволяет проводить анализ предметной области по таким параметрам, как:

- связность (достижимость любой вершины);
- наличие циклов;
- степень важности определенной темы (понятия), определяемая количеством тем, зависящих от данной темы.

Семантическая сеть рассматривается в классическом понимании, т.е. как направленный граф с помеченными вершинами и дугами, в котором вершинам соответствуют объекты, а дугам — семантические отношения между ними.

Семантическая модель базируется на семантической сети. Это система знаний, имеющая определенный смысл в виде целостного образа сети. Механизм вывода заключается в распространении по сети возбуждения в зависимости от топологии сети и входных данных.

Определим семантическую сеть  $\Omega$  как двойку вида

$$\Omega = \{V, D\}, \tag{1}$$

где  $V = \{vi\}$  — множество вершин (узлов сети), а  $D = \{dj\}$  — множество дуг. Вершина  $v_i$ - семантической сети может быть определена как

$$V_i = \{S, c\}, \tag{2}$$

где  $S = \{s_k\}$  — множество точек входа в вершину (синапсов, рисунок 2), а  $c$  — функция, определяющая состояние вершины:

$$c = \cup f_n, \tag{3}$$

т.е. дизъюнкция состояний множества синапсов  $S$ , относящихся к вершине  $v_i$ .

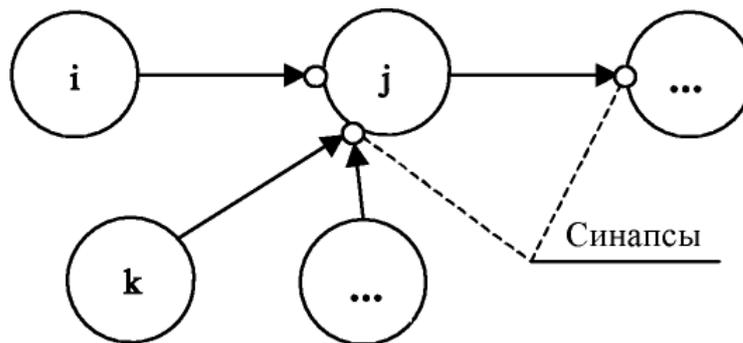


Рисунок 2 – Фрагмент семантической сети

Синапс  $S_k$  вершины  $v_i$  есть пара вида:

$$s_k = \{p_k, f_k\}, \quad 4)$$

где  $p_k$  — процесс, связанный с данным синапсом, а функция  $f_k$  определяется как произвольная логическая функция от состояний вершин  $v_m$ , дуги от которых входят в синапс  $S_k$ , например, конъюнкция:

$$f_k = \bigcap v_m \quad 5)$$

Узлами сети могут быть любые элементы процесса обучения: теоретический материал по определенной теме курса, лабораторные и контрольные работы, задания для самоконтроля и т.п. С программной точки зрения каждая вершина представляет собой некоторый процесс. Дуги между элементами определяют взаимосвязи между вершинами и задают последовательность изучения курса.

Для технической дисциплины «Цифровые ЭВМ» составлена модель предметной области, которая получила следующую реализацию в разработанном пакете «АРМ преподавателя».

На основании такой структуры каждому обучаемому можно задавать свое подмножество изучаемых тем (выполняемых работ), которое будет определяться, например, списками начальных и конечных вершин сети. В качестве начальной вершины может выступать вершина, которая имеет хотя бы одну исходящую дугу, в качестве конечной — вершина, в которую можно попасть из заданных начальных вершин. Изучение курса заключается в прохождении по всем вершинам, входящим в маршруты от начальных до конечных вершин.

Модель обучаемого должна включать в себя информацию:

- о цели обучения;
- о знаниях обучаемого в рамках изучаемого курса (текущее состояние процесса обучения);
- об особенностях подачи учебных материалов и выбора контрольных заданий и вопросов;

- о правилах изменения модели обучаемого по результатам работы с обучаемым.

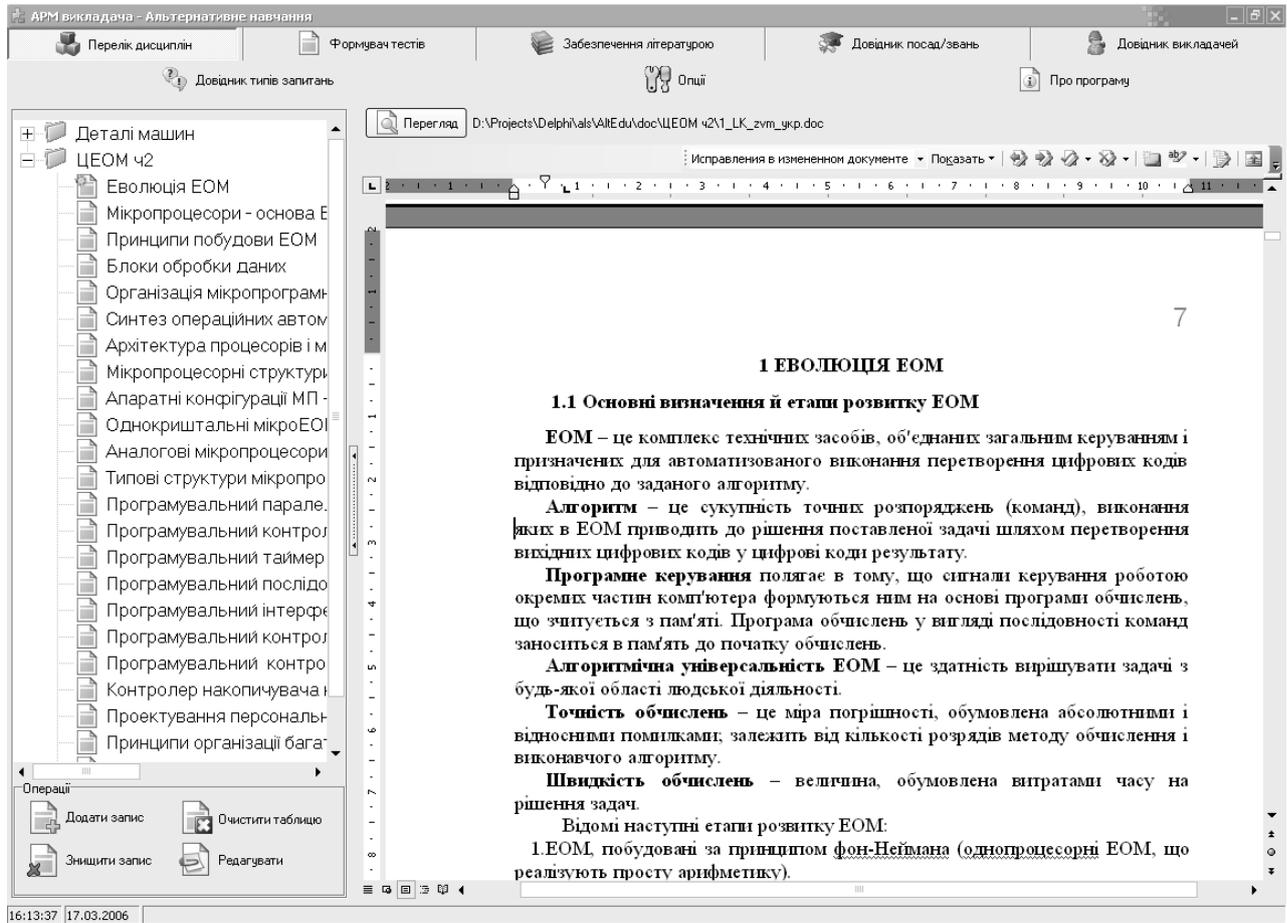


Рисунок 3 – Реализация модели предметной области

Модель обучаемого, также как и модель преподавателя разбиваем на две части. Первая часть отвечает за процесс обучения студента, т.е. за предоставление ему знаний, и является проекцией на модель предметной области. Поэтому подробно рассмотрим вторую составную часть – непосредственно модель знаний студента.

Модель знаний обучаемого формируется (и изменяется) в процессе работы с ним. Система начинает это формирование "с чистого листа", т.е. при полном отсутствии сведений о знаниях обучаемого. Единственное неудобство такого подхода состоит в том, что при этом может увеличиться время адаптации системы к обучаемому.

Одним из основных блоков модели знаний обучаемого является блок анализа ответов обучаемого, который функционирует следующим образом. При использовании любого способа ввода ответа выделяются некоторые признаки, в соответствии с которыми ответ относится к категории правильных или неправильных. Однако, кроме установки принадлежности ответа к одной из двух описанных категорий, требуется оценить ответ. Т.е. сопоставить ответу некоторый числовой бал из некоторой оценочной системы.

Мы приходим к понятиям **нечеткой логики** (Fuzzy Logic - FL) – математической дисциплина, в основе которой лежит теория нечетких множеств, где функция принадлежности элемента множеству не бинарная (да/нет), а может принимать любое значение в диапазоне  $0 \div 1$ . Это дает возможность определять понятия, нечеткие по самой своей природе: "отличник", "хорошист", "троечник".

Правильность выборочного ответа оценивается путем сравнения ответа и эталона и определения их сходства. Если учесть, что чаще всего применяется схема "N вариантов – из них один правильный", то такой подход является оправданным. Но для учета применения схемы "N вариантов – из них k правильных ( $0 \leq k < N$ )" вводим дифференцированную оценку. Например, ответ (2,3,5) гораздо ближе к эталону (3,4,5), чем ответ (1,2), поэтому он должен быть оценен выше.

В тех случаях, когда ответ представляет собой множество, т.е. произвольную последовательность элементов, оценка ответа заключается в определении расстояния между множествами.

Пусть даны два множества  $M_a$  и  $M_e$ , состоящие из элементов базового множества  $R$ . Требуется определить расстояние между множествами.

Примем  $[0,1]$  за интервал изменения расстояния  $r$  таким образом, что:

- $r = 0$ , если  $M_a \equiv M_e$  ;
- $r = 1$ , если  $M_a \cap M_e = \emptyset$  ;
- $0 < r < 1$ , если  $M_a \cap M_e \neq \emptyset$  .

Пусть дано произвольное конечное множество  $R$ . Расстояние между подмножествами  $A = \{a_i\}$  и  $B = \{b_i\}$  множества  $R$  может быть определено как:

$$r = 1 - K/L, \tag{6}$$

где  $K$  – количество совпадающих элементов в подмножествах  $A$  и  $B$ ;

$L = |A| = |B|$  – мощность подмножеств. Если  $|A| \neq |B|$ , т.е. количество элементов в подмножествах различно, это нужно учитывать.

Тогда формула изменится следующим образом:

$$r = 1 - K/(L + K_b), \tag{7}$$

где  $K = |A \cap B|$  – количество совпадающих элементов в подмножествах  $A$  и  $B$ ;

$L = |A|$  – мощность подмножества  $A$ ,  $K_b = |A| - K$  – количество элементов в подмножестве  $B$ , которых нет в  $A$ .

В соответствии с таким определением расстояния введем понятие степени сходства множеств. Степенью сходства множеств назовем величину, обратную к расстоянию:

$$\delta = 1 - r, \tag{8}$$

Объединив формулы (3.18) и (3.19), можно оценить ответ обучаемого по степени сходства  $\delta$  между ответом обучаемого (множество  $Sa = \{a_1, a_2, \dots, a_k, b_1, b_2, \dots, b_n\}$ ) и эталонным ответом (множество  $Se = \{a_1, a_2, \dots, a_k\}$ ) по формуле:

$$\delta = Ka / (L - Kb),$$

9)

где  $L = |Se|$ ,  $Ka = |Sa \cap Se|$ ,  $Kb = |Sa| - Ka$ .

Была проведена оценка предложенных методов анализа ответов, при использовании которых появляются "частично правильные ответы" с оценкой, отличной от нуля.

В результате применения предложенных информационных технологий наблюдается улучшение владением материалом (рисунок 4.б) по сравнению с традиционной подачей учебного материала (рисунок 4.а) – более ровный срез знаний по дисциплине у студентов целого курса.

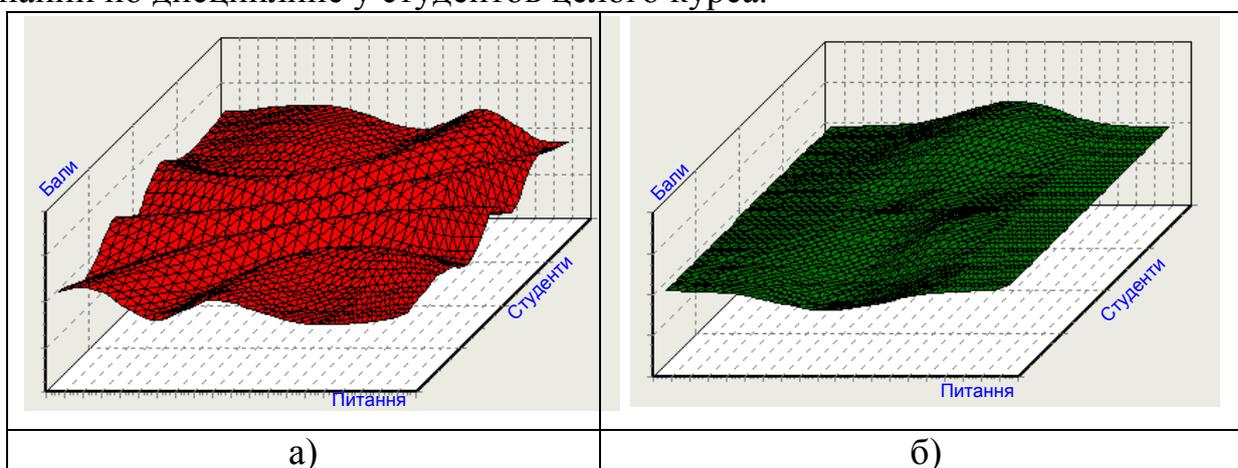


Рисунок 4 – Графическое представление поверхности знаний при а) традиционном обучении, б) применении информационных технологий

Поскольку при использовании выборочных ответов существует возможность неадекватной оценки знаний обучаемого в случае случайного ввода правильного ответа, была проведена оценка предложенных типов с точки зрения величины такой вероятности.

### Вывод

Достоинствами разрабатываемой в СТИ системы контроля знаний и управления процессом обучения: существенная автоматизация рутинной работы, простота занесения исходных данных, легкость получения результатов, достаточная информационность выходных документов, сохранение логической связи на протяжении работы в едином информационном потоке электронного документооборота института. Это позволяет надеяться о перспективности проводимых работ.

### Литература

1. Г.Ф.Кривуля, А.Ф.Горбатюк, В.Н.Барбарук. Компьютерные технологии в образовании. Книга 1. АРМ секретаря кафедры. – Луганск: изд-во Восточноукр. нац. ун-та им. В.Даля, 2002. - 175с.

2. А.Ф.Горбатюк, В.Н.Барбарук, Н.Н. Нескорородева. Компьютерные технологии в образовании. Книга 2. АРМ инспектора учебного отдела. Монография / под ред. д.т.н. проф. Г.Ф.Кривули. – Луганск: изд-во Восточноукр. нац. ун-та им. В.Даля, 2003. - 208с.

## 2 ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА СКУ

УДК 681.324

**С.И. ДАНИЛЬЧЕНКО, Г.Н. ЛЕВИЦКИЙ**

*Закрытое акционерное общество «Северодонецкое научно –  
производственное объединение “Импульс”»*

### РАБОЧИЕ СТАНЦИИ АСУ ТП АЭС

Рассматриваются основные технические, конструктивные и функциональные параметры изделия в целом и отдельных составных частей, правила и способы компоновки исполнений рабочих станций, практические результаты внедрения и эксплуатации у пользователей.

#### 1 Введение

В АСУ ТП АЭС: информационно-вычислительных системах (ИВС) энергоблоков, системах внутриреакторного контроля (СВРК), системах аварийного охлаждения активной зоны (САОЗ), аппаратуре контроля нейтронного потока реакторов (АКНП) и др. нашли применение промышленные рабочие станции ПС5120. Их отличает высокая надежность, стойкость к жестким промышленным условиям, высокая производительность, модульная структура, резервирование важнейших подсистем, развитые средства самодиагностирования.

На базе ПС5120 строят высокопроизводительные вычислители, рабочие места операторов-технологов, серверы архивирования, коммутационные станции и шлюзы, системы отображения и диагностирования и др.

Рабочие станции ПС5120 созданы на базе технических средств нового поколения с применением комплектующих изделий ведущих мировых фирм-производителей (Intel, Nec, HP, Seagate и других).

#### 2 Назначение рабочих станций и общие сведения

В 1992 г. впервые в НПО «Импульс» были рассмотрены способы обоснованного внедрения IBM PC совместимых компьютеров в промышленном исполнении. Из этих работ можно выделить промышленные компьютеры ПС5101, ПС5300, которые стали первыми образцами перехода на другой технологический уровень. Эти изделия были успешно применены в АСУ ТП энергоблоков Кольской, Курской и Запорожской АЭС, АСУ ТП на Кременчугском НПЗ, Уфимском АО «Оргсинтез» и на других объектах.

Хотя эти изделия не нашли широкого применения, они позволили определить круг основных проблем, которые необходимо решать для

успешного внедрения современных систем для управления энергоблоками АЭС:

- освоение систем стандартов, разработка нормативных документов для поставки оборудования на АЭС, правильное оформления документации;
- расширение испытательной базы для обеспечения проверки изделий на соответствие новым стандартам;
- освоение технологии работ с рынком комплектующих высокотехнологичных изделий;
- освоение методов защиты изделий от электромагнитных воздействий;
- освоение методов диагностирования современного оборудования.

В 2001 году была закончена разработка рабочей станции ПС5110. В период с 2001 года по 2004 год было выпущено порядка 150 рабочих станций ПС5110, с помощью которых на АЭС были внедрены современные информационные технологии.

Для определения реальных эксплуатационных характеристик в период эксплуатации оборудования выполнялся авторский надзор, который подтвердил достоинства применения рабочих станций ПС5110, а также позволил определить «слабые» места в разработке. Одной из таких проблем стал тепловой режим. Для отдельных применений система охлаждения оказалась недостаточной для обеспечения эффективного теплового режима.

Для устранения выявленных недостатков и внедрения современных технологий в 2004 году на смену ПС5110 была разработана рабочая станция ПС5120, которая является развитием рабочей станции ПС5110 на основе применения современного оборудования и комплектующих материалов.

При создании рабочей станции следующего поколения ПС5120 были поставлены и успешно решены следующие цели и задачи:

- расширение функциональных возможностей;
- расширение контрольно-диагностических функций;
- увеличение надежности;
- расширение номенклатуры комплектующих в направлении допустимости использования рабочих станций в широком диапазоне промышленных условий эксплуатации;
- снижения себестоимости рабочих станций;
- улучшение условий и культуры труда оперативного персонала.

Основное назначение рабочих станций – построение на их базе рабочих мест оператора-технолога различной конфигурации в системах верхнего уровня АСУ ТП АЭС. Рабочие места, оснащенные современными технологиями человеко-машинного взаимодействия, используются для контроля состояния параметров и оборудования, а также управления различными подсистемами и механизмами энергоблока АЭС.

В то же время, высокие параметры и характеристики, программная и аппаратная совместимость с IBM-PC/AT компьютерами, а также повышенная стойкость к внешним воздействующим факторам позволяют использовать рабочие станции ПС5120 в самых разнообразных областях промышленности и

для различных применений в АСУТП: визуализация, архивирование информации, прием/передача (транслирование, коммутация) данных в локальных сетях, в подсистемах и системах ИВС/УВС и др.

Рабочие станции ПС5120 могут объединяться в локальную сеть нижнего уровня или единую сеть верхнего уровня, а также интегрироваться в другие сетевые структуры. Они способны работать в любых вычислительных сетях, построенных по стандартным протоколам МАРС, Ethernet, Arcnet и др.

Рабочие станции ПС5120 обеспечивают и поддерживают сеть единого времени.

### **3 Основные параметры и характеристики ПС5120**

Рабочие станции ПС5120 по условиям эксплуатации, по безопасности, по электромагнитной совместимости соответствуют требованиям государственных и международных нормативных документов для изделий, поставляемых на объекты атомной энергетики.

ПС5120 классифицированы как технические средства автоматизации (ТСА) серийного производства и относятся к системам нормальной эксплуатации, класс безопасности 3Н или 4Н в зависимости от назначения и состава оборудования.

Рабочие станции ПС5120 разработаны по принципу агрегатных комплексов технических средств, что позволяет, используя и комбинируя унифицированные составные части, создавать единичные изделия, предназначенные для комплектации конкретных систем, начиная от несложных локальных пультов управления и заканчивая крупными многоэкранными диспетчерскими системами.

Поставка ПС5120 производится в виде заказных конструктивно законченных исполнений, проектно компокуемых по карте заказа потребителя. Широкий набор технических средств (ТС) для компоновки, разнообразие конструктивных элементов (шкафы, тумбы, столы, подставки) и относительно свободный выбор компоновочных комбинаций позволяют строить самые различные конфигурации, функционально, параметрически и конструктивно адаптированные к конкретному применению.

На этапе серийного выпуска рабочих станций состав и номенклатура составных частей для компоновки ПС5120 постоянно расширяется путем проведения типовых испытаний и включения в конфигуратор (перечень ТС для компоновки) новых или модифицированных элементов. Это позволяет плавно проводить совершенствование и модернизацию рабочих станций и осуществлять текущие поставки с самым современным составом технических средств.

Основным принципиальным отличием рабочих станций ПС5120 от предыдущих моделей и аналогичных систем с подобной архитектурой является возможность работы в жестких промышленных условиях эксплуатации и повышенная стойкость к внешним воздействующим факторам (высокая

температура и влажность, вибрация, пыль, перенапряжения и провалы в питающей сети, электромагнитные помехи).

Теплостойкость ПС5120 (рабочая температура до 50 °С) обеспечивается использованием специальных комплектующих и применением эффективной системы вентиляции, которая обеспечивает циркуляцию воздуха и охлаждение составных частей как внутри корпуса системного блока (модуля процессорного), так и внутри конструктива (шкафа, тумбы).

Стойкость к механическим воздействиям (вибрации, удары) обеспечивается применением различных амортизационных и противоударных креплений и прижимов. Конструкция напольных элементов обеспечивает крепление к строительным конструкциям. Рабочие параметры синусоидальной вибрации составляют 0,2 - 0,5 g (зависит от состава и конструктивного исполнения), ударов - до 4 g. В зависимости от состава оборудования и конструкции рабочие станции выдерживают сейсмические воздействия до 6 баллов при максимальной высоте до 10 - 30 m над нулевой отметкой здания АЭС.

Защита от электромагнитных и радиопомех, статических зарядов обеспечивается с помощью устойчивых к помехам корпусов, специальных схемных решений по приему и передаче информации, экранированных линий связи. По электромагнитной совместимости рабочие станции соответствуют степени жесткости двух норм испытаний - легкой и средней.

В заводских условиях различного рода помехи все же могут привести к сбою аппаратуры или программы. Для целей автоматического перезапуска системы в состав рабочей станции входит настраиваемый сторожевой таймер, который является фактически предохранительным устройством в аварийных ситуациях.

В промышленных условиях эксплуатации зачастую источником неработоспособности является нестабильность системы электропитания. Система двухфидерного питания, устройства бесперебойного питания и резервированные вторичные источники питания обеспечивают надежную и бесперебойную работу ПС5120, в том числе и защиту от провалов, выбросов и шумов в электросети. Работоспособность ПС5120 сохраняется при отклонениях напряжения в пределах 187-242 V (без ограничения времени) и 154-275 V (кратковременно), отклонениях частоты в пределах 49-51 Hz (без ограничения времени) и до 47 Hz (кратковременно), прерываниях в сети - в течение одного периода.

Рабочие станции ПС5120 обеспечивают выполнение следующих основных функций:

- передачу/прием информации в/из линии связи сетей МАПС, Ethernet, МВС;
- ввод информации с клавиатур, манипуляторов;
- ввод информации с устройств внешней памяти;
- запись и хранение информации в оперативной и внешней памяти;

- обработка информации (прием, подготовка, вычислительные операции);
- отображение принятой и обработанной информации;
- прием времени из сети единого времени;
- контроль технического состояния оборудования.

Основные технические характеристики рабочих станций ПС5120 приведены в таблице 1.

Таблица 1

Основные технические характеристики ПС5120

Процессор	Pentium 4M, Pentium M 1,8 GHz или выше
Оперативная память	До 2 GHz
Видеопамять	До 64 MB
Стандартные порты	Com, Lpt, USB
Видеопорты	VGA, DVI
Аудиовыход	AC97
Сторожевой таймер (Watchdog)	Есть
Дисковая память	SCSI, не менее 73 GB
Съемные диски CD-RW/DVD	EIDE, 650 MB/4,7 GB
Гибкие диски	1,44 MB
Число интерфейсных мест расширения PCI/ISA	5-11/1-4
Возможность подключения оптических дисков	Есть
Возможность подключения RAID-массива	Есть
Связь с сетью единого времени	Есть, погрешность синхронизации не более 15 $\mu$ s
Возможность работы в локальных сетях	
Ethernet	Есть
промышленная сеть МАПС	Есть
Возможность выхода на интерфейсы	
RS232/ИРПС/RS422	Есть

МВС (радиальный ПС5120 – СМ-2М)	Есть
Средства человеко-машинного взаимодействия	
мониторы	15”, 17”, 21”, 32”, 1024x768 - 1600x1200, число подключаемых мониторов до трех
манипуляторы	Приборные: «мышь», трекбол; встроенные: “Touch pad”
функциональные клавиатуры	Приборная и встраиваемая
алфавитно-цифровая клавиатура	Стандартная АТ, встраиваемая
Средства удаления операторского оборудования	Есть
Средства обеспечения надежного электропитания (2 фидера, UPS)	Есть
Средства контроля (электропитания, вентиляторов и температуры)	Есть
Число модулей процессорных	До трех
Конструктивное исполнение	Приборное и встраиваемое (19”)

#### 4 Конструктивное устройство и состав рабочих станций

Конструктивно ПС5120 выполнены в виде напольных конструктивных элементов (шкафы, тумбы, подставки и столы) или приборных элементов, в которых размещаются модули, блоки и компоновочные элементы. Напольные конструктивные элементы обеспечивают крепление к строительным конструкциям. Эргономика конструкций учитывает особенности работы операторов-технологов АСУ ТП.

Стол предназначен для формирования рабочего места оператора и размещения операторского оборудования. На столешнице стола могут размещаться мониторы, манипуляторы, принтеры, функциональная клавиатура. Под столешницей стола может устанавливаться клавиатура алфавитно-цифровая с манипулятором “Touch pad”.

Тумба предназначена для размещения отдельных составных частей рабочей станции. Тумба может использоваться совместно со столом и размещаться в непосредственной близости слева или справа от стола или размещаться в составе ПС5120 отдельно.

В тумбе можно разместить клавиатуру алфавитно-цифровую с манипулятором “Touch pad”, модуль процессорный, источник бесперебойного питания. На столешнице тумбы может размещаться монитор либо принтер. В задней части тумбы можно расположить оптоволоконный кросс на 4

дуплексных подключений и устройство аварийного включения резерва (для ввода питания 220V от двух фидеров).

Дверь тумбы может открываться слева - направо или справа – налево. Информацию о необходимом размещении навесов потребитель может указать в карте заказа.

Варианты компоновки рабочих станций с использованием тумб и столов показаны на рисунках 1 и 2.



Рисунок 1 – Рабочая станция PC5120 на базе тумбы



Рисунок 2 – Рабочая станция ПС5120 на базе стола и тумбы

Шкаф предназначен для размещения отдельных составных частей рабочей станции.

В шкафу можно разместить от одного до трех модулей процессорных, встраиваемый монитор, клавиатуру алфавитно-цифровую с манипулятором “Touch pad” или операторскую консоль типа «клавиатура-монитор-мышь», источник бесперебойного питания, коммутатор сети Ethernet, крейт для установки дополнительного оборудования (средства удаления, источники питания). В нижней части шкафа можно расположить один или несколько оптоволоконных кроссов (до 48 дуплексных подключений) и устройство аварийного включения резерва (для ввода питания 220V от двух фидеров). При выборе компоновки шкафа учитываются ограниченные возможности шкафа по обеспечению теплового режима. Рекомендуемые и допустимые компоновки шкафа указаны в инструкции по заполнению карты заказа.

Один из вариантов компоновки рабочих станций с использованием шкафа показан на рисунке 3.

### Рисунок 3 – Рабочая станция ПС5120 на базе шкафа

Шкаф-тумба занимает промежуточное (по высоте) положение между тумбой и шкафом и предназначен для компоновки средних конфигураций рабочих станций.

В шкаф-тумбе можно разместить модуль процессорный, источник бесперебойного питания, коммутатор сети Ethernet, крейт для размещения средств удаления и источников питания. В нижней части шкаф-тумбы можно расположить один оптоволоконный кросс (до 12 дуплексных подключений) и устройство аварийного включения резерва (два фидера 220V). Дверь тумбы может открываться слева – направо.

Подставки используются для размещения удаленных мониторов.

Приборный вариант компоновки ПС5120 применяется только для исполнений, ориентированных на обеспечение функций, не влияющих на безопасность (класс безопасности 4Н), а также для применений в качестве сервисного оборудования.

Конкретный вариант компоновки ПС5120 (состав, типы, количество конструктивных элементов и др.) указывается в карте заказа потребителя с учетом существующих ограничений.

Ограничения по компоновке в соответствии с принятой классификацией (класс безопасности, группы условий эксплуатации, размещения и исполнения для ЭМС, категория сейсмостойкости) зависят от:

- условий применения;
- условий эксплуатации;
- выбранного состава оборудования.

Исходные данные для компоновки исполнений, рекомендации и ограничения по компоновке приведены в инструкции по заполнению карты заказа.

Основные параметры условий эксплуатации:

Эксплуатационная температура.....от + 15 до + 50 °С

Относительная влажность воздуха.....до 80 % при 30 °С

Предельная (аварийная в течение 2 часов) влажность.....до 100 %

Барометрическое давление.....от 86 кПа до 108 кПа

Сейсмостойкость.....до 6 баллов на высоте 30 м,

при наличии накопителей CD RW, MO.....до 10 м

Стойкость к электромагнитным помехам, перенапряжениям и провалам в питающей сети.....повышенная (средней степени жесткости)

## **5 Конфигуратор и компоненты ПС5120**

В конфигуратор (перечень составных частей для компоновки исполнений) включены следующие технические средства:

– модуль процессорный для обработки, хранения оперативной информации, ввода/вывода сигналов времени и контроля технического состояния оборудования;

– накопители на жестких и съемных дисках для записи и хранения информации;

– средства человеко-машинного взаимодействия (мониторы для отображения информации, клавиатуры и манипуляторы для ввода информации и операторские консоли, совмещающие функции отображения и ввода);

– контроллеры, устройства ввода и коммутации для организации линий связи локальных сетей;

– усилители, коммутирующие и соединительные устройства для удаления отдельных составных частей от модуля процессорного и обеспечения режима общей операторской консоли;

– устройство бесперебойного питания для обеспечения работоспособности при пропадании первичного электропитания;

– устройство аварийного включения резерва для обеспечения надежного двухфидерного ввода электропитания.

В комплект принадлежностей по желанию заказчика могут включаться лазерные и струйные принтеры для документирования информации.

Общая структура конфигуратора ПС5120 представлена на рисунке 4.

Конфигуратор ПС5120

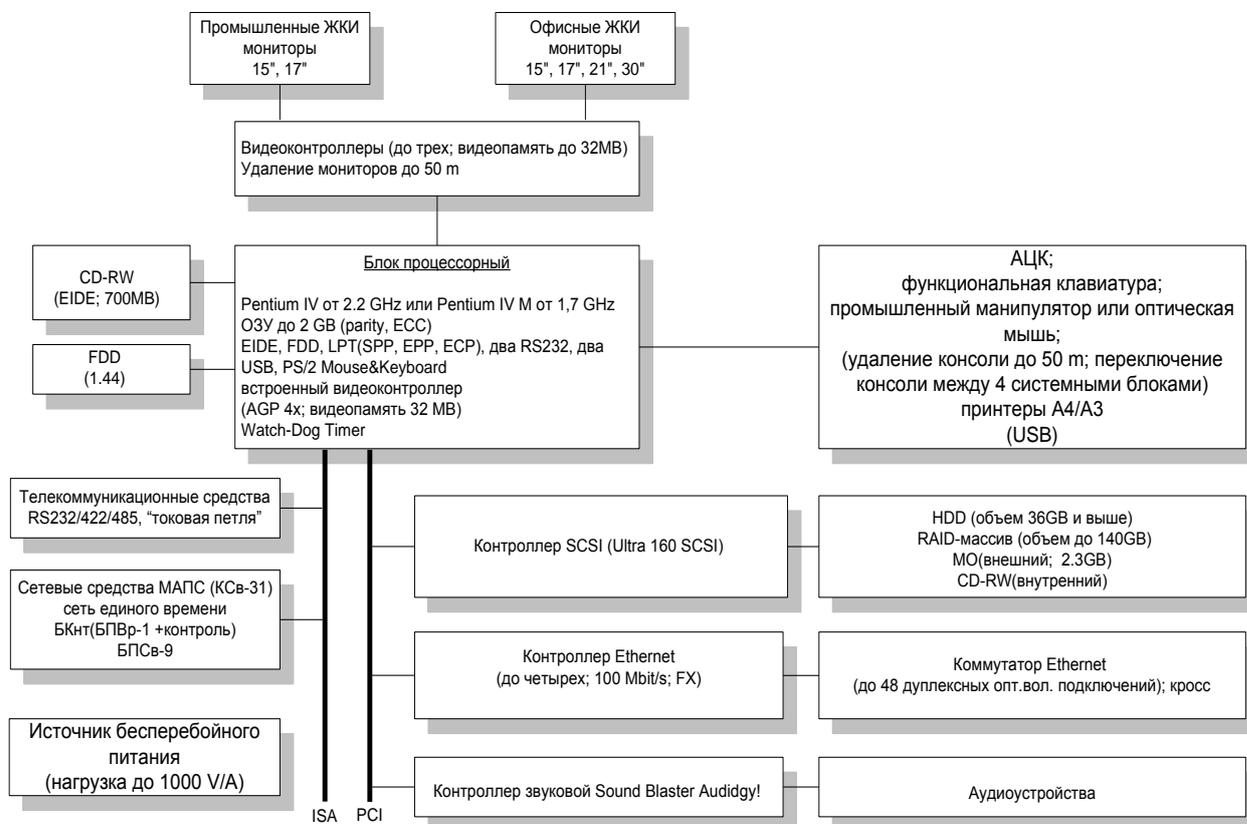


Рисунок 4 – Структура конфигуратора ПС5120

Модуль процессорный (МП) применяется в двух вариантах – встраиваемый и приборный.

Приборный вариант применяется для исполнений класса безопасности 4Н, а также в качестве сервисного оборудования. По сути представляет собой обычный компьютер в конструкции стандартный настольный корпус АТХ ПЭВМ типа «Tower» с минимальными функциями по расширению. Внешний вид приборного варианта модуля процессорного показан на рисунке 5.



Рисунок 5 – Приборное исполнение модуля процессорного ПС5120

Приборный МП реализован на базе современного процессора Pentium IV или выше (не менее 2,8 GHz) и оперативной памяти не менее 512 MB. Имеет стандартный набор интерфейсов и портов (EIDE, Ethernet, Com, Lpt, USB), интегрированные контроллеры видео и аудио, обеспечивает подключение накопителей HDD, FDD, DVD-CDRW и стандартных AT клавиатуры и манипулятора типа «мышь». Количество слотов для плат расширения интерфейса PCI – 2, 3.

Встраиваемый вариант модуля процессорного представляет собой шасси, в котором установлены резервированный источник питания, пассивная генераторная плата с слотами расширения интерфейсов PCI и ISA (в различных комбинациях), процессорный блок, дисковые накопители и различные контроллеры ввода-вывода.

Внешний вид встраиваемого модуля процессорного показан на рисунке 6.



Рисунок 6 – Встраиваемое исполнение модуля процессорного ПС5120

Шасси представляет собой стальной высокопрочный корпус с алюминиевой лицевой панелью и запираемой дверью для ограничения доступа к панели управления.

Конструкция корпуса предусматривает монтаж в стандартный 19-дюймовый конструктив. На верхней крышке корпуса расположены три охлаждающих вентилятора общей мощностью до 480 м<sup>3</sup>/час. Вентиляторы могут быть включены на половинную или полную мощность или находится в режиме автоматического слежения за состоянием температуры внутри корпуса. Высота корпуса (с вентиляторами) составляет 5 U.

Резервированный АТХ источник питания, размещенный внутри корпуса, состоит из двух 300 W модулей с “горячей” заменой. Предусмотрена индивидуальная система охлаждения каждого модуля, звуковая и светодиодная сигнализация неисправности модулей. Вход источника: 180-264 VAC, 47-63 Hz.

В корпусе предусмотрено пять отсеков (3x5.25"+2x3.5) для дисководов, размещенных в корзине на противоударной подвеске. В рабочей станции PC5120 используются накопители на жестких магнитных дисках с интерфейсом SCSI емкостью не менее 73 GB, накопители CD-RW/DVD с интерфейсом EIDE емкостью 650 MB/4.7 GB и накопитель на гибких магнитных дисках емкостью не менее 1.44 MB.

Для целей архивирования в PC5120 может использоваться магнитооптический накопитель емкостью не менее 1.3 GB, устанавливаемый вне модуля процессорного и подключаемый к нему по интерфейсу USB.

Пассивная генмонтажная плата с слотами расширения интерфейсов PCI и ISA предназначена для установки процессорного блока и различных контроллеров, обеспечивающих подключение устройств ввода вывода и организацию линий связи разнообразных локальных сетей. Количество слотов расширения и их соотношение зависит от типа применяемой генмонтажной платы. Стандартное решение, используемое, как правило в поставляемых рабочих станциях, - 7 слотов PCI, 5 слотов ISA и 2 слота PICMG (PCI + ISA), один из которых использован для установки процессорной платы. Возможны различные варианты с количеством слотов от 14 до 19, например вариант: 12 слотов PCI, 1 слот ISA и 2 слота PICMG.

Процессорный блок в формате PICMG (PCI + ISA) реализован на современной элементной базе. В блоке использованы высокопроизводительные и малопотребляющие процессоры типа мобильных версий Intel Pentium 4M, Pentium M с частотами 1.8 GHz и выше и динамическая оперативная память типа DDR/DDR2 частотой 333/400/533 MHz и емкостью до 2 GB. Блок поддерживает стандартные порты (Com, Lpt, USB), имеет сторожевой таймер, встроенные контроллеры AGP и Audio, встроенный интерфейс EIDE, обеспечивает возможность подключения гибких дисков.

Использование стандартизованного формата PICMG и «брендовых» процессоров фирмы Intel позволяет легко и плавно осуществлять модернизацию модуля процессорного путем замены на более современные модели процессорных блоков.

Для подключения устройств и организации линий связи в PC5120 применяются следующие контроллеры:

- контроллер дисковых накопителей для управления накопителями на жестких магнитных дисках (ЖМД) с интерфейсом SCSI;
- контроллер дисковых накопителей резервированных для управления резервированными (RAID SCSI) накопителями;
- контроллеры видеомонитора для подключения к рабочей станции от одного до трех (мультиэкранный режим) мониторов;
- контроллер локальной сети Ethernet (100Base-FX, оптоволоконная линия связи). Количество устанавливаемых в ПС5120 контроллеров (выходов в сеть) - до четырех. Для увеличения количества связей и построение сети на базе оптоволокна в состав ПС5120 может быть включен коммутатор локальной сети с количеством коммутируемых портов не менее 48 (100-FX). В отдельных случаях для преобразования Ethernet «витая пара» в оптический интерфейс Ethernet в состав ПС5120 может быть включено специальное устройство - преобразователь локальной сети Ethernet;
- контроллер звуковой для выдачи звуковых сообщений;
- контроллер коммуникационный для подключения клавиатуры функциональной (по интерфейсу RS232/ИРПС) и организации радиальных связей по интерфейсу RS422. Количество каналов - два в любом сочетании;
- контроллер связи для подключения к фирменной сети МАПС. Количество устанавливаемых в ПС5120 контроллеров (выходов в сеть) - до двух;
- блок последовательной связи БПСв-9 для организации радиальной связи между рабочими станциями ПС5120 и вычислительными комплексами СМ-2М. Количество устанавливаемых в ПС5120 контроллеров (радиальных линий связи) - до четырех;
- блок связи для организации радиальных связей по интерфейсу RS-422. Модификации блоков позволяют установить блок как в слот PCI, так и в слот ISA рабочей станции. Количество устанавливаемых в ПС5120 блоков - до четырех.

Особое место в составе ПС5120 занимает блок контроля, который выполняет двойную функцию. Во первых он предназначен для обеспечения связи с сетью единого времени и ввода в ПС5120 даты и времени по шкале всемирного координированного времени. Погрешность отсчета времени в случае исходной установки времени из сети единого времени не превышает 1 ms/h. При отсутствии связи с источником точного времени блок контроля выполняет отсчет времени самостоятельно. Погрешность самостоятельного отсчета времени не превышает 6 ms/h.

Во вторых блок контроля осуществляет следующие виды контроля технического состояния оборудования: наличия электропитания и отказа резервированного источника питания модуля процессорного, температурного режима в шкафах и тумбах, работоспособности доступных для монтажа вентиляторов, несанкционированного доступа к оборудованию ПС5120

(открытия/закрытия дверей шкафов и тумб). Специальные аппаратные средства (индикаторы и звуковые сигнализаторы), а также программные средства мониторинга обеспечивают выдачу регламентных сообщений об обнаруженных нарушениях.

Блок контроля является постоянной составляющей и включается в любое исполнение рабочей станции независимо от конфигурации.

Для высоконадежных отказоустойчивых применений и систем архивирования в ПС5120 используется внешние дисковые накопители RAID, поддерживающие технологии «горячего» резервирования и замены. В этом случае дисковый массив, реализованный на дисках SCSI емкостью 140 GB, расположен в отдельном автономном корпусе, в котором помимо «горячего» резервирования накопителей обеспечивается резервирование и горячая замена источников питания и вентиляторов. Связь модуля процессорного и дискового массива RAID осуществляется посредством контроллера SCSI, установленного в один из слотов генмонтажной платы.



Рисунок 7 – Модуль дисковых накопителей резервированных ПС5120

В качестве средств отображения в ПС5120 используются ЖКИ мониторы с различными (в зависимости от назначения) размерами экрана: 15", 17", 21", 30/32" и следующими основными параметрами: разрешение до 1600x120, яркость 250-300 cd/m<sup>2</sup>, контрастность 500:1...1000:1, углы обзора до 180<sup>0</sup> в обоих направлениях. Обеспечивается подключение как по аналоговому входу, так и по цифровому DVI-интерфейсу.

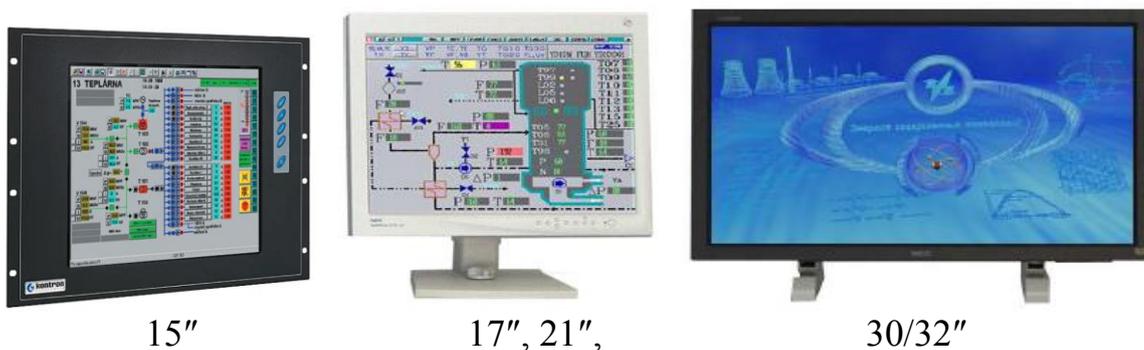


Рисунок 8 – Мониторы ПС5120

Видеомониторы 15" повышенной прочности (для жестких условий эксплуатации) используются для компоновки шкафных исполнений, остальные предназначены для установки на столы, тумбы или подставки. Для обеспечения сейсмостойчивости все настольные варианты мониторов обеспечены специальными средствами крепления к столешницам конструктивов.

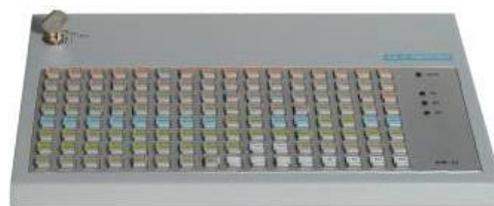
Для обеспечения функций рабочего места оператора–технолога (РМОТ) в ПС5120 предусмотрено подключение от одного до трех различных мониторов. Связь модуля процессорного и мониторов осуществляется посредством видеоконтроллеров, установленных в слоты PCI генмонтажной платы. При этом обеспечивается как режим одного большого экрана с одной картинкой, так многоэкранный режим с одинаковыми или различными картинками на каждом мониторе.

К операторскому оборудованию, помимо мониторов, относятся клавиатуры (алфавитно-цифровые и функциональные), манипуляторы и консоли. Алфавитно-цифровая клавиатура - стандартная АТ с количеством клавиш до 105, исполнение - для монтажа в 19" конструкцию, выдвигная, имеет встроенный манипулятор "Touch pad", который подключается к модулю процессорному, если в данном исполнении рабочей станции не используются настольные манипуляторы.

Функциональная клавиатура может применяться как во встраиваемом, так и в приборном варианте. Может иметь до 128 клавиш и индикаторов (по заказу), обеспечивает возможность смены этикеток клавиш и звуковую сигнализацию с помощью встроенного источника звука. Подключение к модулю процессорному производится по интерфейсу ИРПС, что обеспечивает возможность удаления клавиатуры до 1000 м. Может располагаться как на/в конструкциях ПС5120, так и на/в конструктивных элементах заказчика. Внешний вид функциональной клавиатуры показан на рисунке 9.



встраиваемая



приборная

Рисунок 9 – Функциональная клавиатура ПС5120

В ПС5120, кроме встроенного в клавиатуру манипулятора “Touch pad”, могут использоваться настольные манипуляторы типа: манипулятор «мышь» оптический приборный с интерфейсом PS/2 (для сервисных целей), манипулятор промышленный с интерфейсом RS 232 (приборный и встраиваемый), манипулятор трекбол приборный с интерфейсом PS/2 или USB.

В ПС5120 используются различного рода коммутаторы, усилители и удлинители, обеспечивающие очень широкие функциональные возможности использования рабочих станций и систем на их основе.

К коммутирующим устройствам относятся упоминаемые выше коммутатор локальной сети Ethernet, коммутатор операторской консоли и консоль операторская многоканальная.

Коммутатор Ethernet, представленный на рисунке 10, предназначен для построения сети на базе оптоволоконных линий связи.



Рисунок 10 – Коммутатор локальной сети Ethernet

Коммутатор представляет собой автономный модульный прибор для установки в стандартный 19 дюймовый конструктив. Максимальное количество коммутируемых портов зависит от количества установленных модулей коммутирующих, поддерживающих режим “горячей” замены. Модулей может быть от одного до четырех, что позволяет подключить до 48 портов 100 Mbps FO (SC) с памятью по 512 Kbyte. Пропускная способность внутренней магистрали коммутатора 3.8 G bit/s. Подключение оптоволоконных линий связи к модулям производится с помощью одного или нескольких (в зависимости от количества связей) оптоволоконных кроссов, расположенных в нижней части шкафа, шкаф-тумбы или тумбы.

Коммутатор операторской консоли предназначен для переключения общей операторской консоли (клавиатура, монитор, манипулятор) между модулями процессорными.



Рисунок 11 – Коммутатор операторской консоли

Основная функция коммутатора– администрирование (переключение) нескольких модулей процессорных – позволяет достичь высокой эффективности работы в сочетании с максимальной экономией пространства. Установка этих переключателей консоли снимает необходимость оснащения каждого модуля процессорного монитором, клавиатурой и мышью. Помимо удобства работы и экономии рабочего пространства, это позволяет существенно снизить расходы на электроэнергию и приобретение оборудования.

Количество коммутируемых устройств (модулей процессорных) – до 8, на практике применяется 2 – 3.

Консоль операторская многоканальная (компактный дизайн "все в одном") выполняет те же функции, что и коммутатор операторской консоли, обеспечивая при этом еще большую экономию места в шкафу по сравнению со стандартными монитором, клавиатурой и КВМ переключателем.



Рисунок 12 – Консоль операторская многоканальная

Комбинация 15" или 17" цветного ЖК монитора со специально спроектированной 105 кнопочной клавиатурой (включающей 10 клавишную цифровую клавиатуру), манипулятор "Touch pad" и 8 портовый КВМ свитч представляет собой элегантное решение для управления рабочими станциями

прямо от стойки, сохраняя при этом максимум места для активного оборудования.

Вариант исполнения консоли – встраиваемый, выдвижной, высота 1U. Количество коммутируемых устройств (модулей процессорных) – от 2 до 8. Применяется, как правило, для компоновки шкафных исполнений.

Для удаления отдельных составных частей от модуля процессорного в ПС5120 используются следующие соединительные устройства:

Устройство удаления консоли (экстендер) для удаленного управления консоли (клавиатура, монитор, манипулятор). Линия связи - витая пара, категория 5. Удаление на расстояние до 70m.

Устройство удаления видеомонитора для удаленного управления монитором. Линия связи – оптоволокно, удаление на расстояние до 100 m.

Блок соединительный для удаления алфавитно-цифровой клавиатуры и PS/2 совместимых манипуляторов. Интерфейс связи – ИРПС, удаление на расстояние до 60 m.

Внешний вид устройств удаления показан на рисунке 13.



Рисунок 13 – Устройства удаления

Для организации и поддержки сети единого времени в ПС5120 помимо упомянутого блока контроля используются специальные устройства - усилители-ретрансляторы сигналов магистральные, обеспечивающие усиление/ретрансляцию сигналов времени от источника времени (синхрометра СХр-1). Внешний вид синхрометра и усилителей показан на рисунке 14.



Рисунок 14 – Синхрометр и усилители-ретрансляторы сигналов магистральные

Исполнение усилителя - автономный прибор, встраиваемый в синхрометр, в стойку на кронштейне или в специальный крейт. Габаритные размеры прибора зависят от количества выходов - 50,5 x 186 x 128,5 mm (УРСМ-1) или 108 x 192 x 130 mm (УРСМ-2). Тип линии связи на входе и выходе - “витая пара” (категория 5) и оптоволокну (многомодовое 62,5/125 $\mu$ m). Модификации усилителей различаются по количеству выходов линий связи “витая пара” (1 для УРСМ-1 и 3 для УРСМ-2) и количеству выходов для оптоволоконной линии связи (6 или 1 соответственно).

Основные параметры сети единого времени:

Выдача источником сигналов времени в сеть единого времени производится с погрешностью не более 1 $\mu$ s относительно всемирного координированного времени.

Усилитель-ретранслятор обеспечивает усиление и размножение сигналов с максимальной задержкой сигнала 5  $\mu$ s.

Длина линий связи между ретрансляторами: витая пара – 100 m (псевдомагистраль), оптоволокну – 1 km (радиально).

Точность привязки событий к единому времени системы не хуже  $\pm 2$  ms.

Один из примеров реализации сети единого времени показан на рисунке 15.



Рисунок 15 – Вариант реализации сети единого времени

Для обеспечения электропитания устройств коммутации и усиления, имеющих вторичные напряжения, разработан и применяется ряд источников питания, выполненных в унифицированном конструктиве (50,5 x 186 x 128,5 mm) и обеспечивающих стабилизированное постоянное напряжение +5 V или +6 V или +9 V или +12 V.

Внешний вид источника показан на рисунке 16.

Источники питания встраиваются в шкафы или тумбы с помощью универсального крейта, в который установлены устройства коммутации и усиления.



Рисунок 16 – Источник вторичного питания

Для обеспечения надежного и бесперебойного электропитания рабочих станций используются устройства обеспечения первичного электропитания: устройство автоматического включения резерва и устройство бесперебойного питания.

Устройство автоматического включения резерва обеспечивает переключение на резервный фидер при пропадании напряжения первичного электропитания на основном фидере. Максимальный ток нагрузки до 10А. Устройство выполнено в виде автономного прибора, крепится к стойкам или днищу шкафов или тумб.

Устройство бесперебойного питания предназначено для создания систем бесперебойного питания, работающих в режиме «on-line». Внешний вид устройства показан на рисунке 17.

Обеспечивает выходные параметры при работе от встроенных аккумуляторных батарей в течение не менее 6 min при выходной мощности 1000 V/A и 20 min при выходной мощности 500 V/A. Выходы защищены от коротких замыканий со стороны нагрузки.

Исполнение – встраиваемое в стандартный 19 дюймовый конструктив. Имеет диагностический интерфейсный порт RS232, с помощью которого и специальных программных средств мониторинга осуществляется контроль основных параметров устройства, в том числе входных и выходных напряжений и уровня заряженности аккумуляторов.



Рисунок 17 – Устройство бесперебойного питания

Помимо перечисленных выше основных составных частей для компоновки исполнений, в состав конфигуратора ПС5120 включен ряд дополнительных элементов, обеспечивающих реализацию самых разнообразных конфигураций рабочих станций.

Это различного рода распределители сигналов и питания, тройники (разветвители), вентиляторы, соединительные элементы и блоки.

Любой из элементов, входящих в состав конфигуратора, по заказу пользователя может быть включен в состав запасных частей и принадлежностей (ЗИП). ЗИП может заказываться и поставляться в составе исполнения, может быть групповым на несколько исполнений и может поставляться самостоятельно по отдельному договору (заказу).

## **6 Опыт использования и примеры реализации ПС5120**

За период выпуска рабочих станций ПС5120 (с начала 2004 года) разработано и внедрено около 40 различных исполнений ПС5120, а общее количество выпущенных рабочих станций превышает 100. Часть исполнений разработана в виде типовых представителей и тиражируется для аналогичных или подобных применений, а часть внедренных образцов – это единичные компоновочные решения, ориентированные на конкретное применение.

В качестве примеров на рисунках 18-20 представлены структурные схемы рабочих станций, имеющих наиболее типичный состав и компоновку.

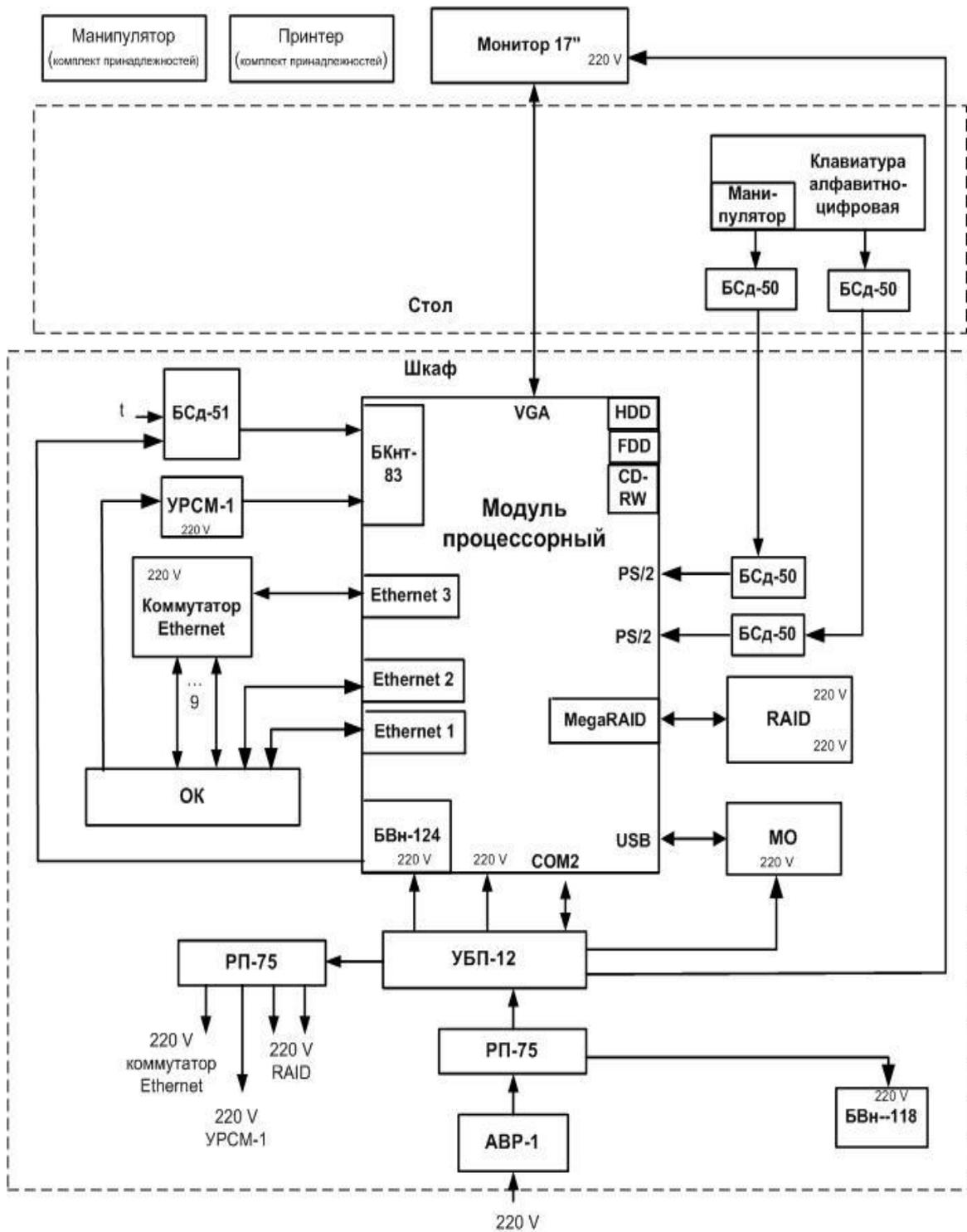


Рисунок 18 – Структурная схема исполнения ПС5120.03 (сервер АКНП)

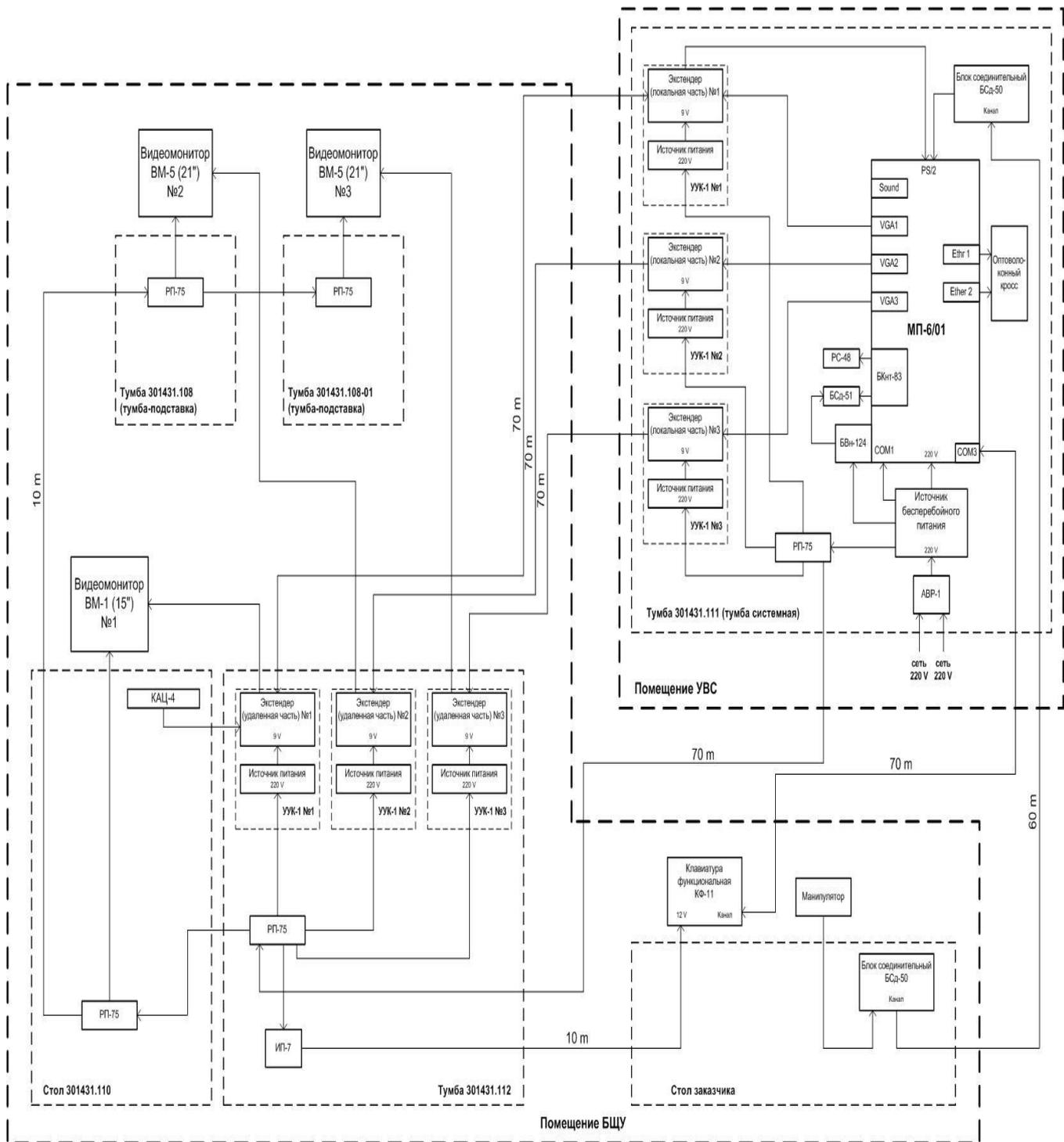


Рисунок 19 – Структурная схема исполнения ПС5120.12 (РМОТ - рабочее место оператора–технолога на блочном щите управления энергоблока)

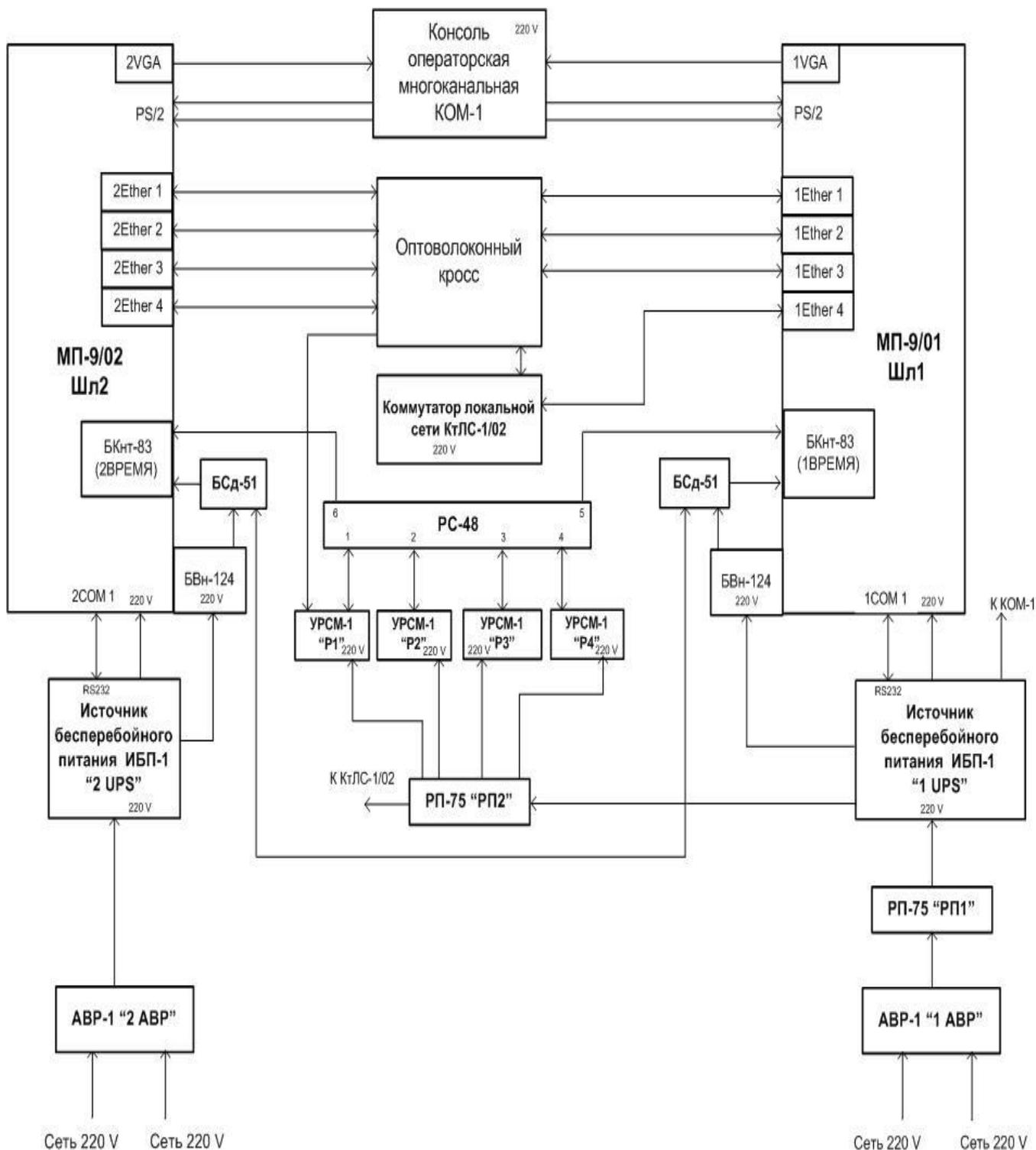


Рисунок 20 – Структурная схема исполнения ПС5120.13  
(шлюз для подключения внешних систем)

В выпуске рабочих станций ПС5120 заинтересованы очень многие организации, использующие компьютерные средства в промышленном исполнении: атомные и тепловые электростанции, газоперекачивающие станции, металлургические и химические предприятия и др. Но основное применение рабочие станции ПС5120 нашли в атомной промышленности, т.к. изначально были разработаны и сертифицированы для поставки на АЭС.

В настоящее время рабочие станции ПС5120 применяются при модернизации существующих АСУ ТП действующих энергоблоков атомных электростанций (АЭС), а также могут применяться при вводе в эксплуатацию новых энергоблоков строящихся АЭС.

Основные применения:

- резервированные компьютеризированные рабочие места в составе оборудования верхнего уровня подсистем АСУ ТП для блочного и резервного щита управления (БЩУ, РЩУ) энергоблока;
- серверные и шлюзовые станции в информационно-вычислительной системе ИВС и системе внутриреакторного контроля СВРК;
- серверы архивирования в ИВС, СВРК и в составе аппаратуры контроля нейтронного потока АКНП;
- станции визуализации и архивирования диагностической информации в системе контроля и диагностики УКТС-ВЛ (СКИД);
- инженерно-диагностическая и серверная станции в системе аварийного охлаждения активной зоны (САОЗ).

Объекты внедрения:

Хмельницкая АЭС, энергоблоки №№1,2;  
Ровенская АЭС, энергоблоки №№3,4;  
Запорожская АЭС, энергоблоки №№1-6;  
Южно-Украинская АЭС, энергоблок №1;  
Балаковская АЭС, энергоблоки №№1-4;  
Волгодонская АЭС, энергоблок №1.

## **7 Заключение**

Несмотря на постоянное обновление компонентов ПС5120, в настоящее время назрела необходимость в кардинальной модернизации рабочих станций.

Связано это прежде всего с тем, что на данный момент наметились новые тенденции развития промышленных компьютеров: качественные изменения и появление новых современных технологий в разработках и производстве элементной базы, совершенствование существующих архитектур, внедрение новых стандартов и интерфейсов, развитие и совершенствование конструкторских и компоновочных решений, прежде всего формфакторов оборудования, создание встроенных компактных операционных систем (специализированного и общего назначения).

Резюмирую сказанное, можно сделать вывод - развитие промышленных ПК движется по пути создания высоконадежных и отказоустойчивых систем в направлении постоянного увеличения функциональности на меньшем количестве оборудования.

Поэтому в ближайшее время предполагается поэтапная модернизация и совершенствование рабочих станций в следующих направлениях:

- применить процессорный блок с современными моделями процессора Pentium M (65 нм технология), чипсета (с поддержкой интерфейса PCI-E) и двухканальной памяти (типа DDR2). Это позволит, оставаясь в рамках заданной производительности, значительно уменьшить тепловыделение.

- использовать для подключения составных частей современные последовательные интерфейсы, для клавиатуры, манипулятора, FDD и DVD - интерфейс USB, для дисковой памяти - интерфейс SAS;

- применить ЖК мониторы на базе современных технологий (матрицы типа S-PVA, подсветки на светодиодах и др.), что позволит улучшить основные характеристики (цветопередача, углы обзора, время отклика) и повысить эксплуатационные характеристики средств отображения;

- осуществить переход на одну из новых системных шин (PCI-E или CompactPCI-E), что позволит увеличить надежность, сократить оборудование и уменьшить тепловыделение;

- расширить компоновочные решения, используя для операторских рабочих станций и серверных рабочих станций различные конструктивные элементы;

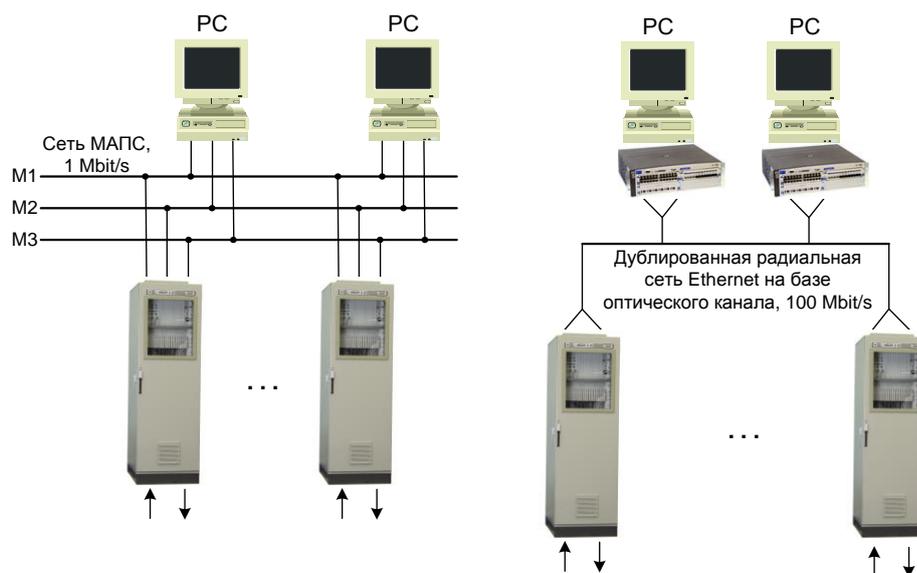
- применить новые средства человеко-машинного взаимодействия типа экранов коллективного пользования на базе современных видеокубов.

Ю.А. ЧВИРОВ., Г.Н. СКЛЯРОВ

*ЗАО «Северодонецкое научно-производственное объединение „Импульс”»***МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ СУБКОМПЛЕКСЫ КОНТРОЛЯ И  
УПРАВЛЕНИЯ МСКУ 2, МСКУ 3 ДЛЯ АСУ ТП АЭС****Введение**

Важной особенностью ряда технологических объектов, в первую очередь, атомных электрических станций, как для нормального функционирования, так и с целью обеспечения безопасности являются повышенные требования к техническим средствам систем контроля и управления. Прежде всего, предъявляются высокие требования к надежности, повышенные требования к точностным характеристикам, скоростям обмена и обработки информации и т.д. [1, 2] Для выполнения вышеперечисленных требований были разработаны и серийно освоены ряд моделей комплексов управляющих вычислительных МСКУ 2, МСКУ 3 (далее - МСКУ).

МСКУ предназначены для построения управляющих и информационных систем управления технологическими установками различных уровней сложности, а также для создания систем безопасности ядерных установок. МСКУ используется для сбора, обработки информации и управления технологическими установками как автономно, так и в составе программно-технических комплексов (ПТК). Структурные схемы ПТК на базе МСКУ приведены на рисунке 1.



а) фрагмент ПТК на базе МСКУ 2



ПТК на базе МСКУ выполняют функции, набор которых достаточен для автоматизации большинства технологических объектов и позволяет создавать системы управления с различными требованиями к степени надежности и безопасности. [3] Разработчикам систем управления предоставляется возможность определять использование МСКУ с частичным или полным резервированием.

### Состав и принципы функционирования МСКУ 2

МСКУ 2 используется как устройство для контроля и управления технологическими установками с повышенными требованиями к надежности, за счет структурного резервирования (троирование микропроцессорных контролеров и межблочного интерфейса ИР), развитой системой контроля и диагностики, автоматической реконфигурации при отказе резервированных частей, цифровой коррекции результатов преобразования входных аналоговых сигналов, обеспечение электропитания от двух независимых фидеров постоянного и/или переменного тока. МСКУ 2 по влиянию на безопасность относят к классу безопасности 3 согласно «Общим положениям обеспечения безопасности атомных станций» [4].

Архитектура МСКУ 2 представлена на рисунке 2. Основное оборудование МСКУ 2, контроллеры КМп и функциональные блоки ввода/вывода сигналов, размещаются в каркасе монтажном, который позволяет разместить три КМп с шагом установки 40 мм и до 32-х функциональных блоков с шагом 20 мм. Обмен информацией между КМп и функциональными

блоками осуществляется по магистральному асинхронному интерфейсу ИР, обладающему следующими основными характеристиками:

- интерфейс состоит из трех идентичных равноприоритетных магистралей. К каждой магистрали подключается один КМп;
- способ адресации – радиальный (сигнал «Выборка»);
- магистраль состоит из 23-х шин с дублированием контактов на соединителе;
- информация передается по 16-ти двунаправленным шинам адреса и данных.

Основой КМп служит набор стандартных модулей РС/104, за счет чего обеспечивается гибкость комплексирования и возможность модернизации путем простой замены модулей РС/104. КМп в составе МСКУ 2 обеспечивает функции управления и обработки информации от функциональных блоков, а также межконтроллерный обмен информацией по протоколу сети Arcnet для выполнения функций выравнивания и восстановления после деградации.

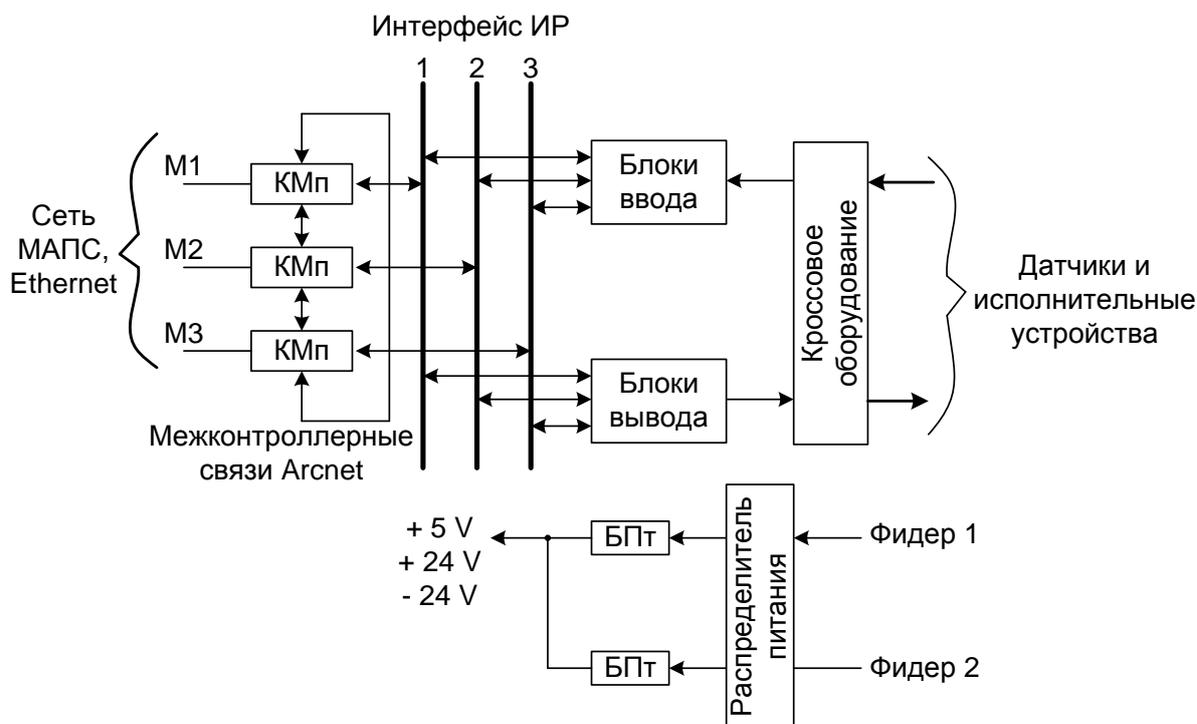


Рисунок 2 – Архитектура МСКУ 2

При включении питания в КМп выполняются следующие действия:

- запускается контрольный тест работоспособности в процессорном модуле;
- формируется сигнал системного сброса по шине РС/104, который приводит в исходное состояние все узлы КМп;
- осуществляется запуск управляющей системы в процессорном модуле, которая выполняет инициализацию и контроль работоспособности узлов КМп.

На лицевой панели КМп располагаются единичные индикаторы, отражающие состояние КМп и соединители для подключения внешних связей.

Для связи с объектом используются трехпортовые функциональные блоки, подключаемые к трем КМп как синхронные устройства. С точки зрения надежности оборудование функциональных блоков разделяется на оборудование канала, оборудование направления и общее оборудование. В такой структуре блоков нерезервированным остается оборудование канала и общее оборудование. Для случаев, когда повреждение нерезервированной части оборудования недопустимо, имеется возможность организации резервирования каналов блоков. Таким образом, входные сигналы и другая информация поступает через функциональные блоки одновременно в три идентичные между собой КМп, в которых синхронно выполняется одна и та же программа. После очередного цикла получения результатов для управления объектом данные от каждого КМп поступают на формирователи выходных сигналов, где реализована мажоритарно-реконфигурируемая схема, формирующая интегральный результат.

Совокупность функциональных блоков обеспечивает ввод/вывод практически всех типов аналоговых и дискретных сигналов, определенных действующими стандартами и включает в себя: блоки ввода аналоговых сигналов, блоки ввода частотных и импульсных сигналов, блоки ввода дискретных сигналов, блоки формирования дискретных, импульсных и аналоговых сигналов. Номенклатура блоков постоянно расширяется.

Функциональные блоки ввода/вывода выполнены в формате ЕЗ. На лицевой панели расположены элементы индикации, разъем для подключения объектовых кабелей, а также экстракторы для удобного извлечения блоков из каркаса монтажного. Интерфейсные разъемы блоков расположены с обратной стороны. Схемотехническая и конструктивная реализация блоков позволяет производить «горячую» замену блоков без остановки выполнения любой из функций, реализуемой при контроле и управлении технологической установкой.

В МСКУ 2 предусмотрена дублированная система электропитания, которая обеспечена использованием двух источников питания (рисунок 2). Данные источники обеспечивают питание МСКУ 2 от двух фидеров питания как переменного, так и/или постоянного тока напряжением 220 V. Выход из строя любого источника питания не приводит к отказу МСКУ 2, равно как и короткое замыкание питания на функциональных блоках.

Функционирование МСКУ 2 осуществляется над управлением микропроцессорных контроллеров (КМп) в соответствии с рабочей программой, хранящейся в оперативной памяти. Рабочая программа включает комплекс стартовых программ и файлы настройки (исполнительную систему). Комплекс стартовых программ обеспечивает начальное тестирование КМп и запуск МСКУ 2 в требуемом режиме – по включению питания, в режиме восстановления КМп. Файлы настройки создаются под каждое исполнение МСКУ 2 как результат настройки программ из библиотеки программ системы и

объединения данных программ в единый загрузочный модуль с задачами пользователя.

Все решаемые задачи в КМп выполняются синхронно и запускаются монитором задач по времени, по инициативе от объекта, либо по командам от верхней ступени управления. К запускаемым по времени относятся процедуры «инициативные» и основного цикла, а также фоновые процедуры.

Рабочая программа МСКУ 2 обеспечивает независимость задач пользователя от его текущего состояния – количество работоспособных КМп. Вопросы исключения из процесса функционирования неработоспособного КМп (деградация) и включение в процесс функционирования отремонтированного КМп обеспечивается программами автоматически. При выполнении процедуры восстановления автоматически обеспечивается приведение блоков данных для программ восстанавливаемого КМп в состояние, идентичное работающим КМп и только после этого КМп включается в нормальный режим функционирования.

При первоначальном запуске или перезапуске МСКУ 2 циклические задачи пользователя выполняются на первом цикле без включения сигнала РАБОТА на интерфейсе ИР, который блокирует выходные каналы МСКУ 2. Эта процедура дает возможность задаче осуществить подготовку выходных каналов МСКУ 2 к безударному включению в процесс управления объектом.

МСКУ 2 имеет развитые средства начальной и непрерывной диагностики, обладающие функциональной достаточностью для выполнения следующих процедур:

- проверка работоспособности всех составных частей МСКУ 2, входящих в конфигурацию конкретного исполнения;
- проверка режимов логического отключения и включения любого КМп (деградация и восстановление). Процесс деградации и логического включения происходит безударно и не влияет на функционирование МСКУ 2;
- проверка метрологических характеристик измерительных каналов;
- измерение динамических характеристик МСКУ 2;
- диагностику и поиск неисправности в МСКУ 2 с точностью до одного сменного блока;
- получение справочной информации о состоянии технических средств МСКУ 2.

В МСКУ 2, благодаря высокопроизводительному КМп и оптимальной архитектуре управляющей системы, достигается малое время обработки технологических параметров со следующими динамическими характеристиками:

- поддержание единого времени с точностью не хуже  $\pm 2$  ms;
- время, затрачиваемое на ввод сигналов, включая обмен и выравнивание данных, не хуже:
  - 1) для аналоговых сигналов -  $50 \pm 0,05 \times n$  ms;
  - 2) для дискретных сигналов (группа, 16 каналов) -  $7,858 + 0,071 \times n$  ms,

где  $n$  – число каналов, групп.

Основные технические характеристики МСКУ 2 приведены в таблице 1.

### Характеристики МСКУ 2

Таблица 1

Наименование параметра	Значения параметра
1. Количество контроллеров КМп	3
2. Параметры процессорного модуля КМп: - частота - емкость ОЗУ - емкость электронного диска	133 MHz 16 Mbyte 8 Mbyte
3. Время обмена данными по интерфейсу ИР, не более	40 $\mu$ s
4. Параметры входных аналоговых сигналов: - напряжение/погрешность  - ток/погрешность  - сопротивление/погрешность	$\pm 2,5$ V; $\pm 5$ V; $\pm 10$ V/ $\pm 0,1$ % 0-2,5 V; 0-10 V/ $\pm 0,02$ % $\pm 10$ mV - $\pm 100$ mV/ $\pm 0,04$ %; $\pm 0,2$ % $\pm 5$ mA; $\pm 20$ mA / $\pm 0,15$ % 0-5 mA; 0-20 mA / $\pm 0,05$ % 0-5 $\mu$ A/ $\pm 0,05$ % $\pm 0,5$ $\mu$ A / $\pm 0,2$ % 0-100 $\Omega$ – 0-500 $\Omega$ / $\pm 0,04$ % 0-100 $\Omega$ ; 0-200 $\Omega$ ; 0-400 $\Omega$ / $\pm 0,02$ %
5. Параметры входных дискретных сигналов: - напряжение постоянного тока; - сопротивление («сухой» контакт), 0/1	(6-48) V $\pm 20$ % 0-500 $\Omega$ /более 50 k $\Omega$
6. Параметры входных частотных и импульсных сигналов: - напряжение - частота - длительность	(6-48) V $\pm 20$ % 0-32 kHz 0-65,535 s
7. Параметры выходных аналоговых сигналов: - ток/погрешность	0-5 mA; 0-20 mA / $\pm 0,2$ %
8. Параметры выходных дискретных сигналов: - бесконтактный ключ, U/I - электромагнитное реле, U/I	(5-48) V/0,2 A 50 V/1,0 A
9. Интерфейс связи с верхним уровнем управления	Сеть МАПС, 1 Mbit/s, коаксиальный кабель; Сеть Ethernet, 100 Mbit/s, оптический кабель

### Состав и принципы функционирования МСКУ 3

МСКУ 3 также как и МСКУ 2 имеет распределенную архитектуру и модульную конструкцию, но по влиянию на безопасность относится к классу безопасности 2 согласно «Общим положениям обеспечения безопасности атомных станций» [4]. МСКУ 3 по структурной реализации является

нерезервированным изделием. В каркасе монтажном размещается один контроллер КМп и до 29-ти функциональных блоков ввода/вывода.

Связь МСКУ 3 с внешними абонентами системы осуществляется по следующим последовательным радиальным каналам связи с физической реализацией RS-422:

- последовательный канал связи, предназначенный для организации однонаправленной связи с верхним уровнем для выдачи данных из МСКУ;
- последовательный канал связи, предназначенный для организации двунаправленной связи с верхним уровнем, обеспечивающий дуплексный режим работы;
- дополнительные последовательные каналы связи через блоки связи БСв-226, которые могут быть использованы для связи с верхним уровнем либо для организации межшкафных связей при создании систем автоматизации с резервированием.

Архитектура МСКУ 3 представлена на рисунке 3.

В проектном режиме функционирования МСКУ 3 для класса безопасности 2 связь с верхним уровнем системы осуществляется через однонаправленную линию связи. Принятые меры (однаправленность связи) исключает возможность внешнего влияния верхнего уровня системы на функционирование МСКУ 3 и в то же время обеспечивает заданный уровень информативности других элементов ПТК. Двунаправленная линия связи предназначена в таких системах для обмена данными между МСКУ 3 и инженерно-диагностической станцией (ИДС) в процессе технического обслуживания МСКУ 3 после вывода его из проектного режима функционирования.

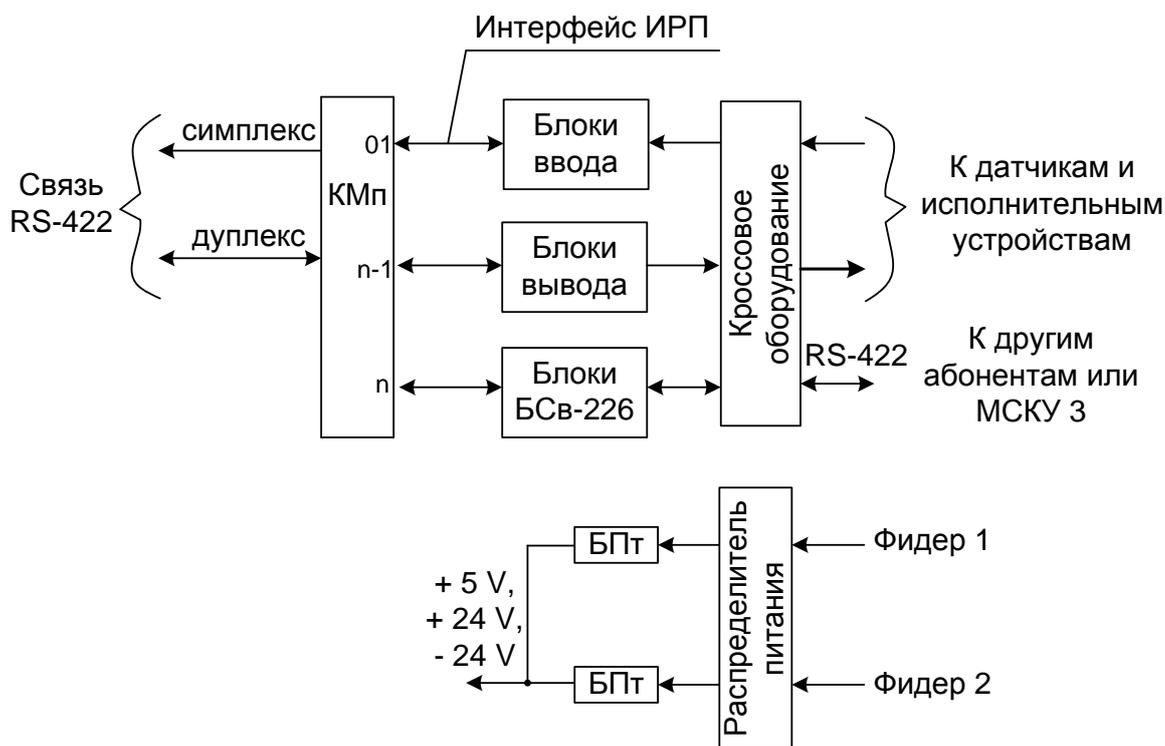


Рисунок 3 – Архитектура МСКУ 3

Работа МСКУ 3 осуществляется под управлением входящего в его состав микропроцессорного контроллера КМп и программных средств. КМп включает в себя многофункциональный процессорный модуль MSM586SN, содержащий процессор Elan 520 с тактовой частотой 133 МHz, узел приема и ведения времени. КМп имеет следующие интерфейсы:

- 29-канальный последовательный интерфейс ИРП – радиальная связь с функциональными блоками;
- однонаправленный канал связи с верхним уровнем с физической реализацией RS-422 (симплекс);
- двунаправленный канал связи с верхним уровнем с физической реализацией (полный дуплекс).

Для защиты от «зависаний» МСКУ 3 в режиме функционирования используется Watchdog, настраиваемый при запуске на получение регулярных подтверждений работоспособности МСКУ 3.

Ввод данных от объекта управления и вывод управляющих воздействий на объект осуществляется через функциональные блоки ввода/вывода. Перечень блоков, входящих в конфигурацию МСКУ 3:

- 16-канальный преобразователь ввода аналоговых сигналов 0-2,5 V, 0-10 V/ $\pm 0,025$  %; 0-5 mA, 0-20 mA/ $\pm 0,10$  % с индивидуальной гальванической развязкой;
- 16-канальный преобразователь ввода аналоговых сигналов  $\pm 10$  mV,  $\pm 20$  mV,  $\pm 40$  mV/ $\pm 0,05$  % с индивидуальной гальванической развязкой;

- 8-канальный преобразователь ввода аналоговых сигналов 0-100  $\Omega$ , 0-200  $\Omega$ , 0-400  $\Omega/\pm 0,05$  % с индивидуальной гальванической развязкой;
- 16-канальный нормализатор ввода дискретных сигналов типа «сухой» контакт с индивидуальной гальванической развязкой;
- 48-канальный нормализатор ввода дискретных сигналов 24 V с групповой гальванической развязкой (8 групп по 6 каналов);
- 16-канальный формирователь аналоговых сигналов 0-5 mA, 0-20 mA/ $\pm 0,2$  % с индивидуальной гальванической развязкой;
- 16-канальный формирователь дискретных сигналов 36 V ( $I_{max} = 0,3$  A) постоянного тока, твердотельное реле, индивидуальная гальваническая развязка;
- 16-канальный формирователь дискретных сигналов 50 V ( $I_{max} = 0,5$  A) постоянного тока, электромагнитное реле, индивидуальная гальваническая развязка;
- 8-канальный формирователь дискретных сигналов 250 V ( $I_{max} = 5$  A) постоянного и переменного тока, электромагнитное реле, индивидуальная гальваническая развязка;
- одноканальный блок связи БСв-226 RS-422, до 921,6 Kbit/s, гальваническая развязка;
- 8-канальный блок связи БПСв-10 «токовая петля» (20 mA), до 19,2 Kbit/s, индивидуальная гальваническая развязка.

Обмен информацией между КМп и функциональными блоками осуществляется по радиальному последовательному интерфейсу ИРП по инициативе КМп. На каждый правильный запрос функциональный блок отвечает упорядоченной последовательностью данных. Размеры запросов и ответов для каждого типа блока индивидуальные, при этом, все данные к блоку передаются в одном кадре запроса и принимаются от блока в одном кадре ответа. Допустимый цикл обращений к блоку составляет для дискретных блоков 10 ms, для аналоговых - 20 ms.

Все функциональные блоки контролируют динамику и правильность обращений КМп к блоку, в частности, при превышении максимально-допустимого времени между ответами включается индикатор на панели блока и устанавливается соответствующий флаг ошибки байте состояния и фактически ограничивает максимально-допустимую величину цикла обращений к блоку. Флаги ошибок передаются в ответ на очередной правильно принятый запрос и обрабатываются после передачи ответа. В конструкции блоков предусмотрены кодирующие элементы, которые позволяют устанавливать блоки в каркас монтажный только в отведенные для них места.

Система электропитания МСКУ 3 структурно выполнена аналогично МСКУ 2.

Функции, выполняемые МСКУ 3 в составе ПТК конкретной системы автоматизации, определяются управляющей системой для прикладных задач МСКУ 3, разрабатываемой и записываемой во Flash-память прикладных программ КМп разработчиком данной системы автоматизации и поставляемой

в составе конкретной системы автоматизации. В состав системного программного обеспечения МСКУ 3 входят следующие комплексы программ:

- стартовая система;
- управляющая система для технического обслуживания МСКУ 3.

Стартовая система находится во Flash-памяти системных программ КМп и запускается на выполнение при включении электропитания МСКУ 3, при этом выполняются следующие действия:

- проверку сохранности программ во Flash-памяти системных и прикладных программ;
- начальное тестирование узлов и инициализацию КМп;
- в рабочем режиме функционирования автоматический запуск управляющей системы для прикладных задач из Flash-памяти;
- в режиме технического обслуживания ожидание загрузки управляющей системы, ее загрузку и запуск МСКУ 3, а также предоставление сведений о текущем состоянии по запросам, получаемым по двунаправленной линии связи;
- отображение процесса запуска МСКУ 3 на индикаторах КМп.

Управляющая система для технического обслуживания поставляется изготовителем для каждого конкретного исполнения МСКУ 3 и выполняет следующие функции:

- выполнение операций ввода и вывода информации для каналов ввода/вывода, тестово-диагностических и других операций по командам из ИДС;
- обмен данными с ИДС, подключенной к МСКУ по двунаправленной линии связи;
- периодический и непрерывный контроль работоспособности технических и программных средств МСКУ 3 в процессе функционирования и предоставление сведений о текущем состоянии МСКУ 3.

Комплекс технологических программ совместно с управляющей системой для технического обслуживания обеспечивает проведение всех видов испытаний, изготовление и техническое обслуживание в процессе эксплуатации МСКУ 3:

- проверку работоспособности всех составных частей, входящих в конфигурацию исполнения МСКУ 3;
- проверку метрологических характеристик каналов ввода/вывода аналоговых сигналов;
- проверку динамических характеристик МСКУ 3;
- поиск и диагностику неисправностей с точностью до одного сменного блока;
- получение справочной информации о состоянии технических средств МСКУ 3.

## Конструкция МСКУ

Размещение оборудования МСКУ осуществляется в напольном шкафу фирмы Schroff со степенью защиты IP43, в котором размещаются каркас монтаж-

ный КМп с функциональными блоками, оборудование системы электропитания, а также кроссовое оборудование. Прозрачность передней двери шкафа позволяет наблюдать за состоянием световых индикаторов на лицевых панелях блоков без открывания двери. В основании шкафа предусмотрен цоколь, обеспечивающий удобный подвод объектовых кабелей.

Кроссовое оборудование расположено под каркасом монтажным с доступом с задней стороны шкафа. Кроссовые секции предусмотрены для установки панелей соединительных с клеммниками WAGO. Секции разделены между собой пятью кабельными каналами для прокладки объектовых кабелей. В нижней части шкафа установлен распределитель питания, обеспечивающий передачу электропитания блокам БПт и защиту МСКУ от импульсных помех и коротких замыканий в цепях электропитания.



Рисунок 4 – Общий вид МСКУ 3

### Выводы

ЗАО «СНПО „Импульс”» имеет значительный опыт разработки и производства технических средств для создания высоконадежных систем автоматизации. На базе МСКУ 2 и предшествовавшей МСКУ 2 модели ПС1001-90 успешно эксплуатируются системы внутриреакторного контроля и информационно-вычислительные системы на объектах атомной энергетики Украины и России.

Многолетний опыт эксплуатации в промышленных условиях МСКУ 2 позволяет прогнозировать успешное применение МСКУ 3 в системах управления и защит (СУЗ) энергоблока за счет ранее принятых технических решений, а также новых решений, учитывающих современные достижения в области схмотехники, рациональной организации системы контроля и диагностики и программирования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. М.А. Ястребенецкий, В.М. Васильченко и др. Безопасность атомных станций. Информационные и управляющие системы. Под ред. М.А. Ястребенецкого. К.:Техніка. 2004. 472 с.
2. Елисеев В.В., Ларгин В.А., Пивоваров Г.Ю. Программно-технические комплексы АСУ ТП. К: Издательско-полиграфический центр «Киевский университет», 2003. 429 с.
3. Чвилов Ю.А., Блинов В.В., Офштейн Б.Н. Микропроцессорные субкомплексы контроля и управления для АСУ промышленными объектами. Приборы и системы управления. 1995, № 2.
4. НП 306.5.02/3.035-2000. Требования по ядерной и радиационной безопасности к информационным и управляющим системама, важным для безопаснстиатомных станций. Киев, 2000.

**А.И. ВИНОГРАДОВ, О.А. ГРЕЧКА, Ю.М. ПРОВОТОРОВА  
Н.А. СОКОЛОВА**

***ЗАО «Северодонецкое научно-производственное объединение „Импульс”»***

## **КОНТРОЛЛЕР МИКРОПРОЦЕССОРНЫЙ КМп-23 ДЛЯ МСКУ КЛАССА БЕЗОПАСНОСТИ 2**

Дано описание контроллера микропроцессорного КМп-23 и проанализированы его преимущества при использовании в МСКУ

Контроллер КМп-23 предназначен для решения широкого круга задач в автоматизированных системах контроля и управления технологическими процессами (АСУ ТП) на предприятиях промышленности, энергетики, транспорта и других областей народного хозяйства. При использовании в составе МСКУ класса безопасности 2 контроллер выполняет следующие функции:

- прием данных о параметрах работы устройства и выдачу команд управления в модули УСО по радиальным каналам связи UART;
- вычисление расчётных характеристик и сравнение контролируемых параметров с конфигурируемыми уставками и системными настройками;
- выдачу значений контролируемых параметров в рабочую станцию (РС) верхнего уровня;
- приём времени из сети единого времени и его ведение.

Контроллер выполнен в исполнении для АС и соответствует всем требованиям, предъявляемым к аппаратуре данного класса.

Основные технические характеристики КМп-23:

- процессор AMD Elan520, 133 MHz, 32-разрядный;
- оперативная память: SODIMM - 32 Mbyte;
- FLASH стартовой программы - 512 kbyte;
- FLASH программы функционирования - 128 kbyte;
- энергонезависимая память: FRAM - 8 kbyte;
- 30 каналов UART для обмена с модулями УСО по радиальным связям;
- 1 канал UART (31-й) для передачи информации в РС верхнего уровня, (однаправленная связь на выдачу данных);
- 1 канал UART (32-й) для приёма и передача информации в сервисную РС.

Обеспечивается скорость передачи информации по всем каналам UART от 9,6 kbit/s до 230,4 kbit/s с градацией: 9,6; 19,2; 38,4; 57,6; 115,2; 230,4 kbit/s.

Электропитание контроллера осуществляется напряжением  $+(5 \pm 0,25) \text{ V}$  от соединителей каркаса монтажного МСКУ.

Потребляемая мощность контроллера до 8 V·А.

Габаритные размеры контроллера – не более 265x250x40 mm.

Масса контроллера - не более 0,8 kg.

КМп-23 имеет следующие особенности конструкторской реализации.

Контроллер реализован по модульному принципу и состоит из следующих блоков: блока связи БСв-222, модуля процессорного MSM586SN (МП) и блока приёма времени БПВр-2.

БСв-222 выполняет функции несущей платы типа Е2 с установленными на ней логическими элементами узлов и двумя парами соединителей РС/104 для установки блоков МП и БПВр-2, выполненных в стандарте РС/104.

МП на основе процессора AMD Elan520 выполнен в стандарте РС/104 и предназначен для реализации функций управления и обработки информации.

БПВр-2 выполнен в стандарте РС/104 и обеспечивает функции приёма времени из сети единого времени и его ведения.

Общая схема КМп-23 представлена на рисунке 1. На схеме показано соединение составных частей контроллера между собой.

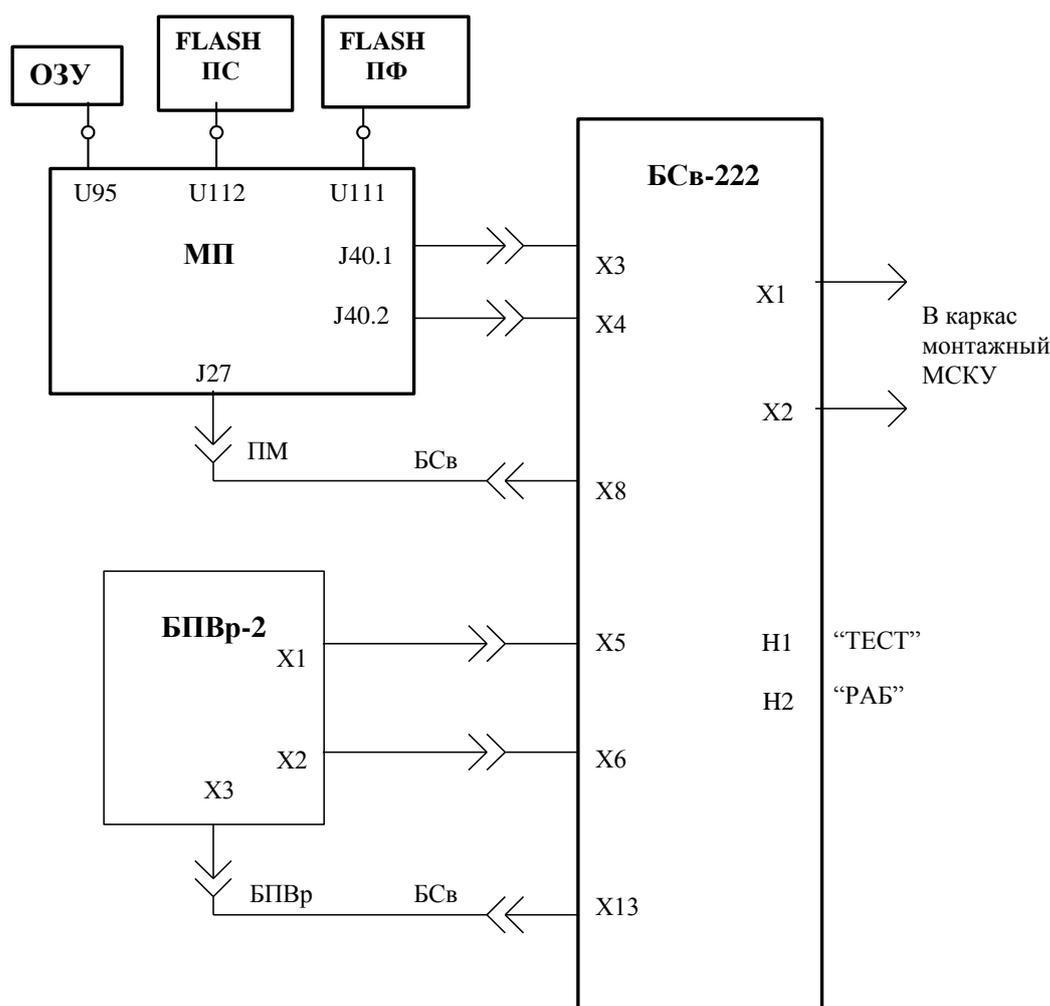


Рисунок 1

КМп-23 устанавливается в каркас монтажный МСКУ на два 96-контактных соединителя на специальное место в каркасе (с шагом 2). Наличие кодировочных штифтов и их положение относительно штыревого ловителя на нижней ручке контроллера гарантирует установку контроллера в предназначенное только для него место.

КМп-23 имеет переднюю панель, обеспечивающую установку и надёжную фиксацию контроллера в каркасе монтажном МСКУ. На передней панели контроллера имеется следующая индикация:

ТЕСТ - признак тестирования или неработоспособности контроллера;

РАБ - признак состояния рабочего режима КМп-23.

Структурно все узлы контроллера КМп-23 объединены шиной стандарта PC/104. Шина PC/104 полностью функционально соответствует 16-разрядной шине ISA, имеет специальные разъёмы и производительность 16 Mbyte/s.

Функционально контроллер состоит из следующих узлов: узел МП с ОЗУ; узел дешифрации и управления, реализованный в ПЛИС; узел энергонезависимой памяти (ЭП); узлы FLASH ПС и FLASH ПФ; узел каналов UART; узел приёма и ведения времени. Структурная схема КМп-23 представлена на рисунке 2.

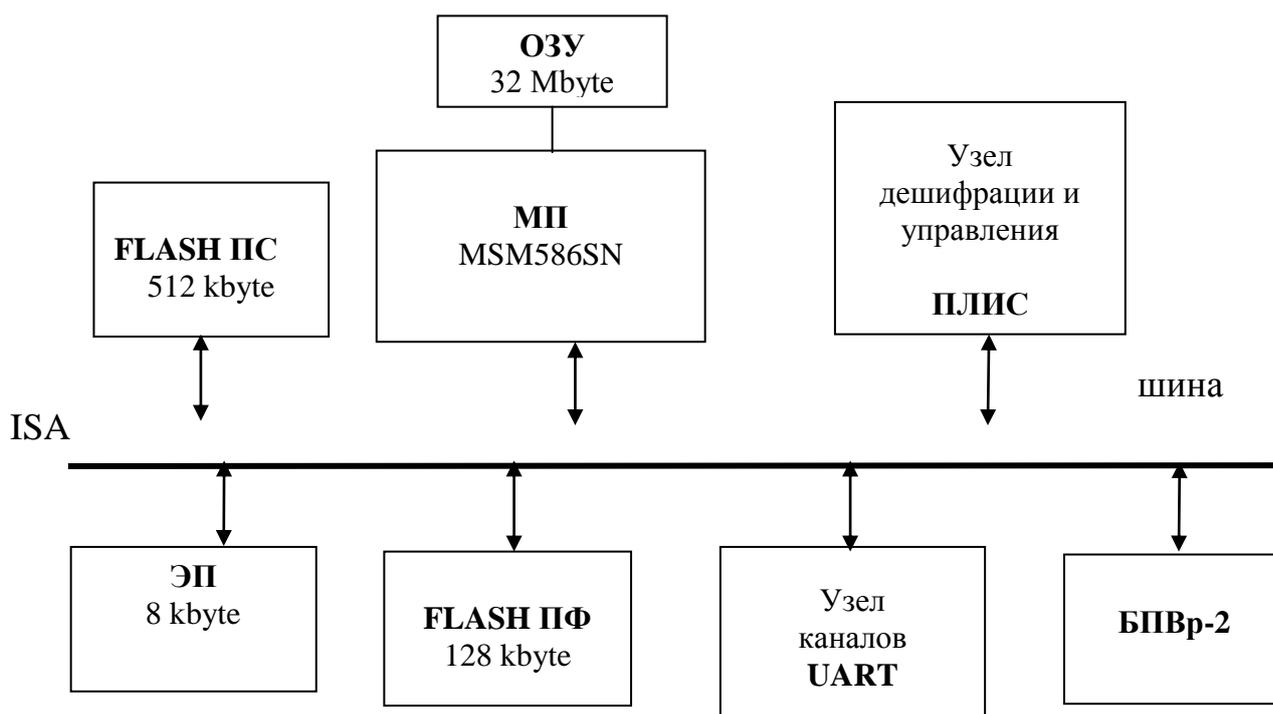


Рисунок 2

Узел дешифрации и управления контроллера реализован на ПЛИС EPF10K10 и загрузочном ПЗУ, необходимом для хранения проекта ПЛИС. По значению адреса и команд на интерфейсе ISA ПЛИС осуществляет дешифрацию обращений ко всем узлам контроллера и их выборку.

В ПЛИС организован узел сторожевого таймера, запускаемый при включении питания и формирующий сброс в МП в том случае, если не произошла инициализация контроллера и не снят сигнал TEST. К моменту

снятия сигнала TEST в МП должен быть запущен программный WatchDog, настраиваемый на подтверждение работоспособности в течение 400 ms.

ПЛИС содержит регистры состояния контроллера и регистры управления контроллером, а также регистры информационные, содержащие информацию о номере МСКУ и установленных режимах его работы. При включении электропитания контроллера схемы ПЛИС формируют необходимые установочные сигналы в МП и узлы контроллера.

Узел ЭП выполнен на основе микросхемы энергонезависимой памяти FRAM объемом 8 kbyte с байтовой организацией и временем доступа 70 ns. Информация в ЭП сохраняется и при выключенном электропитании контроллера.

В ЭП сохраняются системные настройки и статистические данные. ЭП занимает адресное пространство памяти с D8000h по D9FFFh и подключена по шине данных к младшему байту шины ISA.

Узлы FLASH ПС и FLASH ПФ реализованы на элементах ППЗУ.

FLASH ПС объемом 512 kbyte предназначена для хранения и считывания из нее стартовой программы. Запись информации в FLASH ПС выполняется на программаторе FlexPRO.

FLASH ПФ объемом 128 kbyte предназначена для хранения и считывания программ управляющей системы. Запись информации выполняется на программаторе FlexPRO. Для выполнения управляющая система должна быть переписана в оперативную память и запущена стартовой программой.

Узел каналов UART обеспечивает связь с модулями УСО и выдачу данных в РС. Все модули УСО связаны с контроллером по 30 каналам последовательной асинхронной связи UART, 31-й канал UART используется для выдачи информации в РС верхнего уровня, а 32-й канал UART предназначен для обмена с сервисной РС. Для организации всех 32 каналов UART используются четыре микросхемы UART XR16L788, в каждой из которой имеется восемь каналов последовательной связи.

Все каналы UART (с 1-го по 30-й) для связи с УСО работают в дуплексном режиме. Программирование режимов работы каждого из каналов UART независимое и типовое. Обмен с модулями УСО осуществляется только по инициативе контроллера. Каждый канал на приём и на передачу имеет FIFO в 64 byte. 31-й канал UART обеспечивает однонаправленную линию связи с РС верхнего уровня, только для выдачи данных. 32-й канал UART работает в режиме полного дуплекса и обеспечивает загрузку технологической управляющей системы в режиме технологического обслуживания МСКУ.

Механизм передачи байтов информации - асинхронный, стартстопный. Формат передаваемых байтов – стартовый бит, 8 информационных битов, бит четности и один стоповый бит.

Узел приема и ведения времени реализован на блоке БПВр-2. Входные цепи приема сигнала времени выполнены на БСв-222. На шине ISA узел приёма и ведения времени определяется как 16-разрядное устройство ввода/вывода с базовым адресом 380h. Узел приёма и ведения времени формирует запрос прерывания в МП по уровню IRQ5. Функционирование узла приёма времени

осуществляется под управлением цифрового сигнального процессора ADSP-2181, который имеет внутреннюю память программ 48 kbyte и память данных 32 kbyte. Узел приема и ведения времени выполняет следующие функции:

- приём даты, времени, зоны и маркера секунды из сети единого времени;
- счет времени встроенными средствами;
- синхронизацию подсчитываемого времени с сетевым временем;
- выдачу времени, даты и зоны в МП по его запросу;
- поддержку шести интервальных таймеров, которые формируют прерывание в МП по истечению интервала счёта;
- формирование состояния и статистики БПВр-2.

К приоритетам применения КМп-23 можно отнести следующие факторы.

Использование модульного принципа в построении КМп-23 даёт преимущество в настройке, тестировании и проверке функционирования контроллера в процессе его изготовления.

Неработоспособность отдельных узлов не влияет, в большинстве случаев, на работоспособность МП, что позволяет оперативно в процессе работы выявить возникшую неисправность, заблокировать нежелательные последствия и сообщить об аварии дублирующим контроллерам.

Радиальные линии связи последовательных интерфейсов UART между КМп-23 и модулями УСО позволяют исключить влияние одних модулей УСО на работу других в случае их выхода из строя.

Кодовый многоуровневый доступ к регистрам управления КМп, наличие сторожевого таймера, контролирующего запуск КМп-23, и таймера WatchDog, отслеживающего выполнение программ в процессе функционирования, – повышают надёжность систем, в которых используется КМп-23.

Уменьшение числа логических элементов и числа проводников связи на печатной плате БСв-222 за счёт применения ПЛИС большой степени интеграции увеличивает надёжность и наработку на отказ, как самого блока связи, так и КМп-23 в целом.

Наличие энергонезависимой памяти FRAM позволяет сохранить параметры настройки и статистические данные в КМп-32 при временном пропадании или выключении питания в шкафу МСКУ.

Применение программ BIOS собственной разработки определяющих наилучшую конфигурацию процессорного ядра для работы в составе КМп-23.

**А.И. ВИНОГРАДОВ, О.А. ГРЕЧКА, Ю.М. ПРОВОТОРОВА,  
Н.А. СОКОЛОВА**

*Закрытое акционерное общество «Северодонецкое научно –  
производственное объединение “Импульс”», Украина*

## **РАЗРАБОТКА ПРОЦЕССОРНОГО МОДУЛЯ СТАНДАРТА РС/104 НА БАЗЕ ПРОЦЕССОРА AMD ELAN520 133MHZ И BIOS ДЛЯ ВСТРОЕННЫХ ПРИМЕНЕНИЙ В МСКУ**

Проанализированы особенности применения модуля процессорного MSM586SEN в контроллерах КМп-20, КМп-23 и СК-1 и пути усовершенствования модулей с учетом повышенных требований к надежности систем управления и контроля

### **1. Использование РС/104 в качестве компонентов устройств**

Контроллеры КМп-20 для МСКУ 2, КМп-23 для МСКУ 3 и станция концентраторная СК1 для СКид разработаны и сконструированы с использованием модульного принципа построения устройств на основе стандарта РС/104.

Стандарт РС/104 имеет следующие преимущества для встроенных применений:

- уменьшенные размеры модулей (3.550 x 3.775 дюймов);
- надежные 64- и 40-штырьковые контакты;
- возможность стекового соединения;
- сниженная до 0,5 -1 Вт рассеиваемая мощность;
- повышенный температурный коэффициент (-40° + 85°С);
- совместимость вычислительной мощности, аппаратно-программного интерфейса и средств начальной загрузки с базовыми операционными системами (DOS, Windows, QNX, Linux).

В вышеуказанных устройствах на пользовательской плате со схемотехникой, обеспечивающей необходимые функции, имеются два установочных места под модули стандарта РС/104. Одно из мест во всех устройствах используется для установки процессорного модуля MSM586SEN фирмы DIGITAL LOGIC, Швейцария, другое – для установки модуля собственной разработки, реализующего дополнительные функции соответствующего устройства.

Процессорный модуль MSM586SEN используется в качестве центрального ядра и имеет следующие технические характеристики:

- CPU: ELAN520, 133 MHz;
- сопроцессор;
- BIOS ROM;
- внешняя шина конструктивно - РС/104, функционально – ISA;

- программируемый сторожевой таймер;
- 10/100 Base-T Ethernet LAN на базе Intel 82559ER (шина PCI);
- SODIMM 144-pin 32 Mbyte SDRAM (возможно до 128 Mbyte);
- поддержка DiskOnChip и CompactFlashCard;
- гибкий и жесткий (IDE интерфейс) диски;
- стандартные AT интерфейсы – 4 последовательных и параллельный порты, клавиатура, мышь, RTC;
- токопотребление при частоте 133 MHz 0,9 mA;
- рабочая температура: -25°C до+60°C, -40°C до+85°C.

Эти характеристики полностью удовлетворяют требованиям к функциям контроллеров и СК-1, что и явилось определяющим при выборе процессорного модуля. Следует отметить, что наряду с MSM586SEN были рассмотрены возможности использования и других процессорных модулей:

- MZ104+, фирма Tri-M Systems, Канада;
- EmCORE-i412, фирма Arbor, США;
- Cool Ecorunner, фирма Lippert, Германия;
- Bobcat, фирма VersaLogic, США.

Были выявлены особенности функционирования, не оговоренные в технических характеристиках, но сделавшие невозможным использование вышеуказанных модулей.

Использование процессорного модуля MSM586SEN наряду с обеспечением полноты функционирования имеет и ряд преимуществ, которые проявляются, в основном, на этапе разработки устройств;

- универсальность разработки;
- полную совместимость с x86 архитектурой аппаратных и программных средств, что упрощает разработку программного обеспечения;
- возможность хранения программного обеспечения в DiskOnChip емкостью до 256 Mbyte и старта программ с него как с системного диска;
- возможность удаленного доступа к процессорному модулю, что позволяет записать программное обеспечение в DiskOnChip с HOST PC.

Однако имеется и ряд недостатков и трудностей использования готового модуля, которые делают необходимыми некоторые доработки с учетом особенностей применения разрабатываемых устройств (например, повышенные требования к тестированию и надежности), а в идеале - и собственную разработку процессорного модуля в стандарте PC/104.

К недостаткам следует отнести:

- избыточность функций и комплектующих элементов, что приводит к ухудшению соотношения – требуемые функции/стоимость;
- отсутствие аппаратной защиты от несанкционированной записи на диск, которая необходима при использовании разрабатываемых устройств в системах с повышенными требованиями по надежности;

- медленный старт, связанный с тем, что после включения питания или сброса BIOS выполняет инициализацию и тестирование оборудования модуля, в том числе и неиспользуемого;
- невозможность тестирования встроенных программ (BIOS и драйвера DiskOnChip);
- неремонтопригодность модуля;
- высокая стоимость.

## **2. Разработка BIOS для применений процессорного модуля MSM586SEN в составе КМп-23**

Для устранения, в первую очередь, невозможности тестирования встроенных программ (BIOS и драйвера DiskOnChip) процессорного модуля MSM586SEN в составе контроллера микропроцессорного КМп-23, к которому предъявляются повышенные требования по надежности, выполнена разработка собственного BIOS и замена DiskOnChip на FLASH память для хранения программ функционирования. BIOS и программы функционирования прожигаются на технологическом оборудовании в микросхемы AM29F040 (512 kbyte) и AM29F010 (128 kbyte), соответственно. Выполняется установка этих микросхем в панели соединительные модуля MSM586SEN взамен BIOS ROM и DiskOnChip.

При разработке BIOS также преследовались цели:

- оптимизировать инициализацию внутренних ресурсов модуля;
- распределить область памяти в соответствии со структурой контроллера КМп-23;
- проинициализировать контроллер динамической памяти с учетом типа и объема SODIMM, установленного на MSM586SEN;
- проинициализировать только необходимые для функционирования КМп-23 PC-совместимые устройства – программируемый контроллер таймера, программируемый контроллер прерываний, СОМ-порты, управляющие регистры;
- проинициализировать сторожевой таймер;
- проинициализировать программный таймер для отсчета тайм-аутов;
- выполнить начальное тестирование ресурсов КМп-23 с формированием POST кодов для локализации возможных неисправностей.

Была выработана последовательность инициализации:

- переход в обработчик сброса (стартовую программу) из вектора сброса;
- перемещение области карты конфигурации памяти (MMCR) по адресу ниже 10FFEFh (предел адресации в реальном режиме);
- инициализация FPU;
- конфигурирование области программных адресов (PAR);
- конфигурирование программируемых контактов ввода/вывода);
- определение причины сброса;

- инициализация контроллера синхронной динамической памяти (SDRAM);
- установка векторов прерываний и обработчиков для обработки ошибок процессора;
- установка скорости процессора;
- конфигурирование шины общего назначения;
- конфигурирование карты прерываний;
- конфигурирование PC-совместимых устройств.

Каждому этапу приводился в соответствие POST код для возможности отслеживания правильности инициализации.

Разработанный BIOS позволяет в полной мере выполнить инициализацию и начальное тестирование самого процессорного модуля, а также всех компонентов КМп-23. Завершается работа BIOS загрузкой и запуском на выполнение управляющей системы с FLASH программ функционирования или с сервисной ПЭВМ, что определяется настройкой самого контроллера.

Программа тестируема и может быть изменена или дополнена при необходимости, что является несомненным преимуществом по сравнению с использованием стандартного BIOS, поставляемого в составе MSM586SEN.

### **3. Разработка процессорного модуля на базе процессора AMD ELAN520 133MHz**

В дополнение к разработанному BIOS для полной адаптации к встроенным применениям процессорных модулей в высоконадежных системах управления и контроля был разработан блок БМп-9.

Если сравнивать БМп-9 с MSM586SEN, то при сохранении всех используемых на MSM586SEN функций в БМп-9:

- отсутствует схемотехника для неиспользуемых в контроллерах гибкого и жесткого (IDE интерфейс) дисков, параллельного и двух из четырех последовательных портов, что уменьшает стоимость блока;
- увеличен объем оперативной памяти до 64 Mbyte с установкой микросхем памяти непосредственно на плате, а не на SODIMM, что повышает механическую устойчивость блока;
- введена аппаратная защита от несанкционированной записи во все виды FLASH памяти (BIOS ROM, DiskOnChip, AM29F010, AM29F040);
- увеличен объем доступной постоянной памяти для пользователя до 512 kbyte (было 128 kbyte);
- конструирование платы выполнено с обеспечением доступа к выводам всех микросхем, в том числе и в BGA корпусах, что делает блок ремонтнопригодным.

Наличие процессорного модуля в стандарте PC/104 собственной разработки и изготовления значительно улучшает эксплуатационные характеристики контроллеров и систем в целом.

Г. Г. ЕГОРОВ, Ю. А. ЧВИРОВ

*ЗАО «Северодонецкое научно-производственное объединение „Импульс”»*

### ПОДСИСТЕМА ВЫДАЧИ ДИСКРЕТНЫХ СИГНАЛОВ МСКУ 3 С ВОЗМОЖНОСТЬЮ СОЗДАНИЯ ОТКАЗОУСТОЙЧИВЫХ КАНАЛОВ УПРАВЛЕНИЯ

В статье изложены технические характеристики формирователя дискретных сигналов ФД(Р)-16/1 и формирователя контактного ФК-16/1, используемых в качестве выходных дискретных блоков микропроцессорной системы контроля и управления МСКУ 3, структура их обмена с контроллером МСКУ 3, описаны основные (рабочие) и диагностические функции формирователей, приведены структурная схема формирователей и её краткое описание, а также принципы построения отказоустойчивой подсистемы выдачи дискретных сигналов для управления исполнительными устройствами на базе трёх параллельно работающих МСКУ 3 с подключением нагрузки к выходным каналам формирователей, соединённым между собой по мажоритарной схеме.

Надёжное управление исполнительными устройствами и механизмами АСУ ТП в разных отраслях и особенно в ядерной энергетике является одной из главных задач при создании микропроцессорной системы контроля и управления МСКУ 3.

В качестве выходных дискретных блоков МСКУ 3 используются два типа формирователей: формирователь дискретных сигналов ФД(Р) 16/1 и формирователь контактный ФК-16/1, отличающиеся между собой типом ключей выходных каналов. В ФД(Р)-16/1 в качестве ключевых элементов выходных каналов используются бесконтактные твердотельные оптореле на полевых транзисторах, в ФК-16/1 – электромагнитные реле. Технические характеристики формирователей приведены в таблице 1.

Таблица 1

Технические характеристики формирователей

Наименование параметра	ФД(Р)-16/1	ФК-16/1
Количество независимых выходных каналов	16	16
Коммутируемый ток, mA, не более	300	500
Коммутируемое напряжение, V, в пределах	5 – 36	5 – 50
Неуправляемый ток в каждом закрытом выходном канале, mA, не более	0,01	–
Остаточное напряжение в выходных каналах при максимальном токе коммутации, V, не более:		
– каналы 1 – 8	0,2	0,1
– каналы 9 – 16	1,7	1,8

Контроль в каналах 9 – 16 наличия тока нагрузки, mA, в пределах	5 – 300	5 – 500
Время включения и выключения каждого выходного канала, ms, не более	4,0	3,0

Обмен данными формирователя с контроллером микропроцессорным (КМп) МСКУ 3 осуществляется по последовательному радиальному интерфейсу (ИРП). Механизм передачи байта – асинхронный, стартстопный со скоростью обмена не менее 115200 bit/s. Формат передаваемых данных по интерфейсу ИРП – стартовый бит, восемь информационных битов, бит чётности, стопо-

вый бит. Обмен осуществляется по инициативе КМп с периодом 10 ms, а формирователь отвечает на запросы КМп.

Запрос от КМп содержит информацию для вывода и состоит из следующих четырёх байтов:

- 1 байт - код типа функционального блока;
- 2 байт - данные (включить/выключить) для каналов 1 – 8;
- 3 байт - данные для каналов 9 – 16;
- 4 байт - контрольная сумма переданных байтов.

При приёме данных от КМп формирователь анализирует на достоверность принятое значение кода блока, контрольной суммы, битов паритета и контролирует период следования принимаемых байтов. После приёма данных формирователь передаёт ответный кадр при условии отсутствия ошибок в приёме данных. Структура ответного кадра приведена в таблице 2.

Таблица 2

Структура ответного кадра

Номер байта в кадре	Назначение байта
1	Код типа функционального блока
2	Байт контроля приёма и состояния формирователя
3	№ версии программ ПЛИС и МП
4	Суммарная наработка и бит недостоверности
5	
6	Принятые в регистр данные для каналов 1 - 8
7	Принятые в регистр данные для каналов 9 - 16
8	Состояние выходных каналов 1 - 8
9	Состояние выходных каналов 9 - 16
10	Состояние цепей нагрузки выходных каналов 9 - 12
11	Состояние цепей нагрузки выходных каналов 13 - 16
12	Контрольная сумма переданных байтов

После передачи ответного кадра и при отсутствии ошибок в приёме данных формирователь записывает принятые данные в свои рабочие регистры и в соответствии с принятыми данными включает/выключает соответствующие выходные каналы. Время от момента окончания приёма безошибочного запроса до выдачи управляющего воздействия на выходные реле определяется временем выполнения программы микропроцессора (МП) и составляет 1,3 ms.

При наличии ошибки в приёме данных формирователь, не изменяет состояния выходных каналов, формирует ответный кадр с установкой в единицу соответствующего бита в байте контроля и передаёт этот кадр в ответ на последующий, принятый без ошибок, запрос от КМп. Если второй байт ответного кадра имеет “нулевое” значение, то весь процесс приёма данных по интерфейсу и самодиагностики прошёл успешно.

Формирователь выполняет самодиагностику, контролируя ПЗУ программы путём периодического подсчёта контрольной суммы ПЗУ. Если происходит несравнение контрольной суммы три раза подряд, то это считается ошибкой и МП включает индикатор ПП. Текущий результат контроля выдаётся в бите РАВ второго байта ответного кадра: РАВ = 0/1 – контроль ПЗУ прошёл успешно/с ошибкой.

Формирователь контролирует период запросов от КМп с помощью внешнего одновибратора и внутреннего таймера на 100 ms, расположенного в МП. Формирователь сообщает КМп о превышении времени между запросами установкой в единицу бита F во втором байте ответного кадра, если это время превысило 100 ms, при этом МП включает индикатор ТМ.

МП имеет внутренний счётчик количества принятых с ошибкой запросов от КМп. Если принято подряд 10 запросов с ошибкой, то МП включает индикатор ПР.

Формирователь обеспечивает следующую световую индикацию, расположенную на лицевой панели:

- световую индикацию состояния каждого выходного канала: канал включен – соответствующий индикатор светится зелёным цветом, канал выключен – индикатор не светится;
- световую индикацию красным цветом каналов 9 – 16 при отсутствии нагрузки (обрыве линий связи с нагрузкой) или электропитания нагрузки;
- световую индикацию обобщённого сигнала ошибки: ошибка есть – индикатор РАБ светится красным цветом, ошибки нет – зелёным цветом.

Обобщенный сигнал ошибки формируется при следующих условиях:

- если имеется ошибка в состоянии выходных каналов 1 – 16;
- если в течение более 100 ms нет связи с контроллером по интерфейсу ИРП, при этом выходные каналы устанавливаются в выключенное состояние;

- если 10 раз подряд приём запросов от контроллера по интерфейсу ИРП выполняется с ошибками, при этом выходные каналы устанавливаются в выключенное состояние.
- если самодиагностика (контроль ПЗУ) выполняется с ошибкой, при этом выходные каналы устанавливаются в выключенное состояние.

В байтах 4 и 5 ответного кадра передаётся двоичное беззнаковое число (от нуля до 32767), соответствующее наработке формирователя в десятках часов. Число наработки хранится в энергонезависимой памяти данных МП и занимает шесть байтов, три из которых одинаковые по значению представляют младший байт наработки, другие три одинаковые по значению – старший байт наработки. В программе подсчёта наработки МП считывает и мажорирует значения младших байтов и значения старших байтов наработки. МП устанавливает в единичное состояние бит достоверности в пятом байте ответного кадра и прекращает дальнейший подсчёт наработки при следующих условиях:

- если в результате сбоя или неправильной записи в энергонезависимую память данных не определено число текущей наработки при мажорировании;
- если достигнута максимальная наработка (327670 часов).

Структурная схема формирователей приведена на рисунке 1.

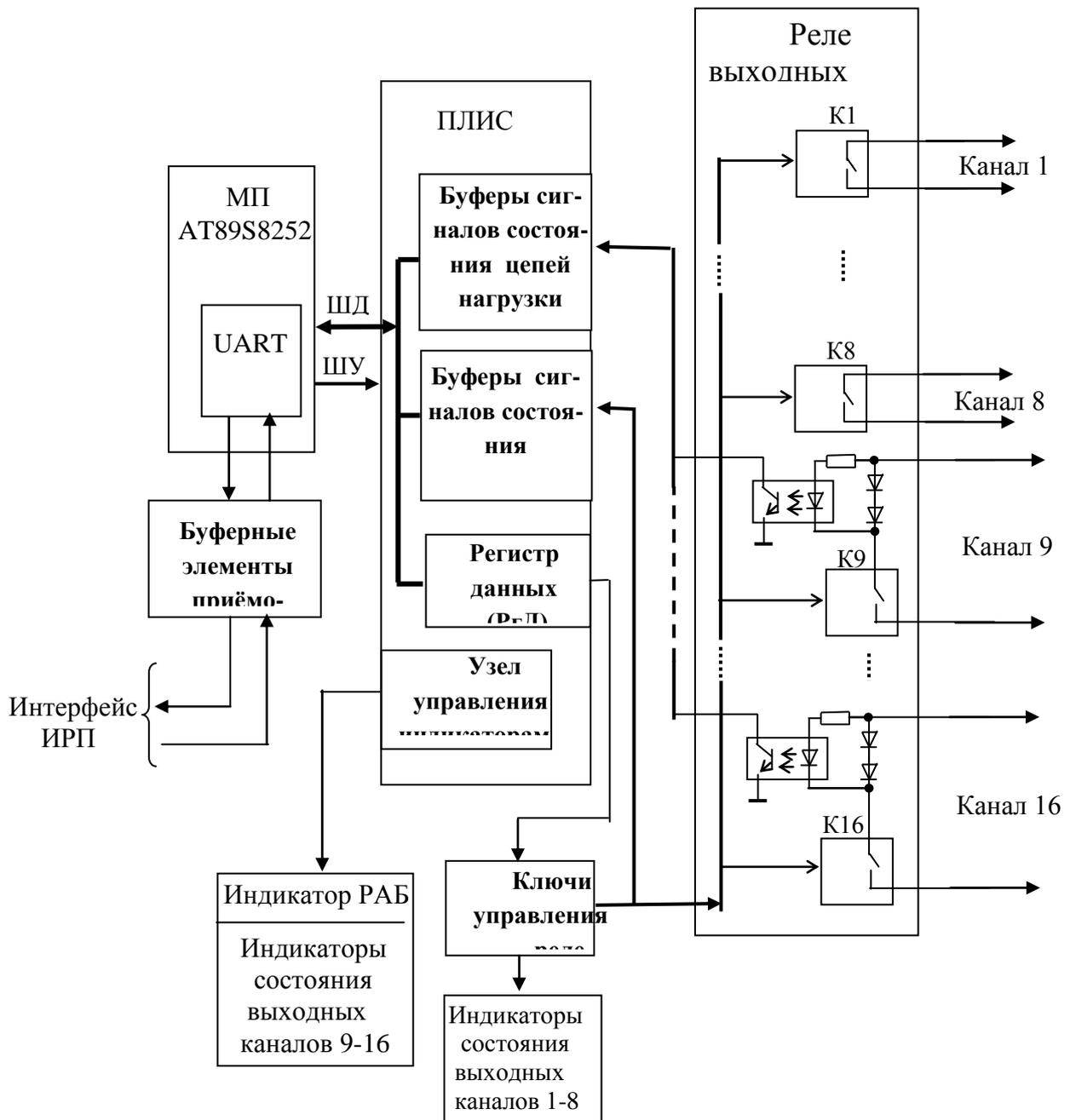


Рисунок 1 – Структурная схема формирователей

МП через внутренний последовательный порт (UART) и буферные элементы приёмо-передатчика осуществляет связь с КМп по интерфейсу ИРП. Связь МП с программируемой логической интегральной схемой (ПЛИС) осуществляется по двунаправленным шинам данным (ШД) с помощью шин управления (ШУ). Управляя сигналами по ШУ МП записывает принятые от КМп данные в регистр данных (РгД) ПЛИС и принимает из ПЛИС данные о состоянии выходных каналов (ключей) и состоянии цепей нагрузки каналов 9 – 16.

Данные о включении/выключении выходных каналов с РгД поступают на ключи управления выходными реле, состояние ключей 1 – 8 индицируется на лицевой панели индикаторами выходных каналов 1 – 8. В ПЛИС имеется узел управления двухцветными индикаторами состояния

выходных каналов 9 - 16 и РАБ, также расположенными на лицевой панели формирователя. Выходные каналы 9 – 16 имеют цепи контроля наличия тока в нагрузке при включенном канале. Состояния цепей контроля через оптотранзисторы передаются в ПЛИС.

Отказоустойчивая подсистема выдачи дискретных сигналов для управления исполнительными устройствами обеспечивается использованием трёх МСКУ с последующим подключением нагрузки к выходным каналам формирователей, соединённым между собой по мажоритарной схеме (2 из 3). Организация схемы 2 из 3 с помощью выходных каналов формирователей приведена на рисунке 2.

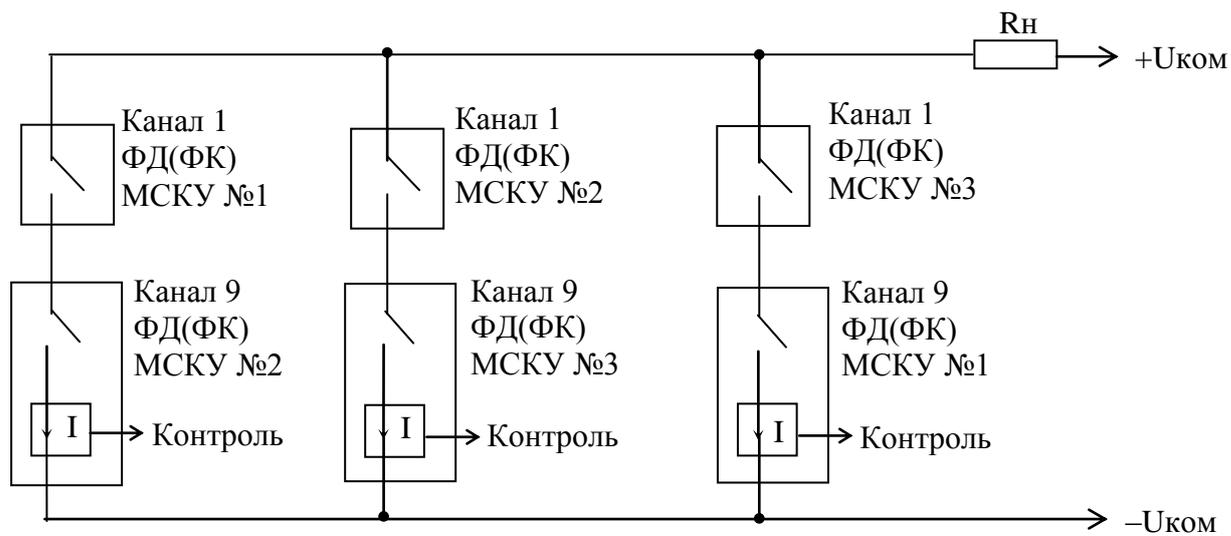


Рисунок 2 – Организация схемы 2 из 3 с помощью выходных каналов формирователей

В качестве верхних по схеме используются выходные каналы формирователей от 1 по 8, в качестве нижних – от 9 по 16.

В приведенной подсистеме управления нагрузкой выход из строя выходного канала формирователя не приведёт к ошибочной ситуации в управлении нагрузкой.

Использование в формирователях ФД(Р)-16/1 и ФК-16/1 комплектующих производства всемирно известных брендов, глубокая диагностика работы формирователей, подключение нагрузки к мажоритарной схеме управления и параллельная работа трёх МСКУ для выполнения поставленной задачи позволяют построить подсистему выдачи дискретных сигналов МСКУ 3 с возможностью создания отказоустойчивых каналов управления исполнительными устройствами и механизмами АСУ ТП.

**Г. Н. СКЛЯРОВ, Ю. А. ЧВИРОВ**

***ЗАО «Северодонецкое научно-производственное объединение „Импульс”»***

## **ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДЛЯ СИСТЕМ ЗАЩИТЫ РЕАКТОРА ВВЭР-440 – УСТРОЙСТВА ШВР-1, ШВР-2**

### **Введение**

Рост требований к безопасности в атомной энергетике потребовал разработку новых технических средств для систем безопасности, обладающих высокими надёжностными и точностными характеристиками.

В ЗАО «СНПО “Импульс”» был разработан, изготовлен, испытан и запущен в опытную эксплуатацию на РАЭС программно-технический комплекс технологических защит (КТЗ-И), обладающий высокими надёжностными и точностными характеристиками (измерение и обработка значений параметров защит).

Область применения КТЗ-И - система аварийного охлаждения активной зоны (далее - САОЗ) водо-водяного энергетического реактора ВВЭР-440, предназначенная для отвода тепла от активной зоны реактора с целью экстренного перевода защищаемого технологического оборудования в безопасное состояние после срабатывания аварийной защиты.

КТЗ-И используется в качестве технической базы при реконструкции (модернизации) действующих и создании новых САОЗ реактора ВВЭР-440 и предназначен для реализации технологических защит в каждом отдельном независимом канале САОЗ.

КТЗ-И является элементом управляющей системы безопасности (УСБ) и относится к классу безопасности 2.

### **Назначение и принципы функционирования ШВР-1 и ШВР-2**

Для реализации функций управления исполнительными механизмами в КТЗ-И были разработаны шкафы выходных реле ШВР-1 и ШВР-2.

Цели разработки ШВР-1 и ШВР-2:

- замена выработавшего ресурс и морально устаревшего оборудования;
- повышение надёжности (безотказности, ремонтпригодности, долговечности);
- обеспечение соответствия оборудования технологических защит требованиям действующих в Украине норм и правил по ядерной и радиационной безопасности;
- повышение качества (глубины, достоверности, оперативности) диагностирования;
- уменьшение вероятности ошибочных действий персонала.

Шкафы выходных реле (ШВР-1 и ШВР-2), в составе КТЗ-И (рис.1), принимают управляющие сигналы, которые формируются устройствами

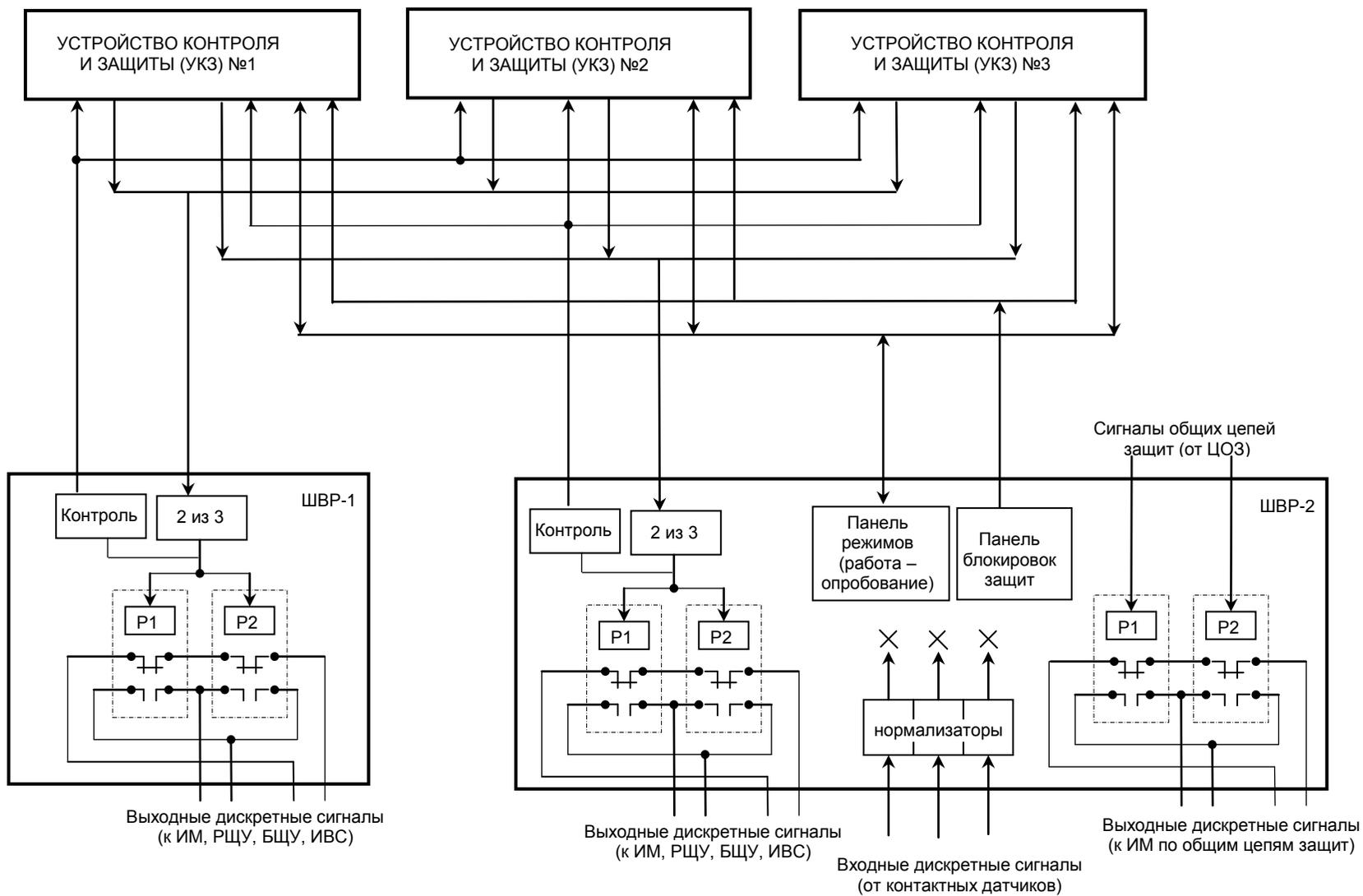


Рисунок 1 – Структура КТЗ-И

контроля и защиты (УКЗ), реализованных на базе комплексов управляющих вычислительных МСКУ 3, при идентификации исходного события срабатывания защиты и выдают в УКЗ сигналы контроля (в виде «сухого контакта») приема управляющих сигналов.

При получении управляющих сигналов от любых двух или от всех трёх УКЗ из состава КТЗ-И (мажорирование «2 из 3» по управлению) шкафы ШВР-1 и ШВР-2 выдают соответствующие команды защиты в виде изменения состояний контактов реле (размыкания нормально закрытых и/или замыкания нормально открытых контактов):

- на исполнительные механизмы (ИМ) САОЗ - нормально открытые контакты (замыкающиеся для включения ИМ) и нормально закрытые контакты (размыкающиеся для запрета включения ИМ), коммутирующие цепи переменного или постоянного тока с номинальным напряжением 220 В;

- на сигнальные табло блочного щита управления (БЩУ) и резервного щита управления (РЩУ) – нормально открытые (замыкающиеся) контакты для коммутации цепей постоянного тока с номинальным напряжением 110 В;

- на ИВС энергоблока - нормально открытые (замыкающиеся) контакты для коммутации цепей постоянного тока с номинальным напряжением 24 В;

- в цепи общих цепей защит и опробования (далее – ЦОЗ) - нормально открытые (замыкающиеся) контакты для коммутации цепей постоянного тока с номинальным напряжением 220 В.

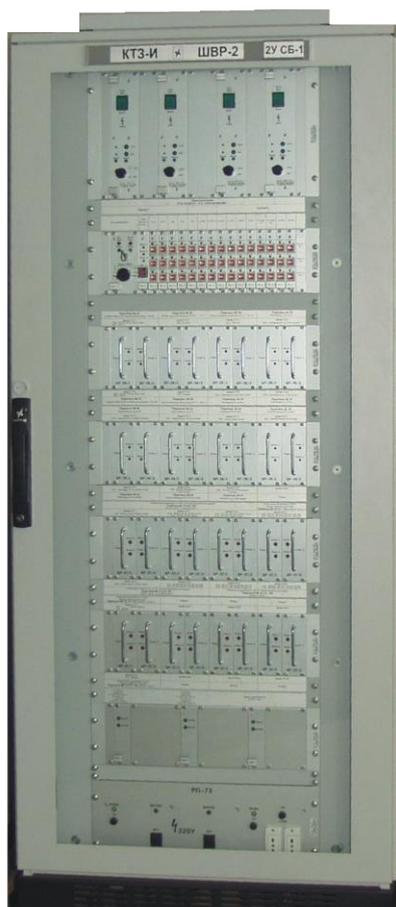
### Состав ШВР-1

Основным элементом ШВР-1, формирующим команды защит, является блок релейный БР-36. В ШВР-1 установлено 64 блока релейных БР-36, образующих 32 дублированных пары. Каждая пара БР-36 имеет два канала управления и 16 дублированных выходных каналов (8 каналов с параллельным включением пар нормально разомкнутых контактов и 8 каналов с последовательным включением пар нормально замкнутых контактов). Питание каналов управления осуществляется от двух пар взиморезервирующих источников питания, установленных в ШВР-2.



Внешний вид ШВР-1

## Состав ШВР-2



Внешний вид ШВР-2

В состав шкафа выходных реле ШВР-2 входят:

- две взаиморезервирующие группы по восемь блоков реле БР-36, обеспечивающих управление исполнительными механизмами. Организация управления и структура выходных каналов аналогична ШВР-1;

- четыре источника питания для обеспечения резервированного питания цепей управления блоками реле от двух фидеров, с двумя режимами функционирования: 27 В – РАБОТА, 6 В - ОПРОБОВАНИЕ;

- блок опробования, предназначенный для выбора режима работы комплекта КТЗ-И, а также выбора конфигурации оборудования для автоматической проверки;

- 15 устройств блокировки технологических параметров защит по любому из входных сигналов посредством ручного воздействия на переключатель соответствующего устройства блокировки;

- две взаиморезервирующие группы по восемь блоков реле БР-37, управляемые от цепей с напряжением 220 В постоянного тока: общих

защит и дистанционного (индивидуального) управления от БЩУ, РЩУ. Структура выходных каналов аналогична структуре выходных каналов, образуемых блоками реле БР-36;

- три нормализатора (6 каналов) входных дискретных сигналов напряжения 220 В постоянного тока.

Первичное электропитание ШВР-2 осуществляется от сети собственных нужд АЭС (от одной или двух взаимно резервирующих сетей) однофазным переменным током с номинальным напряжением 220 В и частотой 50 Гц.

## Выводы

Применение современной элементной базы позволило разработать изделия, работающие в непрерывном круглосуточном режиме с учетом проведения технического обслуживания и ремонта (восстановления).

Восстановления при отказах производится путём замены отказавшей сменной составной части на исправную, взятую из комплекта запасных частей, инструментов и принадлежностей (ЗИП).

В ШВР-1, ШВР-2 использован метод повышения надежности путем применения структурной избыточности по отношению к объему, минимально необходимому и достаточному для выполнения заданных основных функций.

В настоящей статье рассматриваются особенности применения разработанных технических средств управления исполнительными механизмами в системах безопасности атомных станций. Приводятся технические характеристики и назначение ШВР-1, ШВР-2.

УДК

**В.П. БЕРНАЦКИЙ, А.В. ГАВРИЛОВ, Д.В. ЕРЕМЕЕВ**

*ЗАО «Северодонецкое научно-производственное объединение „Импульс”»*

## **ОСОБЕННОСТИ АРХИВИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ АКНП**

В статье приведены особенности архивирования параметров аппаратуры контроля нейтронного потока, структура архива и основные возможности, предоставляемые пользователю.

### **Введение**

В аппаратуре контроля нейтронного потока (АКНП), разработанной ранее в 70-80 гг. прошлого века и эксплуатируемой в настоящее время (АКНП-3, АКНП-7), выполняется регистрация мощности и периода [1] электромеханическими самописцами типа РП-160 на бумажной ленте. Возросшие современные требования [2] предусматривают наличие в АКНП средств архивирования. Эти требования иницируют разработчиков АКНП создавать новые электронные средства архивирования, обеспечивающие сохранение более полной и подробной информации о функционировании АКНП. Актуальность архивирования параметров АКНП предопределяется также тем, что “нейтронная” характеристика может использоваться для общего анализа поведения реакторной установки (РУ).

В АКНП разработки и производства ЗАО «СНПО “Импульс”» АКНП-И в угоду соответствия нормативным документам [1] и требованиям эксплуатирующих организаций для регистрации мощности и периода применяются цифровые регистраторы SIREC фирмы Siemens, обеспечивающих отображение этих параметров на TFT-экране и сохранение их на съемном магнитном носителе. Вместе с этим специально для архивирования параметров АКНП-И разработан сервер архивирования СА АКНП, обеспечивающий архивирование полной и подробной информации о функционировании АКНП-И.

Целью данной статьи является описание реализованных в СА АКНП подходов к архивированию параметров АКНП.

### **Общая организация архивирования параметров АКНП**

Источником информации для архивирования являются устройства накопления и обработки (УНО) каналов АКНП. УНО каждые полсекунды формирует и передает в устройство технического обслуживания (УТО) информационный кадр, содержащий полную информацию о состоянии УНО и подключенных к нему устройств АКНП. Информационный кадр в УТО

дополняется параметрами УТО и пересылается в СА АКНП, где полученная информация размещается в файлах архива АКНП.

Кроме того, УНО формирует для УТО и событийные кадры о нарушениях, выявленных средствами оперативного контроля УНО и подключенных к нему устройств АКНП. В результате обработки в УТО событийных кадров УНО о нарушениях, а также при выявлении оперативным контролем УТО нарушений или фиксации события (например, в изменении оператором блочного щита управления уставок мощности) в журнал контроля УТО формируется и заносится соответствующее сообщение. Для обеспечения полной картины о поведении АКНП новые записи журнала контроля также пересылаются из УТО в СА АКНП и размещаются в соответствующих файлах архива АКНП.

При определении структуры архива АКНП за основу был взят принцип независимости каждого из каналов АКНП. В соответствии с ним архив АКНП решено было организовать как одинаковый набор файлов для каждого из каналов АКНП. При этом в каждом наборе один файл предназначен для сохранения содержимого журнала контроля, а остальные – для хранения параметров и сигналов соответствующего канала АКНП.

В соответствии с требованиями нормативного документа [2] архив параметров и сигналов для каждого из каналов АКНП должен состоять из кратковременного (суточного) архива (СА) и долговременного архива (ДА). СА предназначен для сохранения подробной информации о канале АКНП за последние 24 часа его работы, а долговременный архив (ДА) - для сохранения основных параметров и сигналов за год работы канала.

### **Структура и параметры кратковременного архива**

Для обеспечения объективной оценки поведения реакторной установки как в штатном режиме, так и в переходном и аварийном режимах, в кратковременном архиве принято решение хранить все поступающие из УТО информационные кадры. Кратковременный архив каждого из каналов АКНП при этом представляет собой файл фиксированной длины, содержащий заголовок со служебной информацией и 172800 последовательно размещаемых записей с информационными кадрами из УТО. Каждый информационный кадр содержит:

- дату и время начала формирования в УНО информационного кадра;
- по 100 архивных значений мощности, периода и дискретных сигналов для активного диапазона (в том числе, выходных сигналов регулирования и защит) с дискретностью 5 миллисекунд;
- по 5 показаний вычисленной в УНО и усредненной по трем каналам в функциональном дисплее реактивностей с дискретностью 100 миллисекунд;
- параметры устройств детектирования (УД) (значения частот, их коэффициенты тарировки и сигналы состояния УД) с дискретностью 500 миллисекунд;

- вычисленные мощности и периоды по всем диапазонам и уставки по ним с дискретностью 500 миллисекунд;
- сформированный по мощности и периоду весь набор дискретных сигналов УНО (сигналы регулирования и защит, исправности, указателей диапазонов, достижения фиксированных уровней номинальной мощности (5, 25 и 75 процентов) и др.) с дискретностью 500 миллисекунд;
- состояния дискретных и аналоговых выходных каналов УНО с дискретностью 500 миллисекунд;
- диагностическая информация (напряжения питания, температуры, версии программ и т.п.) с дискретностью 500 миллисекунд.

Номер записи в файле соответствует полусекундному интервалу времени приема.

Сохранение даты и времени начала формирования в УНО информационного кадра как одного из архивных параметров позволяет устанавливать с высокой точностью соответствие остальных архивных данных моменту их формирования в УНО. Сохранение подробной информации с дискретностью 5 миллисекунд предоставляет возможность детального анализа переходных процессов и нештатных ситуаций (например, снижение или подъем мощности реактора, возникновение сигнала неисправности и др.).

### **Структура и параметры долговременного архива**

Для обеспечения идентичности со структурой кратковременного архива принято решение долговременный архив каждого из каналов АКНП организовать как набор из 12 файлов (по одному на каждый месяц) и хранить в них только основные параметры. При выборе перечня основных параметров ставилась цель сохранить картину функционирования канала АКНП. Для этого достаточно сохранить из принятых в информационном кадре УТО значения следующих параметров:

- частот и коэффициентов тарировки всех УД;
- дискретных сигналов состояния всех УД;
- вычисленных мощностей и периодов по всем диапазонам;
- уставок мощности и периода;
- вычисленной и усредненной реактивностей;
- всего набора дискретных сигналов УНО.

При определении дискретности сохранения основных параметров в долговременном архиве решающим было достижение минимальной дискретности в существующих архивах информационно-вычислительной системы (ИВС) энергоблока (1 секунда) при допустимом объеме дискового пространства, необходимого в СА АКНП для хранения долговременного архива всех каналов АКНП. Как оптимальное сочетание определена дискретность в 1 секунду. Каждый файл долговременного архива каждого из каналов АКНП при этом представляет собой файл фиксированной длины,

содержащий заголовок со служебной информацией и 2678400 (по числу секунд за 31 день) последовательно размещаемых записей с основными параметрами канала АКНП. Номер записи в файле соответствует секундному интервалу времени приема.

### **Особенности программной реализации**

Программное обеспечение СА АКНП в целом было разграничено по своему функциональному назначению и состоит из следующих независимых подсистем:

- подсистемы сбора и архивирования параметров АКНП;
- подсистемы визуализации архива АКНП;
- подсистемы контроля создания архива;
- подсистемы поддержки единого времени.

Подсистема сбора и архивирования параметров (сервер) предназначена для непрерывного пополнения суточного и долговременного архивов параметров и журналов контроля каналов АКНП, а также для формирования и передачи в ИВС энергоблока текущих параметров АКНП. Кроме того, сервер накапливает и отображает информацию о собственных событиях и неисправностях в собственном журнале.

Подсистема визуализации архива АКНП (клиент) предназначена для предоставления оператору в удобном для анализа виде архивных данных. При этом программа клиента обеспечивает выполнение следующих функций:

- просмотра в графической и табличной формах параметров и сигналов, представленных в архивах;
- вывода на печать графиков параметров и сигналов;
- просмотра параметров настроек (конфигурации) канала АКНП;
- просмотра журнала контроля канала АКНП или журнала сервера;
- копирования файлов базы данных на внешний носитель;
- извлечения файлов базы данных архивов с внешнего носителя;
- экспорта архивных данных в файлы Microsoft Excel.

Для организации быстрого просмотра параметры и сигналы объединены в кадры текущего состояния, суточного и долговременного архивов, вызываемые из ранее созданных списков. С целью обеспечения просмотра параметров и сигналов в требуемом оператору виде и составе ему предоставляется возможность создания новых или редактирования существующих кадров. Возможна оперативная модификация кадра графиков, заключающаяся в изменении отображаемого на экране временного отрезка, в масштабировании и оцифровке графиков перед распечаткой, в перемещении графика по времени и изменении времени начала просмотра. Экспорт параметров и сигналов архива АКНП в таблицы формата Microsoft Excel предоставляет возможность выполнить достаточно сложную их обработку в сочетании с параметрами других подсистем энергоблока.

Подсистема контроля создания архива обеспечивает перезапуск программы сервера при ее “зависании” и перезагрузку СА АКНП по срабатыванию сторожевого таймера (Watchdog Timer).

Подсистема поддержки единого времени обеспечивает ведение системного времени в СА АКНП в соответствии с данными сети единого времени, а также осуществляет контроль работоспособности оборудования СА АКНП.

### **Особенности технической реализации**

Основным требованием при определении технических средств реализации СА АКНП являлось обеспечение длительного надежного функционирования. Технической базой реализации СА АКНП было определено исполнение рабочей станции ПС5120 производства ЗАО «СНПО “Импульс”». Особенности ее реализации являются:

- обеспечение надежного питания (два ввода 220 V, устройство аварийного включения резерва, источник бесперебойного питания, два источника питания модуля процессорного и т.п.)

- реализация внешних связей оптоволоконными линиями связи;

- резервирование внешних устройств ввода-вывода (CD-RW, FDD, магнитооптика)

- хранение архива на резервированных дисковых накопителях, организованных как Raid-массив и обеспечивающих сохранение работоспособности при отказе одного накопителя с автоматическим восстановлением информации при замене отказавшего накопителя на исправный;

- использование локального коммутатора сети Ethernet;

- обеспечение подключения к сети единого времени и контроля работоспособности оборудования.

Для сохранения возможности резервирования архива АКНП выдачу из УТО решено было выполнять по протоколу обмена IPX в широкоэвещательном режиме. При этом наличие резервных коммутирующих модулей в локальном коммутаторе сети Ethernet СА АКНП, к которому подключены все каналы АКНП и процессорный модуль СА АКНП, обеспечивает возможность резервного создания архива АКНП.

Для обеспечения надежной передачи информации из УТО в СА АКНП решено было использовать оптоволоконные линии связи и все передаваемые сетевые пакеты дублировать. При этом для повышения достоверности передаваемых архивных данных введен многоуровневый контроль, включающий в себя общий контроль пересылаемых сетевых пакетов, контроль информационной части сетевых пакетов контрольными суммами двух типов (XOR и ADC) и контроль нумерации информационных частей. За счет этого потеря одного из двух одинаковых пакетов или сбой при передаче одного из

пакетов не сказываются на создании архива данных, а сохраняемые в архиве параметры и сигналы соответствуют зафиксированным в АКНП-И.

Для размещения программного обеспечения и хранения архива используются два вида НЖМД – обычный винчестер в составе процессорного модуля емкостью 73 GB (операционная система и вспомогательные программы) и Raid-массив уровня 5 полезной емкостью 280 GB (архив и функциональные программы СА АКНП).

### **Выводы**

Принципы приведенной в статье технической и программной реализации архивирования параметров АКНП прошли проверку при пуске в эксплуатацию новых энергоблоков Хмельницкой и Ровенской АЭС и в настоящее время сервер архивирования СА АКНП поставляется для комплектов АКНП-И. Эксплуатация СА АКНП показала целесообразность его использования для оперативного получения информации при проведении пуско-наладочных работ, при проведении физических экспериментов на этапе освоения мощности, а также при анализе различных режимов работы оборудования в процессе работы энергоблока. Архивирование параметров АКНП облегчает решение как сегодняшних задач, так и тех, которые могут возникнуть в будущем.

### **Литература**

1. ГОСТ 27445-87. Системы контроля нейтронного потока для управления и защиты ядерных реакторов. Общие технические требования.
2. НП 306.5.02/3.035-2000. Требования по ядерной и радиационной безопасности к информационным и управляющим системам, важным для безопасности атомных станций. – К.: Гос. администрация ядерного регулирования, 2000.

**Ю.С. КАЛАШНИК, А.В. МАТЮНИН**

*ЗАО «Северодонецкое научно-производственное объединение „Импульс”»*

## **БОРОМЕР – УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ БОРНОЙ КИСЛОТЫ**

Ядерный реактор является сложной системой, требующей чрезвычайно точного, надежного и своевременного управления. Одной из подсистем является подсистема контроля за реактивностью на низком уровне. Контроль за реактивностью при останове реактора основывается на двух главных параметрах: концентрация бора и скорость счета в каналах диапазона источника. В реакторах типа ВВЭР при свежей загрузке топлива каналы диапазона источника не «видят» фоновых нейтронов. Они не могут следить за предполагаемым изменением реактивности и, следовательно, за изменением концентрации бора. При останове реактора безопасность зависит от управления концентрацией бора. Боромер – это прибор, осуществляющий такой контроль.

Водный раствор борной кислоты играет важную роль в управлении и обеспечении безопасности ядерных реакторов. Бор является высокоэффективным поглотителем нейтронов и используется обычно в виде борной кислоты, растворенной в первом контуре и в контурах систем аварийного охлаждения зоны (САОЗ) ядерного реактора. В некоторых случаях безопасность реактора полностью зависит от поглощающей способности бора. Например, после перегрузки топлива в ядерном реакторе, при низкой температуре и высокой реактивности активной зоны реактора, эффективность контрольных стержней недостаточна и использование бора является абсолютно необходимым для поддержания подкритического состояния активной зоны.

Система измерения концентрации борной кислоты, установленная на реакторах типа ВВЭР, включает в себя от 14 до 22 независимых боромеров, в которых используется метод поглощения нейтронов. Точки измерения находятся в нескольких местах, включая первый контур и системы САОЗ.

Датчики боромеров, включая нейтронный детектор и нейтронный источник, подразделяются на две группы по способу измерения: контактное измерение на трубках и измерение погружением в резервуар. Среди всех боромеров важнейшими являются те, которые установлены на первом контуре. Эксплуатационные характеристики этих боромеров требуют совершенствования.

Анализатор раствора нейтронный (далее - НАР-И) разрабатывается для замены аналогичных технических средств, выработавших срок службы, а также для применения во вновь вводимых энергоблоках АЭС с реакторами типа ВВЭР. Основными целями создания НАР-И являются: снижение риска аварии, увеличение надежности и срока службы, улучшение метрологических характеристик, улучшение средств защиты обслуживающего персонала от

радиоактивного излучения во время работы с НАР-И, улучшение условий и культуры труда обслуживающего персонала.

Функционально разрабатываемый НАР-И предназначен для автоматического непрерывного измерения концентрации  $^{10}\text{B}$  (или борной кислоты) в теплоносителе на АЭС с реакторами типа ВВЭР. Функциональными аналогами разрабатываемого изделия являются анализатор раствора нейтронный-базовый (НАР-Б) и концентратомер бора (НАР-12), разработанные в России. По имеющейся информации освоение в производстве подобных зарубежных изделий на предприятиях Украины не предполагается.

Принцип работы боромера приведен ниже. Нейтроны, испускаемые плутоний-бериллиевым источником быстрых нейтронов, попадают в анализируемый раствор борной кислоты, где происходит их замедление при взаимодействии с ядрами водорода и поглощение ядрами  $^{10}\text{B}$ . Часть замедленных нейтронов отражается из раствора и попадает в чувствительный объем гелиевого счетчика, расположенного в блоке детектирования нейтронов. Количество нейтронов, попадающих в объем счетчика, уменьшается с увеличением концентрации  $^{10}\text{B}$  в растворе. Зависимость числа импульсов, зарегистрированных за установленный интервал времени, от концентрации  $^{10}\text{B}$  (или борной кислоты) приведена на рисунке 1.

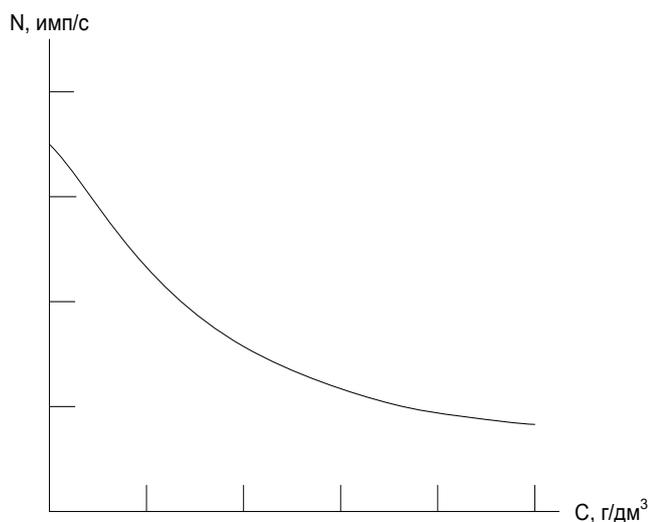


Рисунок 1 – Зависимость числа импульсов от концентрации  $^{10}\text{B}$

Среди вероятных инцидентов неконтролируемое снижение концентрации бора является одним из таких, которые могут иметь самые тяжелые последствия. Имеются сведения об инцидентах на АЭС мира, связанные с недостаточным контролем над концентрацией  $\text{CH}_3\text{BO}_3$ .

Раствор борной кислоты в теплоносителе оказывает воздействие в двух основных направлениях:

- воздействие на реактивность. Основным воздействием, которое призван оказывать бор, является управление реактивностью. При уменьшении концентрации  $\text{CH}_3\text{BO}_3$  реактивность активной зоны

возрастает. Непосредственным следствием этого является повышение интегральной плотности потока нейтронов. Контроль интегральной плотности потока нейтронов является чрезвычайно важным для управления реактивностью;

- воздействие на химические параметры контуров. Коррозия контуров при высокой температуре зависит от химических параметров, в частности, от кислотности, уровень которой по этой причине должен строго контролироваться. Борная кислота воздействует на водородный показатель рН, и, таким образом, предпринимаются меры для уменьшения коррозии.

Концентрация бора может измеряться двумя методами:

- химический метод. Этот метод является контрольным. Он показывает полную концентрацию бора, независимо от изотопного обогащения. Этот метод систематически применяется при анализе взятых проб;
- метод поглощения нейтронов. Этот системный метод применяется постоянно и показывает концентрацию бора путем градуирования на основе результатов, полученных химическим методом. Резервуар, в котором находится водная проба, подвергается облучению от нейтронного источника. Поглощение нейтронов прямо пропорционально концентрации бора. Нейтронный детектор расположен рядом с резервуаром и посылает электронные импульсы с частотой, связанной с концентрацией бора через градуированные параметры, полученные по результатам химического метода.

Модернизированный бормер должен улучшить следующие характеристики:

- совершенствование измерений на первом контуре;
- точность и стабильность измерений. Существующая система измерений на первом контуре основана на рассеянии нейтронов через трубку ограниченных размеров. В качестве детектора используется пропорциональный счетчик Гелий-3, который не обеспечивает требуемую стабильность измерений. Закон регулирования, основанный на сочетании двух параметров, дает первичное приближение. Совершенствование данных характеристик может быть достигнуто на основе применения программируемых корректоров, которые учитывают физические особенности прохождения нейтронов через поглотитель;
- конфигурация датчика. Для выполнения измерений при низкой концентрации, в частности, на первом контуре, рекомендуется иметь большой объем воды, подвергаемой рассеянию нейтронов, испускаемых источником. В реакторах типа ВВЭР нейтронный источник и детектор расположены вне трубки; такая конфигурация не обеспечивает высокую точность измерений;
- нейтронный детектор. Пропорциональный счетчик Гелий-3 отличается очень высокой чувствительностью: это качество необходимо в данном

- применении. Однако он имеет и некоторые недостатки. К числу его типичных недостатков относятся чувствительность к гамма-излучению и частота импульсов, зависящая от высокого напряжения.
- закон регулирования. Простая модель позволяет продемонстрировать, как скорость счета находится в обратно пропорциональной зависимости от абсорбционных характеристик окружающей среды. Теоретически абсорбция должна описываться с участием двух параметров: изменяемый параметр, зависящий от изменения концентрации бора, и неизменяемый параметр, учитывающий абсорбционную способность других материалов, не зависящую от концентрации бора. Данная модель показывает, что соотношение между скоростью счета и концентрацией бора выражается гиперболой с двумя коэффициентами (первичное ослабление). Таков принцип работы боромеров, установленных на реакторах типа ВВЭР. На самом деле, некоторые нелинейные явления вызывают помехи, дающие погрешность. Использование модели с тремя коэффициентами дает гораздо более точные результаты. Данное решение применяется в боромерах, установленных на ядерных реакторах Франции;
  - расхождение с результатами химического анализа. В настоящее время в течение одного топливного цикла боромеры, установленные на первом контуре, показывают результат, отличающийся от контрольного результата, полученного методом химического анализа. Это расхождение составляет неудобство для операторов, которые управляют реактором, опираясь на два различных результата. Это расхождение вызывается постепенным обеднением  $^{10}\text{B}$  при прохождении первичной воды через активную зону. Для решения данной проблемы требуется произвести расчеты с учетом того, что только  $^{10}\text{B}$  вызывает изменение скорости счета;
  - радиационная защита обслуживающего персонала. Нейтронный источник, используемый в боромерах на реакторах типа ВВЭР, часто расположен близко к трубке, где производятся измерения и не обеспечивается защита от облучения. Персонал должен находиться вне зоны источника. Источник должен иметь защиту, с тем, чтобы ограничить дозу облучения, получаемую персоналом.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Журнал о ядерной науке и технологиях, апрель 2002.
  2. Chemical and Volume Control System. System Training Guide
- В-1а.
3. ARREVA summary annual report 2003.
  4. Ядерные измерительные и информационные технологии. №2, 2005.

**В.В. БЛИНОВ**

*Закрытое акционерное общество «Северодонецкое научно –  
производственное объединение “Импульс”», Украина*

## **ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЯ СИГНАЛОВ ДЕТЕКТОРА НЕЙТРОНОВ С ЗАЗЕМЛЁННЫМ КАТОДОМ**

Проанализированы схемы подключения детекторов нейтронов и способы подавления собственных шумов

### **Введение**

Как известно, плотность нейтронного потока можно определять по трём составляющим сигнала детектора: по частоте импульсов электрического заряда, по среднеквадратическому значению переменной составляющей выходного тока и по постоянной составляющей выходного тока.

В современной аппаратуре контроля нейтронного потока, работающей во всём диапазоне мощности реактора, используются все три информационные составляющие сигнала детектора, что определяет существенную разницу в требованиях к конструкции измерителя сигналов детекторов с изолированным и заземлённым катодом.

Целью данной статьи является описание измерителя сигналов детектора нейтронов, применяемого в составе аппаратуры контроля нейтронного потока с камерой деления CFUL08 фирмы Photonis.

### **Особенности измерителя сигналов детектора нейтронов**

В измерителе для детектора с изолированными электродами возможно и целесообразно разделение канала регистрации сигнала постоянного тока от импульсного и флуктуационного каналов, как показано на рисунке 1, где Д – детектор, ЗУ – зарядовый усилитель, УПТ – усилитель постоянного тока, ИП – источник питания детектора.

В данном случае общая шина измерителя гальванически связана с его корпусом, что обеспечивает наилучшие условия экранирования чувствительного ЗУ от электромагнитных помех, генерируемых высоковольтным преобразователем ИП.

Кроме того, колебательный контур, образованный разделительным конденсатором С и дросселем L, обеспечивающим высокое выходное сопротивление ИП в рабочей полосе частот флуктуационного канала (1–35 kHz), взаимодействует с каналом постоянного тока через небольшую собственную ёмкость детектора, практически не оказывая на него влияния. По той же причине УПТ не оказывает влияния на уровень собственных шумов ЗУ.

В измерителе для детектора с заземлённым катодом, то есть с катодом гальванически связанным с корпусом, сигнал может поступать только с одного электрода – анода. Следовательно, весь измеритель находится под высоким напряжением питания детектора (рисунок 2), а канал постоянного тока оказывается непосредственно связан с колебательным контуром LC, который вызывает на выходе УПТ низкочастотные колебания.

Подавление этих колебаний может быть обеспечено выбором резонансной частоты контура LC исходя из времени интегрирования сигнала УПТ.

Одновременно, УПТ повышает уровень приведенного шума ЗУ в несколько раз, так как величина проходной ёмкости дросселя L много больше величины зарядового конденсатора ЗУ. Для подавления шумов УПТ во входную цепь УПТ включается T-образный RC-фильтр с полосой пропускания до 200 кГц.

Поскольку даже самые качественные конденсаторы в фильтре ИП, обеспечивающие электрическую связь общей шины измерителя с корпусом по переменному току, имеют недостаточно низкое сопротивление, резко возрастает влияние высокочастотных помех, генерируемых высоковольтным преобразователем ИП и даже цифровой схемой обработки сигналов детектора. Следовательно, в этом случае требуется особенно тщательное экранирование ЗУ, ИП и отдельных элементов измерителя, причём экраны должны образовывать замкнутый объём и не должны быть связаны с корпусом измерителя.

Огромное значение имеет расположение конденсаторов фильтра ИП и соединителя для подключения детектора. Эти элементы должны располагаться в непосредственной близости от входного каскада ЗУ и обеспечивать кратчайшую связь общей измерительной шины ЗУ с корпусом измерителя и кабеля детектора. Хороший дополнительный эффект дают малогабаритные высокочастотные конденсаторы небольшой ёмкости, включаемые параллельно основным конденсаторам фильтра ИП.

Имеет также значение и конструкция корпуса измерителя, который является волноводом для генерируемых электроникой электромагнитных помех. Плата измерителя должна располагаться на возможно максимальном расстоянии от стенок корпуса.

## **Выводы**

В разработанном в ЗАО «СНПО «Импульс»» преобразователе сигналов детекторов нейтронов ПСДН-1 использованы все перечисленные способы борьбы с собственными помехами, что позволило обеспечить чувствительность импульсного канала с детектором CFUL08 фирмы «Photonis» близкую к определённой производителем детектора.

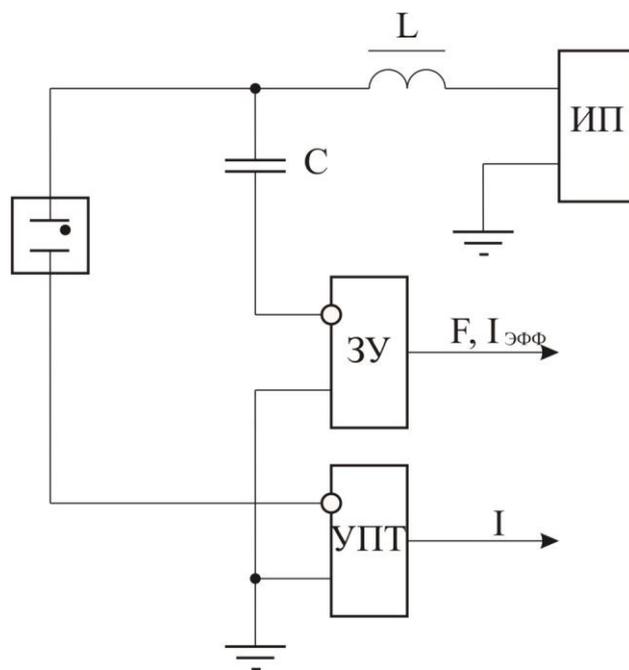


Рисунок 1

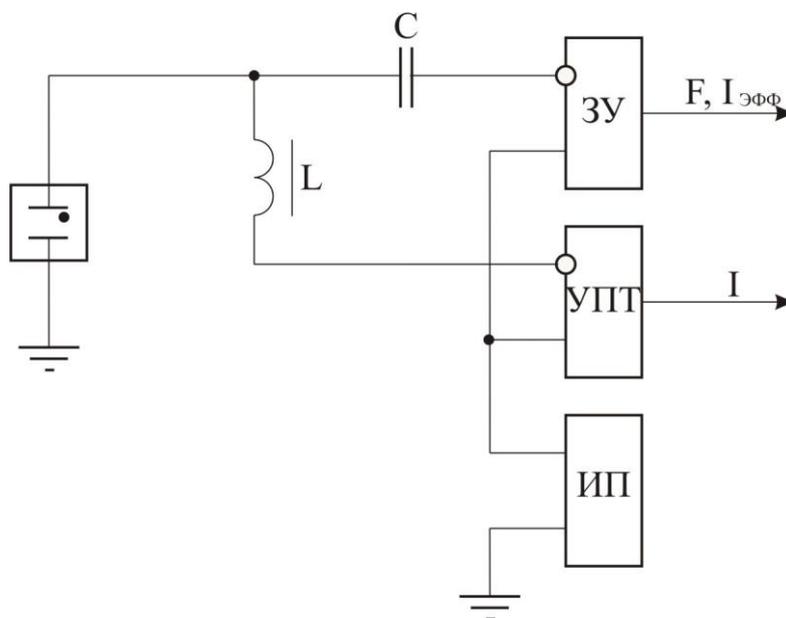


Рисунок 2

**В.В. БЛИНОВ**

*ЗАО «Северодонецкое научно-производственное объединение „Импульс”»*

## **ТРАНСФОРМАТОР ДЛЯ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ ДЕТЕКТОРОВ**

Рассмотрены требования к трансформатору и способы их выполнения

Напряжение питания детекторов в зависимости от их типа колеблется от 150 до 2500 V при мощности до 1,5 W.

Для периодического тестирования детекторов с целью определения степени износа в источнике питания детектора должна быть обеспечена возможность регулирования выходного напряжения в широких пределах.

Наиболее простым и удобным для реализации указанных выше параметров и функций является DC/DC преобразователь на обратном ходу с повышающим трансформатором.

Теоретически величина выходного импульса трансформатора в таком преобразователе не ограничена. Однако, при неверном конструировании трансформатора вся энергия накачки первичной обмотки может уходить на перезаряд паразитных межвитковых и межобмоточных ёмкостей, приводя к снижению выходного напряжения и нагреву трансформатора. Данные потери пропорциональны также рабочей частоте трансформатора.

Таким образом, при конструировании трансформатора необходимо стремиться выполнить два основных требования – минимальные паразитные ёмкости и минимальная рабочая частота.

Уменьшение паразитных ёмкостей обмоток трансформатора до минимума может быть достигнуто повышенной изоляцией вторичной обмотки и намоткой её в один слой, что ограничивает число витков обмоток и, следовательно, их индуктивность и минимальную рабочую частоту трансформатора.

Уменьшение рабочей частоты трансформатора достигается увеличением индуктивности обмоток и амплитуды импульсного тока в первичной обмотке.

Оптимальным, с точки зрения выполнения этих противоречащих друг другу требований, является использование броневых сердечников без воздушного зазора, имеющих максимальную индуктивность на виток.

Броневые сердечники также наиболее технологичны для намотки и выполнения требуемой изоляции обмоток.

В трансформаторах преобразователей сигналов детекторов нейтронов ПСДН-1 и ПСДН-2, разработанных в ЗАО «СНПО “Импульс”», использован броневой сердечник Р30х19 из материала N48 фирмы “Epcos”. Конструкция трансформатора выполнена с использованием перечисленных выше способов повышения его эффективности.

Трансформатор имеет следующиемоточные данные:

- количество витков первичной обмотки – 6;
- количество витков вторичной обмотки – 60;
- толщина изоляции вторичной обмотки – 1 mm.

Источник в ПСДН-1 обеспечивает питание детектора регулируемым напряжением от 0 до 800 V и ток питания до 2,5 mA при напряжении 600 V.

Источник в ПСДН-2 обеспечивает питание коронных счётчиков напряжением до 2400 V без использования умножителя.

## **СПОСОБ АКТИВНОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ СЧЕТА ИМПУЛЬСОВ ДЕТЕКТОРОВ НЕЙТРОННОГО ПОТОКА**

В статье рассмотрены принципы регистрации импульсных сигналов газоразрядных детекторов, применяемые на АЭС в системах контроля нейтронного потока и нейтронных анализаторах концентрации борной кислоты. Автором представлен способ повышения точности измерения нейтронного потока и приведен опыт экспериментальных исследований в области регистрации тепловых нейтронов при помощи коронных  $\text{He}^3$ -счетчиков СНМ67.

### **Введение**

В настоящее время для измерения нейтронного потока на атомных станциях и в научных исследованиях находят широкое применение коронные счетчики. На отечественных реакторах ВВЭР при помощи коронных  $\text{He}^3$ -счетчиков осуществляется контроль потока нейтронов малой мощности до  $100 \text{ н/см}^2$  и измерение концентрации бора в теплоносителе.

Основные преимущества данных счетчиков: большая чувствительность к тепловым нейтронам при относительно малых габаритах, простота конструкции измерительной аппаратуры.

Современные требования атомных станций к аппаратуре контроля нейтронного потока и нейтронным анализаторам концентрации борной кислоты ужесточаются. Новое оборудование должно иметь повышенную точность и стабильность измерения, минимальное количество регулирующих элементов и операций настройки в течение всего срока эксплуатации. Все эти требования принуждают разработчиков искать новые пути повышения качества измерительной аппаратуры. Поэтому описанный в статье способ активной стабилизации счета импульсов детекторов нейтронного потока приобретает актуальность на сегодняшний день. Данный метод позволяет повысить качество измерения и исключить регулировку оборудования.

### **Традиционный метод регистрации нейтронов**

Классическая структурная схема измерительного канала регистрации нейтронов с коронным  $\text{He}^3$ -счетчиком (детектором) представлена на рисунке 1.

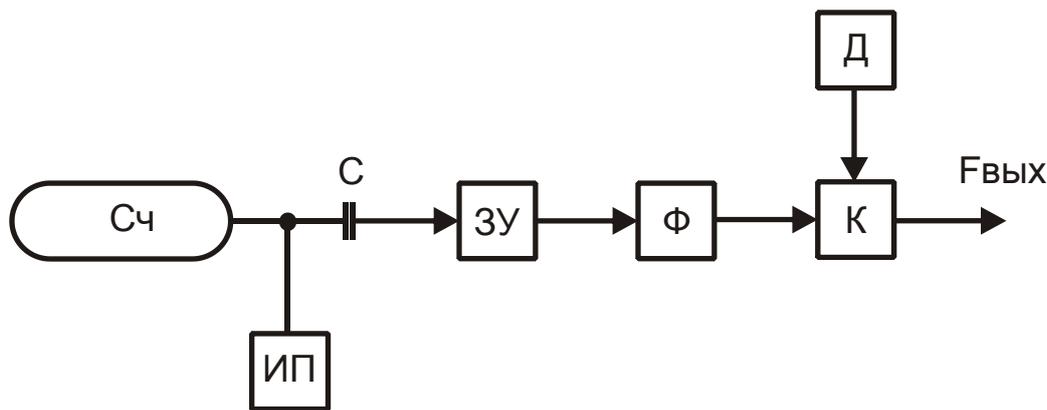


Рисунок 1 – Классическая структурная схема канала регистрации нейтронов

Питание счетчика Сч осуществляется высоковольтным стабилизированным источником питания ИП порядка 2000 В. В результате вокруг анода, выполненного из тонкой нити, создается электрическое поле высокой напряженности и возникает коронный разряд, способствующий появлению нестабильных и возбужденных атомов газа (шум короны).

При попадании медленного нейтрона в атом гелия, последний распадается на две частицы: протон и тритон с высокой суммарной энергией порядка 0,77 МэВ, которые, пролетая в газовом пространстве счетчика, вызывают первичную ионизацию газа [1, 2]. Возникающее при этом количество электронов и ионов ионизированного газа пропорционально описанной выше энергии частиц и длине их пробега в газовом пространстве. Данное свойство и послужит далее основой метода активной стабилизации счета импульсов.

Высокая напряженность электрического поля делает энергию полученных заряженных частиц достаточной для возникновения в газовом пространстве детектора лавинной ионизации. Возникающий при этом ионизационный импульс на аноде детектора имеет величину, значительно превышающую шум короны и в десятки раз превышающую заряд первичной ионизации (так называемый коэффициент газового усиления КГУ), который и регистрируется зарядовым усилителем ЗУ.

В результате взаимодействия медленных нейтронов с газом детектора на вход зарядового усилителя поступают заряды величиной от 0,5 до 5 пКл, которые преобразуются ЗУ в импульсы напряжения пилообразной формы амплитудой от 0,1 до 1 В.

Фильтр Ф выделяет из пилообразного сигнала ЗУ импульсы длительностью до 500 нс, поступающие на компаратор К.

Компаратор пропускает на выход импульсы, амплитуда которых превышает опорное напряжение, формируемое дискриминатором Д. В результате на выходе схемы формируются импульсы, частота которых пропорциональна нейтронному потоку и зависит от напряжения дискриминации.

Изменяя напряжение дискриминации и регистрируя частоту выходного сигнала, можно получить дискриминационную характеристику и дифференциальный спектр импульсов детектора (производная от дискриминационной характеристики [1]). На рисунках 2 и 3 представлены дискриминационная характеристика и спектр импульсов, полученные во время проведения экспериментальных исследований со счетчиком СМ67 и источником быстрых нейтронов ИБН-9, помещенным в замедлитель из полиэтилена.

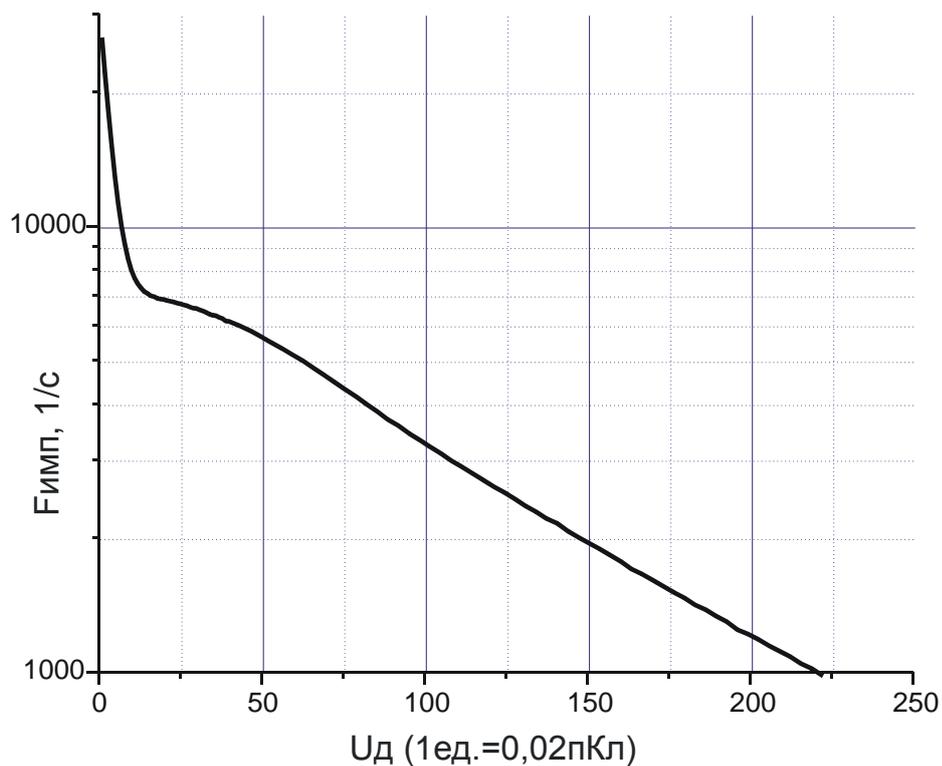


Рисунок 2 – Дискриминационная кривая счетчика СМ67

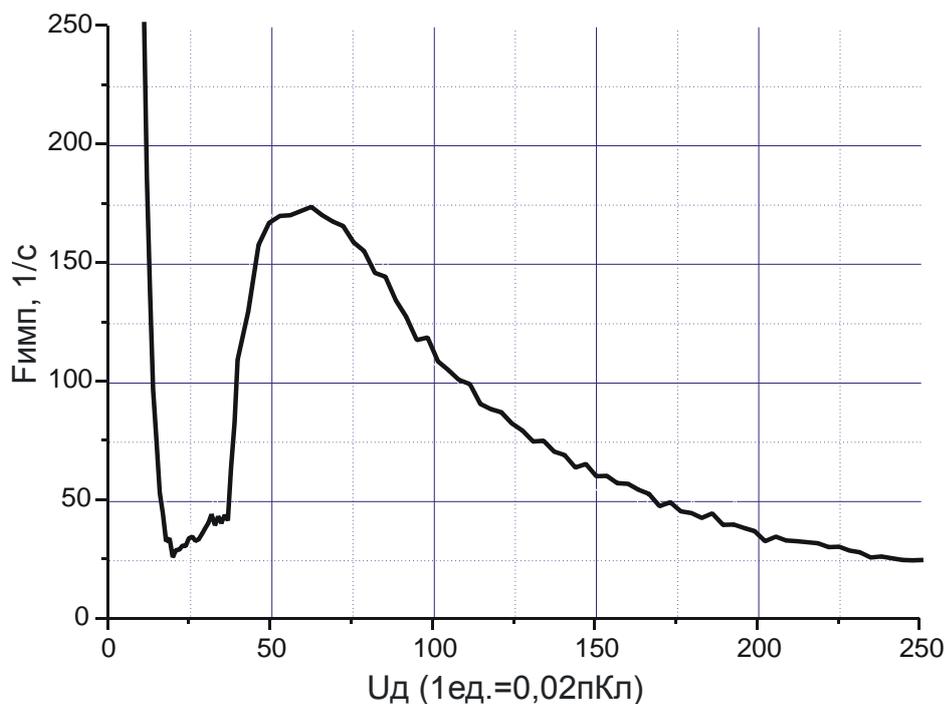


Рисунок 3 – Дифференциальный спектр счетчика СНМ67

### **Активная стабилизация уровня дискриминации в канале регистрации нейтронов**

Современные требования по точности измерения концентрации бора в теплоносителе на АЭС требуют производить измерения нейтронного потока с погрешностью менее 1%.

Нейтронные анализаторы концентрации борной кислоты располагаются на трубопроводах с горячим теплоносителем. Температура детекторов и электроники в таких условиях может достигать 100 °С. Высокие требования накладываются на устойчивость нейтронных анализаторов к гамма излучению и на временную стабильность.

Экспериментальные исследования, проведенные в ЗАО «СНПО «Импульс» показали, что добиться требуемой точности описанным выше методом очень сложно, практически невозможно. Кроме того, с изменением температуры, под воздействием гамма излучения и с течением времени изменяется КГУ счетчика, а также меняются параметры электронной схемы, которые приводят к увеличению погрешности и необходимости производить регулировку (изменять уровень дискриминации). Применение активной стабилизации позволяет решить проблемы, связанные с изменением КГУ счетчика и нестабильностью электроники.

В чем же состоит суть активной стабилизации? Вернемся к физике процесса регистрации нейтронов и анализу спектральной характеристики сигналов, принимаемых от детектора.

Как уже упоминалось ранее, величина ионизационного импульса пропорциональна энергии реакции атома гелия с нейтроном, а также длине пробега протона и тритона в газовом пространстве детектора. В результате мы

имеем энергетический спектр импульсов, изображенный на рисунке 3, форма которого зависит от характеристик нейтронного потока и геометрии детектора. Применяемый в нейтронном анализаторе PuBe источник нейтронов ИБН-9 имеет строго фиксированное положение и излучает высокостабильный поток нейтронов. Кроме того, геометрия самого детектора неизменна. Поэтому спектральная характеристика импульсов, поступающих со счетчика, остается неизменной в процессе эксплуатации. Изменение КГУ счетчика и параметров электронной схемы приводит к сжатию или растяжению спектральной кривой по горизонтальной оси, а форма ее остается неизменной, как показано штриховой линией на рисунке 4. Это и послужило основой для активной стабилизации уровня дискриминации.

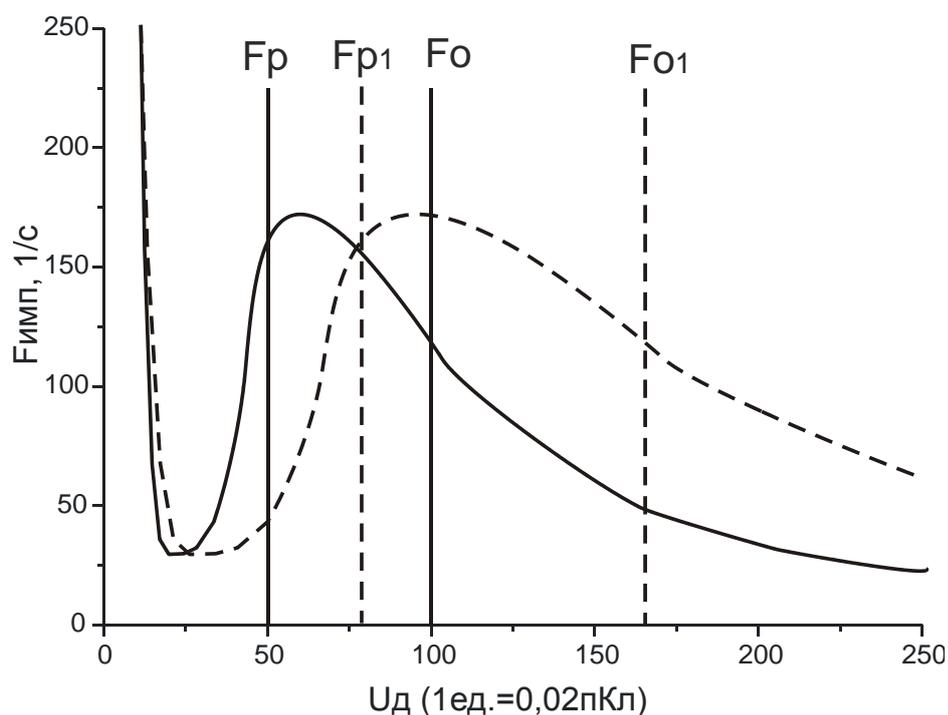


Рисунок 4 – Стабилизация уровня дискриминации по спектру импульсов детектора.

При работе измерительного канала по традиционной схеме происходит регистрация всех импульсов расположенных правее линии  $F_p$  (площадь, охватываемая непрерывной линией спектра правее линии  $F_p$ ). При изменении параметров счетного канала (например, увеличение КГУ или коэффициента усиления ЗУ) спектральная характеристика растягивается по горизонтали, при этом происходит регистрация событий (реакций на нейтрон) с меньшей энергией (площадь, охватываемая штриховой линией спектра правее линии  $F_p$ ), регистрируемая частота импульсов увеличивается при неизменном нейтронном потоке.

Для восстановления передаточной характеристики счетного канала (регистрации реакций на нейтрон именно с заданной энергией  $E_p$ ) необходимо сместить уровень дискриминации до линии  $F_{p1}$ , что невозможно осуществить в

классической схеме счетного канала. Введя опорный счетный канал с другим (у нас вдвое большим) уровнем дискриминации (линия  $F_0$ ), можно одновременно с рабочей частотой регистрировать и опорную частоту (реакции на нейтрон с энергией  $E_0$ ).

Теперь мы имеем два счетных канала, регистрирующих события с энергиями превышающими  $E_p$  и  $E_0$  соответственно. Как уже упоминалось ранее, энергетический спектр реакций на нейтрон строго определен геометрией детектора и параметрами источника нейтронов и не зависит от КГУ и параметров счетного канала. Следовательно, выполняется равенство:

$$\frac{E_p}{E_0} = const \quad (1)$$

Соответственно, поддерживая постоянным соотношение частот  $F_p$  и  $F_0$  мы сможем сохранить передаточную характеристику счетного канала, при условии сохранения неизменного соотношения рабочего уровня дискриминации и опорного.

При изменении передаточной характеристики (штриховая линия на рисунке 4) схема активной стабилизации должна изменить уровень дискриминации (увеличить), чтобы выполнялось равенство:

$$\frac{F_p}{F_0} = \frac{F_{p1}}{F_{01}} = k, \quad (2)$$

где  $k$  – постоянный коэффициент.

Исходя из вышесказанного, получаем регулировочную характеристику системы активной стабилизации уровня дискриминации:

$$F_p - k \cdot F_0 = 0, \quad (3)$$

При изменении передаточной характеристики счетного канала равенство (3) нарушается и схема стабилизации автоматически изменяет уровень дискриминации для его восстановления.

Для реализации активной стабилизации в традиционную схему, описанную выше, вводится дополнительный опорный компаратор  $K_0$ , как показано на рисунке 5. С детектора снимаются две частоты: рабочая  $F_p$  и опорная  $F_0$ , поступающие в микроконтроллер МК. Уровень дискриминации опорного и рабочего компаратора должны быть строго пропорциональны друг другу. В нашем случае опорный уровень дискриминации вдвое больше рабочего (задается соотношением резисторов  $R_0$  и  $R_p$ ). Стабильность отношения опорного и рабочего уровней дискриминации легко осуществить, применяя компараторы, работающие в токовом режиме и высокостабильные токозадающие резисторы  $R_0$  и  $R_p$ . Дискриминатор  $D$  представляет собой шестнадцатиразрядный цифроаналоговый преобразователь ЦАП, выходное

напряжение которого изменяется под управлением МК. Рабочий и опорный уровни дискриминации задаются в виде тока резисторами  $R_p$  и  $R_o$  соответственно. МК изменяет выходное напряжение ЦАП для выполнения равенства (3), тем самым стабилизирует передаточную характеристику счетного канала.

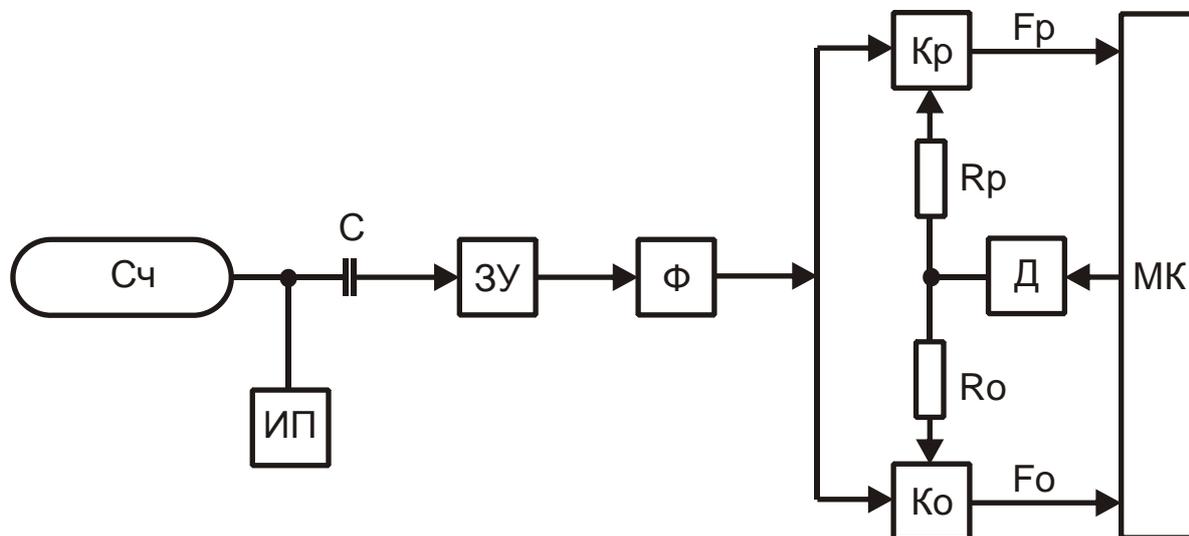


Рисунок 5 – Структурная схема канала регистрации нейтронов с активной стабилизацией уровня дискриминации.

### Выводы

Применение активной стабилизации уровня дискриминации в системах регистрации нейтронного потока позволит получить следующие преимущества:

- повышение качества измерения нейтронного потока;
- применение недорогих малостабильных счетчиков нейтронов;
- автоматическая настройка уровня дискриминации счетного канала;
- отсутствие операций регулировки в процессе эксплуатации;
- возможность применения более дешевых и простых решений в реализации измерительного тракта.

Для производства надежных, высокоточных, удобных в эксплуатации систем измерения нейтронного потока необходимо и далее проводить исследования в данной области.

### Литература

1. Малышев Е.К., Засадыч Ю.Б., Стабровский С.А. Газоразрядные детекторы для контроля ядерных реакторов. Москва: Энергоатомиздат 1991.
2. Власов Н.А. Нейтроны. Москва: издательство «Наука» 1971.

**А.В. ГОМОН, Д.А. МИЩЕНКО, П.И. САНЧЕНКО**

*ЗАО «Северодонецкое научно-производственное объединение „Импульс”»*

## **ОЦЕНИВАНИЕ МЕЖПОВЕРОЧНОГО ИНТЕРВАЛА БЛОКОВ АНАЛОГО-ДИСКРЕТНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПО ДАННЫМ ПОВЕРКИ В ПРОЦЕССЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

Анализируется нестабильность метрологических характеристик ИК блоков аналого-дискретного преобразования с целью определения возможности уточнения первичного межповерочного интервала (МПИ).

### **Введение**

Промышленностью Украины произведено и находится в эксплуатации несколько тысяч блоков аналого-дискретного преобразования (АДП), которые применяются в системах УКТС ряда объектов. Разработчиком блоков АДП первичный интервал  $T_1$  установлен равный одному году.

Ежегодная калибровка эксплуатирующей организацией большого количества блоков вызывает, несмотря на наличие достаточно производительной тестово-диагностической аппаратуры, определенные технологические трудности. Специфика калибровки рассматриваемого типа измерительных каналов предполагает извлечение электронных блоков из шкафов, транспортировку блоков к месту поверки и обратно, установку в шкафы. В процессе выполнения этих работ вносятся дополнительные повреждения и ошибки.

С другой стороны, результаты ежегодной калибровки блоков указывают на достаточно высокую стабильность метрологических характеристик измерительных каналов и, как следствие, на отсутствие необходимости в столь частой калибровке.

Ниже рассматриваются результаты ежегодной калибровки блоков АДП и посредством анализа нестабильности метрологических характеристик ИК оценивается вторичный МПИ.

Оценивание вторичного межповерочного интервала  $T_2$  выполнено с учетом рекомендаций [1 – 3].

### **Характеристики блоков АДП**

Блоки аналого-дискретного преобразования (АДП) выполняют функцию релейного преобразования унифицированных аналоговых сигналов постоянного тока в дискретные двухпозиционные сигналы при достижении заданных настройкой граничных значений (уставок). Аналоговые сигналы постоянного тока поступают от датчиков давления, температуры, уровня и т.д.

Дискретные сигналы используются для управления действием технологических защит, блокировок и сигнализации.

Блоки АДП-1ВЛ содержат один измерительный канал, блоки АДП-2ВЛ и АДП-11ВЛ – два измерительных канала.

Цифровой код – двоичный. Количество разрядов – 14. Номинальная цена единицы младшего разряда 0,0005 мА для диапазона входного сигнала от 0 до 5 мА и 0,002 мА для диапазона входного сигнала от 0 до 20 мА.

Номинальная статическая характеристика преобразования выражается формулой:

$$N = Ent \left[ \frac{10000 * I_{BX}}{I_{BX-макс}} + 0,5 \right], \quad (1)$$

- где  $N$  – результат преобразования;  
 $Ent[...]$  – символ, определяющий целую часть числа;  
“\*” – знак умножения;  
 $I_{BX}$  – значение сигнала постоянного тока на входе 1 и входе 2 (для АДП–11ВЛ), и на входе (для АДП–1ВЛ, АДП–2ВЛ) в диапазоне от нуля до  $I_{BX-макс}$ ;  
 $I_{BX-макс}$  – максимальное значение  $I_{BX}$ , равное 5 или 20 мА.

Пределы допускаемой приведенной погрешности преобразования аналогового токового сигнала в цифровой код (далее – погрешности) в рабочих условиях эксплуатации  $\pm 0,1\%$ .

Значение первичного МПИ, рекомендованное в сертификате утверждения типа, составляет 12 месяцев.

### Исходные данные для исследования

На заводе-изготовителе блоки АДП-ВЛ прошли технологический прогон и первичную поверку. На объекте потребителя блоки прошли входной контроль и находились в непрерывной эксплуатации в течение двух лет. Поверки проводились после первого и после второго года эксплуатации. Регулировки блоков между поверками не выполнялись.

Общее количество эксплуатируемых блоков (измерительных каналов в блоках) АДП-ВЛ и количество блоков (измерительных каналов в блоках), принявших участие в исследовании, приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Количество блоков (каналов в блоках) АДП-ВЛ

Тип блока	Количество блоков (каналов), шт.			
	находится в эксплуатации		исследованных	
АДП-1ВЛ5	517	(517)	295	(295)
АДП-2ВЛ5	541	(1082)	477	(954)
АДП-11ВЛ5	104	(208)	72	(144)
Всего	1162	(1802)	844	(1393)

Блоки эксплуатируются в следующих климатических условиях:

- температура окружающего воздуха от +18 до +25 °С;
- относительная влажность воздуха до 80 % при +25 °С.

Проверка блоков АДП-ВЛ производилась на объекте при помощи пульта проверки аналоговых блоков ППБА-ВЛ ТУ У 30.0-31393258-008-2002 А, заводской номер 0006 09 2003.

Пульт содержит ПЭВМ, в которой ведется база данных, содержащая результаты проверок, включая значения погрешности по каждому измерительному каналу. Копию базы данных эксплуатирующая организация предоставила ЗАО «СНПО „Импульс”». Исходные данные для исследования извлекались из базы данных пульта ППБА-ВЛ и заносились в таблицы формата Microsoft Excel. Фрагмент исходных данных приведен в таблице 2.

Таблица 2 – Исходные данные проверок

№ канала	Тип блока	Заводской номер блока	Наработка блока		Погрешность ИК, %		
			месяцев	месяцев	при выпуске	после первого МПИ	после двух МПИ
1	АДП-1ВЛ	00006.08.2003	9,9	12,4	0,020	0,014	0,011
2	АДП-1ВЛ	00010.09.2003	11,6	11,7	0,018	0,014	0,016
3	АДП-1ВЛ	00011.09.2003	11,7	11,6	0,024	0,026	0,026
4	АДП-1ВЛ	00012.09.2003	11,6	11,7	0,012	0,016	0,018
5	АДП-1ВЛ	00013.09.2003	11,6	11,6	-0,012	0,014	0,007
.							
.							
292	АДП-1ВЛ	00534.12.2003	11,8	12,0	0,009	0,014	0,015
293	АДП-1ВЛ	00535.12.2003	11,7	12,1	-0,010	0,010	0,009
294	АДП-1ВЛ	00536.12.2003	11,6	12,1	0,018	0,015	0,024
295	АДП-1ВЛ	00537.12.2003	11,6	12,1	0,027	0,022	0,024
296	АДП-2ВЛ	00001.09.2003	11,7	11,8	0,010	-0,012	0,017
297	АДП-2ВЛ	00001.09.2003	11,7	11,8	0,010	-0,012	0,017
298	АДП-2ВЛ	00002.09.2003	11,6	11,7	0,010	0,040	0,029

299	АДП-2ВЛ	00002.09.2003	11,6	11,7	0,028	0,030	0,029
300	АДП-2ВЛ	00003.09.2003	11,7	11,6	-0,011	-0,013	-0,012
301	АДП-2ВЛ	00003.09.2003	11,7	11,6	-0,011	0,019	0,020
302	АДП-2ВЛ	00004.09.2003	11,6	11,7	0,018	0,017	0,019
.							
.							
1242	АДП-2ВЛ	00539.12.2003	11,4	12,1	0,027	0,022	0,024
1243	АДП-2ВЛ	00539.12.2003	11,4	12,1	0,045	0,040	0,034
1244	АДП-2ВЛ	00542.12.2003	11,6	12,1	0,029	0,025	0,035
1245	АДП-2ВЛ	00542.12.2003	11,6	12,1	0,019	0,015	0,025
1246	АДП-2ВЛ	00546.12.2003	11,6	12,1	0,029	0,034	0,024
1247	АДП-2ВЛ	00546.12.2003	11,6	12,1	0,009	0,014	-0,006
1248	АДП-2ВЛ	00547.12.2003	11,4	12,1	0,039	0,037	0,053
1249	АДП-2ВЛ	00547.12.2003	11,4	12,1	0,030	0,027	0,033
1250	АДП-11ВЛ	00001.08.2003	12,0	11,8	0,015	0,015	0,015
1251	АДП-11ВЛ	00001.08.2003	12,0	11,8	0,014	0,012	0,015
1252	АДП-11ВЛ	00002.08.2003	11,9	11,8	0,024	0,018	0,027
1253	АДП-11ВЛ	00002.08.2003	11,9	11,8	0,017	0,015	0,015
1254	АДП-11ВЛ	00003.08.2003	12,1	12,3	-0,006	-0,012	-0,010
1255	АДП-11ВЛ	00003.08.2003	12,1	12,3	-0,006	-0,012	-0,009
.							
.							
1388	АДП-11ВЛ	00111.10.2003	11,7	12,1	0,011	0,014	0,024
1389	АДП-11ВЛ	00111.10.2003	11,7	12,1	0,015	0,023	0,025
1390	АДП-11ВЛ	00112.10.2003	11,7	12,1	0,012	0,022	0,025
1391	АДП-11ВЛ	00112.10.2003	11,7	12,1	0,022	0,032	0,035
1392	АДП-11ВЛ	00113.10.2003	11,9	12,1	0,019	0,023	0,015
1393	АДП-11ВЛ	00113.10.2003	11,9	12,1	0,019	0,013	0,015

В качестве критерия для оценивания межповерочного интервала взята вероятность метрологической исправности измерительных каналов блоков АДП  $P_{ми}$ , являющаяся аналогом показателя надежности – вероятности безотказной работы блоков. В качестве допускаемого (предельного) значения вероятности метрологической исправности ИК принято значение  $P_{ми}^* = 0,95$ .

Обработка исходных данных выполнена на ПЭВМ с использованием пакетов программ Microsoft Excel и MathCAD.

Установление объема репрезентативной выборки измерительных каналов

Поскольку не все эксплуатируемые блоки участвовали в исследовании, проверена репрезентативность выборок блоков и, соответственно, измерительных каналов каждого типа. Проверка выполнена согласно [2].

Объемы представительных выборок для ИК блоков каждого типа вычислены по формуле:

$$n = \frac{t^2 \cdot N}{4 \cdot \varepsilon^2 \cdot N + t^2}, \quad (2)$$

- где  $N$  – число измерительных каналов соответствующего типа блока, составляющих генеральную совокупность (общее количество согласно таблице 1);
- $t$  – коэффициент Стьюдента (в нашем случае для доверительной вероятности  $P=0,95$  коэффициент Стьюдента  $t=1,96$ );
- $\varepsilon$  – допускаемая погрешность репрезентативности выборки, принятая равной 5%.

В результате выполненных расчетов установлено, что объем  $n$  представительной выборки каналов для исследования должен быть не меньшим:

221 измерительных каналов для блоков АДП-1ВЛ5;

284 измерительных каналов для блоков АДП-2ВЛ5;

136 измерительных каналов для блоков АДП-11ВЛ5.

Исследовано измерительных каналов по каждому типу блока существенно больше (см. таблицу 1), что указывает на достаточность выборок для характеристики нестабильности МХ ИК всех блоков, находящихся в эксплуатации.

Выборочные характеристики нестабильности МХ ИК

Выборочные математические ожидания погрешности по множеству исследованных ИК при  $k$ -ой поверке вычислены по формуле:

$$\mu_k = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \gamma_{jk}, \quad (3)$$

- где  $N$  – количество измерительных каналов соответствующего типа блока, участвующих в исследовании;
- $j$  – номер канала внутри партии ( $j=1, 2, \dots, N$ );
- $k$  – номер поверки ( $k=0$  – первая поверка,  $k=1$  – вторая поверка,  $k=2$  – третья поверка);
- $\gamma_{jk}$  – погрешность  $j$ -канала, полученная при  $k$ -ой поверке, %.

Результаты расчетов приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Выборочные математические ожидания погрешности

Номер поверки	Значение математического ожидания погрешности, % для		
	ИК АДП-1ВЛ5	ИК АДП-2ВЛ5	ИК АДП-11ВЛ5
Первая ( $\mu_0$ )	0,0150	0,0126	0,0100
Вторая ( $\mu_1$ )	0,0174	0,0167	0,0139
Третья ( $\mu_2$ )	0,0184	0,0175	0,0160

Выборочные средние квадратические отклонения погрешности по множеству исследованных ИК при  $k$ -ой поверке вычислены по формуле:

$$S_k = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^N (\gamma_{jk} - \mu_k)^2} \quad (4)$$

Результаты расчетов СКО приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Средние квадратические отклонения погрешности по блокам

Номер поверки	Значение среднего квадратического отклонения, % для		
	ИК АДП-1ВЛ5	ИК АДП-2ВЛ5	ИК АДП-11ВЛ5
Первая ( $S_0$ )	0,0130	0,0177	0,0148
Вторая ( $S_1$ )	0,0122	0,0169	0,0139
Третья ( $S_2$ )	0,0128	0,0169	0,0140

### Статистические характеристики дрейфа МХ ИК во времени

Функция  $\mu(t)$  аппроксимирует процесс дрейфа математического ожидания погрешности.

По данным таблицы 3 зависимость математического ожидания нестабильности МХ ИК во времени  $t$  определяется выражениями:

для измерительных каналов блока АДП-1ВЛ5

$$\mu(t) = 0,0150 + 2,5833 \cdot 10^{-4} \cdot t - 4,8611 \cdot 10^{-6} \cdot t^2; \quad (5)$$

для измерительных каналов блока АДП-2ВЛ5

$$\mu(t) = 0,0126 + 4,7917 \cdot 10^{-4} \cdot t - 11,4583 \cdot 10^{-6} \cdot t^2; \quad (6)$$

для измерительных каналов блока АДП-11ВЛ5

$$\mu(t) = 0,0100 + 4,0000 \cdot 10^{-4} \cdot t - 6,2500 \cdot 10^{-6} \cdot t^2. \quad (7)$$

Выборочные средние квадратические отклонения погрешности ИК по блокам одного типа не зависят от времени, сохраняя от поверки к поверке постоянное значение. Несущественность разброса дисперсий подтверждена проверкой гипотезы о равенстве дисперсий трех выборок  $S_0^2 = S_1^2 = S_2^2$  по F-критерию.

Вероятность ошибки  $\alpha$  при проверке гипотезы о равенстве дисперсий принята равной 0,05.

Рассчитанные контрольные величины  $F_1$  и  $F_2$  для измерительных каналов блоков АДП-1ВЛ5, АДП-2ВЛ5 и АДП-11ВЛ5 и выбранные из таблицы граничные значения для одностороннего распределения  $F'_{\alpha; m_1, m_2}$  представлены в таблице 5.

Таблица 5

Тип блока	Контрольная величина		Граничное значение $F'_\alpha$
	$F_1$	$F_2$	
АДП-1ВЛ5	1.1354	1.1008	1,212
АДП-2ВЛ5	1.0358	1.0000	1,113
АДП-11ВЛ5	1.1337	1.0144	1,318

Поскольку,  $F_1 < F'_{0,05}$  и  $F_2 < F'_{0,05}$  – гипотеза о равенстве дисперсий трех выборок принята, а функции  $S(t)$ , аппроксимирующие процесс дрейфа средних квадратических отклонений погрешности, имеют вид:

- для ИК блоков АДП-1ВЛ5  $S(t) = \text{const} = 0,0130$ ;
- для ИК блоков АДП-2ВЛ5  $S(t) = \text{const} = 0,0177$ ;
- для ИК блоков АДП-11ВЛ5  $S(t) = \text{const} = 0,0148$ .

Прогнозирование метрологической исправности блоков  $P_{ми}$

Вероятности (в процентах) метрологической исправности блоков АДП-ВЛ на момент времени  $t$  вычислены по формуле:

$$P(t) = 0,5 * \left\{ \text{Erf} \left[ \frac{\sqrt{2}}{2} * \frac{\Delta - \mu(t)}{S(t)} \right] + \text{Erf} \left[ \frac{\sqrt{2}}{2} * \frac{\Delta + \mu(t)}{S(t)} \right] \right\} * 100, \quad (8)$$

где  $\text{Erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt$  - интеграл вероятности;

$\Delta$  – предел допускаемой погрешности,  $\Delta=0,1$ ;

$t$  – время в месяцах с момента первой проверки.

Результаты расчетов вероятности метрологической исправности для измерительных каналов блоков АДП-1ВЛ5, АДП-2ВЛ5 и АДП-11ВЛ5 приведены в таблицах 6, 7 и 8 соответственно.

Таблица 6 – Результаты вычисления  $P_{ми}$  для ИК блоков АДП-1ВЛ5

Количество лет	Количество месяцев, t	Математическое ожидание погрешности $\mu(t)$	Среднее квадратическое отклонение погрешности $S(t)$	Вероятность метрологической исправности блоков $P_{ми}$ , %
1	12	0.0174	0.0130	100.0
2	24	0.0184	0.0130	100.0
3	36	0.0180	0.0130	100.0
4	48	0.0162	0.0130	100.0
.				
.				
12	144	-0.0486	0.0130	100.0
13	156	-0.0630	0.0130	99.78
14	168	-0.0788	0.0130	94.85

Таблица 7 – Результаты вычисления  $P_{ми}$  для ИК блоков АДП-2ВЛ5

Количество лет	Количество месяцев, t	Математическое ожидание погрешности $\mu(t)$	Среднее квадратическое отклонение погрешности $S(t)$	Вероятность метрологической исправности блоков $P_{ми}$ , %
1	12	0.0167	0.0177	100.0
2	24	0.0175	0.0177	100.0
3	36	0.0150	0.0177	100.0
4	48	0.0092	0.0177	100.0
5	60	0.0001	0.0177	100.0
6	72	-0.0123	0.0177	100.0
7	84	-0.0280	0.0177	100.0
8	96	-0.0470	0.0177	99.86
9	108	-0.0693	0.0177	95.86
10	120	-0.0949	0.0177	61.34

Таблица 8 – Результаты вычисления  $R_{ми}$  для ИК блоков АДП-11ВЛ5

Количество лет	Количество месяцев, t	Математическое ожидание погрешности $\mu(t)$	Среднее квадратическое отклонение погрешности $S(t)$	Вероятность метрологической исправности блоков $R_{ми}$ , %
1	12	0.0139	0.0148	100.0
2	24	0.0160	0.0148	100.0
3	36	0.0163	0.0148	100.0
4	48	0.0148	0.0148	100.0
.				
.				
10	120	-0.0320	0.0148	100.0
11	132	-0.0461	0.0148	99.99
12	144	-0.0620	0.0148	99.49
13	156	-0.0797	0.0148	91.49

### Выводы

Анализ нестабильности погрешности ИК, выполненный по данным проверок блоков в эксплуатационных условиях, показал возможность увеличения межповерочного интервала блоков АДП-1ВЛ5, АДП-2ВЛ5 и АДП-11ВЛ5 до 9 лет.

Результат свидетельствует о малом дрейфе погрешности блоков с течением времени и, как следствие, о возможности увеличения МПИ. Приняв, например, трехкратный запас для надежности оценок, можно рекомендовать эксплуатирующей организации установить вторичное значение МПИ равным трем годам.

### Литература

1. ГОСТ 8.009-84 «Нормируемые метрологические характеристики средств измерений».
2. МИ 2002-89 «Организация и порядок проведения метрологической аттестации».
3. МИ 2187-92 «Методы определения межповерочных и межкалибровочных интервалов средств измерений».

## **УСТРОЙСТВА ПЛАВНОГО ПУСКА – ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ АВТОМАТЫ ИА-3 И ИА-4**

Исполнительные автоматы ИА-3 и ИА-4 представляют собой устройства управления трехфазными асинхронными электродвигателями, и предназначены для работы в составе реверсивного или нереверсивного электропривода переменного тока с асинхронными электродвигателями. Применение устройств плавного пуска позволяет полностью устранить или существенно уменьшить проблемы, возникающие при пусках электродвигателей, вызывающие броски тока потребления по цепям питания. В номенклатуру изделий поставляемых ЗАО «СНПО «Импульс»» входит ряд устройств плавного пуска, охватывающих диапазон мощностей подключаемых асинхронных трехфазных электродвигателей мощностью от 60 Вт до 15 кВт.

В таблице 1 представлены все модификации данных устройств с краткими характеристиками.

Модификации исполнительного автомата ИА-3 обусловлены улучшением технологичности изготовления и обслуживания устройств, а также разработкой по просьбе заказчика устройств без функции защиты электродвигателя.

Исполнительный автомат ИА-3 представляет собой схемный автомат, реализованный на ИМС малой и средней степени интеграции.

Исполнительный автомат ИА-3 имеет следующие средства индикации:

Индикатор “ГОТОВ” – сигнализирующий о наличии напряжения питания на логических элементах устройства переходящий в режим прерывистого свечения при отсутствии фаз В или С или неправильном чередовании фаз А В С, подключенных на вход устройства. Необходимость контроля чередования фаз вызвана обеспечением плавного пуска и торможения подключенного электродвигателя.

Индикатор “ОТКР” – сигнализирующий о выполнении команды “ОТКРЫТИЕ”.

Индикатор “ЗАКР” – сигнализирующий о выполнении команды “ЗАКРЫТИЕ”.

Индикатор “ТОРМ” – сигнализирующий о выполнении торможения после снятия команды “ОТКРЫТИЕ” или “ЗАКРЫТИЕ”.

Индикатор “АВАРИЯ” – сигнализирующий о обнаружении одной из контролируемых ситуаций с точки зрения защиты электродвигателя (отсутствует в ИА-3/2 и ИА-3/3).

Таблица 1

Шифр устройства	Максимальная мощность нагрузки (кВт)	Диапазон установки тока срабатывания защиты, приведенное к значению тока фазы (А)	Наличие функции защиты электродвигателя	Тип индикации	Настройка рабочих параметров
ИА-3	до 15	от 4.5 до 22	да	одионочные светодиоды	аналоговая
ИА-3/1	до 15	от 4.5 до 22	да	одионочные светодиоды	аналоговая
ИА-3/2	до 15	-	нет	одионочные светодиоды	аналоговая
ИА-3/3	до 15	-	нет	одионочные светодиоды	аналоговая
ИА-4/1	до 1.5	от 0.3 до 3.5	да	ЖКИ индикатор	цифровая
ИА-4/2	до 3.5	от 0.7 до 8	да	ЖКИ индикатор	цифровая
ИА-4/3	до 1.5	от 0.3 до 3.5	да	ЖКИ индикатор	цифровая
ИА-4/4	до 3.5	от 0.7 до 8	да	ЖКИ индикатор	цифровая
ИА-4/5	до 0.4	от 0.1 до 1.2	да	ЖКИ индикатор	цифровая

Исполнительный автомат ИА-3 имеет органы настройки:

1) Регулятор “ПЛАВН” – служащий для настройки времени плавного пуска от 0 до 0.25 сек. Плавность пуска – постепенное увеличение трехфазного напряжения при пуске электродвигателя. Оно осуществляется регулируемым включением тиристорных модулей, что обеспечивает безударный пуск электродвигателя, что в свою очередь предотвращает удары в шпоночном соединении и снижает износ первых ступеней редукторов. Выполнение плавного пуска позволяет снизить пусковой ток от пяти-семикратного до двухкратного по сравнению с номинальным значением, что в свою очередь повышает стабильность электропитания.

2) Регуляторы “ТОРМ.0 СЕК” и “ТОРМ.3 СЕК” – служат для настройки времени выполнения торможения после выполнения команд “ОТКРЫТИЕ” или “ЗАКРЫТИЕ” в диапазоне от 0 до 0.25 сек. Время торможения – время в течении которого осуществляется регулируемое включение тиристорных модулей при останове электродвигателя. Из различных способов торможения был выбран метод динамического торможения путем выдачи на электродвигатель пульсирующего напряжения обеспечивающего протекание по обмоткам электродвигателя тока неизменного направления. Данный метод по сравнению с методом шунтирования обмоток электродвигателя нагрузочным

резистором позволяет выполнять торможение за значительно меньшее время. В сравнении с методов торможения путем противовключения двигателя хотя и обеспечивается большее время торможения, но перегрузка по току при выполнении торможения не превышает двухкратной величины по сравнению с номинальным значением тока электродвигателя.

3) Регулятор “ТОРМ.ПЛАВН. СЕК” - обеспечивает настройку времени, в течение которого нарастает ток при выполнении функции торможения электродвигателя, от 0 до 0.25 сек. В течении этого времени осуществляется увеличение времени включения тиристорov, в результате исключается ударное значение тока при торможении.

4) Регулятор “ЗАЩИТА. А” - обеспечивает настройку порога срабатывания защиты как по максимально допустимому значению тока через двигатель (пиковая защита), с временем срабатывания не более 20 мс при десятикратном превышении тока потребления номинального значения, так и по потребляемой мощности (тепловая защита). Время срабатывания тепловой защиты соответствует следующими временными параметрами:

- при шестикратном превышении потребляемым током номинального значения время срабатывания не более 10 секунд.
- при двухкратном превышении потребляемым током номинального значения время срабатывания порядка одной минуты.
- при превышении потребляемым током номинального значения не более чем на 10% срабатывания тепловой защиты не происходит.

Шкала регулятора отградуирована в значениях суммарного тока потребляемого двигателем с диапазоном от 13.5 до 66 А, что соответствует току потребления по одной фазе от 4.5 до 22 А.

Узел питания ИА-3 представляет собой импульсный DC/DC преобразователь с гальванической развязкой имеющий на входе однофазный выпрямитель сетевого напряжения, на выходе которого формируются отдельные напряжения питания:

- +5V – для питания логических микросхем.
- +12V – для питания транзисторов управления силовыми ключами в виде тиристорных моделей.
- +15V – для питания аналоговых микросхем
- 15V – для питания аналоговых микросхем
- +24V – для питания “сухих контактов” цепей выдачи команд управления на исполнительный автомат.

В качестве силовых ключей в ИА-3 использованы тиристорные модули с номинальным значением коммутируемого тока 90 А, управление которыми осуществляется через развязывающие трансформаторы.

Входы команд управления для обеспечения гальванической развязки реализованы с использованием оптронов.

В отличии от широко применяемого метода контроля наличия напряжений на входах трехфазного питания с использованием трансформаторов напряжения, имеющих на частоте сети 50 Гц большие габариты, в устройстве реализована схема с использованием оптрона для

обеспечения гальванической развязки. Ток на вход оптрона задается источником тока после однополупериодного выпрямителя. Такая схема имеет по сравнению с трансформаторной меньшие габариты а также на выходе схемы имеется уже цифровой сигнал о наличии питания. Сигналы о наличии напряжения питания используется схемой контроля, а фиксируемые моменты перехода через 0 напряжений по питающим фазам используются для определения моментов выдачи сигналов управления на тиристорные модули.

Сигнал о величине токов нагрузки снимается с токовых трансформаторов. Для учета активной составляющей токов этот сигнал возводится в квадрат путем использования схемы умножения аналоговых сигналов. Далее сигнал о величине тока потребления поступает на схемы интегрирования для осуществления тепловой защиты и схему контроля пикового значения тока потребления. Также осуществляется контроль наличия токов при выполнении команды управления. При отсутствии одного или двух выходных токов также фиксируется ошибка. При одновременном отсутствии выходных токов по трем фазам ошибка не фиксируется. Эта ситуация соответствует проверке функционирования устройства.

При выборе варианта реализации в ИА-3 временных интервалов, устанавливаемых в процессе настройки устройства пользователем, при сравнении чисто аналогового варианта и схемы с использованием счетчиков, предпочтение было отдано чисто аналоговому варианту, исходя из стоимостных и габаритных показателей вариантов.

В отличие от ИА-3, схема ИА-4 реализована с использованием микроконтроллера со встроенным АЦП и работа устройства осуществляется под управлением программы записанной в микроконтроллер.

Все вышеперечисленные для ИА-3 настройки имеются также в ИА-4. В отличие от ИА-3 где настройки задаются в аналоговом виде в зависимости от установленного значения сопротивления переменного резистора, в ИА-4 настройки выполняются в цифровом виде с помощью кнопок “Режим”, “+” и “-”. Дискретность установки тока защиты равна 0.1 А, а дискретность настраиваемых временных параметров 0.01 сек, что соответствует времени одного полупериода частоты сети. Диапазоны настройки временных параметров соответствуют временам, реализованным в ИА-3.

Для настройки каждого из параметров имеется соответствующее окно, переход между которыми выполняется нажатием кнопки “Режим”. Кнопки “+” и “-” служат для увеличения или уменьшения настраиваемого параметра.

Настройки установленные пользователем в ИА-4 на время выключения питания сохраняются во Flash памяти микропроцессора.

Наличие в ИА-4 индикатора позволило реализовать функцию хранения обнаруженных ошибок с последующим их просмотром пользователем.

В ИА-4 реализована в качестве настраиваемого параметра реакция устройства на обнаруженную ошибку. Пользователь может установить режим работы при котором, при обнаружение ошибки, поступающие команды выполняются, а информация об ошибке фиксируется в памяти устройства.

Узел питания ИА-4 реализован с использованием сетевых трансформаторов в количестве 2 штук. Один трансформатор используется для получения напряжения питания +5V для интегральных микросхем устройства и микропроцессора. С целью снижения допустимого уровня напряжения питания после этого трансформатора в мостовом выпрямителе используются диоды с малым падением и стабилизатор напряжения также имеет пониженное значение внутреннего падения напряжения. Также осуществляется пороговый контроль напряжения питания и при его снижении выключается подсветка ЖКИ индикатора с целью снижения потребляемой мощности. Принятые схемные решения позволили снизить порог допустимого напряжения питания до 110 – 120V, что обеспечивает двойной запас по напряжению питания по сравнению с номинальным значением.

Второй трансформатор питания номиналом 24V используется для питания “сухих контактов” цепей выдачи команд управления на исполнительный автомат.

Для контроля наличия напряжения питания по трехфазной цепи использованы схемы реализованные в ИА-3.

Для получения информации о выходных токах также аналогично ИА-3 использованы трансформаторы тока. В зависимости от исполнения ИА-4 в качестве шунта токового трансформатора установлены резисторы различного номинала, что обеспечивает различные диапазоны измерения с помощью АЦП выходных токов.

Для обеспечения на входе АЦП однополярного сигнала с токовых трансформаторов их выходной сигнал поднят до середины напряжения питания.

Узел приема команд управления и узел контроля наличия напряжения питания по фазам А, В и С реализован аналогично ИА-3.

В качестве силовых ключей в ИА-4 использованы симисторы с большим допустимым значением  $du/dt$ , номинальным значением коммутлируемого тока 25 А, управление которыми осуществляется через оптосимисторы.

В ИА-3 и ИА-4 осуществляется защита исполнительного механизма от мгновенного реверса путем выполнения торможения.

Обеспечение устойчивости устройств к микросекундным помехам потребовало использования в качестве помехоподавляющих элементов – варисторов.

Снижение уровня излученных в сеть помех, неизменно возникающих при управлении работой электродвигателя, потребовало применения высоковольтных конденсаторов большой емкости, установленных между фазами питающего напряжения. Ввиду возникающих перенапряжений в данном месте возможно использование только выводных конденсаторов.

Для исключения встречного включения фаз, управление выходными ключами фаз В и С в ИА-4 реализовано с одновременным использованием команд управления прямыми и реверсными силовыми ключами.

В исполнительных автоматах ИА-3 и ИА-4 силовые ключи установлены по всем трем выходным фазам питания электродвигателя.

Использование в ИА-4 микроконтроллера позволило реализовать дополнительные функции по сравнению с ИА-3.

**А.Г. МУРАВЬЕВ***Закрытое акционерное общество «Северодонецкое научно –  
производственное объединение “Импульс”», Украина***ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ СИГНАЛОВ ПРС-2**

Задача подключения датчиков прямо к контроллеру, ввиду многообразия применяемых датчиков, на сегодня является не всегда реализуемой. Для решения этой задачи возникает необходимость использования нормирующих преобразователей при построении систем управления. Нормирующие преобразователи применяются на стыке между датчиком и контроллером, если нет возможности подключения датчика прямо к контроллеру. Нормирующие преобразователи производят преобразование сигналов от первичных датчиков в унифицированные сигналы тока или напряжения. Кроме того, современные нормирующие преобразователи имеют возможность производить первичную обработку входного сигнала, производить линеаризацию, компенсацию холодного сдвиг термопар, сделать математическую обработку, например извлечение корня квадратного из сигнала датчика давления для получения расхода жидкостей. Кроме того, преобразователи имеют выход на локальную сеть и передают информацию в цифровых кодах. Необходимой функцией преобразователей должна быть функция контроля на обрыв линий связи с датчиками, а также контроль выходных линий на обрыв и короткое замыкание. Для применения в режиме регулятора необходимо иметь функцию контроля выхода входного параметра за установленную границу (уставку).

ЗАО «СНПО „Импульс”» разработан и серийно выпускается нормирующий преобразователь ПРС-2, предназначенный для:

- подключения на вход термопреобразователей термоэлектрических типа ТХК, ТХА, ТПП, ТПР, ТВР, ТМК;
- подключения на вход сигнала напряжения 0 – 100 мV;
- подключения на вход термопреобразователя сопротивления по трех- или четырехпроводной схеме типа 50П, 100П, 50М и 100М;
- линеаризацию НСХ подключенных датчиков или извлечение квадратного корня из входного сигнала;

ПРС-2 обеспечивает:

- преобразование входных сигналов от датчиков в выходные сигналы напряжения постоянного тока (0 – 10 V) или постоянного тока (0 - 5 mA или 4 – 20 mA), соответствующего входному сигналу с учетом линеаризации или извлечения квадратного корня с погрешностью не более 0.1% для диапазонов от 10 мВ и выше и не более 0.25% для диапазона 4мВ;

- выдачу результатов измерений и диагностической информации на встроенный индикатор в процентах от диапазона входного сигнала или физических величинах;
- контроль подключения датчика, за исключением токового входного сигнала с диапазоном 0-5 мА;
- контроль исправности выходного канала;
- работоспособность при коротком замыкании по выходу неограниченное время;
- возможность проведения настройки на выбранный тип датчика и диапазон работы, а также калибровку в автоматическом режиме с управлением от ПЭВМ при помощи пульта проверки ПРС-2;
- выдачу результатов измерений на магистраль RS-485;
- формирование выходного аналогового сигнала, соответствующего верхнему или нижнему пределу, по диагностическим командам в виде сигналов типа “сухой контакт”, поступающим на два дискретных входа;
- выдачу дискретного сигнала типа “сухой контакт” при обнаружении неисправности, как внутри устройства, так и во входных и выходных аналоговых цепях;
- гальваническую развязку цепей питания, входного аналогового сигнала, выходного аналогового сигнала, выхода на магистраль RS-485, входных дискретных и выходного дискретного сигналов;
- питание, как от однофазной сети 220 В, так и от постоянного напряжения 24 В;
- питание датчиков типа “САПФИР-22” постоянным напряжением 24 вольта.

Схема ПРС-2 построена на базе однокристального микроконтроллера MSC1210, содержащего ядро 8051, 24 разрядный сигма-дельта АЦП, входной 8 канальный аналоговый коммутатор и усилитель с программируемым коэффициентом усиления от 1 до 128.

На входе микроконтроллера включен дополнительный буферный инструментальный усилитель с коэффициентом усиления 4 и смещением выходного уровня на величину опорного напряжения, так как АЦП воспринимает сигналы только положительной полярности.

Питание термопреобразователей сопротивления выполнено по классической схеме от источника стабильного тока 1 мА, использующего тоже опорное напряжение, что и в АЦП.

Формирователь выходных аналоговых сигналов преобразователя выполнен на основе 12 разрядного ЦАП MAX5122, имеющего встроенный источник опорного напряжения и схемы формирования выходного тока на операционном усилителе.

Диагностика работы выходного формирователя производится путем измерения сигналов обратной связи на токоизмерительных резисторах с

помощью преобразователя напряжение-частота AD7740, передающего значение выходных сигналов в микроконтроллер.

Измерение температуры свободных концов термопары производится с помощью микросхемы цифрового термометра TMP122,обеспечивающего компенсацию с абсолютной погрешностью не более 0.5 градуса.

Подавление помех нормального вида осуществляется в основном цифровым фильтром, встроенным в АЦП, и дополнительной фильтрацией в программе обработки входного сигнала. Цикл работы АЦП выбран равным 20 мс для обеспечения максимального подавления помех с частотой 50Hz.

Конструктивно ПРС-2 выполнен из двух сочленяемых через разъемное соединение частей (рисунок 1):

- монтажного корпуса, закрепляемого на щите и содержащего клеммный пружинный соединитель Wago для подключения объектовых проводов и цепей питания;
- собственно преобразователя, прошедшего метрологическую поверку. Такая конструкция позволяет быстро производить замену преобразователя при неисправности и метрологической аттестации без отключения объектовых проводов.



Рисунок 1

Для настройки и метрологической аттестации ПРС-2 разработан специализированный пульт ПППРС, управляемый от ПЭВМ и содержащий задатчики эталонного тока, напряжения и сопротивления. Контроль задаваемых параметров производится вольтметром Agilent 34401.

Применение пульта облегчает и значительно ускоряет процесс метрологической аттестации ПРС-2, кроме того пульт позволяет на площадке заказчика производить перестройку ПРС-2 на другие типы датчиков и диапазоны сигналов.

**Б.К. ГАЛЬС, И.Г. ПЕРЦЕВ**

*ЗАО «Северодонецкое научно-производственное объединение „Импульс”»*

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ БПТ-145 ДЛЯ УНИФИЦИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ УКТС-ВЛ**

Рассматриваются вопросы и схемотехнические решения при разработке источников питания с защитой от понижения выходных напряжений

ЗАО «СНПО „Импульс”» многие годы занимается разработкой, изготовлением и поставкой различных вычислительных и управляющих комплексов на объекты атомной промышленности. Одним из таких комплексов является унифицированный комплекс технических средств УКТС-ВЛ. Все эти комплексы, в том числе УКТС-ВЛ снабжены блоками питания, разработанными на нашем предприятии. К таким блокам относятся блоки электропитания БПт-145.

БПт-145 представляет собой двуканальный источник питания со следующими техническими характеристиками:

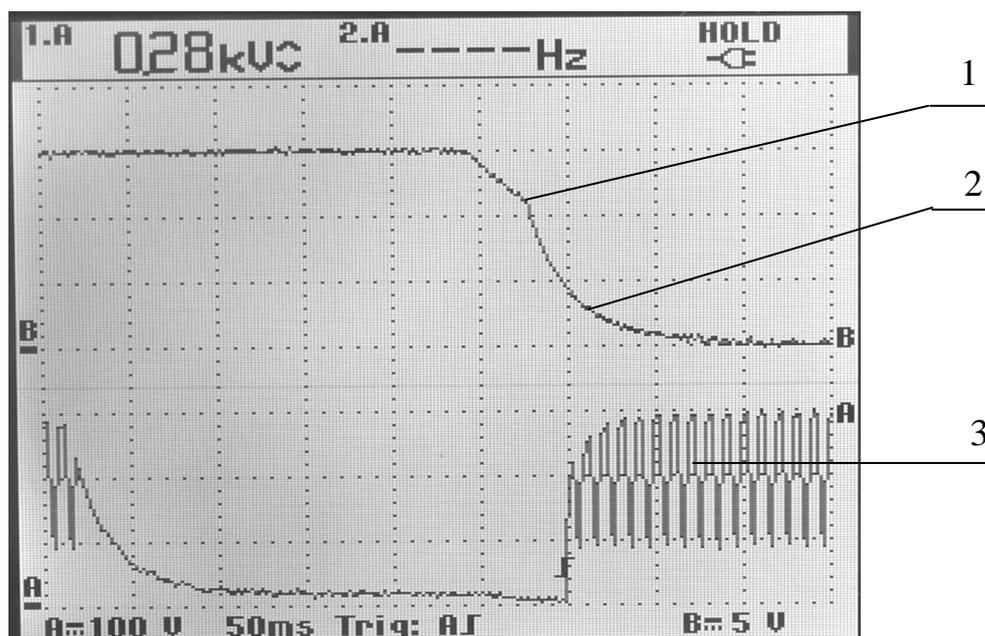
- электропитание:
  - 1) переменное напряжение  $\sim 220$  (+22, минус 33) V;
  - 2) постоянное напряжение 220 (+44, минус 33) V;
- два выходных канала +15 V/ 8 А и -15V/ 4 А;
- защита от понижения;
- защита от перенапряжения;
- средняя наработка на отказ не менее 100000 h;
- средний срок службы 30 лет;
- масса 1,4 kg.

В процессе эксплуатации выяснилось, что технологический процесс использования блоков питания предполагает пропадание входного питающего напряжения на время 900 ms, при этом некоторые из них после этих прерываний вновь не запускаются.

В результате проведенных исследований было установлено, что причиной возникновения данного эффекта является защита от понижения выходного напряжения (ЗПН).

При пропадании напряжения входной питающей сети (рисунок 1) через некоторое время, обусловленное емкостью входных и выходных конденсаторов, напряжение на выходе каждого канала блока питания начинает снижаться. При достижении выходным напряжением уровня срабатывания ЗПН происходит блокировка работы его преобразователя. Из рисунка 1 видно, что если напряжение питающей сети восстанавливается после момента

срабатывания ЗПН и выходное напряжение больше 1,5 V, то блок питания остается заблокирован.



- 1 – порог срабатывания защиты от понижения;
- 2 – выходное напряжение;
- 3 – напряжение вспомогательного выпрямителя.

Рисунок 1 – Эпюры входного и выходного напряжений

Экспериментальным путем было установлено, что в зависимости от значений токов нагрузок каналов от номинальных значений до холостого хода запуск блока может не произойти, если интервал времени, в течение которого отсутствовало входное напряжение, находится в пределах от 0,15 и до 2,1 с.

Для повторного надежного запуска необходимо, чтобы выходные напряжения каналов и вспомогательного сетевого выпрямителя, от которого запитаны исполнительные элементы защиты, должны быть близки к нулю в момент появления сетевого напряжения. При существующей схеме организации ЗПН каждого канала блока указанное выше условие выполнить весьма трудно. Поэтому принято решение существенно изменить схему ЗПН каждого канала, а именно:

при пропадании (возникновении) сетевого напряжения выходное напряжение вспомогательного сетевого выпрямителя должно исчезать (появляться) за единицы микросекунд;

при появлении сетевого напряжения работа ЗПН каналов должна блокироваться на время (1,5 – 2,0) с для того, чтобы оба канала блока могли беспрепятственно выйти на нормальный режим работы. Если на этом интервале времени в цепи нагрузки одного из каналов возникает перегрузка или короткое замыкание, то ШИМ – контроллер этого канала должен защитить

его выход путем ограничения его тока и резкого снижения выходного напряжения;

при срабатывании ЗПН одного из каналов блока синхронно должны обесточиться оба канала, что определено техническими условиями на блок БПТ-145.

Для реализации этих функций ЗПН в электрическую схему БПТ-145 были введены узлы, приведенные на рисунках 2-4.

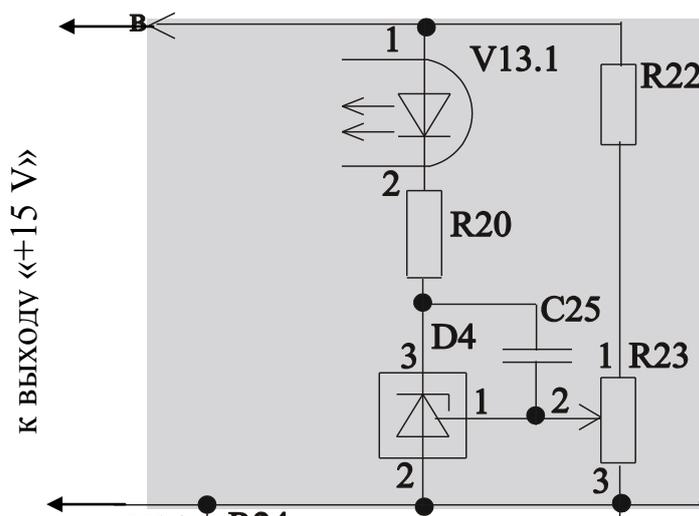


Рисунок 2 – Сравнивающий элемент канала +15 V

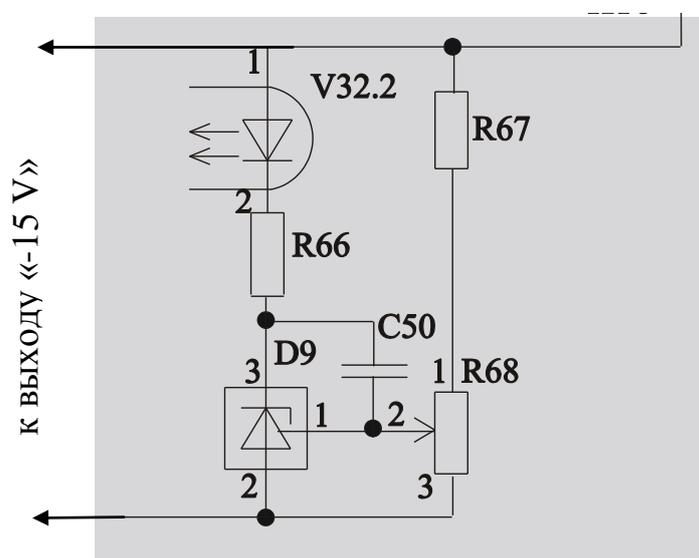
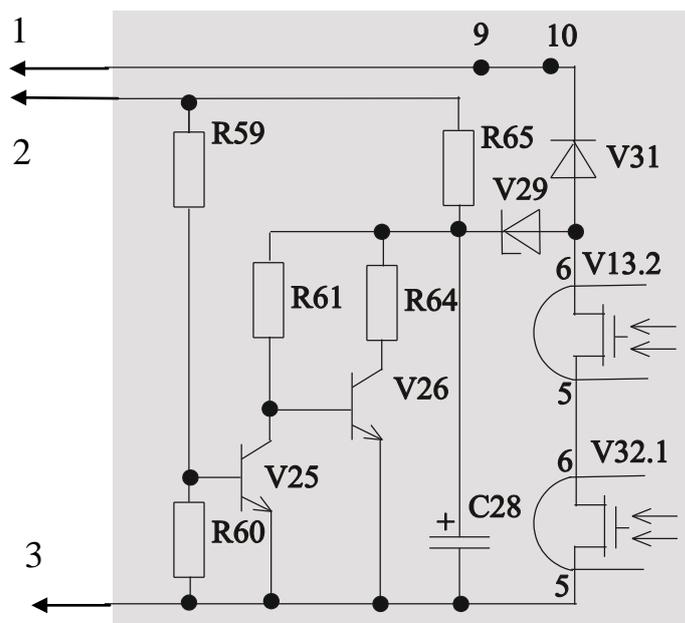


Рисунок 3 – Сравнивающий элемент канала -15 V



- 1 – к ШИМ-контроллерам каналов;
- 2 – к вспомогательному сетевому выпрямителю;
- 3 – общий

Рисунок 4 – Узел блокировки

Сравнивающий элемент каждого канала (рисунок 2 и 3) выполнен по одинаковой схеме на базе микросхемы D4 (D9), имеющей в своем составе источник опорного напряжения и работающей в режиме компаратора. При нормальной работе каналов напряжения на выходе этих микросхем больше опорных напряжений, поэтому они находятся во включенном состоянии, удерживая включенными оптопары V13 и V32.

Узел блокировки, представленный на рисунке 4, выполняет функции блокировки работы ЗПН на время (1,5 – 2,0) с после появления сетевого напряжения и исполнительного элемента защиты, т.е. при срабатывании ЗПН обестачивает оба канала блока.

Работу узла блокировки рассмотрим начиная с момента появления сетевого напряжения блока. В этом случае выпрямленное сетевое напряжение вспомогательного выпрямителя через токоограничительный резистор R59 (рисунок 4) включает транзистор V25, блокирующий включение транзистора V26, поэтому начинается заряд конденсатора C28 через резистор R65. Как только напряжение на конденсаторе C28 достигнет 24 В, что произойдет приблизительно через (1,5- 2,0) с после включения блока, отпирается стабилитрон V29 и его ток замыкается через включенные фототранзисторы оптопар V13 и V32, т.к. выходные напряжения блока за указанное время должны быть близкими к номинальным значениям. Суммарное напряжение на этих фототранзисторах не превышает 0,2 В, поэтому диод V31 заперт и не оказывает влияние на работу блока.

При пропадании сетевого напряжения через несколько миллисекунд запирается транзистор V25, вызывая отпирание транзистора V26 током через резистор R61. Происходит быстрый (примерно через 6 ms) разряд конденсатора C28 через резистор R64 и открытый транзистор V26, тем самым блокируется ЗПН, в результате каскад готов к повторному запуску блока.

Если же одно из напряжений блока, например «+15 V» (рисунок 2), становится ниже допустимого уровня, то напряжение на выходе делителя R22 – R23 - ниже опорного напряжения микросхемы D4, поэтому последняя запирается, вызывая выключение оптопары V13. На выходе узла блокировки размыкается цепь последовательно соединенных фототранзисторов оптопар V13 и V32 (рисунок 2), поэтому напряжение конденсатора C28 через стабилитрон V29 и диод V31, в конечном счете, поступает на ШИМ-контроллеры каналов, вызывая прекращение работы преобразователей обоих каналов, в результате чего напряжения выходов «+15 V» и «-15 V» снижается до нуля.

Эффективность введенных изменений в схеме БПт-145 была подтверждена типовыми испытаниями и модернизированный блок питания был запущен в серийное производство. Следует отметить, что внедренная ЗПН в блоках БПт-145 позволила обеспечить ему надежный запуск при появлении сетевого напряжения, независимо от длительности интервала времени его отсутствия.

**Б.К. ГАЛЬС, И.Г. ПЕРЦЕВ**

*ЗАО «Северодонецкое научно-производственное объединение „Импульс”»*

## **ИСТОЧНИК БЕСПЕРЕБОЙНОГО ПИТАНИЯ УБП-12 ДЛЯ РАБОЧИХ СТАНЦИЙ ПС 5120**

Рассматриваются принципы и способы построения устройств бесперебойного питания.

При создании систем электропитания для устройств, устанавливаемых на особо ответственных объектах, к которым относятся объекты атомной энергетики, особое внимание уделяется вопросам надежности их работы. Одним из способов повышения надежности работы систем электропитания является их резервирование путем применения устройств бесперебойного питания. Опыт нашего предприятия показывает, что найти на рынке устройство бесперебойного питания (УБП), полностью удовлетворяющее всем требованиям, предъявляемым к продукции для АЭС, довольно проблематично. Другим неудобством является полное отсутствие какой либо схемной и конструкторской документации на покупаемый УБП, что делает невозможным проведения его ремонтных работ без участия предприятия изготовителя, а это, в свою очередь, приводит к дополнительным финансовым и значительным временным потерям. Учитывая изложенные факты, было принято решение разработать собственный УБП.

Современные УБП разделяются на четыре основные типа:

- феррорезонансные УБП, - Ferrups;
- УБП резервного типа, – Passive Standby UPS;
- УБП линейно-интерактивного типа, – Line Interactive UPS;
- УБП с двойным преобразованием энергии, – Double-Conversion UPS.

На рисунке 1 представлена блок-схема феррорезонансного УБП.

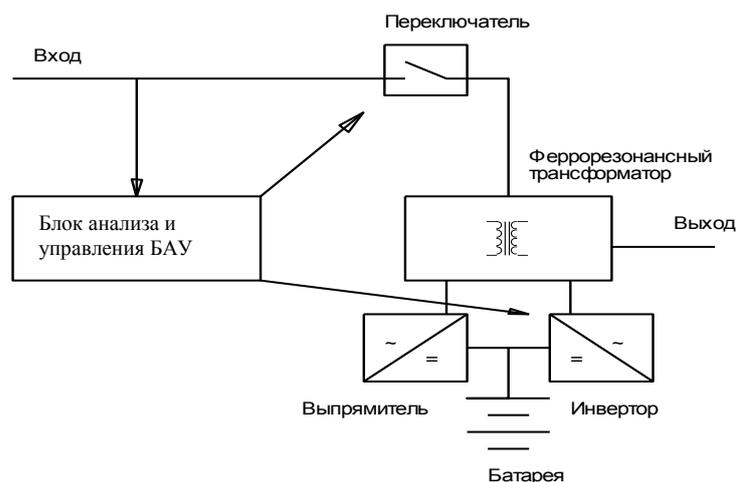


Рисунок 1 - Блок- схема феррорезонансного УБП

Феррорезонансный УБП имеет три режима работы:

- режим кондиционера питания;
- работа от сети;
- работа от батареи.

В режиме кондиционера сети УБП стабилизирует напряжение питающей сети, при этом фильтруя в ней электрические шумы и импульсные помехи. Инвертор УБП заблокирован. Строго говоря, в этом режиме работы УБП не является источником бесперебойного питания, поскольку в случае исчезновения напряжения в электрической сети он не сможет поддержать работу своей нагрузки. В этот режим работы УБП переводится вручную с помощью переключателя на панели управления.

В режиме работы от сети УБП работает так же, как и в режиме кондиционера питания, стабилизируя и фильтруя сетевое напряжение. Выпрямитель УБП автоматически подзаряжает его батарею. Инвертор и батарея УБП постоянно находятся в готовности к работе. Как только блок анализа и управления сети (БАУ) обнаружит сбой сети, который не может быть устранен с помощью феррорезонансного трансформатора, немедленно включается инвертор и УБП переходит в режим работы от батареи.

По команде БАУ, при возникновении сбоя в сети электропитания, включается инвертор УБП. Включение производится так, чтобы напряжение инвертора было в фазе с напряжением электрической сети. Электрическая сеть после этого отключается от входа феррорезонансного трансформатора, но остается под контролем БАУ.

В момент переключения на режим работы от батареи УБП продолжает снабжать электроэнергией нагрузку, используя магнитную энергию, накопленную в обладающем большой индуктивностью феррорезонансном трансформаторе. На протяжении времени выхода инвертора на режим выходное напряжение успевает уменьшиться всего на несколько процентов. В режиме работы от батареи УБП с помощью его инвертора продолжает подавать напряжение к нагрузке, расходуя заряд батареи. После исчерпания заряда,

когда напряжение на батарее становится менее минимально допустимого, УБП выключает инвертор и нагрузка обесточивается. Если напряжение в сети восстанавливается раньше исчерпания заряда батареи, УБП начинает подготовку к переключению на режим работы от сети. В это время БАУ следит за изменением разности фаз между выходом инвертора и сетью. В момент, когда разность фаз оказывается равной нулю, феррорезонансный трансформатор подключается к электрической сети, а инвертор прекращает работу.

Преимущества УБП феррорезонансного типа:

- гальваническая развязка между входом и выходом;
- очень хорошая защита от шумов и импульсных помех питающей сети;
- защита от искажений формы кривой напряжения питающей сети;
- хорошая стабилизация выходного напряжения;
- высокая надежность.

Недостатки УБП феррорезонансного типа:

- чувствительность к частоте. Выходное напряжение  $F_{\text{вых}} U_{\text{вых}}$  из-за резонансных свойств трансформатора зависит от частоты;
- ограничение выходного тока феррорезонансного трансформатора. Выходной ток трансформатора не может превышать номинальный более, чем на 50 %.

На рисунке 2 представлена блок-схема УБП резервного типа.

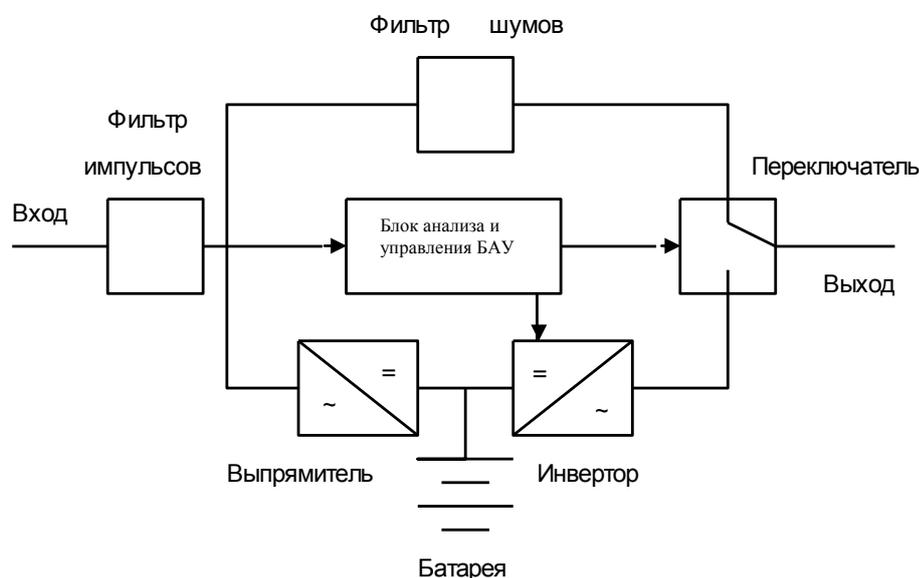


Рисунок 2 – Блок-схема УБП резервного типа

УБП резервного типа имеет два режима работы:

- работа от сети;
- работа от батареи.

В режиме работы от сети (нормальная работа) напряжение от входа УБП поступает через фильтр импульсов, шунтирующий наносекундные высоковольтные импульсы, фильтр шумов, ослабляющий присутствующие в

сети радиочастотные помехи в диапазоне (1-10) МГц, и переключатель на выход УБП, к нагрузке.

От фильтра импульсов часть мощности поступает к выпрямителю, который выполняет функцию зарядного устройства. Батарея в режиме работы от сети получает зарядный ток, если она разряжена, или поддерживается в заряженном состоянии под так называемым "плавающим" потенциалом. Инвертор УБП во время работы от сети находится в состоянии ожидания команды на включение. Его подключение к работе подготавливается непрерывным слежением за фазой сетевого напряжения. Когда БАУ сочтет сетевое напряжение "неправильным", УБП переключается на режим работы от батареи. Его инвертор начинает питать нагрузку переменным прямоугольным напряжением, разряжая батарею.

В режиме работы от батареи через переключатель к выходу УБП подключен выход инвертора, который запускается по команде БАУ. Запуск инвертора происходит таким образом, чтобы фаза напряжения инвертора и фаза напряжения исчезнувшей сети совпадали. Батарея поддерживает работу нагрузки в течение некоторого времени, которое зависит от мощности нагрузки, номинальной емкости батареи степени ее заряда. После исчерпания заряда батареи схема управления УБП, которая следит за зарядом батареи, подает команду на отключение нагрузки. Если через некоторое время напряжение в сети становится нормальным, УБП возвращается в режим работы от сети и начинает подзаряд своей батареи. Переключение на режим работы от сети происходит не сразу после восстановления напряжения, а с некоторой задержкой после достижения синфазности напряжения инвертора с напряжением сети.

Преимущества УБП резервного типа:

- низкая цена;
- высокий КПД;
- низкий уровень шума позволяет устанавливать такие УБП непосредственно рядом с запрашиваемым компьютером.

Недостатки УБП резервного типа:

– во время работы от сети обеспечивают защиту питаемых устройств только от слабых возмущений электрической сети. Эта особенность УБП резервного типа делает возможным их применение только в условиях "хорошей" электрической сети, в которой время от времени случаются отключения электропитания. Не следует использовать эти УБП при работе в условиях промышленного предприятия или в других случаях, когда в единую электрическую сеть включены компьютеры и мощное промышленное оборудование (станки, лифты, даже большие копировальные аппараты).

– из-за несинусоидальности выходного сигнала инвертора и наличия разрыва электропитания, при переключении УБП с режима работы от батареи на режим работы от сети всегда наблюдается не слишком гладкий переходный процесс. Вследствие этого не рекомендуется использовать эти УБП в ответственных случаях: для защиты файловых серверов, узловых коммуникационных компьютеров, компьютеров с очень дорогими данными,

дорогих периферийных устройств типа цветных сканеров большого формата и т.п.

На рисунке 3 показана блок-схема линейно-интерактивного типа.

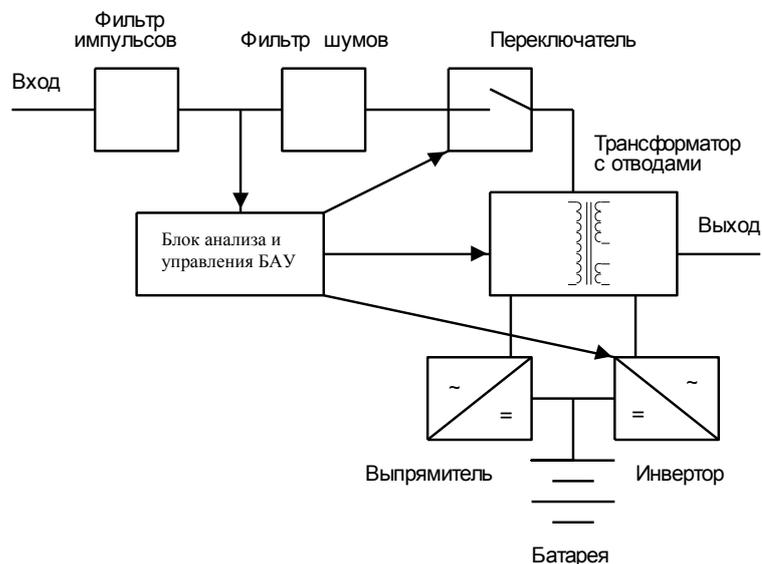


Рисунок 3 – Блок-схема УБП линейно-интерактивного типа.

УБП линейно-интерактивного типа имеет два режима работы:

- работа от сети;
- работа от батареи.

В режиме работы от электрической сети напряжение фильтруется от шумов и импульсных помех, поступая к нагрузке. Часть мощности расходуется на зарядку батареи или поддержание ее в заряженном состоянии. БАУ контролирует форму и амплитуду напряжения сети. В случае, если напряжение сети становится слишком низким или слишком высоким, БАУ пытается скорректировать величину напряжения, переключая отводы автотрансформатора. Напряжение на выходе УБП повышается или понижается, приближаясь к номинальному значению. Если напряжение становится настолько низким, что переключение отводов не позволяет достичь необходимой величины выходного напряжения, то УБП переключается на работу от батареи. Если на вход УБП поступает напряжение искаженной формы, БАУ также переключает его на режим работы от батареи.

Процесс переключения УБП с режима работа от сети на режим работы от батареи (и обратно) с использованием инвертора с синусоидальным выходным напряжением происходит значительно более гладко, чем у УБП резервного типа, прежде всего потому, что совпадают формы кривой напряжения на обоих режимах работы. Сам процесс переключения занимает менее четверти периода синусоиды. В зависимости от фазы напряжения в момент сбоя сети,

сопутствующие переключению переходные процессы могут продолжаться до 20 мс, т.е. на протяжении периода синусоиды.

Для линейно-интерактивного УБП с инвертором, имеющим выходное переменное прямоугольное напряжение с паузами, процесс перехода от одного режима к другому ничем не отличается от работы УБП с резервированием.

При переключении на режим работы от батареи инвертор УБП, подключенный к нагрузке, немедленно начинает вырабатывать переменное напряжение, синфазное напряжению сети. Сеть отключается от нагрузки переключателем, но остается под контролем БАУ. Инвертор поддерживает напряжение на нагрузке в течение некоторого времени, зависящего от степени заряда батареи. Если сетевое напряжение за это время не становится “нормальным”, то после разряда батареи УБП отключает нагрузку. Если во время работы от батареи, сетевое напряжение становится “нормальным”, УБП готовится к переключению на сеть, начиная синхронизацию переменного напряжения инвертора с сетевой синусоидой.

Недостатки УБП линейно-интерактивного типа такие же, как и у УБП с резервированием, т.е. обеспечивается только слабая защита от импульсов и шумов в питающей сети. Если в электрической сети возможно появление сильных шумов, импульсов, искажений формы или скачков напряжения, приходится использовать УБП других типов.

На рисунке 4 представлена блок-схема УБП с двойным преобразованием энергии.



Рисунок 4 – Блок-схема УБП с двойным преобразованием энергии

УБП с двойным преобразованием энергии имеет три режима работы:

- работа от сети;
- работа от батареи;
- работа в режиме байпас.

Если в сети есть "нормальное" напряжение, то вся мощность, потребляемая нагрузкой, проходит через выпрямитель УБП. Выпрямитель преобразует напряжение электрической сети в стабилизированное постоянное напряжение. Оно используется для заряда батареи и для питания инвертора. Инвертор преобразует постоянное напряжение в стабилизированное переменное синусоидальное напряжение, которым и питается нагрузка. Естественно, напряжение остается стабильным, если входное напряжение УБП не выходит за пределы диапазона допустимых значений напряжения.

Если напряжение сети становится меньше нижней границы диапазона входных напряжений, т.е. выпрямитель уже не может стабилизировать напряжение, то напряжение на выходе выпрямителя уменьшается и становится ниже напряжения заряженной батареи УБП. Никакого переключения не происходит. Просто инвертор начинает частично питаться от батареи, разряжая ее. При дальнейшем уменьшении сетевого напряжения или его исчезновении, инвертор начинает полностью питаться от батареи, т.е. УБП перешел на режим работы от батареи.

Работа УБП от батареи продолжается некоторое время, определяемое зарядом батареи и нагрузкой. Если напряжение на входе УБП снова поднимется до "нормального", выпрямитель опять начнет заряжать батарею и питать инвертор.

Для повышения надежности в УБП данного типа введена еще одна линия электроснабжения нагрузки - статический байпас. При выходе из строя инвертора или его перегрузке, срабатывает переключатель, размыкая линию "инвертор-нагрузка" и замыкая линию "байпас-нагрузка", в результате нагрузка запитывается непосредственно от сети.

К положительным свойствам УБП с двойным преобразованием следует отнести следующие:

- хорошая защита нагрузки от шумов, импульсных помех и от искажений формы сетевого напряжения;
- возможность работы в сетях с нестабильной частотой;
- стабилизация выходного напряжения с высокой точностью;
- возможность наращивания батареи;
- отсутствие переходных процессов при переключениях;
- возможность исключить влияние нелинейной нагрузки на форму входного тока;
- повышение надежности системы по обеспечению бесперебойного питания нагрузки за счет режима байпас.

Как и для других УБП, недостатки УБП с двойным преобразованием вытекают из особенностей его силовой схемы.

- более высокая цена по сравнению с другими типами УБП (кроме феррорезонансного);
- повышенное тепловыделение по сравнению с другими типами УБП (кроме феррорезонансного).

На основе проведенного анализа было принято решение разработать УБП с двойным преобразованием энергии.

В результате проделанной работы был разработан и изготовлен УБП-12, блок-схема которого приведена на рисунке 5.

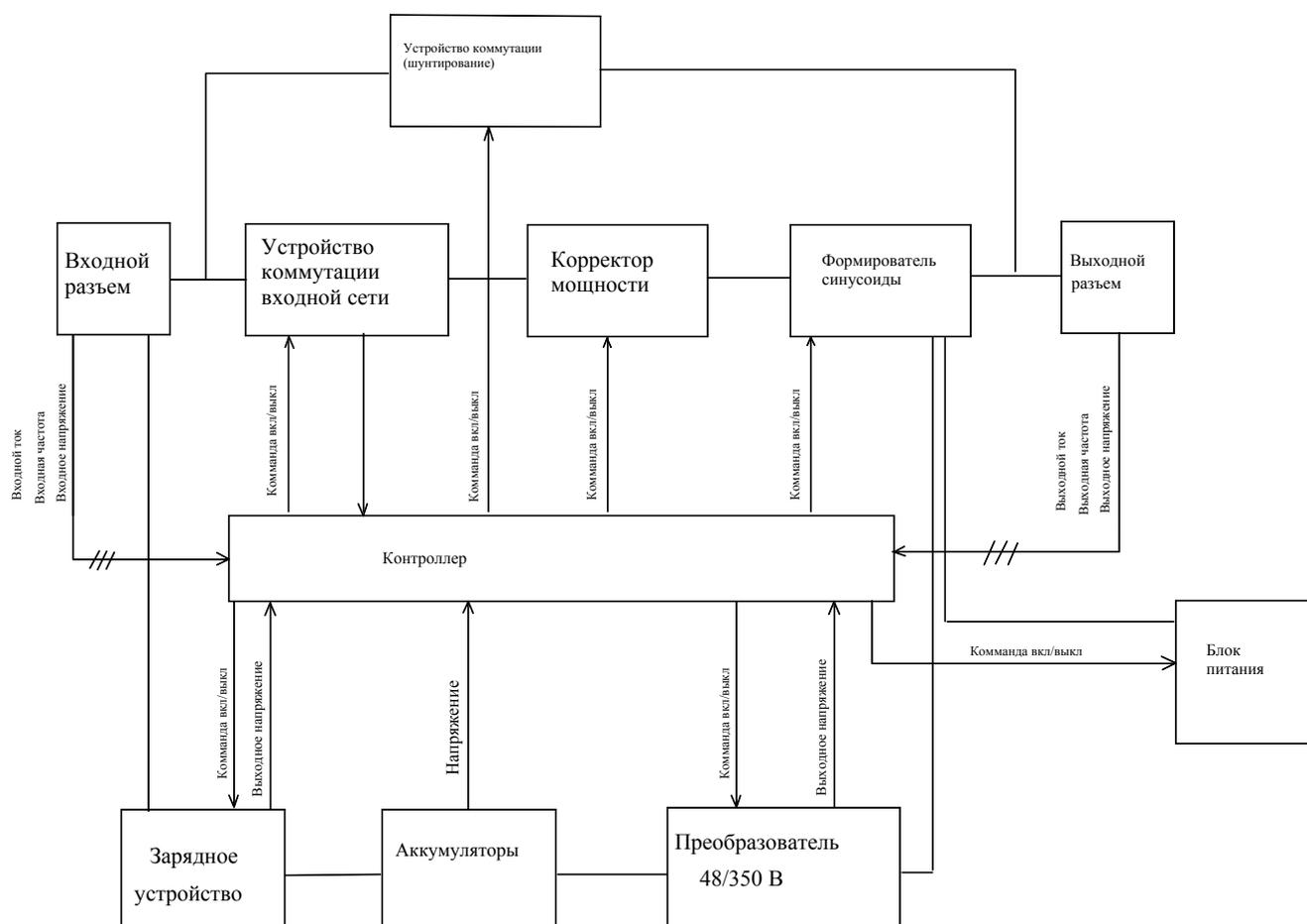


Рисунок 5 – Блок-схема УБП-12

УБП-12 является типичным представителем устройств бесперебойного питания с двойным преобразованием энергии со всеми преимуществами, присущими данному типу устройств:

- выходное напряжение  $(220 \pm 6)$  V;
- коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения не более 2 %;
- обеспечивает выходные параметры при работе от аккумуляторной батареи в течение 6 min при выходной мощности 1000 VA и 20 min при выходной мощности 500VA;
- выходы УБП-12 защищены от коротких замыканий со стороны нагрузки;
- электропитание  $\sim(220 \pm 44)$  V,  $(50 \pm 2)$  Hz;

- конструктивное исполнение-встраиваемое (3U/19”);
- имеет пять выходных розеток;
- интерфейсный порт-RS-232;
- световую и звуковую сигнализацию;
- средняя наработка на отказ не менее 150000 h;
- условия эксплуатации: температура от +5 до + 60 °С;
- масса не более 25 kg.

УБП-12 прошел все необходимые испытания на соответствие требованиям предъявляемым к продукции, поставляемой на АЭС, получил сертификат соответствия и поставлен на серийное производство.

### **Литература**

1. А.А. Лопухин. Источники бесперебойного питания без секретов. [www.ups-info.ru/way](http://www.ups-info.ru/way)
2. В. Климов, А. Портнов, В. Зуенко. Топология источников бесперебойного питания переменного тока (ИБП). «Электронные компоненты» № 7, 2003г.

**А.И. РЯЗАНЦЕВ, В.С. КАРДАШУК**

*Северодонецкий технологический институт Восточноукраинского национального университета им В.Даля*

## **ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ МНОГОКАНАЛЬНЫХ БЛОКОВ ВВОДА-ВЫВОДА ДЛЯ СИСТЕМ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА**

Современные контроллеры для управления технологическими процессами, в том числе и в системах экологического мониторинга, имеют в своем составе два последовательных порта. Однако, возникают задачи подключения газоанализаторов для экологического мониторинга с интерфейсом RS-232, где такого количества портов недостаточно. Решением данной проблемы является использование многоканальных блоков ввода-вывода, в основе которых лежит применение коммуникационных микросхем (UART). Разработанный на базе микросхемы TL16C554FN фирмы Texas Instruments 8-канальный блок ввода-вывода для применения в контроллерах с интерфейсом Multibus (И-41) позволяет подключить до восьми каналов приема/передачи данных по интерфейсу RS-232 со скоростью до 115200 бит/с.

Вопросам контроля за состоянием окружающей среды в настоящее время уделяется все большее внимание. Проблемы экологии актуальны для регионов, где сосредоточены значительные производственные мощности предприятий химической, нефтегазовой, металлургической промышленности. Среди факторов влияющих на состояние окружающей среды являются выбросы вредных веществ в атмосферу промышленными предприятиями. Это такие соединения как аммиак, углекислый газ, диоксид азота, окись азота, хлор, угарный газ и ряд других [1].

Развитие средств вычислительной, контрольно-измерительной техники позволило автоматизировать процессы измерения, контроля и передачи результатов измерений полученных от различного рода газоанализаторов на значительные расстояния. Существующие приборы контроля за наличием в атмосфере химических соединений настроены на измерение одного или двух параметров. Таким образом, возникают вопросы количества этих приборов при контроле значительного количества параметров внешней среды. Современные приборы, например газоанализаторы, позволяют подключать их к персональному компьютеру (ПК) или программируемому техническому комплексу (ПТК) по интерфейсам RS-232, RS-485 [2].

Рассмотрим проблемы подключения измерительных приборов по интерфейсу RS-232. В составе ПК или ПТК имеется в наличии всего два стандартных коммуникационных порта ввода-вывода – COM1 и COM2. Таким образом, подключение больше двух приборов к ПК или ПТК становится проблематичным. Решением данной проблемы является использование в таких системах многоканальных блоков ввода-вывода (МБВВ).

Лидерами в области МБВВ для ПК являются фирмы Cyclades, Моха, Digi. Среди характеристик влияющих на выбор МБВВ, предлагаемых сегодня производителями для ПК и ПТК, можно выделить основные, такие как количество подключаемых каналов - 4, 8, 16, тип используемой системной шины - ISA, PCI, скорость работы по порту, объем используемого буфера FIFO (16, 64 или 128 байт). Потребитель под свои задачи в зависимости от количества каналов подключаемого оборудования имеет возможность выбрать МБВВ. Область применения МБВВ в составе ПК - кассовые аппараты, устройства для считывания кредитных карточек, банковские терминалы и т.д. [3].

Если же речь идет о ПТК для промышленности, то здесь разнообразие интерфейсов больше. Поэтому разработчики разрабатывают такие модули в соответствии с интерфейсом ПТК.

Рассмотрим архитектурные особенности МБВВ.

Основу МБВВ составляют UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitters), например, фирмы Texas Instruments и ряда других фирм (рисунок 1).

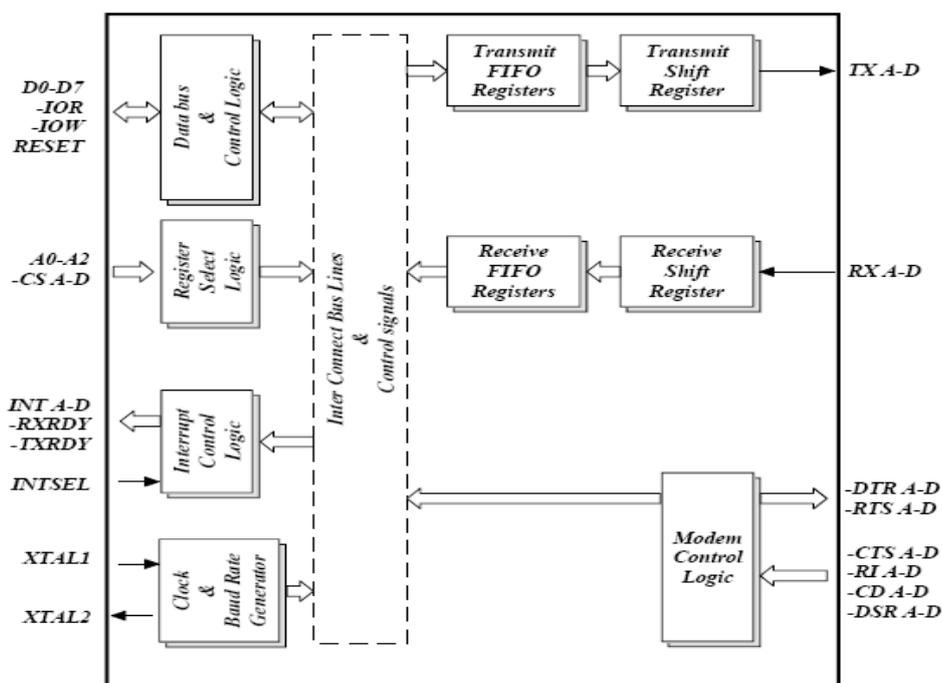


Рисунок 1 – Структура UART

UART обладают следующими характеристиками:

- 4 программно-независимых канала ввода-вывода;
- программно-управляемый размер буфера FIFO (1, 16, 64, 128 байт) с флагом ошибки по приему информации;
- отдельные буферы FIFO приемника и передатчика;
- независимый контроль приема/передачи по каждому из каналов;
- стандартный набор модемных сигналов;
- 4 уровня приоритета прерывания по приему информации;

– программно-устанавливаемая скорость передачи по каждому каналу.

С появлением UART, содержащих сразу 4 канала в одной микросхеме, появилась возможность разрабатывать МБВВ в зависимости от потребностей заказчиков, сократить габариты модулей и энергопотребление.

МБВВ, входящие в состав ПТК, могут выполнять как функции сбора данных получаемых от измерительных приборов - газоанализаторов, так и передавать их на верхний уровень для дальнейшей обработки и принятия решения (рисунок 2).

Существует несколько вариантов передачи информации на верхний уровень в системах экологического мониторинга [4].

Обычно вариант передачи выбирается в зависимости от удаления центрального узла (диспетчерской, службы мониторинга) от объекта контроля.

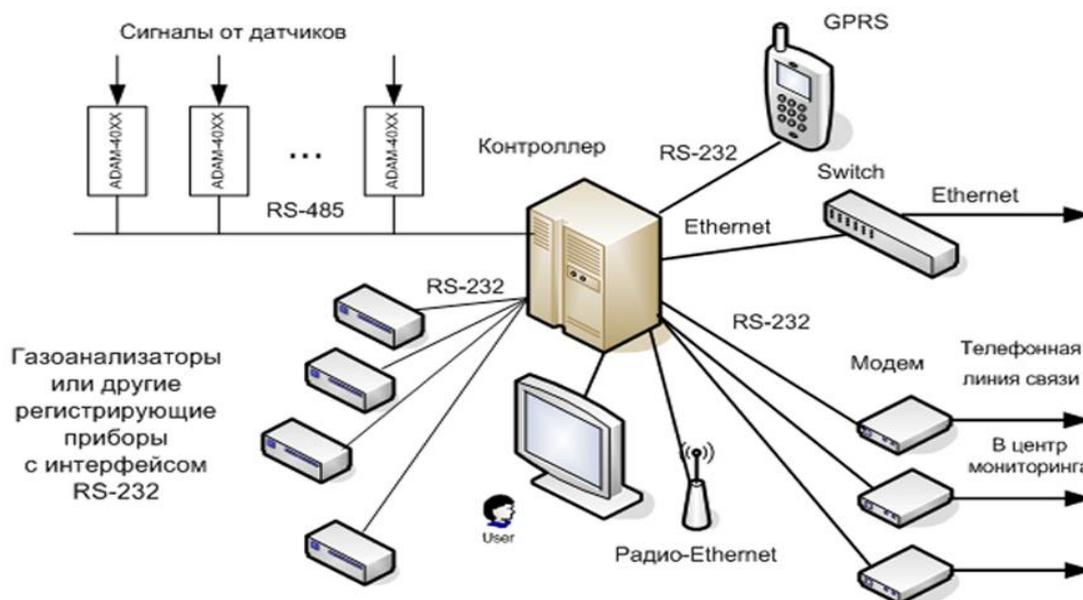


Рисунок 2 – Варианты передачи информации на верхний уровень в системах экологического мониторинга

В МБВВ реализованы две наиболее распространенные архитектуры асинхронных блоков - DigiBoard PC/8 и ARNET. Обращение к модулю производится командами ввода-вывода. Обмен информацией с МБВВ производится байтами. Базовый адрес порта ввода вывода выбирается с помощью перемычек. При программировании UART программируются 8 доступных регистров в каждом из каналов микросхемы. Программирование заключается в установлении необходимых параметров регистров, скорости передачи канала, размера буфера FIFO, уровня приоритета прерывания и т. д.

Основная задача UART прием - информации от центрального процессора в параллельном коде и ее передачу в линию связи в последовательном коде и наоборот. Здесь необходимо отметить, что важную роль при такой работе играет размер буфера FIFO. По приему каждого байта, при размере буфера равным единице, с линии связи по прерыванию процессор считывает каждый байт, что замедляет работу системы. Следует отметить, что в младших версиях

UART, таких как TL16C450...TL16C452, регистр управления FIFO отсутствовал, но программный адрес регистра разработчиками микросхем уже был зарезервирован для дальнейшего использования. С развитием технологии изготовления микросхем появилась возможность использовать всю мощь микросхемы. Таким приемом при разработке элементной базы пользуются довольно часто.

При инициализации регистра управления FIFO (регистр FCR) можно указать размер буфера FIFO (например, для TL16C554 - 1, 4, 8, 16 байт). По сбросу размер буфера устанавливается в 1.

Имеется возможность установить в этом же регистре управление прерываниями (режим DMA). В режиме FIFO можно считывать как по одному байту (режим DMA=0), так и по заполнению буфера (режим DMA=1).

С увеличением размера буфера FIFO увеличивается производительность системы. При работе с UART имеется возможность проверки тракта приема-передачи информации от процессора к модулю без вывода сигналов на внешний разъем МБВВ (режим диагностики). Устанавливается этот режим в регистре управления модемом (регистр MCR бит 4). Обычно он используется при начальной инициализации для диагностики модуля.

При проектировании МБВВ было выбрано количество каналов ввода-вывода, которые можно подключить к блоку, равное 8. Для реализации такой задачи потребовалось две микросхемы UART. Такое количество каналов ввода-вывода обусловлено, прежде всего, количеством модемных сигналов (9 сигналов в каждом из каналов) и физическими размерами соединителей на выходе МБВВ. При увеличении количества подключаемых устройств (больше 8) количество блоков можно наращивать, установив на модулях непересекающиеся адреса портов ввода-вывода, адреса регистров прерываний и уровни прерывания.

Обычно, при таком большом количестве подключаемых устройств непременно возникают вопросы с ограниченным количеством линий прерываний. В архитектуре МБВВ решение такой проблемы осуществляется с помощью введения в состав модулей регистра прерываний с адресом на интерфейсе.

Прерывания от каждого из 8-х каналов двух микросхем UART заведены на общий регистр прерываний МБВВ, который в соответствии с требованиями архитектуры устанавливается на  $10h$  меньше базового адреса порта ввода-вывода. В свою очередь, эти же прерывания объединяются в логическое "или" и выдается общее прерывание в процессор. Получив прерывание, процессор обращается к регистру прерываний МБВВ и считывает байт состояния. Установленная логическая "1" в бите соответствующего канала, сигнализирует о наличии информации для считывания в ЦП от соответствующего канала.

Генератор тактовых импульсов вырабатывает частоту 1, 8432 МГц, которая в зависимости от коэффициента деления при программировании UART устанавливает скорость передачи в каждом из каналов МБВВ. При такой задающей частоте достигается максимальная скорость передачи 115200 бит/с для RS-232. Здесь необходимо отметить, что диапазон скоростей микросхемы

TL16C554 не ограничивается скоростью 115200 бит/с. Здесь уже накладываются физические ограничения по скорости и дальности передачи для интерфейса RS-232. Возможности же микросхемы гораздо шире. Так, например, если при использовании TL16C554 в системах с интерфейсом RS-485 при подключении задающего генератора 7,3728 МГц можно достичь скорости приема-передачи по линии связи 460,8 Кбит/с, то при использовании задающего генератора 24 МГц эта скорость уже будет составлять 1,5 Мбит/с.

Необходимо отметить, что все вышеизложенные данные о скорости применимы только тогда, когда такие же параметры имеют и выходные элементы блока, т.к. именно они обеспечивают физические параметры линий связи, поскольку микросхема по своим электрическим параметрам не подключается напрямую к линиям связи.

Структурно МБВВ состоит из интерфейсной, коммуникационной и выходной части (рисунок 3).

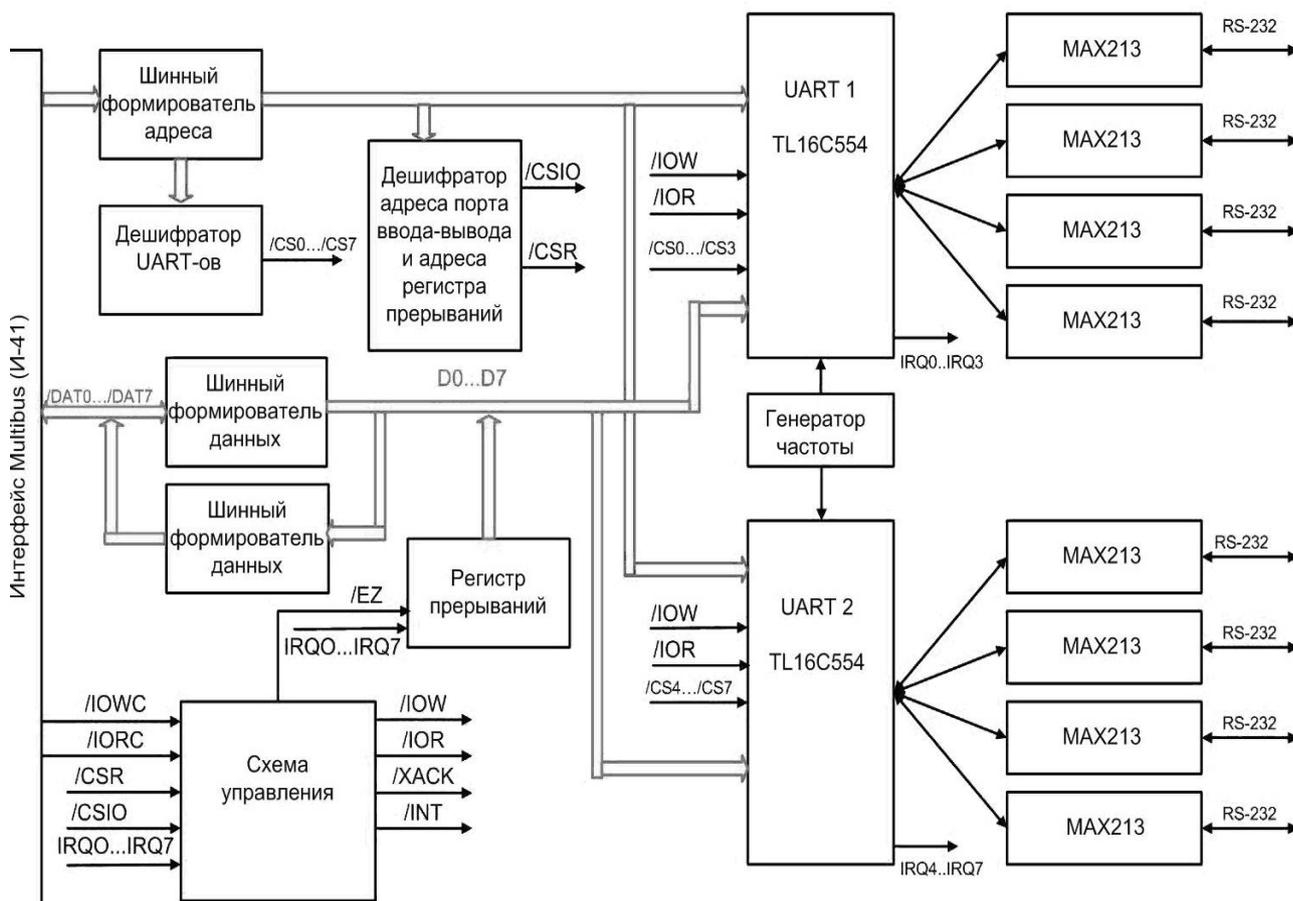


Рисунок 3 – Структура 8-канального блока ввода-вывода

Блок разработан для ПТК с интерфейсом И-41 (Multibus). Основные особенности интерфейса - все действующие сигналы на интерфейс (адрес, данные, команды, прерывания и т.д.) выдаются и принимаются низким уровнем напряжения – логическим "0". Сигнал подтверждения /ХАСК выдается приемником в случае сравнения адреса порта ввода-вывода и обращения командой к данному блоку. В случае отсутствия на интерфейсе приемника сигнала через 10 мкс операция завершается снятием команды и переходом к

выполнению следующей команды. Таким образом, решается проблема "зависания" команды.

Для улучшения помехоустойчивости модуля шинные формирователи на ввод и на вывод данных разделены. Это в свою очередь упрощает управление ими и не создает помехи при переключении направления передачи, но требует затрат в виде дополнительной микросхемы.

Последние достижения в области производства микросхем позволили применить в интерфейсной части программируемые логические матрицы (PLD - Program Logic Devices) фирмы Atmel, с помощью которых реализованы такие узлы блока как дешифратор (рисунок 4), схема управления работой блока, логика прерываний

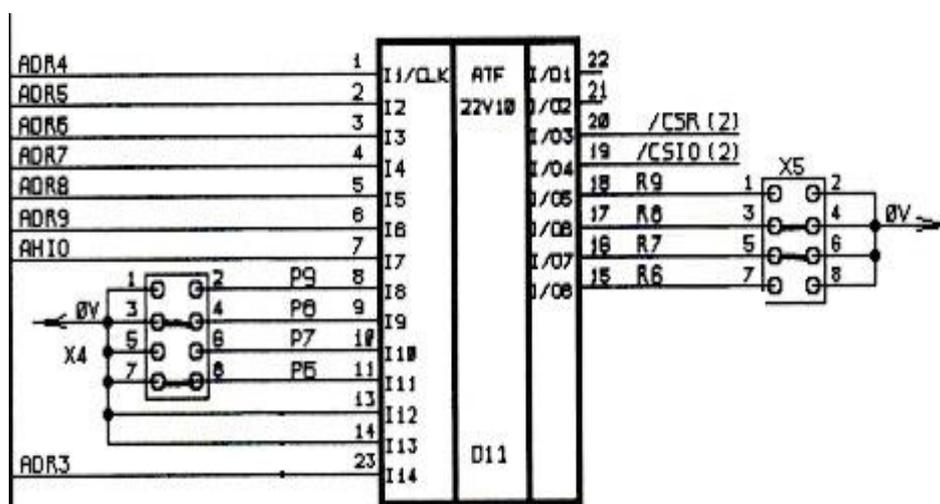


Рисунок 4 – Фрагмент использования PLD в качестве дешифратора адреса базового порта ввода-вывода и адреса регистра прерываний

Функционально операция сравнения производится сложением входных сигналов адреса с уровнем сигнала, установленным на соответствующих переключках, с помощью операции мажоритарное "или". Применение PLD позволило полностью отказаться от использования в МБВВ микросхем выполняющие логические операции, возложив все логические функции на PLD.

PLD, отвечающая за логику работы блока, вырабатывает сигналы обращения к UART, сигнал подтверждения обращения к блоку, управляет направлением передачи данных шинных формирователей в зависимости от команды, полученной с интерфейса, отвечает за логику работы с прерываниями (рисунок 5). Время срабатывания PLD составляет от 6 до 10 нс, причем время выдачи сигнала не зависит от длины уравнения. Таким образом, ликвидируется многоступенчатость логических схем, увеличивается помехоустойчивость, исключаются так называемые "гонки", "всплески" на фронтах импульсов, ложные выходные сигналы. Следует отметить и такие режимы работы PLD как работа с пониженным энергопотреблением и наличие бита секретности, что делает информацию в PLD недоступной для считывания и ряд других свойств.

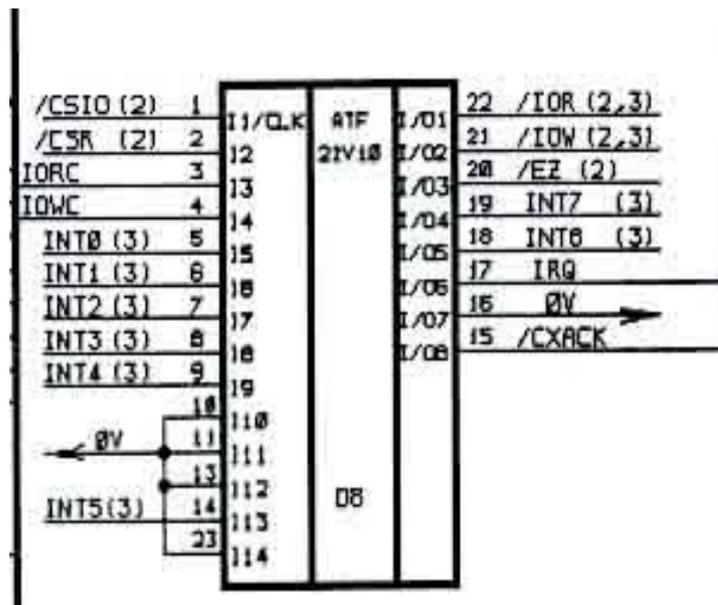


Рисунок 5 – Фрагмент использования PLD в качестве схемы управления

При составлении уравнений для PLD разработчику не требуется приводить уровень входного сигнала к необходимому значению в уравнении - логический "0" или "1" - достаточно в самом уравнении указать необходимый уровень для выработка необходимого значения. Одна переменная уравнения может содержать до 7 значений по 7 входных переменных. Если такого количества недостаточно, сигнал с выходного контакта по внутренним цепям PLD опять поступает в матрицу и служит общей переменной для следующего уравнения. При таком подходе наращиваются возможности при составлении сложных уравнений содержащих более 7 значений в уравнении

PLD значительно сокращает время при проектировании МБВВ, упрощает разводку печатной платы со всеми вытекающими преимуществами. Такой подход применим при проектировании МБВВ и для других интерфейсов.

Программирование PLD заключается в составлении уравнений, моделирования (если необходимо), получении файла прожига и прожиг микросхемы ATF22V10B. Программирование уравнений осуществляется в среде САПР PLDShell Plus фирмы Intel в соответствии с требования языка ассемблера PLDasm.

На языке PLDasm логические схемы представляют в виде стандартных ASCII-файлов. В этих файлах содержатся только печатаемые коды ASCII. Любой файл PLDasm должен иметь секцию объявления (Declaration section) и, по крайней мере, одну из следующих секций: секцию уравнений (Equation), автомата (State Machine) или таблицы истинности (Truth Table), причем последние две могут встречаться неоднократно. Кроме того, в файле PLDasm может присутствовать секция моделирования. САПР PLDShell Plus, обладает всеми функциями, необходимыми для разработки, тестирования и отладки логических схем.

"Погружение" уравнений в PLD может осуществлять, например, с помощью программы FlexPro и программатора. Среди недостатков пакета PLDShell следует отметить отсутствие режима графического программирования логической схемы из заранее созданных компонент, что сильно ухудшает дружелюбность интерфейса пользователю на этапе разработки и отладки PLD. Данный САПР предоставляет возможность просмотра результатов работы запрограммированной схемы в виде временных диаграмм или таблицы истинности, возможность управления из другого объекта. Для работы с PLD фирмы Atmel можно использовать и более мощный инструмент САПР такой как MAX+PLUS фирмы Altera.

Для составления уравнений может быть использован любой текстовый редактор. Текстовому файлу присваивается расширение \*.pds, который служит исходным объектом для работы в PLDShell или MAX+PLUS. При моделировании уравнений можно получить файл временной диаграммы работы - \*.hst и, как конечный результат, файл прожига - \*.jed.

МБВВ полностью отвечает требованиям интерфейса RS-232 по функциональным возможностям, а именно:

- поддерживает полудуплексный и полнодуплексный режим работы;
- содержит полный набор модемных сигналов;
- стандартную скорость передачи 115200 бит/с и ряд других функций.

В настоящее время на рынке выходных микросхем для интерфейсов RS-232, RS-485 наблюдается значительный прогресс. Широкая номенклатура микросхем фирмы Maxim позволяет удовлетворить требования разработчиков модулей интерфейса RS-232 и RS-485. Например, в микросхеме MAX213 реализован полный набор модемных сигналов RS-232, а для микросхем интерфейса RS-485 предусмотрена гальваническая развязка входной и выходной части. Питание микросхемы сведено к одному источнику питания +5В. Среди достоинств микросхем данной фирмы следует отметить и расширенный диапазон температур -40 - +70 °С.

Особенность выходной части данного МБВВ состоит в том, что в данном модуле применены современные приемники/передатчики интерфейса RS-232. Ранее для того, чтобы организовать необходимую физику передачи приходилось использовать несколько микросхем.

Следует отметить, что современные МБВВ являются комбинированными устройствами, т.е. на борту таких модулей присутствуют микросхемы, отвечающие за передачу по интерфейсам RS-232, RS-422 и RS-485. Заказчик переключателями коммутирует необходимый ему интерфейс.

Благодаря полной аппаратной совместимости МБВВ программно поддерживается всеми распространенными операционными системами (Windows, QNX, Linux).

МБВВ поддерживает такие распространенные протоколы передачи данных как V90, K56 Flex, V34, V34 bis, V32, V32 bis, V21, V22, V23 и ряд других.

## Литература

1. П.С. Якимчук, В.А. Пономаренко. Автоматизированная система экологического контроля производственных помещений //Экологические системы и приборы, №3, 2001, с. 3-7.
2. Б.А. Болдури́н, А.А. Михайлов. Газоаналитическая система СКВА-01 для контроля газовоздушной среды во взрывоопасных зонах класса 1 //Промышленные АСУ и контроллеры, №4, 2004, с. 47-49.
3. В. Вакула. Многопортовые платы. Расширяя возможности //СНIP , №8, 2000, с 82-83.
4. С.И. Колтыгин, А.А. Петрулевич. Автоматизированные системы экологического контроля: интегрированный подход //Современные технологии автоматизации, №1, 1997, с. 28-32.

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ НАСТРОЙКИ ПИ-РЕГУЛЯТОРА ПО КРИТЕРИЮ ЗАДАННОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ЗАТУХАНИЯ

В статье рассматривается методика определения оптимальных параметров настройки ПИ-регулятора по критерию заданной интенсивности затухания. Методика основана на уравнениях, полученных Вышнеградским для системы 3-го порядка и предполагает численное решение системы нелинейных алгебраических уравнений с помощью математического пакета программ MATHCAD. Приводится пример решения.

Известно [1,2], что интенсивность затухания является одним из показателей качества переходного процесса в системе, т.е. реакции системы на единичное ступенчатое воздействие  $1(t)$ . Традиционно под интенсивностью затухания понимается отношение разности двух соседних амплитуд одной полярности колебательного переходного процесса, отнесенная к большей из них (рисунок 1) и определяемая по выражению (1).

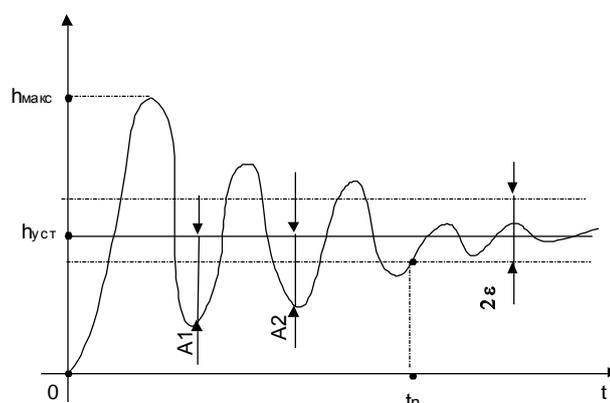


Рисунок 1 – Кривая колебательного переходного процесса

$$\mu = \frac{A1 - A2}{A1} \quad (1)$$

Оптимальными значениями  $\mu$  считаются значения от 0,7 до 0,9. Чем больше  $\mu \rightarrow 1$ , тем быстрее затухает переходный процесс. Однако, трудность синтеза систем автоматического управления (САУ), в частности – параметрическая оптимизация настройки регулятора, на заданную интенсивность затухания заключается в трудности установления аналитической взаимосвязи между  $\mu$  и параметрами настройки регулятора и объекта управления.

Одним из возможных путей решения сформулированной задачи является использование корневых методов анализа и синтеза САУ. [1,3]. В основу этих

методов положена взаимосвязь между корнями характеристического уравнения и интенсивностью затухания. Известно [1,2], что корни характеристического уравнения расположенные ближе всего к оси мнимых, определяют интенсивность затухания переходного процесса в системе в целом. Так, если ближайшим к оси мнимых является пара комплексно-сопряженных корней  $P_1, P_2$  (2):

$$P_{1,2} = \alpha_1 \pm j\omega_1,$$

(2)

где  $\alpha_1$  – вещественная часть,  $\omega_1$  – мнимая часть,  $j$  – мнимая единица; то взаимосвязь между ожидаемой интенсивностью затухания и параметрами корней (2) дается выражением (3) [ 1,2,3 ]:

$$\mu = 1 - e^{-\frac{2\pi}{m}}, \quad (3)$$

где  $m = \left| \frac{\omega_1}{\alpha_1} \right|$  - степень колебательности.

Известно [1,2 ], что для САУ с характеристическим уравнением третьего порядка вида (4)

$$a_3 p^3 + a_2 p^2 + a_1 p + a_0 = 0 \quad (4)$$

где  $p$  – комплексная переменная,  $a_3, a_2, a_2, a_0$  – коэффициенты характеристического уравнения, задача поиска оптимальных параметров настройки регулятора при известных параметрах объекта управления может быть решена графо-аналитическим путем с помощью диаграмм Вышнеградского. Одна из разновидностей диаграмм Вышнеградского представляет собой семейство кривых, соответствующих различным интенсивностям затухания, построенных в координатах А и В параметров нормированного уравнения Вышнеградского вида (5)

$$q^3 + Aq^2 + Bq + 1 = 0 \quad (5)$$

Для перехода от уравнения вида (4) к уравнению (5) необходимо все слагаемые этого уравнения вначале поделить на коэффициент  $a_0$ , а затем сделать замену переменных, положив

$$p = \frac{q}{\sqrt[3]{\frac{a_3}{a_0}}} \quad (6)$$

И тогда параметры Вышнеградского выразятся через коэффициенты уравнения (4) следующим образом:

$$A = \frac{a_2}{\sqrt[3]{a_0 \cdot a_3^2}} \quad (7)$$

$$B = \frac{a_1}{\sqrt[3]{a_0^2 \cdot a_3}} \quad (8)$$

Диаграмма Вышнеградского с линиями интенсивности затухания имеет вид, представленный в [ 1 на рис.8.18, 3 на рис. 353].

Линии равной интенсивности затухания нанесены на эту диаграмму в соответствии с уравнением (9) [ 2 ]:

$$4x^2 * (A^3 + B^2) - x^3 * A^2 * B^2 + (2x^3 - 4x^2 - 16x)A * B - x^3 + 12x^2 - 48x + 64 = 0 \quad (9)$$

где  $x = 1 + m^2$ ,  $m = \frac{2\pi}{\ln\left(\frac{1}{1-\mu}\right)}$ .

Очевидно, что если можно найти взаимосвязь между параметрами А и В, выраженную через параметры регулятора и объекта управления, а затем нанести эту зависимость на диаграмму Вышнеградского, то на пересечении этой линии с линией равной интенсивности затухания и будут находиться оптимальные значения параметров Вышнеградского Аопт и Вопт, соответствующие заданной интенсивности затухания.

Найдем взаимосвязь между параметрами А и В, задавшись конкретной моделью замкнутой САУ (рисунок 2):

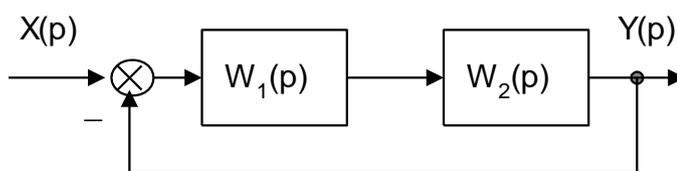


Рисунок 2 – Структурная схема САУ

где  $W_1(p) = \left( K_1 + \frac{1}{T_1 p} \right)$  - передаточная функция ПИ-регулятора с параметрами настройки пропорциональной части  $K_1$ , и интегральной части  $T_1$ ;

$W_2(p) = \frac{K_2}{(T_2 p + 1)(T_3 p + 1)}$  - передаточная функция объекта управления второго порядка со статическим коэффициентом передачи  $K_2$  и постоянными времени  $T_2$  и  $T_3$ .

И тогда передаточная функция замкнутой системы по рис. 2 будет равна

$$W_3(p) = \frac{W_1(p) * W_2(p)}{1 + W_1(p) * W_2(p)} = \frac{K_1 T_1 p + 1}{T_1 * a * p^3 + T_1 * b * p^2 + T_1 * \frac{1 + K_1 K_2}{K_2} p + 1}$$

(10)

где  $a = \frac{T_2 * T_3}{K_2}$ ,  $b = \frac{T_2 + T_3}{K_2}$ .

Из (10) следует, что характеристическое уравнение замкнутой системы будет следующим:

$$T_1 a p^3 + T_1 b p^2 + T_1 * \frac{1 + K_1 K_2}{K_2} p + 1 = 0 \quad (11)$$

Вводя новую переменную  $q$  путем замены переменной  $p$  в соответствии с (6), т.е. положив  $p = \frac{q}{\sqrt[3]{T_1 * a}}$ , получим нормированное характеристическое уравнение вида (5) с коэффициентами  $A$  и  $B$ :

$$A = \frac{T_1 * b}{(\sqrt[3]{T_1 a})^2} \quad (12)$$

$$B = \frac{T_1 (1 + K_1 K_2)}{K^2 * \sqrt[3]{T_1 * a}} \quad (13)$$

Решив уравнение (12) относительно  $T_1$ , получим:

$$T_1 = \frac{A^3 * a^2}{b^3} \quad (14)$$

Подставив (14) в уравнение (13) получим искомую взаимосвязь между коэффициентами  $A$  и  $B$ , выраженную через параметры системы:

$$B = \frac{a(1 + K_1 K_2)}{b^2 K_2} A^2 = \frac{T_2 * T_3 (1 + K_2 K_3)}{(T_2 + T_3)^2} A^2 \quad (15)$$

Если известны параметры объекта управления  $(K_2, T_2, T_3)$ , то задаваясь различными значениями коэффициента  $K_1$  можно построить семейство кривых  $B = f(A)$ . Задавшись требуемым значением интенсивности затухания  $\mu$  можно найти точку пересечения линии равной интенсивности затухания с кривой  $B = f(A)$  и найти оптимальные значения коэффициентов  $A_{opt}$  и  $B_{opt}$ . Через найденное значение  $A_{opt}$  можно найти постоянную времени  $T_{1opt}$  интегральной части регулятора по выражению (14).

Однако, изложенный путь решения трудоемок, а точность решения будет зависеть от точности графических построений. На сегодняшний день изложенная задача может быть решена численными методами с помощью специализированных программ для решения математических задач. Например, с помощью пакета MATHCAD-2000 (или ему подобного). Для этого нужно

решить совместно систему нелинейных уравнений (9) и (15) с помощью встроенной функции Minner программы MATHCAD-2000 с учетом того, что решение ищется в области, где соблюдается обеспечение устойчивости системы, т.е.  $A \cdot B > 1$ .

Зададимся конкретными параметрами объекта управления:  $K_2 = 10, T_2 = 2c, T_3 = 0.2c$ . Тогда программа нахождения  $A_{opt}, B_{opt}, K_{1opt}$  и результаты ее решения для  $\mu = 0.7$  будут выглядеть следующим образом.

$$\mu := 0.7 \quad m := \frac{(2 \cdot \pi)}{\ln\left(\frac{1}{1 - \mu}\right)} \quad x := 1 + m^2$$

$$A := 2 \quad B := 2 \quad K_1 := 1$$

Given

$$4x^2 \cdot (A^3 + B^2) - x^3 \cdot A^2 \cdot B^2 + (2x^3 - 4x^2 - 16x) \cdot A \cdot B - x^3 + 12x^2 - 48x + 64 = 0$$

$$B - \frac{A^2 \cdot 0.4(1 + 10 \cdot K_1)}{4.84} = 0 \quad A \cdot B > 1$$

$$P := \text{Minerr}(A, B, K_1)$$

$$P_0 = 1.257 \quad P_1 = 1.437 \quad P_2 = 1$$

Где  $A_{opt} = P_0 = 1.257, B_{opt} = P_1 = 1.437, K_{1opt} = P_2 = 1$ .

А оптимальное значение параметра  $T_1$  в соответствии с (14) составит  $T_{1opt} = 0.298c$ . Подставив найденные и заданные параметры в (10) получим выражение для передаточной функции замкнутой системы:

$$W_3(p) = \frac{0.298p + 1}{0.01192p^3 + 0.06556p^2 + 0.3278p + 1} \quad (16)$$

Воспользовавшись обратным преобразованием Лапласа программы MATHCAD-2000 несложно построить кривую переходного процесса  $h(t)$  (рисунок 3).

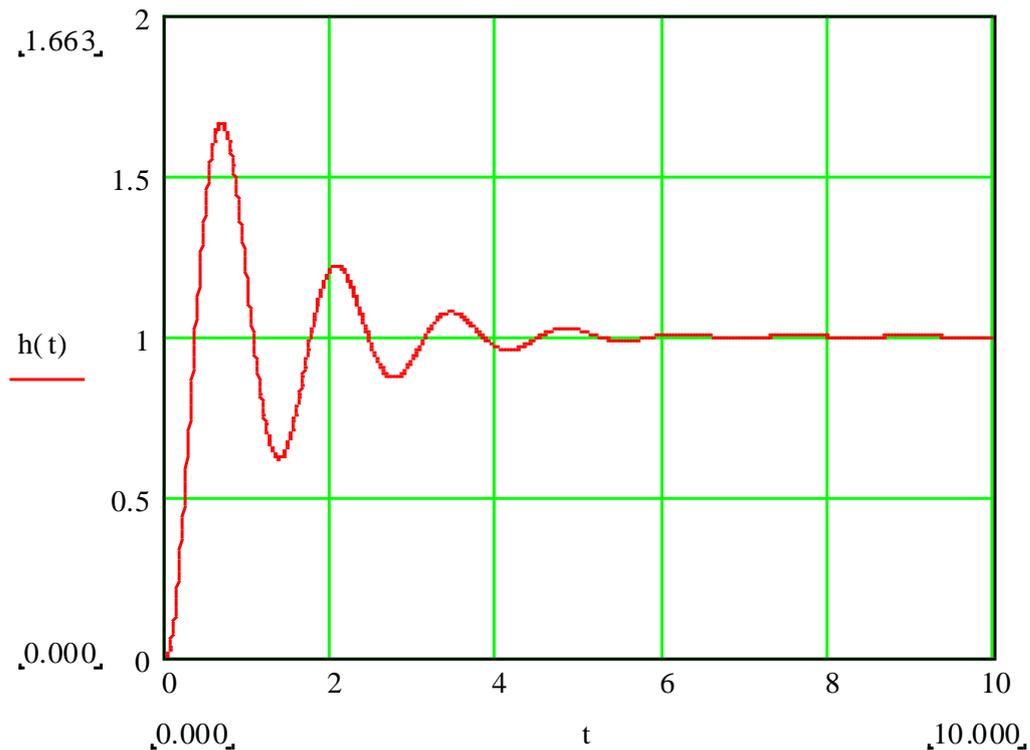


Рисунок 3 - Переходная характеристика

Обработка  $h(t)$  показывает что в системе достигнута заданная интенсивность затухания  $\mu = 0.7$ .

#### Литература

- 1.Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования - М.:Наука,1972.
- 2.Попов Е.П. Теория линейных систем автоматического регулирования и управления: Учебн. пособие для втузов.-2-е изд., перераб. и доп.-М.:Наука,1989.
- 3.Сборник задач по теории автоматического регулирования и управления:/Под ред.В.А.Бесекерского.-М.:Наука,1978.

### **3 ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**

УДК 389:681.518.5

**В.И. МАКАРОВА, Д.А. МИЩЕНКО, П.И. САНЧЕНКО, Ю.А. ЧВИРОВ,  
В.Н. КОРОТЧЕНКО**

*ЗАО «Северодонецкое научно-производственное объединение “Импульс”»*

#### **МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ МСКУ 2 И МСКУ 3**

Рассмотрена структура погрешности измерительных каналов (ИК) МСКУ 2 и МСКУ 3, трудоемкость калибровки ИК, учет погрешности нормирующих резисторов в оценках погрешности каналов измерения сигналов тока, применяемые рабочие эталоны, программное обеспечение и тесты программ оценивания и контроля погрешности. Рассмотрены ближайшие задачи в области внедрения рекомендаций МБМВ относительно учета неопределенности измерений.

#### **Введение**

Управляющие вычислительные комплексы МСКУ 2 и МСКУ 3 (далее – МСКУ), разработанные и выпускаемые промышленностью как средства измерения для систем управления технологическими процессами, обеспечивают прием и формирование непрерывных электрических сигналов не только наиболее распространенных в промышленности, но и специальных датчиков. Области наиболее широкого применения МСКУ обусловили также необходимость разработки измерительных каналов для приема сигналов тока низкого уровня в пределах от 0 до 5 мкА и от минус 0.5 до 0.5 мкА.

Метрологическое обеспечение измерительных каналов МСКУ, выполнение требований [1], занимает в работах ЗАО "СНПО "Импульс"" одно из центральных мест как на этапах разработки измерительных комплексов, так и в процессе выпуска комплексов из производства, во время эксплуатации и др.

Высокие нормируемые точностные показатели измерительных каналов (по каналам приема сигналов напряжения среднего уровня – до 0.025 %, сигналов тока низкого уровня – до 0.05 %, сопротивления – до 0.05 %), большое количество измерительных каналов и многообразие их типов предъявляют к методам выполнения измерений, выбору рабочих эталонов и методов обработки данных требования обеспечения оценкам погрешности высокого доверия и высокой производительности работ при поверке и калибровке МСКУ. Главное из требований к порядку выполнения измерений, обеспечивающих получение достоверных оценок случайных составляющих погрешности, равно как и доказывающих отсутствие случайных составляющих или их несущественность, состоит в том, что после подачи на вход

измерительного канала сигнала рабочего эталона с выхода канала допускается только однократное считывание выходного сигнала [2, 3]. Процедура может повторяться заданное  $n$  число раз, которое определяется заданной доверительной вероятностью  $P_d$ .

Экспериментальный анализ погрешности одного измерительного канала или группы из 8 – 16 каналов одного преобразователя с целью установления, например, ее структуры (соотношения систематической  $\tilde{\Delta}_s$  и случайной  $\tilde{\sigma}[\Delta_s]$  составляющих погрешности) или анализ существенности составляющих погрешности только в одной исследуемой точке  $X_i$  требуют до 5 мин машинного времени для каналов с самым малым времени реакции  $t_r$ . Главным препятствием на пути уменьшения времени эксперимента является не столько время реакции измерительного канала, сколько время установления на входе в измерительный канал калиброванного сигнала с нормируемой погрешностью. Соотношение времени реакции каналов приема сигналов напряжения постоянного тока и применяемого в МСКУ 2 рабочего эталона П-320 составляет величину, не меньшую 1:17.

В связи со сказанным, при разработке метрологического обеспечения МСКУ рассмотрен ряд направлений улучшения соотношения «время реакции измерительного канала : время реакции рабочего эталона» и повышения на этой основе производительности работ по поверке и калибровке ИК, в том числе:

- дифференцированный подход к видам проверок и сокращение на этой основе, по возможности, числа необходимых измерений  $n$ ;
- применение рабочих эталонов с автоматическим отслеживанием времени установления входного в измерительный канал сигнала и сокращение тем самым времени реакции рабочего эталона на установление входного сигнала;
- переход от поверки каналов приема сигналов постоянного тока к отдельной, покомпонентной поверке оборудования измерительных каналов, основная часть которого может быть проверена тестовыми сигналами напряжения.
- применение вспомогательного оборудования (жгутов, рабочих эталонов и др.), обеспечивающих одновременную проверку нескольких, по возможности, всех измерительных каналов одного типа или блоков в случае их наличия в составе измерительного комплекса.

Ниже рассмотрены достоинства и недостатки каждого из упомянутых выше методов, реализованных при разработке метрологического обеспечения МСКУ способствующие в большей или меньшей степени повышению производительности работ при поверке (калибровке) комплексов.

Дифференцирование работ при контроле метрологических свойств измерительных каналов

Спектр работ по надзору за состоянием метрологических свойств измерительных каналов изменяется от экспериментальных исследований каналов с целью метрологической аттестации средства измерений до контроля

метрологических характеристик измерительных каналов в процессе эксплуатации.

Аттестация средства измерений требует [4], в частности, всестороннего исследования МХ ИК с целью установления их соответствия требованиям ТЗ, ТУ или стандартам. Экспериментальные исследования структуры погрешности определяют полноту и правильность нормирования в ЭД метрологических характеристик ИК и, как следствие, объем работ, выполняемых эксплуатирующими организациями в процессе жизни СИТ. Исследования значимости случайных составляющих погрешности для аттестации СИТ являются необходимым и одновременно с этим, трудоемким этапом работ. Результаты исследования существенности случайных составляющих погрешности (среднего квадратического отклонения  $\sigma[\Delta]$ , вариации  $\tilde{N}_0$ ) определяют методику, а следовательно, и трудоемкость поверки и калибровки СИТ в процессе эксплуатации. При отсутствии СКО рекомендация [4] предоставляет, например, возможность выполнять для контроля состояния ИК однократные измерения в исследуемых точках вместо 40 при его существенном значении.

Существенность случайных составляющих погрешности определяется соотношениями оценок характеристик  $\tilde{\sigma}[\Delta]$ ,  $\tilde{N}_0$  и цены единицы младшего значащего разряда (МЗР) аналого-цифрового измерительного преобразователя  $q$ . Составляющие случайной погрешности принято считать несущественными, если для цифрового СИТ выполнены соотношения  $\tilde{\sigma}[\Delta] \leq q$  и  $\tilde{N}_0 \leq q$ .

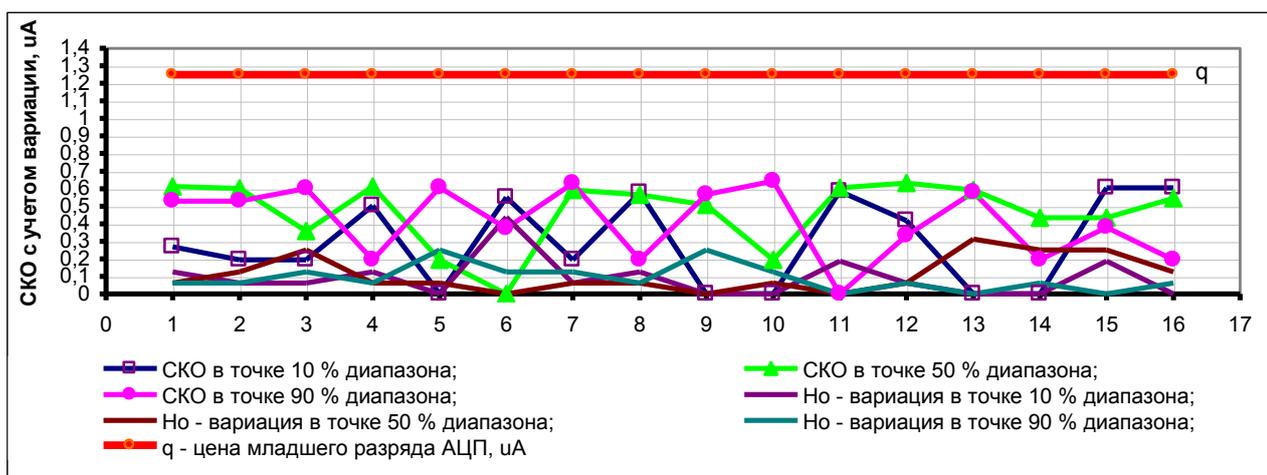
На рис. 1 показаны результаты экспериментальных исследований существенности составляющих случайной погрешности наиболее представительных измерительных каналов МСКУ. На горизонтальной оси показаны метки от 1 до 16 номеров измерительных каналов преобразователей. На каждом измерительном канале исследования выполнены в трех точках – точках 30, 60 и 90 % диапазона измерения входного сигнала. За 100 % шкалы принят полный диапазон измерения входного сигнала.

Экспериментальные исследования составляющих погрешности ИК МСКУ подтвердили предположение, и это видно из рисунков, о несущественности случайных составляющих, их незначительном или, практически, полном отсутствии влияния на оценки погрешности ИК. На всех ИК имеется, ориентировочно, 50–процентный запас по принятому критерию для признания случайных составляющих ИК МСКУ несущественными. Более того, в структуре наблюдаемых оценок среднего квадратического отклонения  $\tilde{\sigma}[\Delta]$  основной вес имеет неустранимая случайная погрешность, обусловленная квантованием входного в ИК сигнала по уровню.

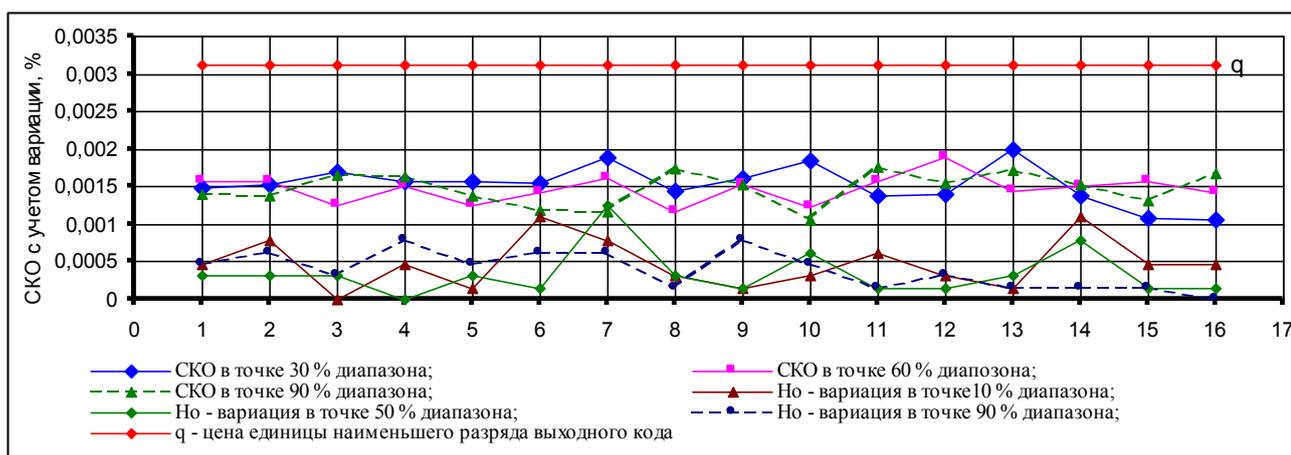
Среднее квадратическое отклонение  $\sigma_q$  этой погрешности оценивается, как известно, величиной  $\sigma_q = \frac{q}{2\sqrt{3}}$  и составляет по отношению к критерию  $q$  его третью часть:

$$\frac{q}{\sigma_q} \cdot 100 = \frac{q \cdot 100}{2\sqrt{3} \cdot q} \approx 30\%. \quad (1)$$

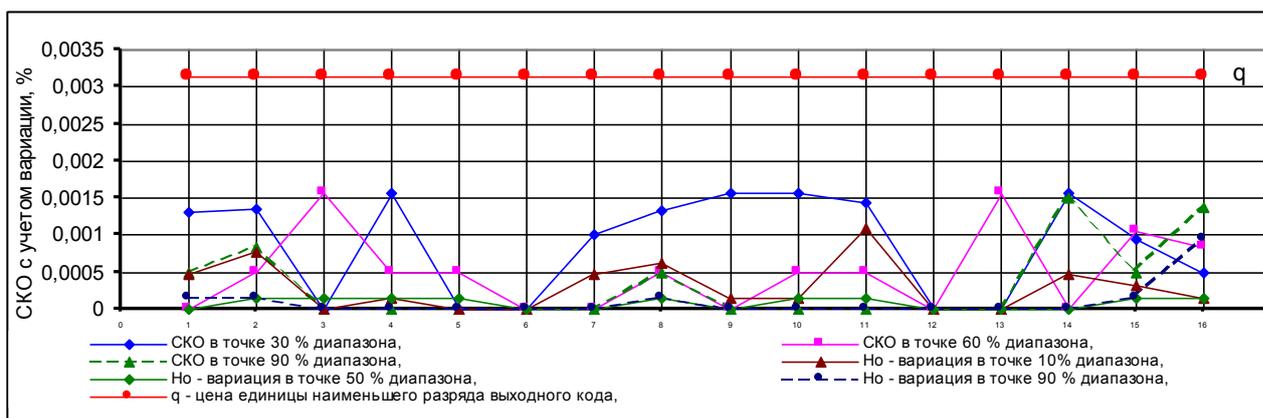
Основываясь на полученном в процессе исследований результате, эксплуатационными документами разрешено выполнять контроль погрешности ИК МСКУ на приемо-сдаточных испытаниях, при выполнении профилактических работ МСКУ и калибровке посредством однократных наблюдений погрешности в исследуемых точках ИК. Поверка измерительных каналов, сопутствующая типовым и периодическим испытаниям, государственным приемочным и контрольным испытаниям, выполняется по полной программе экспериментальных исследований погрешности и имеет целью подтвердить отсутствие (или появление) в ИК составляющих погрешности, имеющих случайную природу.



а) SKO и вариация каналов измерения сигналов тока в диапазоне от 0 до 20 мА



б) SKO и вариация каналов измерения сигналов напряжения в диапазоне от 0 до 10 мВ



в) SKO и вариация каналов измерения сигналов напряжения в диапазоне от 0 до 10 В

Рисунок 1 – Соотношение SKO и вариации Но с ценой МЗР

Обновление парка рабочих эталонов и совершенствование технологии поверки/калибровки МСКУ

Становление практической метрологии в области управляющих вычислительных машин связано с применением калибраторов П-320 и П-321, вольтметра Щ-31 и др. Удовлетворяя требованиям метрологии по электрическим параметрам, к недостаткам следует отнести большую массу приборов (около 25 кг), поддержку только интерфейса магистрали КОП, отсутствие возможности автоматического контроля окончания переходных процессов при изменении выходного калиброванного сигнала.

Большая масса приборов создает неудобства в обслуживании измерительных рассредоточенных систем и программно-технических комплексов, вызванные необходимостью перемещения приборов между МСКУ при поверке или калибровке МСКУ. Для "борьбы" с "лишней" массой, облегчения транспортировки приборов разрабатываются специальные тележки, конструируются стойки сервисного обслуживания систем и др.

Интерфейс КОП требует наличия в инструментальной машине, в качестве которой применяются персональные ЭВМ или IBM PC-совместимые рабочие станции, согласователей интерфейсов КОП-ISA и др. В то же время, современные приборы (калибраторы, мультиметры) имеют наряду с IEEE 488.2 встроенный выход на интерфейс RS-232, который имеется в каждой ПЭВМ.

Наконец, по сравнению с ранее применявшимися приборами современные имеют средства для автоматического контроля формирования калиброванных сигналов в функции от величины приращения выходного сигнала, что обеспечивает минимизацию времени выполнения измерений и поверки (калибровки) СИТ, в целом.

В последние годы возникли также трудности с приобретением и ремонтом применявшихся ранее калибраторов и вольтметров.

Упомянутые выше и другие трудности приборного характера решены при разработке метрологического обеспечения МСКУ посредством применения вместо ранее применявшихся приборов мультиметра НР 34401 А (фирма

Agilent Technologies), калибратора М 2000 (фирма Martel Electronics), имитатора сигналов ИС-26 (разработка ЗАО «СНПО "Импульс"»), меры сопротивления – блока резисторов БРз-33 (разработка ЗАО «СНПО "Импульс"») и др. Приборы обладают относительно небольшой массой (около 4 кг), встроенным выходом на интерфейс RS-232, программным обеспечением для дистанционного управления измерениями и тестированием.

Имитатор сигналов ИС-26 предназначен для генерации калиброванных сигналов напряжения постоянного тока в диапазоне  $\pm 10$  В и сигналов постоянного тока в диапазоне от 0 до 20 мА. Имеет встроенный 16-канальный коммутатор аналоговых сигналов. Управление выбором калиброванных сигналов на выходе осуществляется программно. Сопряжение с ПЭВМ – через интерфейс RS-232. Время установления выходных сигналов – не более 1 с. Погрешность формируемых калиброванных сигналов – не более 0.2 % по напряжению и 0.3 % по току. Действительное значение выходного калиброванного сигнала ИС-26 устанавливается посредством измерения выходного сигнала мультиметром НР 34401 А. Погрешность измерения мультиметром сигналов напряжения в диапазоне до 10 В не превышает в течение квартала 0.025 %, тока в диапазоне до 100 мА – 0.035 %.

### **Применение метода отдельной, покомпонентной поверки каналов приема сигналов постоянного тока**

Проверка каналов приема сигналов постоянного тока в отличие от каналов приема сигналов напряжения может осуществляться последовательно канал за каналом. Ограничением является нагрузочная способность рабочего эталона, которая для калибратора П-320 на токах до  $\pm 20$  мА ограничена 100 мА при погрешности калиброванного сигнала 0.015 %. Главным недостатком такого порядка проверки каналов является низкая производительность выполнения профилактических, приемо-сдаточных и других работ, сопровождаемых контролем состояния метрологических свойств ИК.

Каналы приема сигналов тока в структурном отношении реализованы в МСКУ двумя компонентами – соединительной панелью ПСд, на которой размещены нормирующие резисторы и на которых осуществляется преобразование сигналов тока в напряжение, и оборудованием приема и преобразования сигналов напряжения постоянного тока, методы поверки (калибровки) которого в МСКУ рассмотрены выше. По природе, составляющая погрешности преобразования тока в напряжение зависит от погрешности  $\Delta R_n$  нормирующего резистора и является постоянной для входного тока  $I_{вх}$  в исследуемой точке.

Структура каналов приема сигналов тока определяет эффективный метод проверки их метрологических характеристик. Суть метода состоит в получении экспериментальных оценок систематической  $\tilde{\Delta}_s$  и случайной  $\tilde{\sigma}[\Delta_s]$  составляющих погрешности компонент измерительного канала, преобразующих сигналы напряжения, и последующем прибавлении к

систематической погрешности  $\tilde{\Delta}_s$  с учетом ее знака погрешности преобразования тока в напряжение на нормирующем резисторе ПСД. При нормируемой для резисторов погрешности  $\delta_p$  приведенная погрешность  $\gamma_s(\Delta R_n)$  измерения напряжения не будет превышать величину  $\gamma_s(\Delta R_n) = \frac{\delta_p \cdot I_{вх}}{I_d}$ , где  $I_{вх}$  – ток рабочего эталона в исследуемой точке, а  $I_d$  – верхний предел диапазона измерений входного тока на канале.

Искомая оценка систематической погрешности  $\gamma_j$  измерительного канала в исследуемой точке  $j$  принимается, таким образом, равной

$$\tilde{\gamma}_j = \frac{\tilde{\Delta}_s}{I_d} \cdot 100 + \text{sign}(\tilde{\Delta}_s) \cdot \gamma_s(\Delta R_n). \quad (2)$$

Сумме погрешностей приписан знак  $\text{sign}(\tilde{\Delta}_s)$  экспериментальной оценки систематической погрешности канала в точке. Принятый метод способствует незначительному завышению оценок систематической погрешности измерительного канала (в конце диапазона  $I_d$  на величину, не большую  $\gamma_s(\Delta R_n) = \delta_p$ ), существенно упрощая вместе с тем трудоемкость проверки метрологических свойств каналов приема сигналов тока. Погрешности резисторов на каналах могут периодически (и достаточно редко, в силу стабильности характеристик) контролироваться на непревышение нормируемой, допускаемой для них относительной погрешности  $\delta_p$ .

Для применяемых в МСКУ нормирующих резисторов  $\delta_p = 0.05 \%$ .

Принятый в МСКУ метод отдельной поверки элементов ИК обеспечил снижение трудоемкости при поверке каналов приема токовых сигналов в 16 раз.

### **Программное обеспечение метрологии МСКУ**

Программы поддержки метрологического обслуживания каналов ввода аналоговых сигналов МСКУ обеспечивают автоматизацию следующих видов метрологической деятельности:

- оценивания и контроля метрологических характеристик электрических трактов;
- контроля погрешности электрических трактов;
- оказания помощи в настройке электрических трактов измерительных каналов;
- исследования погрешности измерительных каналов, сопровождающих разработку метрологического обеспечения.

Выполнение упомянутых работ создает базу для осуществления метрологического надзора и контроля при производстве, внедрении и эксплуатации МСКУ, в том числе для:

- аттестации МСКУ, понимая под ней исследование метрологическим органом метрологических свойств измерительных каналов (структуры погрешности, величины доверительного интервала и др.);

- поверки (калибровки) МСКУ (первичной, периодической, внеочередной, инспекционной и др.);
- контроля погрешности измерительных каналов в процессе эксплуатации МСКУ и др.;
- наладки электрических трактов измерительных каналов.

В качестве инструментальной среды при метрологическом обслуживании МСКУ используются IBM-PC-совместимые ПЭВМ или рабочие станции. Функционирование программ осуществляется в окружении операционных систем Windows или Linux. Программы обслуживания комплексов МСКУ 2 могут выполняться также в среде MS DOS.

При оценивании и контроле характеристик погрешности экспериментально определяются систематическая и случайная составляющие погрешности, интервал, в котором с доверительной вероятностью  $P_d=0.95$  лежат инструментальные погрешности, контролируются реализации погрешности и значения оценок пределов доверительного интервала погрешности. Выполнение программы в режиме оценивания характеристик погрешности и ее контроля сопровождается выводом на дисплей и в файлы-протоколы оценок составляющих погрешности, суммарной погрешности и ее реализаций. В файл помещены также результаты контроля реализаций погрешности (в виде «годен – негоден») посредством сравнения реализаций с заданным, нормируемым для типа каналов, пределом допускаемой погрешности. Канал признается годным, если все реализации погрешности и оценка верхнего (по абсолютной величине) предела доверительного для погрешности интервала не превышают нормируемого предела.

После проверки всех каналов процесс проверки завершается. Проверяющему предоставляются полученные результаты проверки заданного множества каналов и заключение о годности каналов к применению по назначению.

Контроль погрешности осуществляется по ее реализациям. В основу контроля положен тот факт, что случайная составляющая погрешности каналов не существенна по отношению к цене единицы младшего значащего разряда (МЗР) результата преобразования. Контроль завершается заключением о годности проверенных каналов по критерию «годен – негоден». Тем не менее, для информирования проверяющего по реализациям погрешности в исследуемых точках на множестве проверенных каналов находится ее максимальное (по абсолютной величине) значение, которое выдается в протокол в качестве оценки. Оценка погрешности носит информативный характер.

В процессе наладки измерительных каналов выполняется ввод и отображение на дисплее результатов многократных измерений поданного на вход канала (группы каналов) сигнала рабочего эталона. В качестве источников сигналов при наладке применяются те же рабочие эталоны, что и при оценке характеристик погрешности и ее контроле. Для метрологической настройки количество измерений выбирается оператором из практических соображений и не нормируется.

Запуск и выполнение программ осуществляются в диалоговом, меню-ориентированном режиме. Вид меню настройки программы оценивания и контроля погрешности ИК показан на рисунке 2.

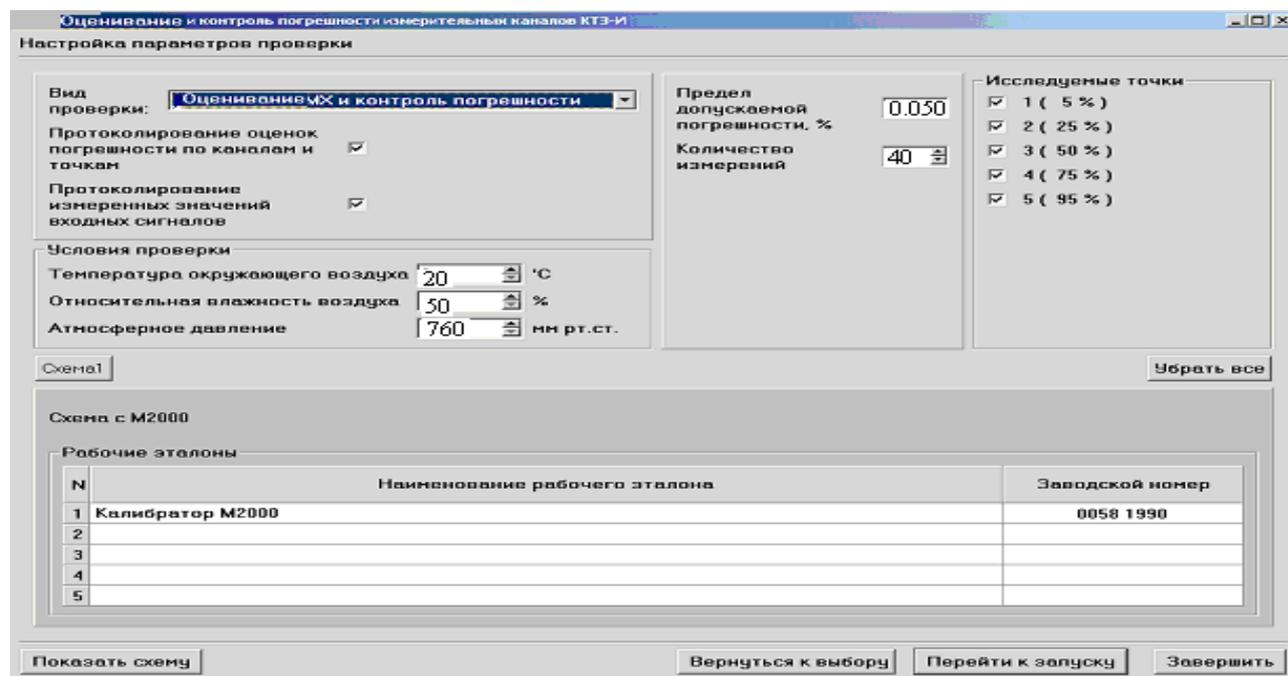


Рисунок 2 – Меню настройки программы оценивания и контроля МХ ИК

Количество исследуемых точек зависит от типа входного сигнала – для каналов приема однополярных сигналов – 5, для двухполярных – 11. Результаты исследования погрешности каналов оформляются протоколами трех видов. Обязательным является итоговый, официальный протокол, в котором на основании полученных в процессе поверки (калибровки) данных формулируется заключение о годности ИК к применению. Итоговый протокол заверяется подписью проверяющего.

Два других протокола носят вспомогательное назначение и создаются (или не создаются) в зависимости от настройки программы при ее запуске. В одном из протоколов архивируются все первичные (измеренные) данные каждого исследуемого канала в каждой точке. Данные могут быть использованы, например, для специальной обработки (гармонического анализа систематических составляющих погрешности ИК, авто и взаимно корреляционного анализа и др.). В другой протокол записываются промежуточные результаты оценивания погрешности ИК – оценки погрешности и ее составляющих в исследуемых точках, оценки погрешности каждого исследуемого канала и др., раскрывающие, в случае необходимости, содержание основного протокола.

Показанная на рисунке кнопка "Схема1" предназначена для вызова в графической форме подсказки проверяющему относительно состава и компоновки оборудования для поверки (калибровки) ИК выбранного типа.

## Оценивание погрешности каналов формирования аналоговых сигналов

Оценивание погрешности каналов формирования аналоговых сигналов осуществляется посредством поиска на каждом канале в диапазоне изменения выходного сигнала точки с наихудшим запасом точности (наибольшей погрешностью). В качестве погрешности  $\Delta_{ij}$  канала  $j$  в точке  $i$  принимается наибольшая из трех ее реализаций:

$$\Delta_{ij} = X_{ij} - X_{ip} ,$$

3)

где	$X_{ij} = U_{ij}/R$	измеренное рабочим эталоном значение тока в исследуемой точке $i$ канала $j$ ;
$U$		напряжение, измеренное вольтметром Щ-31 или мультиметром НР 34401 А в точке $i$ канала $j$ ;
$R$		сопротивление нагрузки;
$X_{ip}$		заданный формирователю кодовый сигнал тока (действительное значение тока в исследуемой точке).

Методика проверки основана на делении диапазона изменения выходного сигнала на участки, измерения и анализе погрешностей на концах участков. Измерение сформированного каналом сигнала осуществляется мультиметром НР 34401 А или цифровым вольтметром Щ-31. Автоматическое подключение одного из шестнадцати выходов формирователя тока к входу мультиметра осуществляется коммутатором.

Поиск точки с наихудшей погрешностью в диапазоне изменения выходного сигнала исследуемого канала, состоит из трех основных этапов.

На первых двух этапах определяется участок диапазона выходного сигнала, в котором лежит точка с наибольшей погрешностью канала. На третьем этапе погрешности измеряются во всех точках ранее выбранного участка.

Среди полученных таким образом на канале  $j$  в точках  $i$  погрешностей  $\Delta_{ij}$  выбирается наибольшая по абсолютной величине  $\Delta_{ij}$  и находится код точки, соответствующей наибольшей погрешности. Погрешность  $\Delta_{ij}$  принимается за оценку погрешности канала  $j$  в заданной конфигурации МСКУ.

После проверки всех каналов МСКУ среди них выбирается канал с наибольшим абсолютным значением погрешности

$$\Delta = \text{sign}(\Delta_{mij}) * \max_{i,j} (|\Delta_{mij}|) , \quad (4)$$

где  $\text{sign}(\Delta_{mij})$  – знак наибольшей по абсолютной величине погрешности  $\Delta_{mij}$

Погрешность  $\Delta$  принимается в качестве оценки погрешности каналов формирования аналоговых сигналов комплекса МСКУ.

Тестирование программ оценивания и контроля погрешности измерительных каналов

Тесты предназначены для контроля и иллюстрации принятой методики обработки данных с целью получения оценок характеристик погрешности каналов измерения аналоговых сигналов. По результатам анализа тестовых

данных, в случае необходимости, подтверждается правильность применения и программной реализации алгоритмов обработки данных, рекомендованных нормативными документами.

Тестирование программ проверки МХ каналов может быть вызвано:

- необходимостью экспертизы программы на этапе подготовки к проведению аттестации или периодическому контролю МХ каналов органами метрологического надзора;

- необходимостью замены программы в архиве предприятия-изготовителя и т.п.

Наборы тестовых данных моделируются программой, которая перехватывает запросы на ввод данных от МСКУ и возвращает программе оценивания МХ ИК "измеренные" табличные. Для выполнения предъявляемых к тестам требований наборы тестовых данных ограничены по числу измерений, опубликованы в эксплуатационной документации, могут быть обработаны альтернативными способами, например, программой Excel, вручную и др.

При правильно работающей программе результат обработки тестовых данных должен совпадать с ожидаемым, приведенным в эксплуатационной документации.

Применение рекомендаций международного бюро мер и весов по выражению неопределенности измерений

Актуальность работ, связанных с внедрением руководства по определению неопределенности измерений [5, 6] вызвана усилившимися в последнее время тенденциями к интеграции Украины в Европейское сообщество и необходимостью гармонизации в этой связи документации, в частности, в области метрологии, калибровки и сертификации средств измерения. Приведение в соответствие со Всемирной системой измерений документации на разрабатываемые средства измерений обеспечит, в конечном итоге, соблюдение принципа «one-step-test», утверждающему признание результатов испытаний СИТ в других странах.

Упомянутое "Руководство ..." основано на концепции неопределенности для формирования результата измерений, в то время как в действующей системе измерений, ее нормативной документации, традиционно используется понятие погрешности измерений. «Руководство ...» устанавливает общие правила для оценивания и выражения неопределенности результата измерений и не использует такие основные понятия современной метрологии, как истинное (действительное) значение измеряемой величины, погрешность измерения, ее систематическая и случайная составляющие. Процедура внедрения рекомендаций МБМВ затрагивает такие основополагающие понятия ГОСТ 8.009-84, как модель погрешности измерений, измеряемая величина, методическая погрешность и др. Для развития работ по установлению соответствия между устоявшимися показателями точностных свойств ИК и рекомендуемыми требуются национальные нормативные документы, общая для предприятий государственная политика, период адаптации.

## Заключение

Метрологическое обеспечение МСКУ разработано в соответствии с действующей в Украине нормативной базой, учитывает требования пользователей и возможности современного приборного парка. Соответствие метрологического обеспечения МСКУ требованиям нормативной базы Украины подтверждено сертификатами соответствия. МСКУ 2 и МСКУ 3 внесены в государственный реестр средств измерительной техники Украины, МСКУ 2 внесен в перечень средств измерения РФ.

Программное обеспечение метрологии МСКУ разработано по современной клиент-серверной технологии, может эксплуатироваться в среде операционных систем Windows и Linux.

Благодаря выполненным исследованиям структуры погрешности измерительных каналов МСКУ и применению современных рабочих эталонов стало возможным повысить производительность труда при выполнении работ по калибровке ИК МСКУ в несколько десятков раз.

## Литература

1. ДСТУ 2709-94. Метрологія. Автоматизовані системи керування технологічними процесами. Метрологічне забезпечення. Основні положення.
2. ГОСТ 8.009-84. Нормирование и использование метрологических характеристик средств измерений.
3. ГОСТ 8.508-84. Метрологические характеристики средств измерений и точностные характеристики средств автоматизации ГСП. Общие методы оценки и контроля.
4. МИ 2002-89. Системы информационно-измерительные. Организация и порядок проведения метрологической аттестации, Москва, 1991
5. Guide to the expression of Uncertainty in Measurement: First Edition, – ISO, Switzerland, 1993/ (Настанова з подання невизначеності у вимірюваннях: перше видання. – Женева: ISO, 1993).
6. В. Чалий. Сучасні тенденції в метрології. / Науково-виробничий журнал "Метрологія та прилади", № 1, 2006

**В.И. МАКАРОВА, Е.А. АЛЕКСЕЕВА, А.В. ГУЗЕВА**

***ЗАО «Северодонецкое научно-производственное объединение “Импульс”»***

## **УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ МСКУ**

Рассмотрены функции и состав управляющих систем МСКУ

### **Введение**

Одним из направлений деятельности ЗАО «СНПО „Импульс”» является разработка семейства проектно-компоуемых, программируемых микропроцессорных управляющих вычислительных комплексов МСКУ 2 и МСКУ 3 [1] (далее – МСКУ), предназначенных для создания подсистем нижнего уровня АСУ ТП.

В системах управления МСКУ могут выполнять следующие основные функции:

- сбор, преобразование, первичную обработку и хранение информации, полученной от объекта;
- формирование сигналов и выдачу управляющих воздействий на исполнительные механизмы и устройства;
- контроль и управление, защиты, блокировки, пуск и останов оборудования, другие программно заданные функции;
- подготовку и обмен данными с верхними и смежными системами управления.

### **Краткие сведения об архитектуре МСКУ и программно-технических комплексов, в состав которых может входить МСКУ**

МСКУ представляют собой конструктивно законченные, компоуемые по заказу потребителя изделия.

МСКУ 2 могут быть резервированными или резервированными (троированными), с одним или тремя контроллерами микропроцессорными типа КМп-20, соответственно. Контроллер КМп-20 содержит многофункциональный процессорный модуль стандарта PC/104 (с процессором i486, i586 с сопроцессором или без сопроцессора), электронный диск, Arcnet (для организации межконтроллерных связей в резервированных МСКУ 2), узел управления интерфейсом ИР (для взаимодействия с блоками связи с объектом), выход на магистраль МАПС. Блоки связи с объектом, входящие в состав МСКУ 2, имеют выход на три интерфейса ИР, обеспечивая тем самым доступ к ним от всех контроллеров в резервированных МСКУ 2. Для связи с верхним уровнем используется сетобразующая аппаратура МАПС, включающая от одной до трех магистралей.

МСКУ 3 может быть только нерезервированным с одним контроллером типа КМп-23, который содержит многофункциональный процессорный модуль MSM586SM (процессор Elan520, 133 MHz) с сопроцессором, поддержкой WatchDog, Flash 512 Кбайт (для хранения системных программ), Flash 128 Кбайт (для хранения прикладных программ), энергонезависимую память 8 Кбайт. Блоки связи с объектом и модули контроля оборудования подключаются к радиальным последовательным интерфейсам (каналам UART) контроллера КМп-23. Связь с верхним уровнем осуществляется по радиальным последовательным линиям связи с физической реализацией RS-422.

Основными отличительными особенностями архитектур МСКУ 3 от МСКУ 2 является сетеобразующая аппаратура, обмен с блоками связи с объектом, а также отсутствие в ПО МСКУ 3 штатной BIOS и операционной системы. Энергонезависимая память в МСКУ 3 предназначена для накопления статистических данных о функционировании МСКУ (сведений о количестве и моментах запуска/перезапуска МСКУ, количестве и причинах сброса МСКУ и т.д.), а также сохранения сведений, определяемых по усмотрению пользователя, требующих обратного восстановления в оперативную память при перезапусках МСКУ. МСКУ 3 резервируются, в случае необходимости, не на уровне контроллера, а структурными методами, посредством повторения оборудования. Отличия в архитектуре МСКУ 2 и МСКУ 3 отражены в управляющих программах комплексов – соответственно исполнительной и управляющей системах.

Технические средства программно-технических комплексов различных систем автоматизации, использующих МСКУ 2 и МСКУ 3, в общем случае представляют собой распределенную систему, включающую как компоненты:

- сетеобразующую аппаратуру;
- МСКУ;
- операторские и рабочие станции с IBM PC - совместимой архитектурой.

Основной компонентой базового программного обеспечения (ПО) МСКУ 2 и МСКУ 3 является управляющая система (УС МСКУ).

Под УС МСКУ понимается совокупность системных программ, организующих работу МСКУ в соответствии с его назначением, конфигурацией и режимом функционирования.

## **Функции стартовой и исполнительных систем МСКУ 2**

МСКУ 2 функционирует под управлением УС МСКУ, запускаемой автоматически с дисков контроллеров и включающей:

- комплекс стартовых программ,
- исполнительную систему (ИС МСКУ), индивидуальную для каждого исполнения МСКУ 2.

Комплекс стартовых программ МСКУ 2 обеспечивает выполнение следующих функций:

- начальный запуск контроллера при включении питания МСКУ;

- ввод в эксплуатацию (загрузка программ, восстановление рабочих данных) в резервированных МСКУ при замене отказавшего контроллера исправным;
- включение и отключение сторожевого таймера (watchdog timer) процессорного модуля контроллера для предотвращения зависаний процессора при его функционировании;
- установку, в зависимости от состояния и работоспособности блока МКО-1, даты и времени в контроллере из сети единого времени при ее наличии или от энергонезависимых часов блока МКО-1 при ее отсутствии;
- контроль состояния контроллера и шкафного оборудования МСКУ, не зависящих от исполнения МСКУ. Состояние проектно-компонованного оборудования МСКУ, в том числе блоков связи с объектом, контролируется исполнительной системой после ее загрузки;
- контроль наличия и целостности исполнительной системы на диске контроллера;
- выполнение операций по обслуживанию МСКУ (запись на диски контроллеров исполнительной системы, выполнение тестово-диагностических операций, выдачу информации о состоянии контроллера и МСКУ в целом).

Результаты контроля накапливаются в памяти контроллера и доступны по запросам внешним абонентам во время работы стартовой системы. Стартовая система анализирует состояние соседних контроллеров и по результатам анализа принимает решение о режиме дальнейшего запуска, т.е. загрузки и запуска ИС МСКУ 2. При доступности соседних контроллеров по межконтроллерным связям осуществляется взаимный обмен информацией о состоянии технических средств МСКУ и версиях исполнительной системы на дисках контроллеров. По результатам анализа полученной информации стартовая система выполняет:

- автоматическое восстановление контроллера (включение контроллера в нормальный режим функционирования МСКУ) при совпадении версий исполнительных систем в текущем и других, работающих под управлением исполнительной системы, контроллерах МСКУ;
- выдает циркулярное инициативное сообщение в сеть МАПС о готовности к запуску при совпадении версий исполнительных систем во всех контроллерах МСКУ и нахождении всех контроллеров в состоянии запуска (под управлением стартовой системы). Данное сообщение повторяется каждые 2 s до получения от внешнего абонента по сети МАПС команды останова запуска или команды запуска. При отсутствии команды останова/запуска в течение 20 s выполняется автоматический запуск исполнительной системы во всех контроллерах. Выдает циркулярное инициативное сообщение в сеть МАПС о текущем состоянии контроллера во всех других случаях, кроме перечисленных выше. Данное сообщение повторяется каждые 2 s до получения команды управления запуском от внешнего абонента

(команды принудительного запуска ИС МСКУ в контроллере, команды перевода контроллера в режим копирования информации на диск контроллера или команды принудительного восстановления контроллера от соседнего контроллера с заменой информации на диске контроллера на информацию от соседа).

При восстановлении контроллера выполняются следующие действия:

- загрузка исполнительной системы с диска контроллера;
- перепись сегментов данных оперативной базы данных исполнительной системы от соседнего работающего контроллера, выполняемую с приостановкой функционирования исполнительных систем в работающих контроллерах (на время не более 3 s);
- включение исполнительной системы в контроллерах в нормальный режим функционирования согласно предписанным ей функциям.

Исполнительная система МСКУ 2 включает программы, реализующие следующие функции:

- ввод и вывод данных через блоки связи с объектом из состава МСКУ, обработку данных. Периодичность выполнения операций ввода, вывода и обработки определяется в программе генерации исполнительной системы;
- синхронизацию контроллеров в резервированных МСКУ перед выполнением операций ввода и вывода, взаимный обмен между контроллерами результатами ввода, сравнение и выравнивание результатов ввода с целью формирования в контроллерах идентичных данных для последующей обработки, а также обнаружения неисправности каналов связи с объектом;
- поддержание единого времени в контроллерах резервированных МСКУ, а также прием и установку времени в МСКУ из сети единого времени при ее наличии;
- обмен информацией между МСКУ и внешними абонентами по сетевым линиям связи;
- непрерывный контроль состояния технических средств МСКУ (выполняемый периодически в фоновом режиме, а так же при выполнении операций ввода/вывода) с целью своевременного обнаружения неисправности технических средств. Данные о состоянии технических средств передаются на верхний уровень системы для обработки программами внешних абонентов;
- управление выполнением прикладных программ.

ИС МСКУ обеспечивает независимость прикладных программ от уровня резервирования МСКУ (нерезервированный или троированный) и его текущего состояния (количества работоспособных контроллеров). В резервированных МСКУ деградация (исключение из процесса функционирования неработоспособного контроллера) и восстановление (включение в процесс функционирования контроллера, установленного в МСКУ в ходе ремонта без останова МСКУ) выполняются исполнительной системой автоматически при обнаружении неисправного контроллера либо вновь установленного

исправного контроллера. При восстановлении обеспечивается автоматическое приведение восстанавливаемого контроллера в состояния, идентичные работающим контроллерам, – восстанавливается его оперативная база данных и блоки вывода данных по направлению интерфейса ИР, соответствующему номеру восстанавливаемого контроллера. Контроллер включается в нормальный режим функционирования только после завершения всех восстановительных процедур.

ИС МСКУ обеспечивает запуск программ по времени и событиям.

К запускаемым по времени относятся:

- программы "инициативного" цикла (период цикла от 5 до 50 ms);
- программы основных циклов (до трех циклов с периодами свыше 50 ms);
- фоновые программы.

К запускаемым по событиям относятся:

- программы типа "запрос" (по запросам от других абонентов);
- программы обработки инициативы от блоков связи с объектом (при наличии изменений состояния дискретных входов).

В цикле любого типа запуск программ осуществляется в следующей последовательности:

- синхронизация контроллеров (в троированных МСКУ);
- ввод и обработка данных от блоков связи с объектом, относящихся к данному циклу;
- обмен данными между контроллерами и выравнивание данных (в троированных МСКУ);
- выполнение программ, относящихся к данному циклу;
- синхронизация контроллеров (в троированных МСКУ);
- вывод управляющих воздействий на блоки связи с объектом, относящихся к данному циклу.

Последовательность запуска программ основных циклов определяется последовательностью описания этих программ в настройках технических средств и прикладных программ.

Прикладные программы, запускаемые циклически, могут вызываться в каждом цикле соответствующего типа или раз в несколько циклов, что определяется при генерации исполнительной системы. Очередная программа в пределах цикла одного типа запускается на выполнение только после завершения предыдущей.

Программы "инициативного" цикла запускаются либо в каждом "инициативном" цикле либо при наличии изменений состояния соответствующих каналов ввода дискретных сигналов, что определяется при генерации ИС МСКУ 2. Программы "инициативного" цикла являются самыми приоритетными.

Программы ввода-вывода и обработки выполняются в каждом цикле, за которым закреплены соответствующие блоки связи с объектом.

Прикладные программы, запускаемые по запросу от внешних абонентов МСКУ, запускаются на выполнение сразу при поступлении запроса, после

завершения выполнения программ "инициативного" цикла. Аналогичным образом выполняются системные операции по запросам внешних абонентов.

Фоновые программы выполняются только при наличии резерва времени от всех других типов программ.

ИС МСКУ 2 включает модули операционной системы реального времени ОС 5000 и программы, реализующие предписанные данной системе функции. Для доступа к диску контроллера в МСКУ 2 при запуске исполнительная система использует файловую систему MS DOS. Доступ к МСКУ 2 обеспечивается сетевыми средствами локальной сети протокола МАПС и МАПС/Ethernet. Обмен данными между программами исполнительной системы, прикладными задачами текущего МСКУ и внешними абонентами данного МСКУ осуществляется через оперативную базу данных, формируемую соответствующими программами.

### **Функции стартовой и управляющих систем МСКУ 3**

МСКУ 3 функционируют под управлением программ, запускаемых автоматически из Flash-памяти контроллеров при включении питания, или загружаемых с диска рабочей станции по радиальной сети интерфейса RS-422. Программы включают:

- стартовую систему, независимую от конфигурации заказного исполнения МСКУ 3;
- управляющую систему, сконфигурированную под состав оборудования и режим функционирования заказного исполнения МСКУ 3.

Стартовая система МСКУ 3 обеспечивает функции контроля, аналогичные стартовой системе МСКУ 2. Загрузка стартовой системы МСКУ 3 выполняется из Flash-памяти системных программ.

При загрузке УС МСКУ по радиальной сети из ПЭВМ в ее состав включаются, как и в ИС нерезервированных МСКУ 2, модули операционной системы реального времени ОС 5000 и программы, реализующие предписанные исполнению МСКУ функции. Структурная схема ИС МСКУ 2 и УС МСКУ 3, загружаемой по радиальной сети показана на рисунке 1.

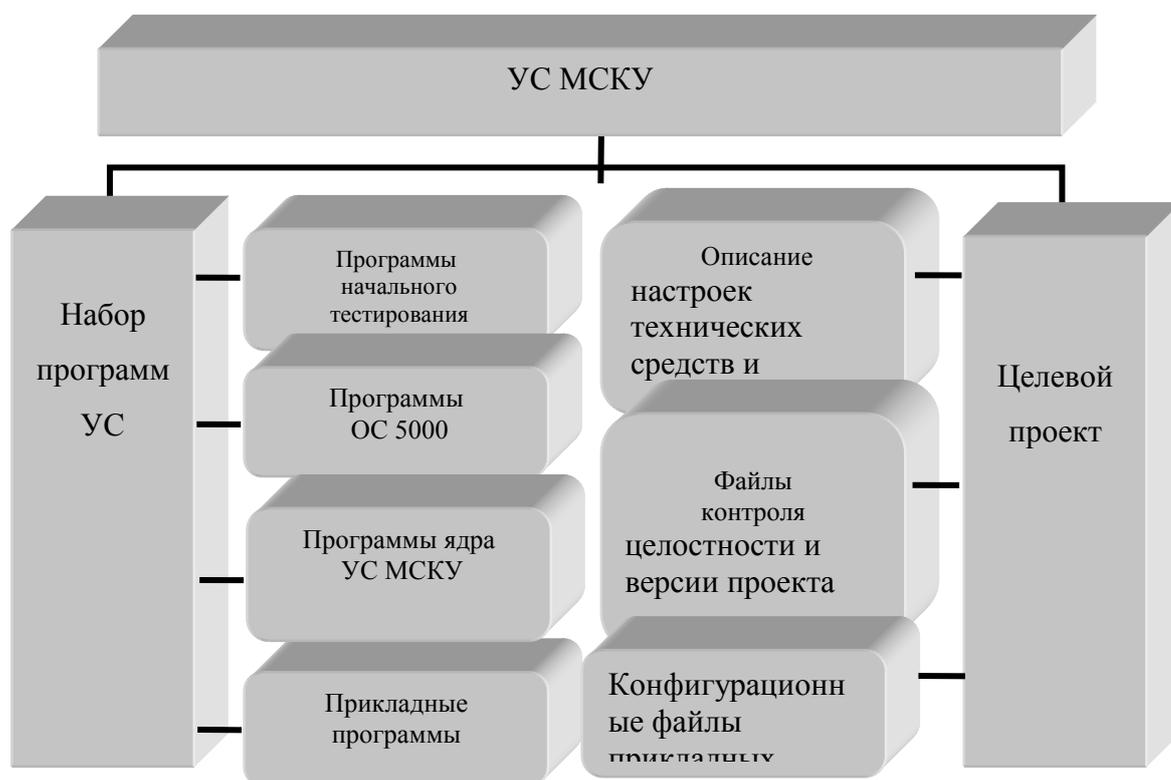


Рисунок 1 - Структурная схема УС МСКУ

При загрузке УС МСКУ из Flash-прикладных программ в ее состав включаются только программы, реализующие функции, предписанные назначению комплекса. При этом исключается использование операционной системы (MS DOS, ОС 5000).

Прикладные программы могут разрабатываться на языке текстового типа Си-МСКУ, который обеспечивает программирование на языке Си с удобным интерфейсом доступа к переменным оперативной базы данных УС МСКУ. Для получения наибольшей эффективности программ может применяться язык программирования АССЕМБЛЕР.

Комплекс стартовых программ записывается на диски контроллеров (для МСКУ 2) или Flash-память системных программ (для МСКУ 3) изготовителем МСКУ и недоступен пользователю.

Управляющая система создается под каждое конкретное исполнение МСКУ с учетом конфигурации, требуемого набора функций и режимов функционирования. Конфигурация технических средств и требуемый набор функций описываются в текстовом виде.

Подготовка управляющей системы и запись ее на диски контроллеров (в случае МСКУ 2) или Flash-прикладных программ (в случае МСКУ 3)

осуществляется инструментальными средствами с использованием набора программ и библиотек для формирования исполняемого модуля.

Инструментальные средства подготовки и отладки программ управляющих систем МСКУ функционируют в среде ОС Linux и ОС Windwos 2000.

### **Заключение**

Опыт эксплуатации на энергоблоках РАЭС и ХАЭС программно-технических комплексов информационно-вычислительной системы (ИВС), системы внутрореакторного контроля (СВРК) и системы аварийного охлаждения (САОЗ), в состав которых входят МСКУ, доказал работоспособность и надежность управляющей системы МСКУ, а также возможность ее использования при разработке аналогичных АСУ ТП в качестве системы нижнего уровня. Основным достоинством УС МСКУ является детерминированность процессов, т.е. управление в реальном масштабе времени и отсутствие элементов операционной системы общего назначения (Windows, Linux).

### **Литература**

- 1 Елисеев В.В., Ларгин В.А., Пивоваров Г.Ю. Программно-технические комплексы АСУ ТП : Учебн. пособие – К. : Издательско-полиграфический центр «Київський університет», 2003. – 429 с.

**В.И. МАКАРОВА, Е.А. АЛЕКСЕЕВА, А.В. КРИСАК, С.В. ПИВОВАРОВА,  
Е.В. МАРТОВИЦКАЯ**

*ЗАО «Северодонецкое научно-производственное объединение “Импульс”»*

## **ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ПОДГОТОВКИ И ОТЛАДКИ ПРОГРАММ В МСКУ**

Проанализированы инструментальные средства подготовки и отладки программ для МСКУ 2 и МСКУ 3

### **Введение**

В настоящее время в ЗАО «СНПО „Импульс”» разработано семейство проектно-компоуемых, программируемых микропроцессорных управляющих вычислительных комплексов МСКУ 2 и МСКУ 3 [1] (далее – МСКУ), предназначенных для применения в качестве подсистем нижнего уровня АСУ ТП.

При разработке программного обеспечения (далее - ПО) МСКУ использовались инструментальные средства, функционирующие в среде MS DOS. Однако с появлением операционных систем семейств Windows и Linux возникла необходимость разработки инструментальных средств функционально обеспечивающих процесс подготовки и отладки ПО МСКУ 2 одинаково удобно в среде Windows и Linux.

В соответствии с требованиями [2] разработка программ для МСКУ должна выполняться с помощью инструментальных средств, позволяющих четко и ясно идентифицировать структуру оперативной памяти при функционировании программ. Это достигается посредством использования языка программирования низкого уровня Ассемблер, позволяющего четко определить размещение программ в оперативной памяти. Инструментальные средства, используемые для подготовки и отладки программ, функционирующих в МСКУ, многократно апробировались при разработке базового ПО, используемого в информационно-вычислительной системе (ИВС) модернизированной системы внутриреакторного контроля ВВР-440, ВВР-1000, аппаратуры контроля нейтронного потока (АКНП-И), входящей в системы управления защитами (СУЗ) реакторов ВВЭР-1000 и т.п., эксплуатирующихся на АЭС Украины.

### **Общие сведения**

Для подготовки и отладки программ МСКУ используются интегрированные программные средства подготовки и отладки (далее - ИСПП), которые используют следующие инструментальные средства:

- редактор текстов программ;

- транслятор программ;
- компоновщик программ для сборки исполняемого модуля управляющей программы рабочего режима;
- программы записи в FLASH контроллера МСКУ.

Основной язык программирования МСКУ - Си-МСКУ, являющийся специализированным языком для программирования задач управления технологическими процессами, в котором сохранены все основные возможности языка системы Турбо Си.

Управляющие и прикладные программы, функционирующие в МСКУ, объединены в единый исполняемый модуль управляющей системы (УС МСКУ), организующей работу МСКУ.

Формирование исполняемого модуля УС МСКУ выполняется ИСПП в среде ОС Linux или ОС Windows 2000.

### Функции ИСПП

При разработке ИСПП использована модульная технология, поэтому ИСПП представляет собой программный монитор (далее - монитор) и совокупность программных компонент (автономных программ), вызываемых этим монитором по мере необходимости выполнения выбранной операции. В результате использования такой технологии упрощен механизм включения дополнительных возможностей и обеспечивается отказоустойчивость к несанкционированным действиям человека - оператора. Логическая структура ИСПП показана на рисунке 1.

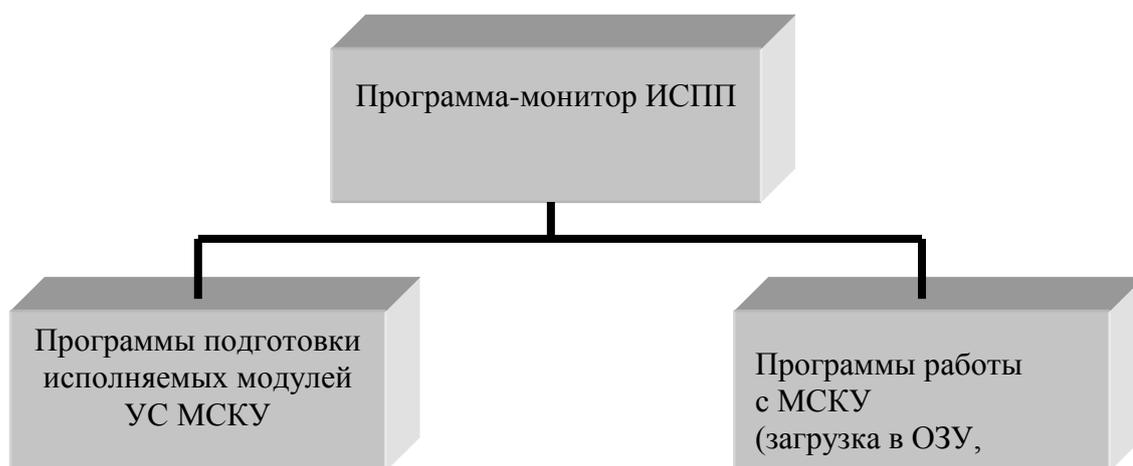


Рисунок 1 - Логическая структура ИСПП

Внешний интерфейс ИСПП определен в виде оконного диалога. Основные кадры (окна), выдаваемые ИСПП оператору в ходе работы, имеют формат, показанный на рисунках 2-5.

При работе оператора с ИСПП для выполнения необходимых действий используется манипулятор «мышь» и клавиши алфавитно-цифровой клавиатуры.

При работе с окнами используются стандартные графические элементы отображения и управления: планка с заголовком и кнопками минимизации, максимизации, закрытия окна, меню для выбора требуемого режима работы ИСПП. В центральной части экрана расположено окно, отображающее результаты работы текущего режима работы ИСПП, а также предназначенное для ввода оператором необходимых данных. Окна могут накладываться друг на друга, накрывая предыдущее окно полностью или частично.

ИСПП предоставляет следующие функциональные возможности:

- подготовку УС МСКУ (с включением прикладных программ), настроенной на конкретный набор функциональных возможностей и конфигурацию технических средств МСКУ;

- подготовку настроек для оперативных баз данных шлюзовых рабочих станций, взаимодействующих с соответствующей группой МСКУ;

- групповую подготовку УС для нескольких МСКУ с одновременным созданием настроек для оперативных баз данных шлюзовых рабочих станций, объединенных с данной группой МСКУ локальной сетью МАПС, МАПС/Ethernet или радиальной сетью интерфейса RS-422. Настройки шлюзовых рабочих станций предоставляют прикладным процессам верхнего уровня информационный доступ к МСКУ через OPC-сервер в среде Windows или системное ПО шлюзовой ПЭВМ системы МСКУ, функционирующее под управлением ОС Linux;

- выполнение операций с непосредственным доступом к МСКУ;

- отладку системных и прикладных программ.

ИСПП предоставляет возможность службам сопровождения программ МСКУ подготавливать комплекты поставки УС для любых исполнений МСКУ, которые применяются при наладке комплексов в процессе изготовления, при проведении всех видов испытаний, а также при проверке оборудования в процессе эксплуатации. В комплект поставки включаются модули подготовленного проекта УС, сервисные программы для контроля целостности и инсталляции комплекта, файлы с документацией (например, инструкцией по использованию). ИСПП в режиме подготовки комплекта поставки обеспечивает:

- подготовку нового комплекта;

- установку ранее подготовленного комплекта с CD-ROM на жесткий диск ПЭВМ;

- редактирование установленного на жесткий диск ПЭВМ комплекта;

- контроль целостности комплекта на CD-ROM или установленного комплекта на жестком диске ПЭВМ.

После подготовки комплекта, сформированный каталог модулей комплекта может быть записан на CD-ROM штатными средствами копирования информации в ОС Windows (или ОС Linux).

ИСПП выполняет следующие операции при непосредственном доступе к МСКУ 2:

- копирование целевых файлов проекта УС с диска инструментальной ПЭВМ по сети МАПС или МАПС/Ethernet на диск контроллера;
- запуск контроллера МСКУ в режиме восстановления целевых файлов проекта на диске одного контроллера с диска другого контроллера;
- получение справочной информации о текущем состоянии и составе информации, записанной на диски контроллеров;
- сброс одного или всех контроллеров МСКУ с перезапуском;
- отключение автоматического перехода МСКУ в исполнительный режим по включению питания;
- перевод МСКУ в исполнительный режим;
- сброс текущего состояния МСКУ с отключением автоматического перехода МСКУ в исполнительный режим;
- копирование целевых файлов проекта с диска контроллера на диск инструментальной ПЭВМ;
- корректировку поправок для каналов ввода сигналов термометров сопротивления, подключенных по трехпроводной схеме.

Для МСКУ 3 ИСПП выполняет загрузку и запуск УС МСКУ с диска инструментальной ПЭВМ по радиальной сети интерфейса RS – 422, получение справочной информации о текущем состоянии МСКУ, версии стартовой системы, версии УС и версии инструментальных средств подготовки проекта УС, загруженной в оперативную память контроллера, а также сброс контроллера.

Общий вид главного окна ИСПП показан на рисунке 2.



Рисунок 2 - Общий вид главного окна ИСПП

Общий вид окна для подготовки УС показан на рисунке 3.

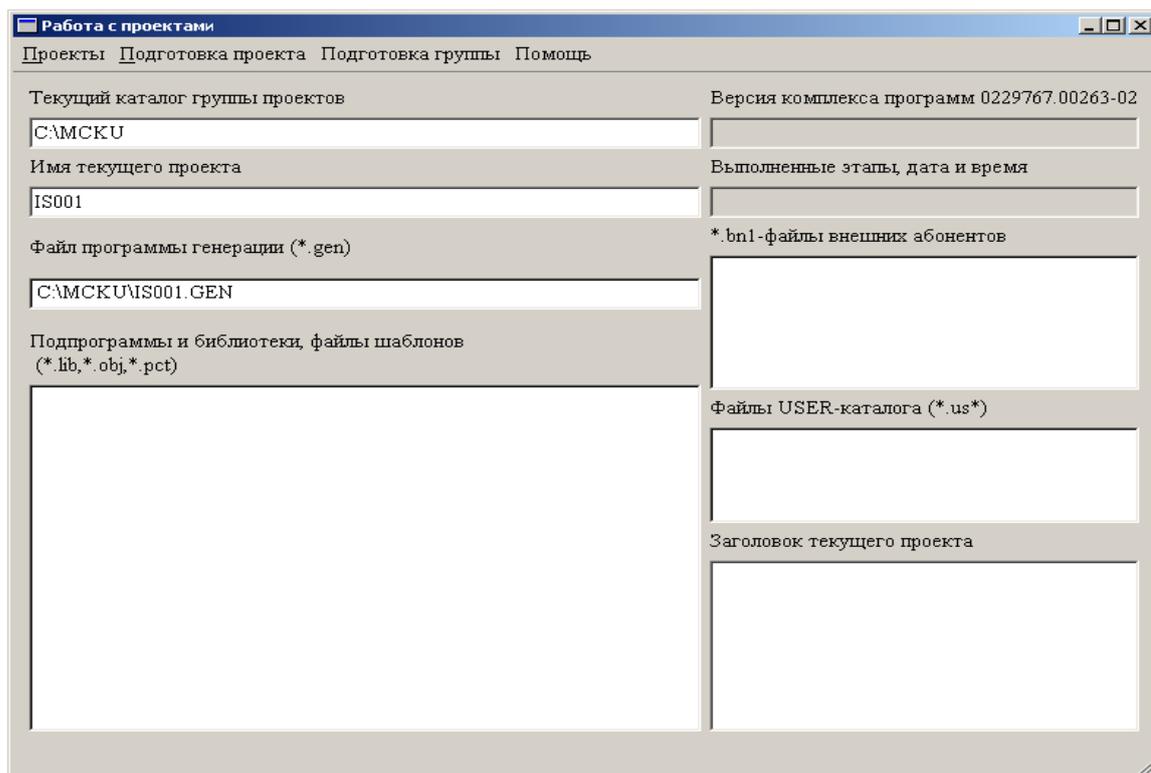


Рисунок 3 - Общий вид окна для подготовки УС

Общий вид окна для работы с МСКУ 2 показан на рисунке 4.

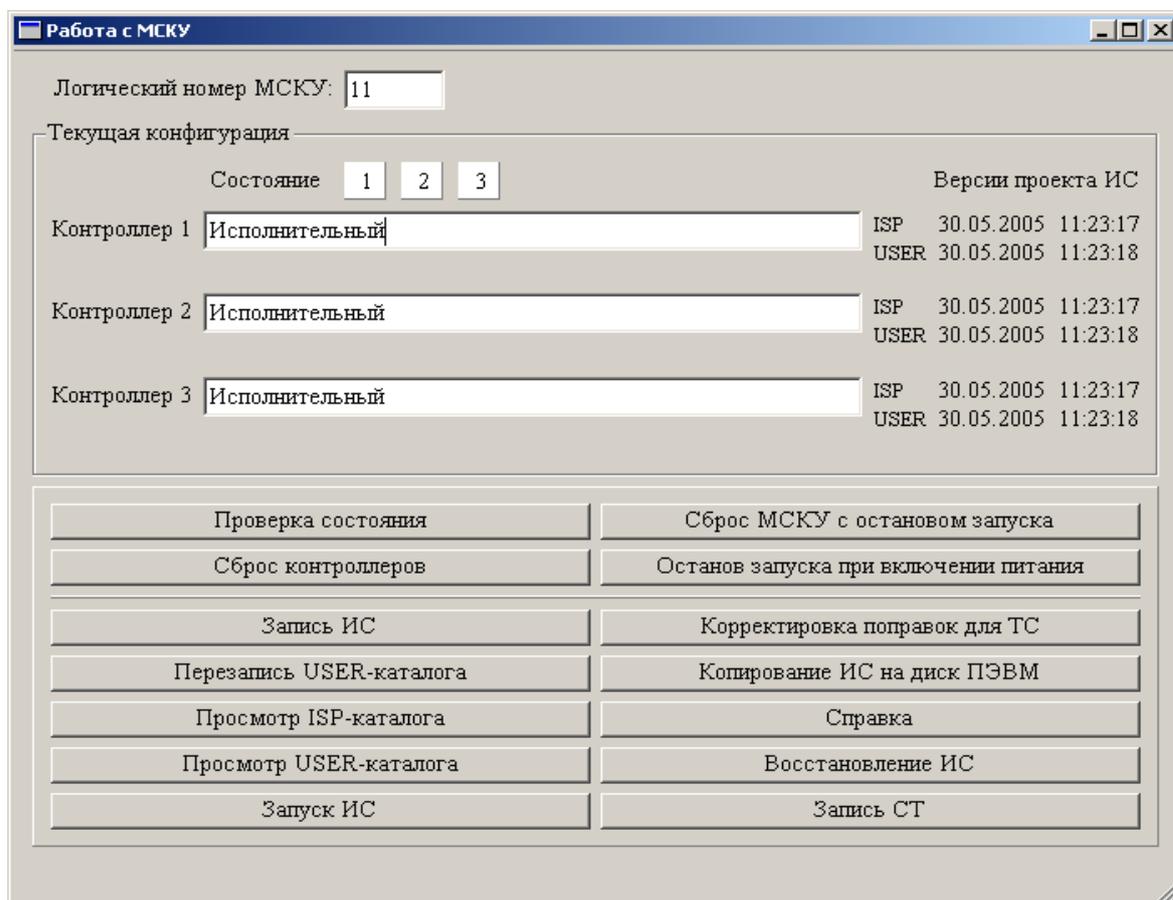


Рисунок 4 - Общий вид окна для работы с МСКУ 2

Отладка системных и прикладных программ выполняется с помощью инструментальных средств отладки, функционирующих в среде Linux/Windows.

Инструментальные средства отладки программ для МСКУ обеспечивают выполнение следующих функций отладки системных и прикладных программ:

- чтение/запись данных оперативной памяти контроллера по физическим адресам памяти и значений поименованных элементов УС МСКУ по идентификаторам элементов. По требованию оператора операции протоколируются в файле на диске;
- передачу в МСКУ по требованию оператора исходных сообщений операций типа “запрос-ответ”, прием и вывод оператору содержимого ответных сообщений от МСКУ. По требованию оператора операции протоколируются в файле на диске;
- прием и вывод оператору содержимого инициативных сообщений от МСКУ в виде последовательности значений байтов и структурированном виде (согласно типам передаваемых данных ОБД). По требованию оператора операции протоколируются в файле на диске;
- установ и отмену контрольных точек в прикладных программах МСКУ;
- отслеживание остановов по контрольным точкам и вывод состояния процессора контроллера в контрольной точке;
- продолжение автоматического или пошагового выполнения программы после останова в контрольной точке;
- преобразование двоичных кодов команд программ в памяти МСКУ в формат инструкций языка Ассемблер (дизассемблирование участка оперативной памяти МСКУ).

Общий вид окна при выполнении операции чтения оперативной памяти в МСКУ показан на рисунке 5.

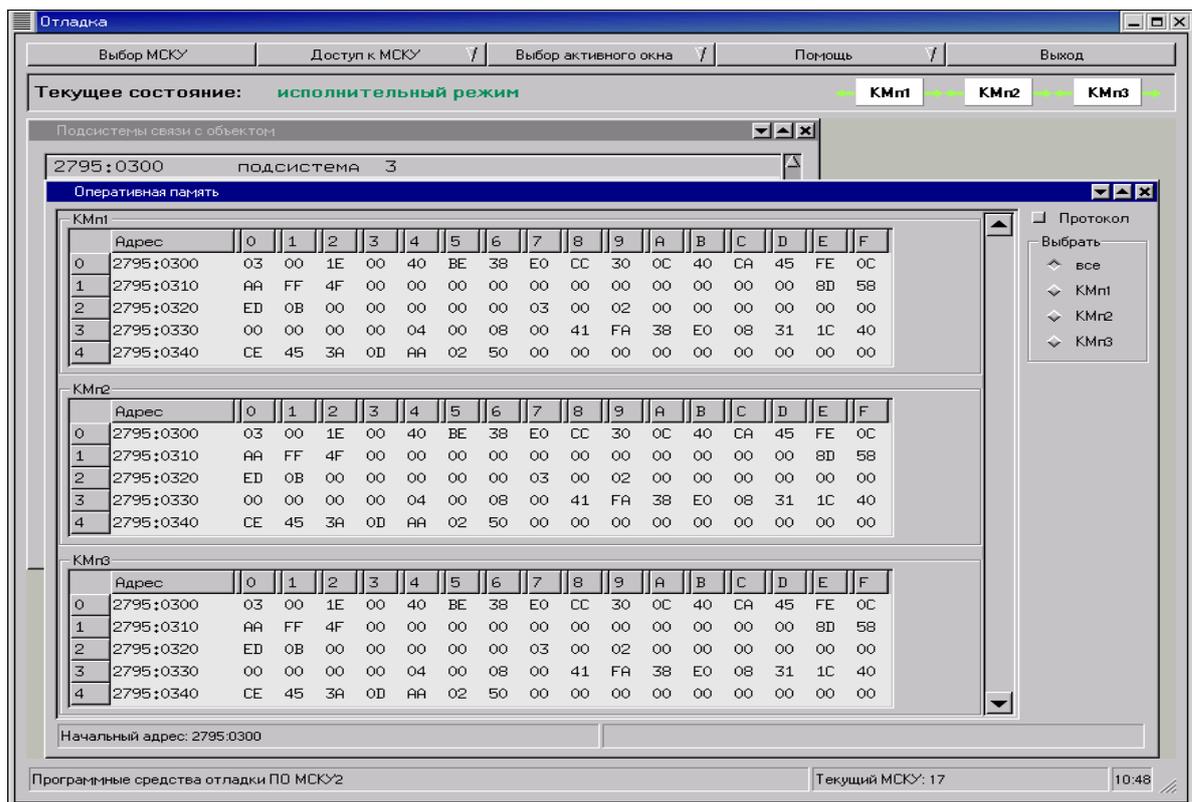


Рисунок 5 - Общий вид окна при выполнении операции чтения оперативной памяти в МСКУ

## Заключение

ИСПП является основным средством для разработки программ, функционирующих в МСКУ, и в настоящее время используется в качестве основного средства для подготовки и отладки программ нижнего уровня АСУ ТП, построенного на программно-технических комплексах МСКУ.

## Литература

1. Елисеев В.В., Ларгин В.А., Пивоваров Г.Ю. Программно-технические комплексы АСУ ТП : Учебн. пособие – К. : Издательско-полиграфический центр «Київський університет», 2003. – 429 с.
2. 2 НП 306.5.02/3.035-2000. Норми и правила з ядерної та радіаційної безпеки. Вимоги з ядерної та радіаційної безпеки до інформаційних і керуючих систем, важливих для безпеки атомних станцій.

**В.А. ЛАРГИН, О. А. ГРЕЧКА, Д. В. ЕРЕМЕЕВ**

***ЗАО «Северодонецкое научно-производственное объединение “Импульс”»***

## **СИСТЕМЫ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ ЗАДАЧ ВЕРХНЕГО УРОВНЯ АСУ ТП: ЗА И ПРОТИВ**

Рассмотрены системы параллельного программирования вычислительных задач верхнего уровня АСУ ТП. На основе анализа и вычислительных экспериментов обосновывается выбор наиболее оптимальной системы программирования.

### **Введение**

В [1] показано, что наиболее предпочтительными вариантами программно-технических комплексов (ПТК) для реализации в реальном масштабе времени ряда задач большой размерности на верхнем уровне АСУ ТП являются кластерные вычислительные системы (или – кластеры). Они ориентированы на выполнение больших задач, которые требуется решить за короткое время.

В качестве вычислительных узлов в кластере обычно используются однопроцессорные персональные компьютеры, двух- или четырехпроцессорные SMP-серверы [2]. Состав и мощность узлов может меняться даже в рамках одного кластера, давая возможность создавать неоднородные системы. Выбор конкретной коммуникационной среды определяется многими факторами: особенностями класса решаемых задач, необходимостью последующего расширения кластера и т.п. Рассматривая крайние точки, кластером можно считать как пару ПЭВМ, связанных локальной 10-мегабитной сетью Ethernet, так и вычислительную систему, из нескольких сотен рабочих станций связанных высокоскоростной сетью (например - 10G Ethernet или 10G Myrinet [4]).

Каждый узел кластера работает под управлением своей копии операционной системы, в качестве которой чаще всего используются стандартные операционные системы (ОС): Linux, Windows NT, Free BSD, Solaris. Сетевая ОС имеет в своем составе средства передачи сообщений между компьютерами по линиям связи. На основе этих сообщений сетевая ОС поддерживает синхронизации доступа к разделяемым ресурсам, обнаружение отказов и динамическую реконфигурацию системы. Для поддержания функций передачи сообщений сетевые ОС содержат специальные программные компоненты, реализующие коммуникационные протоколы. Наиболее удобной и легко настраиваемой ОС для кластеров является ОС Linux [2].

Основными требованиями к кластерным системам в АСУ ТП (как и другим вычислительным ресурсам АСУ ТП) являются:

– обеспечение отказоустойчивости выполняемых приложений к сбоям вычислительных узлов;

– выполнение приложения за время, не превышающее, заданное проектировщиком АСУ ТП, с требуемой вероятностью.

Для выполнения этих требований могут быть использованы известные методы временной и структурной избыточности [3].

Традиционным способом обеспечения отказоустойчивости при выполнении последовательной задачи в системах без синхронного резервирования (к которым принадлежат кластеры) является ее перезапуск на исправном ресурсе с некоторой контрольной точки. Более сложным является обеспечение отказоустойчивости параллельной задачи, процессы которой реализуются на разных узлах и динамически взаимодействуют между собой. В этом случае простой перезапуск подзадачи может привести либо к потере сообщений, отправленных процессу, но не полученных им в результате сбоя, либо к посылке повторных сообщений вследствие повторного выполнения уже исполненного фрагмента программы, либо и того и другого вместе.

В настоящее время существует ряд систем параллельного программирования кластеров с различным уровнем пользовательского сервиса.

Целью данной статьи является сравнительный анализ систем параллельного программирования для применения в кластерных системах верхнего уровня АСУ ТП.

## 1 PVM

PVM (Parallel Virtual Machine) - система PVM была создана для объединения нескольких связанных сетью рабочих станций в единую виртуальную параллельную ЭВМ. Система представляет собой надстройку над операционной системой UNIX и используется на различных аппаратных платформах, включая и ЭВМ с массовым параллелизмом [5].

В общем случае число задач может превосходить число процессоров, включенных в PVM. Кроме того, в состав PVM можно включать разнородные вычислительные машины, несовместимые по системам команд и форматам данных. Иначе говоря, Параллельной Виртуальной Машиной может стать как отдельно взятая ПЭВМ, так и локальная сеть, включающая в себя суперкомпьютеры с параллельной архитектурой, универсальные ЭВМ, графические рабочие станции и все те же маломощные ПЭВМ.

Главная цель использования PVM - это повышение скорости вычислений за счет их параллельного выполнения. Реальный выигрыш зависит, во-первых, от специфики задачи и, во-вторых, насколько полно учтены в программе вычислений специфика задачи и характеристики аппаратных и программных средств PVM.

Поддерживаются языки C/C++ и FORTRAN, имеются средства сопряжения библиотек PVM и с другими языками, такими как Perl, Java, язык программирования математического пакета Matlab и др.

Система PVM изначально создавалась с ориентацией именно на гетерогенные (разнородные) в любом смысле системы. В основу PVM

положена идея виртуальной параллельной вычислительной машины, которая скрывает от программиста реальную неоднородность кластера, предоставляя в его распоряжение единый (но виртуальный) многопроцессорный вычислительный комплекс. Этот виртуальный комплекс используется для реального выполнения программ. Система берет на себя доставку сообщений, преобразование данных, управление процессами.

Разработчики системы положили в ее основу следующие принципы:

- управление конфигурацией виртуального параллельного компьютера должно осуществляться любым пользователем системы. Конфигурация может изменяться "на лету" в процессе работы;

- "прозрачный" доступ к аппаратуре прикладных программ, для которых виртуальная машина представляет собой набор одинаковых процессорных элементов;

- единицей параллелизма в PVM является задача, состояние которой изменяется в процессе работы программы. Задача в определенные промежутки времени может выполнять вычисления, затем переходить к обмену данными и т. д.;

- использование явной модели обмена сообщениями, размер сообщения ограничен лишь объемом доступной памяти;

- поддержка всех типов неоднородности;

- поддержка симметричных многопроцессорных систем.

Система PVM представляет собой набор библиотек и утилит, предназначенных для разработки и отладки параллельных программ, а также управления конфигурацией виртуальной вычислительной машины.

Программирование с использованием PVM происходит следующим образом. Программист создает программу, которая при ее выполнении порождает несколько процессов, взаимодействующих между собой посредством обмена сообщениями. Обмен и другие операции реализуются обращениями к подпрограммам библиотек PVM. Подпрограммы позволяют передавать и принимать сообщения, причем обмен ориентирован, вообще говоря, на выполнение программы в гетерогенной конфигурации. Данные в общем случае разнотипные, перед передачей "упаковываются" в буфер передачи. При упаковке может использоваться кодирование данных.

В PVM реализованы основные типы обмена - двухточечный и коллективный. Есть средства синхронизации процессов. В состав PVM, кроме того, входят подпрограммы управления конфигурацией виртуальной машины. Любая задача может запускать новые процессы или завершать выполнение других процессов, выполнивших свою работу. Все это дает возможность эффективно использовать ресурсы параллельной вычислительной системы и создавать устойчивые по отношению к аппаратным сбоям программы.

Система PVM состоит из двух основных компонентов. Первым является (в терминологии ОС UNIX) демон `pvmd3` (или `pvmd`), который запускается на всех компьютерах, входящих в состав виртуальной машины. В терминологии ОС UNIX демонами называются процессы, управляющие различными службами, в данном случае, выполнением PVM-программ. Эти процессы

работают без связи с терминалом, находясь в состоянии "сна" до тех пор, пока какой-нибудь процесс не обратится к соответствующей службе операционной системы. Особенностью демона `rvmd3` является то, что запускать его могут обычные пользователи, работающие без привилегий суперпользователя.

Вторым компонентом PVM является набор библиотек, реализующих те или иные операции. В параллельных программах, написанных на языках C и C++, используются функции из библиотеки `libpvm3`. В программах на языке FORTRAN подпрограммы являются процедурами, но они фактически обеспечивают интерфейс с функциями C, поэтому при сборке программ, написанных на языке FORTRAN, необходимо подключать не только библиотеку `libfpvmS` (FORTRAN), но и `libpvm3` (C). Модель программирования PVM включает как SPMD, так и MPMD-модели [2], причем обе они равноправны.

Достоинства PVM - простота, наличие наследованного от ОС UNIX аппарата процессов и сигналов, а также возможность динамического добавления к группе вновь созданных процессов.

Недостатки - относительно низкая производительность (по сравнению с рассматриваемой далее системой Message Passing Interface) и функциональная ограниченность (например, имеется только один режим передачи сообщений - с буферизацией).

## 2 Система с передачей сообщений MPI

MPI (Message Passing Interface) представляет собой библиотеку функций, предназначенную для поддержки работы параллельных процессов в терминах передачи сообщений [6]. Целями создания MPI были:

- разработка интерфейса прикладного программирования (не только для компиляторов или библиотек реализации систем);
- обеспечение возможности эффективных коммуникаций (избежать копирования из памяти в память, совмещать процессы вычислений и коммуникаций);
- разрешить расширения для использования в гетерогенной (неоднородной) вычислительной среде;
- скрыть от пользователя проблемы коммуникаций;
- определить интерфейс, который бы не слишком отличался от разработанных ранее, таких как PVM и пр.;
- определить универсальный интерфейс (который может быть реализован на многих программно-аппаратных платформах без серьезной переделки коммуникационного и системного ПО).

Система MPI является основным средством программирования таких современных высокопроизводительных мультимпьютеров, как Silicon Graphics Origin 2000, Cray T3D, Cray T3E, IBM SP2 и многих других. В MPI учтены достижения других проектов по созданию систем передачи сообщений: NX/2, Express, nCUBE, Vertex, p4, PARMACS, PVM, Chameleon, Zipcode, Chimp

и т. д. Ее реализации представляют собой библиотеки подпрограмм, которые могут использоваться в программах на языках C/C++ и FORTRAN. В настоящее время принята новая версия спецификации — MPI-2.

В модели программирования, которую поддерживает MPI, программа порождает несколько процессов, взаимодействующих между собой с помощью обращений к подпрограммам передачи и приема сообщений. Обычно, при инициализации MPI-программы создается фиксированный набор процессов, причем каждый процесс выполняется на своем процессоре.

Спецификация MPI обеспечивает переносимость программ на уровне исходных кодов и большую функциональность. Поддерживается работа на гетерогенных кластерах и симметричных многопроцессорных системах. Не поддерживается запуск процессов во время выполнения MPI-программы. В спецификации отсутствуют описания параллельного ввода/вывода и отладки параллельных программ. Эти возможности могут быть включены в состав конкретной реализации MPI в виде дополнительных пакетов и утилит.

Эффективность и надежность обеспечиваются: определением MPI операций не процедурно, а логически, т.е. внутренние механизмы выполнения операций скрыты от пользователя; использованием непрозрачных объектов в MPI (группы, коммутаторы, типы и т.д.); хорошей реализацией функций передачи данных, адаптирующихся к структуре физической системы. Обменные функции разработаны с учетом архитектуры системы, например, для систем с распределенной памятью, систем с общей памятью, и некоторых других систем, что позволяет минимизировать время обмена данными.

В общем случае в MPI различают две модели параллельных вычислений: MPMD-модель (Multiple program - Multiple Data) и SPMD-модель (Single program - Multiple Data). В первом случае MPI-программа представляет собой совокупность автономных процессов, функционирующих под управлением своих собственных программ и взаимодействующих посредством стандартного набора библиотечных процедур для передачи и приема сообщений. Таким образом, в самом общем случае MPI-программа реализует MPMD-модель программирования.

Во втором случае (SPMD-модель) все процессы исполняют различные ветви одной и той же программы. Такой подход обусловлен тем обстоятельством, что задача может быть достаточно естественным образом разбита на подзадачи, решаемые по одному алгоритму. На практике чаще всего встречается именно эта модель программирования.

Последнюю модель иначе можно назвать моделью распараллеливания по данным. Суть этого способа заключается в следующем. Исходные данные задачи распределяются по процессам (ветвям параллельного алгоритма), а алгоритм является одним и тем же во всех процессах, но действия этого алгоритма распределяются в соответствии с имеющимися в этих процессах данными. Распределение действий алгоритма заключается, например, в присвоении разных значений переменным одних и тех же циклов в разных ветвях, либо исполнение в разных ветвях разного количества витков одних и

тех же циклов и т.п. Другими словами, процесс в каждой ветви следует различными путями выполнения на той же самой программе.

Переносимость обеспечивается, во-первых, тем, что тот же самый исходный текст параллельной программы на МРІ может быть выполнен на ряде машин (с некоторой настройкой под специфику системы). Программный код может одинаково эффективно выполняться, как на параллельных компьютерах с распределенной памятью, так и на параллельных компьютерах с общей памятью. Он может выполняться на сети рабочих станций, или на наборе процессоров на отдельной рабочей станции. Во-вторых, переносимость обеспечивается способностью параллельных программ выполняться на гетерогенных системах, то есть на системах, состоящих из процессоров с различной архитектурой. МРІ обеспечивает вычислительную модель, которая скрывает много архитектурных различий в работе процессоров. МРІ автоматически делает любое необходимое преобразование данных и использует правильный протокол связи, посылается ли код сообщения между одинаковыми процессорами или между процессорами с различной архитектурой. МРІ может настраиваться как на работу на однородной системе, так и на работу на гетерогенной системе. В-третьих, такими механизмами, как: определение одного вычислительного компьютера в виде виртуального компьютера и возможностью задания произвольного количества таких виртуальных компьютеров в системе независимо от количества физических компьютеров (зависимость только от объема оперативной памяти в системе). В-четвертых, переносимость обеспечивается заданием виртуальных топологий. Отображение виртуальных топологий на физическую систему осуществляется системой МРІ. Виртуальные топологии обеспечивают оптимальное приближение архитектуры системы к структурам задач при хорошей переносимости задач. И, наконец, в-пятых, компиляторами для Fortran и С.

Уровень языка параллельного программирования определяется языковыми конструкциями, с помощью которых создаются параллельные программы. Операторы задания топологий, обменов данными и т.п., нужно задавать в программе явно и поэтому языковый уровень параллельной программы оказывается ниже уровня последовательной программы. Наличие в системе таких средств как: виртуальные топологии, коллективные взаимодействия, создаваемые пользователем типы данных и др., значительно повышают уровень параллельного программирования по сравнению с системами с передачей сообщений, у которых нет таких средств.

В проекте, МРІ-2 [6] введены дополнительные по отношению к МРІ, весьма важные возможности.

Взаимодействие между приложениями. Поддержка механизма "клиент-сервер". Стало возможным писать на МРІ не только расчетные математические задачи, но и другие многофункциональные задачи.

Динамическое создание и уничтожение процессов (ветвей). Это важно для работы в сетях ЭВМ.

Для работы с файлами создан архитектурно-независимый интерфейс. Это необходимо для случая, если диск находится на одной ЭВМ, а ветвь, которая

должна с ним работать - на другой. В отсутствие такого интерфейса пересылку данных приходится либо организовывать вручную, либо полагаться на сетевые возможности операционной системы. По сравнению и с тем, и с другим, MPI гарантирует лучший баланс между универсальностью и быстродействием.

Сделан шаг в сторону SMP-архитектуры. Теперь разделяемая память может быть не только каналом связи между ветвями, но и местом совместного хранения данных. Для этого ветви делегируют в MPI так называемые буфера - "окна". Интерфейс выполнен так, чтобы в принципе его можно было реализовать и через передачу сообщений на не-SMP-комплексах. MPI автоматически поддерживает идентичность содержимого всех "окон" с одинаковым идентификатором. Для этого механизма введен термин "One-sided communications" ("односторонние коммуникации"), так как ветви-получателю не требуется явно вызывать функцию приема для получения новой информации; функция передачи в ветви-отправителе осуществляет "Remote memory access" ("удаленный доступ к памяти", сокращенно RMA).

MPI является специализированным и весьма сложным средством программирования, так спецификация на MPI-1 содержит 300 страниц, на MPI-2 - еще 500 (только отличия и добавления к MPI-1), и программисту для эффективной работы необходимо с ними ознакомиться. Сложность (т.е. многочисленность функций и обилие аргументов у большинства из них) является ценой за компромисс между эффективностью и универсальностью. С одной стороны, на SMP-машине должны существовать способы получить почти столь же высокую скорость при обмене данными между ветвями, как и при традиционном программировании через разделяемую память и семафоры. С другой стороны, все функции должны работать на любой платформе.

MPICH (MPI CHameleon) представляет собой одну из реализаций спецификации MPI, которая поддерживает работу на большом числе платформ и с различными коммуникационными интерфейсами, в том числе TCP/IP. Основные особенности MPICH версии 1.2.2:

- полная совместимость со спецификацией MPI-1;
- наличие интерфейса в стиле MPI-2 с функциями для языка C++ из спецификации MPI-1;
- наличие интерфейса с процедурами языка FORTRAN-77/90;
- имеется реализация для Windows NT, которая распространяется в исходных текстах. Ее установка и использование отличаются от UNIX;
- поддержка большого числа архитектур, в том числе кластеров рабочих станций, симметричных многопроцессорных систем и т. д.;
- частичная поддержка спецификации MPI-2;
- частичная поддержка параллельных ввода/вывода (ROMIO);
- наличие средств трассировки и протоколирования (на основе масштабируемого формата log-файлов SLOG);
- наличие средств визуализации производительности параллельных программ (upshot и jumpshot);

– наличие в составе MPICH тестов производительности и проверки функционирования системы.

В состав MPICH входят библиотечные и заголовочные файлы. MPICH содержит более сотни подпрограмм. С пакетом MPICH поставляются средства визуальной отладки и профилирования параллельных программ. Это jumpshot или более старая версия upshot. Написаны они на языке Java и работают с файлами-протоколами событий CLOG (jumpshot 2) и SLOG (jumpshot 3).

Библиотека MPICH может использоваться в программах на языках FORTRAN и C/C++. Вызов подпрограмм в этих двух случаях различается. По-разному указываются имена функций, различаются способы получения кодов завершения подпрограмм и т. д.

Важным достоинством MPI является наличие системы CMDE (Channel Memory based Dynamic Environment) [7], позволяющей решать проблему восстановления выполнения параллельного приложения после сбоя его узла на основе использования Памяти Каналов.

Система CMDE является динамическим программным окружением, состоящим из множества взаимосвязанных компонент, каждый из которых запускается на отдельном узле кластерной системы или сети. Динамизм системы определяется обеспечением динамического включения компонентов в систему или исключения из неё.

Система CMDE состоит из двух подсистем: подсистемы низкоуровневых коммуникаций для библиотеки MPICH и подсистемы запуска и сопровождения параллельных MPI-программ на кластерах. Первая подсистема состоит из одного компонента – коммуникационной библиотеки низкого уровня, реализующей всё множество высокоуровневых коммуникационных функций библиотеки MPICH. Вторая подсистема состоит из компонентов четырёх типов – Диспетчера, Сервера Памяти Каналов (СПК), Сервера Контрольных Точек (СКТ) и Исполнителя. В текущей реализации системы для выполнения поставленных задач необходимо существование одного Диспетчера, одного или более СПК, одного или более СКТ и двух или более Исполнителей.

Диспетчер является центральным компонентом системы. Он обеспечивает добавление других компонентов в систему и отслеживает их отключение, формирует и поддерживает очередь приложений, назначает ресурсы приложению и перераспределяет ресурсы в случае сбоев.

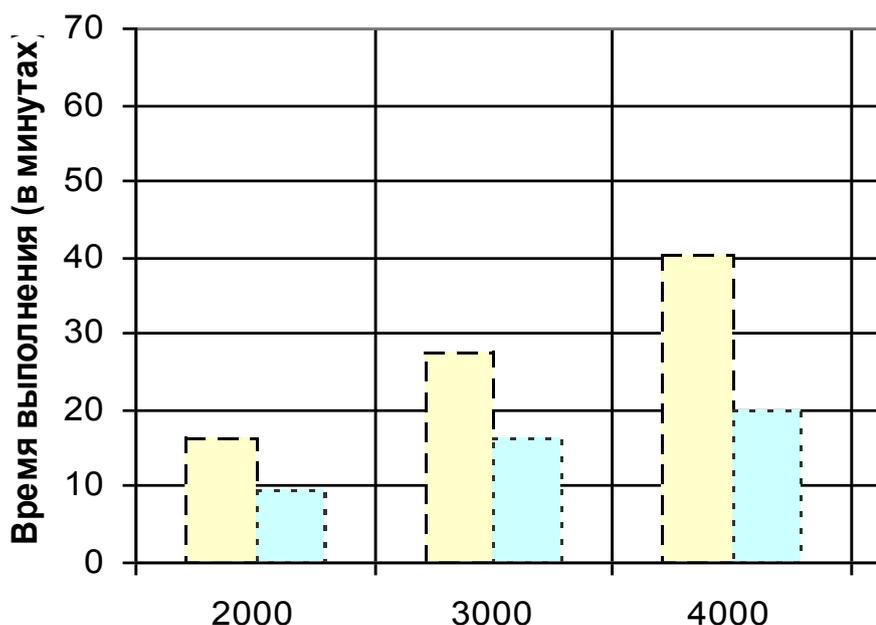
Память Каналов разделяет процесс отправки и приёма сообщения между узлами и хранит сообщения в промежутке между отправкой и приёмом, а также сохраняет все сообщения, переданные через канал, начиная с момента последней контрольной точки процесса-получателя сообщений. Основными достоинствами системы является возможность асинхронного создания контрольных точек параллельными процессами на каждом узле и независимое восстановление параллельных процессов после сбоя.

Контрольные точки процессов формируются с использованием библиотеки системы Condor. Использование в CMDE дополнительных компонентов требует обеспечения их отказоустойчивости или введения дополнительных требований на надёжность узлов кластеров или сетей. В

настоящее время в системе существуют ограничения, связанные с надёжностью, только для двух её компонент: Диспетчера и СКТ. СПК, количество которых является критическим для производительности параллельных приложений, могут быть размещены на ненадёжных узлах, для которых допустимы сбои. Восстановление СПК осуществляется на основе специально разработанного алгоритма дублирования Памяти Каналов между СПК, являющимися соседними на кольце из всех СПК. Такое дублирование влечёт за собой минимальные накладные расходы, связанные с копированием сообщений с одного сервера на другой, однако приводит к ограничению на частоту сбоев соседних СПК и имеет более сложный алгоритм восстановления. Этот же алгоритм используется для введения в приложение нового СПК, что позволяет уменьшить нагрузку на другие СПК.

Механизмы обеспечения отказоустойчивости, реализованные в системе, имеют следующие последствия для приложения при выходе из строя какого-либо из компонентов системы. Выход из строя узла влечёт за собой перезапуск его подзадачи на другом узле при наличии свободных или приостановку выполнения подзадачи до появления такого свободного ресурса. Выход из строя СПК приводит к приостановке коммуникаций всех подзадач, связанных с этим сервером, и возобновление их работы после завершения процесса реконфигурации системы или перезапуск всех подзадач приложения при невозможности реконфигурации. Выход из строя СКТ приводит к перезапуску всех подзадач связанного с ним приложения с использованием другого СКТ (при его наличии), либо к приостановке приложения и его перезапуску при появлении нового СКТ. Выход из строя Диспетчера не отражается на работе запущенных приложений, однако после их завершения все компоненты системы завершают работу, а все задачи, находившиеся в очереди, должны будут быть вновь зарегистрированы с помощью клиента. Возможна реализация восстановления очереди задач при перезапуске Диспетчера на том же узле.

Методика создания параллельных приложений с использованием системы МРІ-2 была исследована в ЗАО «СНПО «Импульс» на примере двух типов задач - умножения матриц и решения СЛАУ методом Гаусса различной размерности с реализацией на кластерах из двух, четырех и восьми ПЭВМ (сеть 100 Mb/s, Ethernet). Полученные результаты позволяют сделать вывод о хороших возможностях системы по распараллеливанию расчетных математических задач, накладные расходы на управление составляют единицы процентов (начиная с размерностей матриц 4000\*4000 и 3000 уравнений), время выполнения задач обратно пропорционально числу ПЭВМ. На рис. 1 приведена зависимость времени выполнения задачи от размерности матриц (левые столбцы – 4 ПЭВМ, правые – 8 ПЭВМ).



Размерность матриц

Рисунок 1 Зависимость времени выполнения задачи от размерности

### 3 Платформа Java

Технология Java разработана на основе платформенно-независимого, переносимого, объектно-ориентированного языка, обеспечивающего разработчиков инструментарием для создания решений, не зависящих от операционной системы и аппаратной платформы, на которых эти решения будут функционировать [8]. Независимость от платформы достигается за счет того, что уникальные характеристики каждой из поддерживаемых Java платформ, реализованы в виде оболочки, называемой Java Runtime Environment (JRE). Компилятор языка Java преобразует код в последовательность байт-кодов, которая ориентирована на одну из конкретных платформ в рамках JRE.

С точки зрения создания распределенных систем, наиболее интересным из состава платформы является интегрированный программный интерфейс RMI (Remote Method Invocation - удаленный вызов методов или процедур), CORBA (модель удаленного вызова объектов, не является изначально компонентом Java платформы, но имеет реализацию на языке Java) и возможность присоединения таких интерфейсов как Jini и JavaSpaces, реализованных на языке Java.

При разработке программного интерфейса удаленного вызова методов (RMI) разработчики стремились к тому, чтобы разработка распределенных Java-программ велась аналогично (с точки зрения синтаксиса и семантики) созданию нераспределенных программ. RMI-архитектура определяет, как объекты ведут себя, как и когда могут происходить исключения, стратегию управления памятью, какие параметры отсылаются и какие параметры возвращаются из удаленных методов. Она базируется на одном важном принципе: определение методов и их реализация отделены друг от друга.

Суть RMI заключается в следующем [8]. Пусть имеется Java-объект. Он может иметь несколько интерфейсов, каждый из которых характеризует определенное поведение этого объекта. Для удаленных приложений он будет виден через опубликованный Java-интерфейс, содержащий некоторое множество методов. Клиент взаимодействует с объектом через ссылку на один из интерфейсов, реализованных объектом. Обращение к удаленному объекту происходит аналогично обычному локальному вызову метода, т.е. прозрачно для разработчика. RMI поддерживает также передачу объектов из одного адресного пространства в другое, для чего используется технология сериализации объекта. Технология сериализации разработана специально для языка Java и обеспечивает распределение объектов по сети [9].

Jini - это набор соглашений, специфицирующих методы автоматического взаимодействия и регистрации устройств, подключаемых к сети [10]. Jini-технология базируется на Java-технологии, что позволяет работать с любыми устройствами и отказаться от традиционного использования разнообразных драйверов, громоздкого системного программного обеспечения, привязанного к аппаратным платформам и не позволяющего устройствам взаимодействовать в гетерогенной сети.

Цель архитектуры Jini - объединить группы устройств и программных компонентов в единичную, динамически распределенную систему. Результирующее объединение предоставляет простоту доступа, легкость администрирования и поддержку совместного использования ресурсов, которая предоставляется большой монолитной системой, с сохранением гибкости, единообразным откликом, и управлением.

Технология Jini, как и CORBA, относится к промежуточному программному обеспечению. В дополнении к решению проблем гетерогенности Jini предоставляет унифицированную вычислительную модель, используемую разработчиками распределенных приложений. Таковыми являются: модель удаленного вызова процедур (RMI), удаленное уведомление о событии, удаленный доступ к базам данных и распределенные транзакции.

Технология Jini имеет следующие преимущества:

- простота реализации компонентов вычислительных систем;
- платформенная независимость;
- масштабируемость;
- малый объем ресурсов клиентской системы.

В качестве недостатка технологии Jini можно указать только поддержку одного языка программирования (Java).

Технология JavaSpaces фактически базируется на технологиях RMI и Jini и часто ее рассматривают как продолжение технологии Jini для построения распределенных систем.

Данная технология рассматривает приложение как совокупность процессов, согласованных через цепочки объектов внутри и вне одного из нескольких «пространств» [11]. «Пространство» (space) - это совместно используемое хранилище объектов, которое процессы используют для обмена и хранения объектов. Процессы выполняют простые операции: записать (write),

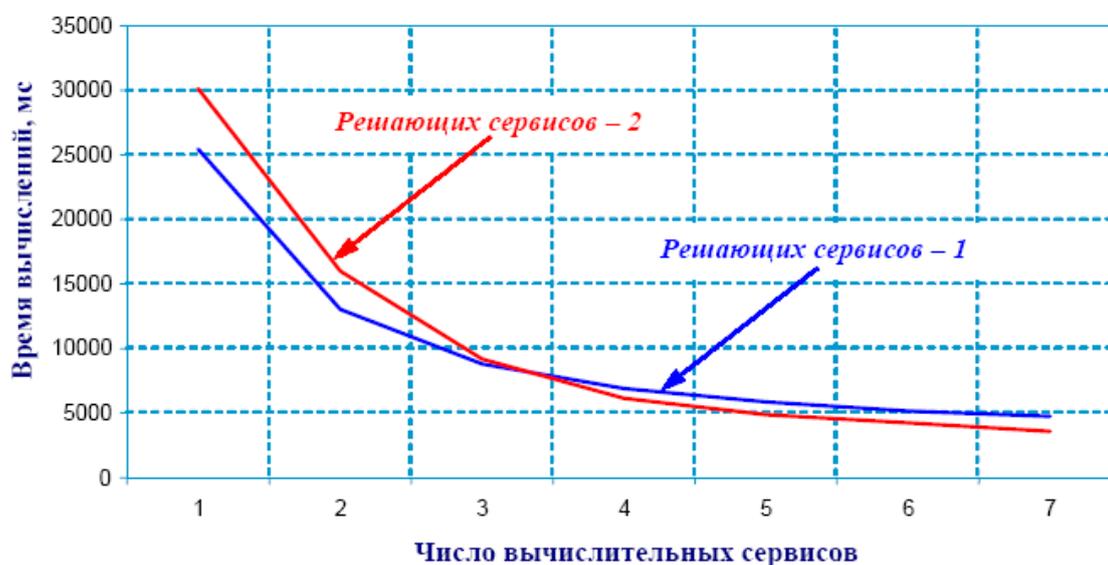
считать (read) и взять (take), используя поиск по значению для операций read и take. Пока объекты находятся в хранилище, они являются пассивными данными и не могут быть изменены даже собственными методами, вызываемыми изнутри «пространства». Для изменения состояния объекта, процесс должен явно взять его, обновить его состояние и снова поместить его в «пространство».

Ключевыми возможностями «пространства» являются:

- «пространства» совместно используются системой. Большинство удаленных процессов может взаимодействовать с «пространством» одновременно, создавая и получая доступ к распределенным данным. «Пространство» управляет процессом доступа;

- объект, хранящийся в «пространстве», может оставаться там до тех пор, пока процесс не удалит его (операцией изъятия). Хранилище объектов позволяет сохранять информацию, необходимую для приложения, независимо от места, из которого было запущено приложение.

Возможности распараллеливания платформы Java исследованы на примерах матричной арифметики и вычислений на сеточной области для однородного кластера [12]. Время вычислений прямо пропорционально зависит от размерности матриц и нелинейно (с насыщением) зависит от числа ПЭВМ (вычислительных сервисов) в кластере. На рис. 2 приведены зависимости времени вычислений от числа ПЭВМ (вычислительных сервисов) для одной и двух управляющих ПЭВМ (решающих сервисов).



## Выводы

Каждая из вышеописанных систем программирования обладает определенными достоинствами и недостатками. При выборе системы программирования необходимо учитывать следующие критерии. Система должна:

- предоставлять возможность создания приложений, отказоустойчивых к сбоям вычислительных узлов;
- обеспечивать выполнение приложения за заданное время;

- быть удобной в использовании при создании параллельных программ;
- современной с точки зрения информационных технологий.

Исходя из этих критериев, можно сделать вывод, что наиболее предпочтительными из рассмотренных систем для расчетных математических задач (основы моделей технологических объектов и экспертных систем), выполняемых в режиме реального времени, являются системы программирования семейства MPI.

Отказоустойчивость вычислений обеспечивается применением системы CMDE. Эффективность и надежность обеспечиваются: определением MPI операций не процедурно, а логически, и хорошей реализацией функций передачи данных, адаптирующихся к структуре физической системы.

Исходный текст параллельной программы на MPI является переносимым, т.е. может быть выполнен на ряде машин (как на параллельных компьютерах с распределенной памятью, так и на параллельных компьютерах с общей памятью и гетерогенных системах). MPI обеспечивает вычислительную виртуальную модель, которая скрывает архитектурные различия в работе процессоров. Виртуальные топологии обеспечивают оптимальное приближение архитектуры вычислительной системы к структурам задач.

Библиотеки операций MPI являются открытыми (с открытым исходным кодом), что важно для применения программного обеспечения на основе MPI для автоматизации объектов атомной энергетики.

Для программирования целесообразно применять язык программирования C++, который является наиболее удобным и качественным по своим характеристикам язык программирования.

### Литература

1. Горелик А.Х., Елисеев В.В., Кужиль А.С. Выбор вычислительного комплекса для реализации задач большой размерности на верхнем уровне АСУ ТП АЭС // Ядерная и радиационная безопасность. 2005, № 3. С. 30-37.
2. Вильям Столлинг. Операционные системы, четвертое издание.: Пер. с англ. М.: Издательский дом «Вильямс». 2002. - 848 с.
3. Додонов А.Г., Кузнецова М.Г., Горбачик Е.С. Введение в теорию живучести вычислительных систем. Киев: Наукова думка. 1990. 184 с.
4. <http://www.myri.com/>.
5. [http://www.csm.ornl.gov/pvm/pvm\\_home.html](http://www.csm.ornl.gov/pvm/pvm_home.html).
6. <http://www.mpi-forum.org>.
7. Селихов А.В., CMDE: Динамическое программное окружение для отказоустойчивого выполнения MPI-программ на кластерах и сетях // Материалы третьего Международного научно-практического семинара 13–15 ноября 2003 г. С. 160-167.
8. Sun Microsystems: Java Remote Method Invocation Specification. Sun Microsystems, Inc., Palo Alto, Calif. 1999.
9. Sun Microsystems: Java 2 Platform Standard Edition. Sun Microsystems, Inc., Palo Alto, Calif. 2002.
10. Edwards W.K. Core Jini / 2nd edition. Sun Microsystems Press, 2001. 1004 p.
11. Freeman E., Hupfer S., Arnold K. JavaSpaces. Principles, patterns and practice. Addison-Wesley Publishing Company, 2001. 364 p.

12. Степанченко И.В. Исследование платформы JAVA для создания распределённой вычислительной системы, реализующей алгоритмы адаптации параметров регулятора. // Труды II международной конференции «Параллельные вычисления и задачи управления» Москва 4-6 октября 2004 С. 141-163.

## **МНОГОПЛАТФОРМЕННЫЙ РАСПРЕДЕЛЕННЫЙ КОМПЛЕКС ПРОГРАММ ПРИЕМА, ОБРАБОТКИ, ОТОБРАЖЕНИЯ И АРХИВИРОВАНИЯ ДАННЫХ В АСУ ТП**

Описывается комплекс программ приема, отображения и архивирования диагностической и технологической информации в АСУ ТП “КОРУНД-2”. Комплекс построен по «клиент-серверной» технологии. Для сетевого взаимодействия компонент комплекса используется технология CORBA. Графические компоненты разработаны с использованием многоплатформенной графической библиотеки Qt фирмы Trolltech.

### **Введение**

Сбор информации, архивирование, отображение для анализа и контроля состояния технологического процесса являются одними из основных в любой АСУ ТП.

В случае больших систем, количество информации велико и превышает поток, который способен обработать один человек. В таких случаях средства отображения должны быть разнесены по разным рабочим местам, для работы нескольких операторов (или в случае многоуровневого контроля протекания процесса) [1]. В большинстве современных ответственных систем применяют резервирование рабочих мест.

Для реализации перечисленных выше функций, спроектирован распределенный комплекс сбора, отображения и архивирования информации.

Для свободной интеграции в современные операционные системы семейства Windows и Linux, программный комплекс создан на многоплатформенной основе.

В данной статье рассмотрена реализации многоплатформенного комплекса программ для сбора, отображения и архивирования информации в АСУ ТП.

### **Основные особенности комплекса**

Основными отличиями приводимой реализации комплекса от большинства аналогов являются:

– возможность разнесения частей программного комплекса в пределах сети Internet (Intranet), при использовании сетевой технологии межмашинного взаимодействия приложений CORBA[2];

– возможность выполнения частей комплекса программ на ПЭВМ, функционирующих под операционными системами как семейства Linux, так и семейства Windows, при использовании сетевой технологии CORBA [2] и графической библиотеки QT фирмы Trolltech [3].

Рассматриваемый программный комплекс функционирует на IBM PC – совместимых ПЭВМ под управлением операционных систем семейства Linux или Windows.

Информацией для комплекса являются выходные данные, формируемые промышленными контроллерами АСУ ТП.

Комплекс программ разработан как универсальный, расширяемый инструмент.

Комплекс программ, предназначен для выполнения следующих основных функций:

- прием и обработка данных от каждого контроллера АСУ ТП, формирование оперативной базы данных параметров процесса;
- визуализация текущей информации о протекании технологического процесса;
- ведение протокола (журнала) событий по каждому из устройств, входящих в контролируемый процесс;
- ведение протоколов работы программного комплекса;
- архивирование данных о протекании технологического процесса (текущей информации протекания процесса, событий) и протоколов работы программного комплекса;
- передача данных в другие системы по сети Internet.

В комплексе используется «клиент-серверная» технология с разграничением доступа к функциям и техническим средствам. Благодаря использованию сетевой распределенной технологии CORBA [2], клиентские и серверные приложения могут быть размещены на разных ПЭВМ, которые могут работать под управлением разных операционных систем (Linux или Windows). Графические программы комплекса реализованы с использованием графической библиотеки QT фирмы Trolltech [3], что позволяет использовать их под указанными операционными системами без изменения исходных текстов программ.

Комплекс содержит следующие средства:

- средства ведения базы данных параметров контролируемого процесса, приема и обработки параметров процесса;
- средства архивирования параметров контролируемого процесса;
- средства формирования и архивирования сообщений о нарушениях происходящих в технологическом процессе;
- средства ведения и архивирования протоколов работы системы;
- средства отображения технологической и диагностической информации.

Структура комплекса программ показана на рисунке 1.

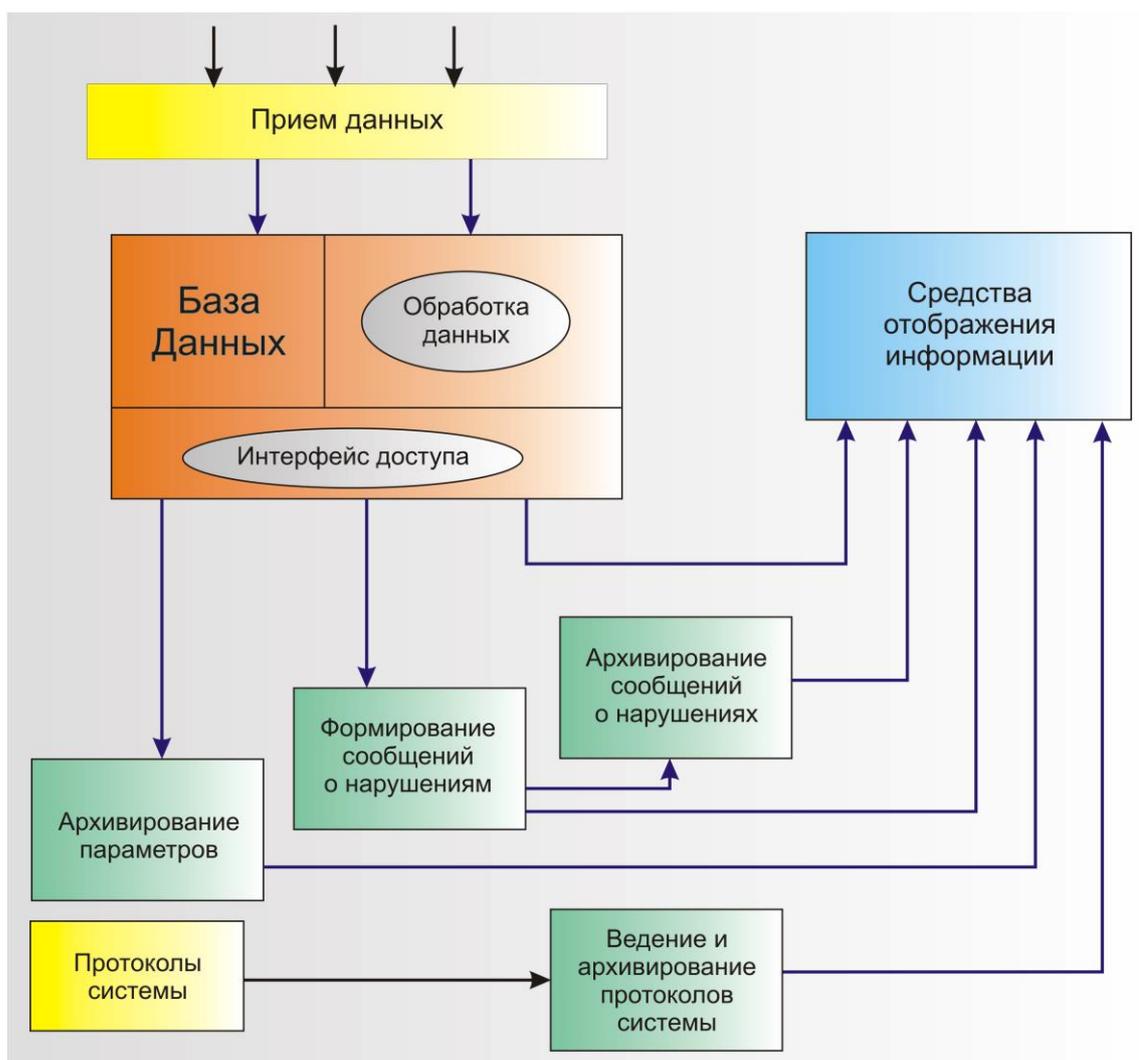


Рисунок 1 - Структура комплекса программ сбора, отображения и архивирования информации в АСУТП

Благодаря «клиент-серверной» технологии комплекс может располагаться как на одной ПЭВМ, так и быть разнесенным на несколько ПЭВМ. Каждая часть средств может быть установлена на отдельной ПЭВМ.

Средства ведения базы данных параметров контролируемого процесса, приема и обработки параметров процесса

Средства приема данных от контроллеров системы, являются специфическими. Средства приема данных разрабатываются для контроллеров соответствующей архитектуры и предназначены для поддержки интерфейса со средствами ведения базы данных. В таком случае, оперативная база данных (ОБД), путем ее настройки, может работать с известными ей типами контроллеров. Перечень контроллеров может пополняться.

Настройка базы данных сводится к созданию конфигурационного файла, в который включаются все контролируемые параметры технологического процесса.

Составной частью комплекса программ являются средства обработки параметров процесса. Средства содержат набор стандартных математических обработок параметров. Специфические для конкретного процесса обработки,

добавляются для каждой системы. Независимо от архитектуры контроллеров интерфейс доступа со стороны прикладных программ к параметрам технологического процесса остается неизменным.

При доступе к ОБД прикладные задачи могут получить перечень параметров технологического процесса и настроить интерфейс уведомлений по изменению заказанных параметров.

Каждый параметр технологического процесса в ОБД характеризуется значением, временем изменения и состоянием.

### **Средства архивирования параметров контролируемого процесса**

Средства архивирования настраиваются под конкретный технологический процесс с помощью конфигурационного файла, в котором указываются атрибуты архивируемых параметров (информация для доступа к параметру, описание параметра, настройки архивирования параметра).

Программа архивирования реализована в виде сервера.

Входными данными для программы являются данные, получаемые по интерфейсу ОБД. Источниками данных сервера могут быть одновременно несколько серверов ОБД.

Основными атрибутами архивирования параметров являются:

- символьное обозначение параметра в базе данных (например, “SCT107”, “AI\_TXN1”). Допускается указание сложных зависимых шаблонов;
- текстовое описание параметра (например, “Температура под крышкой РУ”) или шаблон имен атрибутов базы данных, хранящих текстовые описания параметров;
- апертура изменения параметра или имя атрибута базы данных, хранящего апертуру изменения параметра;
- единица измерения параметра или имя атрибута базы данных, хранящего единицу измерения параметра;
- предел шкалы измерения параметра или имя атрибута базы данных, хранящего предел шкалы измерения параметра.

Для каждого атрибута возможно как непосредственное указание его значения в конфигурационном файле, так и получение его значения из базы данных атрибутов. Апертура изменения параметра может считываться из базы данных и корректироваться в процессе архивирования.

При доступе к серверу архивирования параметров прикладным задачам предоставляется возможность получения списка архивируемых параметров, получения архивных данных за указанные интервалы времени с указанными преобразованиями (усреднением, поиском минимумов/максимумов и т.д.), настройки интерфейса получения данных в виде “проигрывания” за указанный интервал времени в режиме уведомлений.

## Средства идентификации событий и формирования сообщений о нарушениях

Средства формирования сообщений о нарушениях отслеживают значения и состояния (доступен/недоступен, достоверен/недостоверен и т.п.) параметров технологического процесса и формирует сообщения о нарушениях при изменении состояния или значения параметра.

Перечень параметров процесса, на основании значений и состояний которых формируются сообщения, расписываются в конфигурационном файле. Для каждого из перечисленных в конфигурационном файле параметров, указываются условия, при выполнении которых, считается, что параметр переходит в то или иное, так называемое, *состояние*.

Каждый параметр процесса или источник - может иметь одно или несколько *состояний*, при вхождении параметра в которое формируется то или иное сообщение о нарушениях. Каждый параметр процесса может быть отнесен одновременно к нескольким областям (фрагментам АСУ) с разным набором *состояний*. Каждое *состояние* параметра относится к определенной категории событий (нарушение, уведомление, действие оператора и т.д.) и может быть *активно, неактивно и неизвестно*. У одного и того же источника данных может быть одновременно ряд активных состояний.

Средства идентификации событий и формирования сообщений о нарушениях определяют состояние параметра процесса, используя выражения, в которых участвуют значение или/и состояние данного параметров процесса, а также значения или/и состояния других параметров процесса. Участие тех или иных параметров процесса в формировании состояния текущего параметра определяется выражением, задаваемым в конфигурационном файле, которые интерпретируются в процессе функционирования системы.

Каждое состояние параметра может сопровождаться заранее составленным списком других параметров процесса. Данные параметры, называемые вспомогательными, предназначены для более точного описания того или иного состояния. Параметры процесса одновременно могут быть как и основными – иметь состояния на основе которых формируются сообщения, так и вспомогательными для оценки состояния других параметров.

Все события и сообщения могут быть разделены на логические части. Логические части, на которые могут быть разделены группы состояний, приведены на рисунке 2.



Рисунок 2 - Логические части, на которые могут быть разделены состояния

Каждое состояние попадает в определенную логическую часть и обладает приоритетом (для отображения при одинаковых временах возникновения). Состояние сопровождается статической описательной частью, динамической описательной частью, значением, состоянием параметра процесса, временем перехода *состояния* в режим *активно* и временем перехода *состояния* в режим *неактивно*.

Каждое состояние может быть квитируемо рядом пользователей с разных рабочих мест и разных пультов. При квитировании состояний сервер автоматически квитирует состояния для пользователей всех пультов с таким же именем и таким же рабочим местом.

Любой доступ к состояниям (непосредственный, через архивы или внешние носители) подвергается контролю на разграничения доступа по параметрам процесса.

Входными данными для программ формирования сообщений являются данные, получаемые по интерфейсу ОВД. Источниками данных могут быть одновременно несколько серверов ОВД.

Средства реализованы в виде серверов и позволяют архивировать события и сообщения о нарушениях, сформированные разными системами, или разными частями одной системы, в том числе территориально или логически разнесенными.

При доступе к серверам прикладным задачам предоставляется возможность получения списка архивируемых *состояний*, получения архивных данных за указанные интервалы времени, настройки интерфейса получения данных в виде “проигрывания” за указанный интервал времени в режиме уведомлений, получения активных в текущий момент времени состояний в режиме уведомлений.

Средства ведения и архивирования протоколов работы системы

Данные средства отвечают за ведение и архивирование различных протоколов работы системы.

Компоненты системы, которые формируют те или иные протоколы (текстового, двоичного или смешанного типа), после завершения формирования, передают готовый протокол для хранения и архивирования. Любой другой компонент системы при наличии соответствующих прав доступа, может получить сформированный протокол для анализа, просмотра или копирования на внешний носитель. Благодаря наличию средств ведения и архивирования протоколов, все протоколы системы ведутся и хранятся централизованно и доступны всем клиентам системы, независимо от места их расположения.

### **Средства отображения технологической и диагностической информации**

Средства отображения используются для выполнения функций визуализация текущей технологической и диагностической информации процесса в виде видеограмм на рабочей станции.

Видеограмма (видеокадр) – это функционально объединенная группа параметров и сигналов, выводимая в выделенном для них окне.

Средства отображения информации выполняют следующие функции:

- отображение текущей диагностической и технологической информации;
- отображение данных текущего архива событий и нарушений;
- отображение данных текущего архива параметров;
- отображение данных текущего архива протоколов системы;
- просмотр архивов событий и нарушений, параметров и протоколов с внешнего носителя;
- копирование архивов событий и нарушений, параметров и протоколов на внешний носитель.

Средства отображения информации состоят из трех модулей:

- модуль управления отображением информации;
- модуль отображения информации;
- модулем создания отображения информации.

**Модуль управления отображением информации** предназначен для настройки программы отображения информации на доступ к средствам ведения базы данных параметров контролируемого процесса и для запуска на выполнение модуля отображения информации. Модуль получает данные из базы и передает их модулю отображения для вывода информации на экран. Настраиваемые параметры программы задаются в файле конфигурации. Если для отображения информации используются данные из нескольких баз данных параметров (базы данных могут быть как в одной ПЭВМ, так и в разных), то в

файле конфигурации программы управления отображением указываются настройки доступа ко всем базам данных.

**Модуль отображения информации** предназначен для представления информации, полученной из базы данных (ОБД) параметрами модулем управления отображением, на экране монитора в виде видеограмм.

Конфигурация модуля отображения информации создается на этапе конфигурирования конкретного исполнения **модулем создания отображения информации**. Модуль создания отображения информации генерирует платформенно независимую конфигурацию модуля отображения информации. Это значит, что видеограмма, созданная для использования в среде Windows, без изменений будет выполняться в среде Linux.

Модуль отображения информации составляет видеограмму с помощью отдельных компонентов (примитивов). При выводе видеограммы на экран, модуль отображения подгружает необходимые компоненты (примитивы) отображения и передает им данные, которые нужны компонентам для представления элементов видеограммы на экране.

Список базовых компонент(примитивов) отображения приведен в таблице 1.

Таблица 1

**Список базовых примитивов**

N п / п	Наименование примитива	Назначение примитива
1	EDSStaticText	Вывод на экран монитора текста
2	EDSStaticPixmap	Вывод статистического изображения (рисунка)
3	EDSDynamicText	Вывод динамически изменяемого текста или числа
4	EDSDynamicPixmap	Вывод динамически изменяемого изображения (рисунка)
5	EDSDynamicDateTime	Вывод даты и времени любой компоненты системы
6	EDSMenuLabel	Вывод многоуровневого меню
7	EDSFrame	Вывод панели
8	EDSLineEdit	Вывод и редактирование динамически изменяемого текста или числа
9	EDSButton	Вывод и управление кнопкой
10	EDS_DynamicCommand	Выполнение набора «команд»
11	EDS_Substitution	Выполнение подстановок в именах переменных ОБД участвующих в вычислении выражений в свойствах компонент
12	EDSWidgetStack	Включение видеокадров в список отображаемых
13	EDSPlot	Вывод информации из архива технологических параметров
14	EdsZOrderCells	Вывод динамически изменяемой картограммы реактора
15	EdsZOrderScale	Вывод шкалы
16	EdsZOrderFigure	Вывод фигуры (прямоугольника, линии)
17	EdsZOrderBarChart	Вывод динамически изменяемой столбиковой диаграммы
18	EdsQwtCounter	Вывод и изменение значения параметра с заданным шагом
19	EDSEventsView	Вывод сообщений из текущего журнала нарушений

20	EDSEventsArchive	Вывод сообщений из архива нарушений
21	EDSCopyArchive	Копирование архивов на внешний носитель
22	EDSViewArchive	Просмотр архивов на внешнем носителе
23	EdsReport	Вывод протокола отчета

Кроме базовых компонент, в систему могут добавляться компоненты, специфические для каждой конкретной системы (процесса).

Каждый компонент (и базовый и дополнительный) – это программный модуль, содержащий 2 класса:

- класс графического компонента;
- класс-описатель графического компонента.

Добавление компонента сводится к написанию указанных классов, поддерживающих следующие интерфейсы:

- интерфейс внедрения компонента в среду отображения;
- интерфейс циклического процесса синхронизации отображения.

Запуск программы отображения выполняет модуль управления отображением информации. Для этого в файле конфигурации модуля управления в качестве параметра *имя\_модуля\_отображения* указывается имя соответствующего модуля отображения информации.

При запуске, модуль отображения информации сначала однократно выводит на экран статистические элементы видеодиаграммы, затем активизирует процесс периодического обновления динамических элементов видеодиаграммы.

Компоненты отображения информации встраиваются в программу отображения информации с необходимыми ему перечнем и значениями свойств, для каждого экземпляра компонент. Программа отображения информации выполняет общеорганизующие действия по управлению работой примитивов отображения информации и формирует общедоступную область сохранения (далее - кэш) значений параметров процесса и кэш глобальных переменных. Все компоненты получают данные из базы данных параметров процесса посредством кэша, формируемого программой отображения информации.

В подсистему отображения встроен ***интерпретатор вспомогательных алгоритмов обработок***. Текст программы обработки указывается в свойствах компонент с помощью текстового редактора ***модуля создания отображения информации***. Алгоритмы обработок предоставляют возможность отображения данных на экране, на основе ряда входных параметров расположенных как в одной так и разных ОБД. Интерпретатор команд позволяет оперировать в алгоритмах обработок с шифрами технологических параметров, а не их программными именами. Результатом обработки может быть новый параметр (или глобальная переменная) со своим значением, временем изменения и состоянием, который будет являться или не являться принадлежностью ОБД.

Программа отображения информации производит в основном потоке инициализацию всех компонент. После этого определяет, какой из видеок кадров следует отображать и вызывает функцию по запуску компонент, соответствующих текущему видеоккадру. В этой функции компоненты

выполняют все подготовительные операции, необходимые для вывода информации на экран, и передают программе отображения перечень имен параметров процесса и глобальных переменных, значения которых необходимы для отображения в текущем видеокадре.

В процессе работы, программа отображения информации обеспечивает поддержание кэша параметров процесса, устанавливая и настраивая доступ к базам данных параметров, указанным в настройках программы отображения.

При разрыве связи с базой данных, программа отображения информации устанавливает недостоверность в состоянии параметров соответствующей базы в своем кэше и обеспечивает восстановление связи и обновление данных в кэше.

После выполнения функции запуска компонент, программа отображения информации поочередно разрешает компонентам текущего видеокадра выполнять отображение данных и включает механизм таймерного циклического процесса синхронизации отображения – циклограмму синхронизации.

Циклограмма синхронизации компонент по отображению информации приведена на рисунке 3.



Рисунок 3 - Циклограмма синхронизации компонент по отображению информации

Каждое из событий устанавливается программой отображения информации через равные промежутки времени - 50 миллисекунд так, что полный период работы составляет 250 миллисекунд. О факте смены события программа отображения информации сообщает компонентам циркулярными сообщениями. Компоненты выполняют обработку сообщений только после разрешения отображения.

С помощью такого механизма отображения данных достигается одновременная смена информации на всех элементах видеокадра.

При смене видеокадра или при завершении работы, программа отображения информации устанавливает всем компонентам запрет на отображение информации. Если необходимо завершить работу, то программа отображения вызывает на выполнение функцию останова и деинициализации для каждой из компонент, содержащихся в ее списке, и после этого завершает работу.

Алгоритм работы компонент состоит из выполнения следующих действий:

- запрос исходных данных у серверов или программы отображения информации в режиме подготовки данных для выполнения расчетов;
- выполнение алгоритма обработки и передача, при необходимости, результатов расчета программе отображения информации в режиме расчетов;
- дополнительный запрос данных у серверов в режиме подготовки данных для отображения информации (т.к. данные могли быть изменены в режиме выполнения расчетов);
- отображение данных со сменой цветовой гаммы, указанной в параметрах обработки механизма мигания (мигание включено и выключено), в режиме отображения информации.

Примеры видеограмм показаны на рисунках 4, 5, 6, 7, 8, 9.

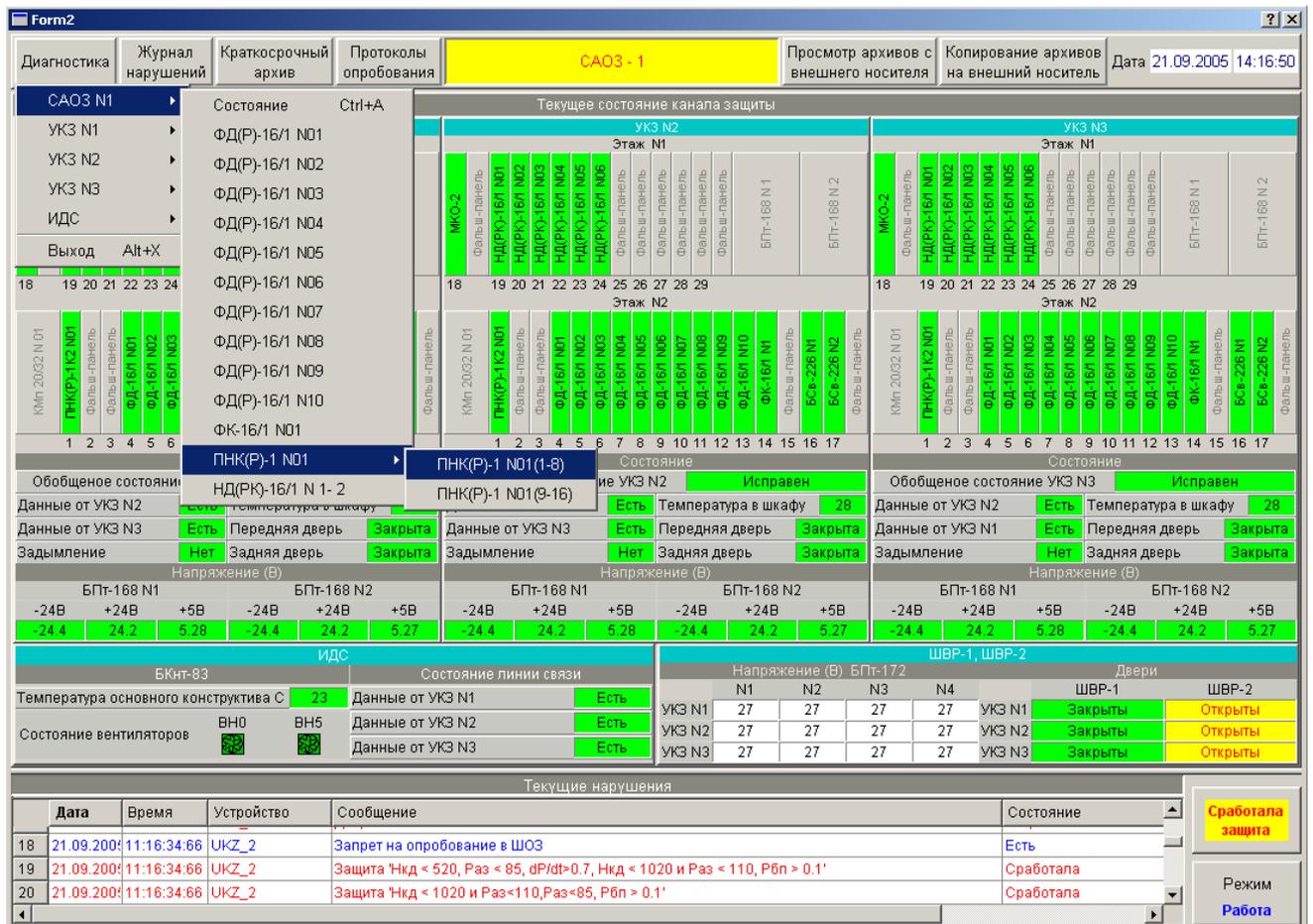


Рисунок 4 - Видеограмма состояния технологического процесса

Состояние каналов блоков ФД(Р)-16/1 N1										
Каналы	Наименование команды	Команда						Состояние канала БР-36	Канал контроля	
		УКЗ N1		УКЗ N2		УКЗ N3			Значение	Наименование
		1-8	9-16	1-8	9-16	1-8	9-16			
1,9	Перечень N 1							ШВР-1,каркас 01,БР 1-1,канал N1	0	УКЗ_1 НД(РК)-16/1 N3, канал N 1
								ШВР-1,каркас 01,БР 1-2,канал N1	0	УКЗ_1 НД(РК)-16/1 N3, канал N 3
2,10	Перечень N 1							ШВР-1,каркас 01,БР 1-1,канал N2	0	УКЗ_1 НД(РК)-16/1 N3, канал N 2
								ШВР-1,каркас 01,БР 1-2,канал N2	0	УКЗ_1 НД(РК)-16/1 N3, канал N 4
3,11	Перечень N 1							ШВР-1,каркас 01,БР 2-1,канал N1	0	УКЗ_1 НД(РК)-16/1 N3, канал N 5
								ШВР-1,каркас 01,БР 2-2,канал N1	0	УКЗ_1 НД(РК)-16/1 N3, канал N 7
4,12	Перечень N 1							ШВР-1,каркас 01,БР 2-1,канал N2	0	УКЗ_1 НД(РК)-16/1 N3, канал N 6
								ШВР-1,каркас 01,БР 2-2,канал N2	0	УКЗ_1 НД(РК)-16/1 N3, канал N 8
5,13	Перечень N 2							ШВР-1,каркас 01,БР 3-1,канал N1	0	УКЗ_1 НД(РК)-16/1 N3, канал N 9
								ШВР-1,каркас 01,БР 3-2,канал N1	0	УКЗ_1 НД(РК)-16/1 N3, канал N 11
6,14	Перечень N 2							ШВР-1,каркас 01,БР 3-1,канал N2	0	УКЗ_1 НД(РК)-16/1 N3, канал N 10
								ШВР-1,каркас 01,БР 3-2,канал N2	0	УКЗ_1 НД(РК)-16/1 N3, канал N 12
7,15	Перечень N 3							ШВР-1,каркас 01,БР 4-1,канал N1	0	УКЗ_1 НД(РК)-16/1 N3, канал N 13
								ШВР-1,каркас 01,БР 4-2,канал N1	0	УКЗ_1 НД(РК)-16/1 N3, канал N 15
8,16	Перечень N 4							ШВР-1,каркас 01,БР 4-1,канал N2	0	УКЗ_1 НД(РК)-16/1 N3, канал N 14
								ШВР-1,каркас 01,БР 4-2,канал N2	0	УКЗ_1 НД(РК)-16/1 N3, канал N 16

Рисунок 5 –Видеограмма «Состояние каналов блока ФД(Р)-16/1 №01»

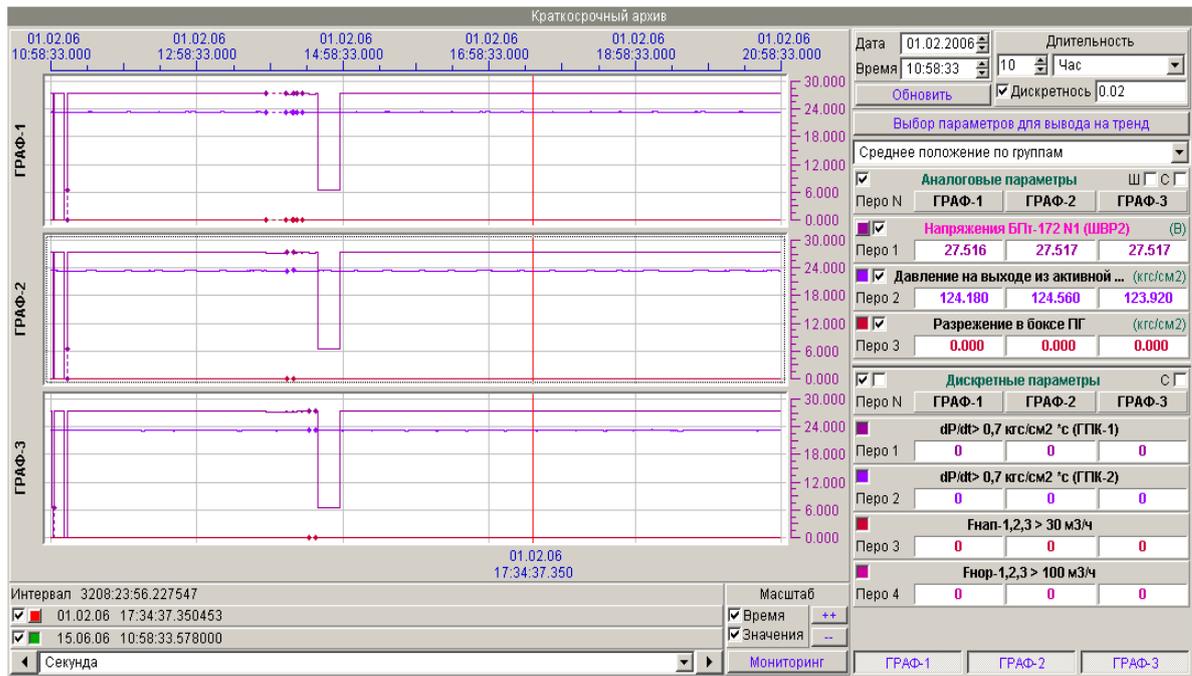


Рисунок 6 - Видеограмма «Краткосрочный архив»

Архив нарушений

Нарушения и события

Дата	Время	Устройство	Сообщение (Статическая часть)	Сообщение (Ди...
01.02.2006	10:59:22.823	UKZ_1	Температура теплоносителя в холодных нитках петли 2 ГЦК	> 150 °С
01.02.2006	10:59:22.823	UKZ_1	Температура теплоносителя в холодных нитках петли 2 ГЦК	> 245 °С
01.02.2006	10:59:23.243	UKZ_2.NDRK3	Параметр 'Тхн петли 4'	Не блокирован
01.02.2006	10:59:23.283	UKZ_1.NDRK3	Параметр 'Тхн петли 2'	Не блокирован
01.02.2006	10:59:24.343	UKZ_1	Приборы защиты по Нкд	Неисправны
01.02.2006	10:59:24.383	UKZ_2	Приборы защиты по Нкд	Неисправны
01.02.2006	10:59:24.403	UKZ_3	Приборы защиты по Нкд	Неисправны
01.02.2006	10:59:25.284	UKZ_1.NDRK3	Параметр 'Уровень в компенсаторе давления'	Блокирован
01.02.2006	10:59:26.244	UKZ_2.NDRK3	Параметр 'Уровень в компенсаторе давления'	Блокирован
01.02.2006	10:59:27.564	UKZ_3.NDRK3	Параметр 'Уровень в компенсаторе давления'	Блокирован
01.02.2006	10:59:28.564	UKZ_3.NDRK3	Параметр 'Уровень в компенсаторе давления'	Не блокирован
01.02.2006	10:59:29.144	UKZ_1	Приборы защиты по Нкд	Исправны
01.02.2006	10:59:29.164	UKZ_3	Приборы защиты по Нкд	Исправны
01.02.2006	10:59:29.184	UKZ_2	Приборы защиты по Нкд	Исправны
01.02.2006	10:59:29.244	UKZ_2.NDRK3	Параметр 'Уровень в компенсаторе давления'	Не блокирован
01.02.2006	10:59:29.287	UKZ_1.NDRK3	Параметр 'Уровень в компенсаторе давления'	Не блокирован
01.02.2006	10:59:47.176	UKZ_3.NDRK1	Положение переключателя режима от БО	Опробование
01.02.2006	10:59:47.176	UKZ_1.NDRK1	Положение переключателя режима от БО	Опробование
01.02.2006	10:59:47.176	UKZ_3	Запрет на опробование в ШОЗ	Есть
01.02.2006	10:59:47.176	UKZ_1	Запрет на опробование в ШОЗ	Есть
01.02.2006	10:59:47.197	UKZ_2.NDRK1	Положение переключателя режима от БО	Опробование
01.02.2006	10:59:47.197	UKZ_2	Запрет на опробование в ШОЗ	Есть

Прочитано нарушений и событий: 12640, отображено: 12640

Устройство  
 САОЗ-И  
 UKZ 1  
 UKZ 2  
 UKZ 3  
 ИДС  
 Дата  
 Начало: 01.02.2006  
 Время: 10:08:20  
 Конец: 02.02.2006  
 Время: 11:08:20  
 Следить за архивом  
 Обновить  
 Комментарий

Рисунок 7 - Видеограмма «Журнал нарушений и событий»

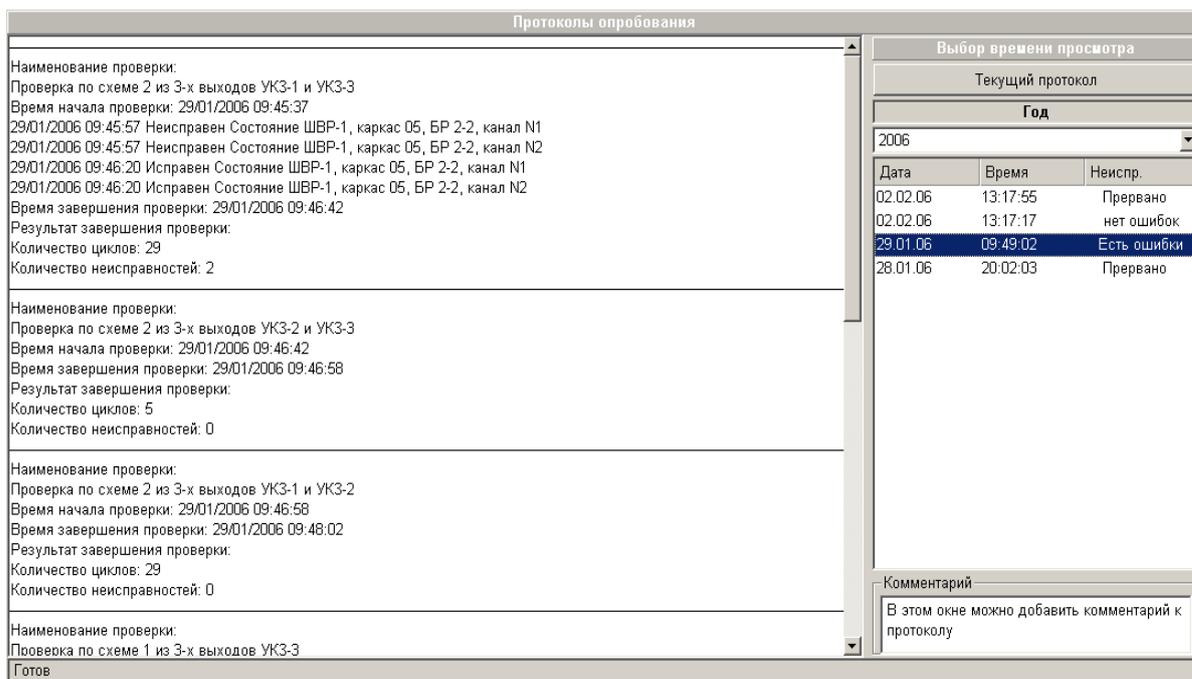


Рисунок 8 - Видеодиаграмма «Протоколы опробования»

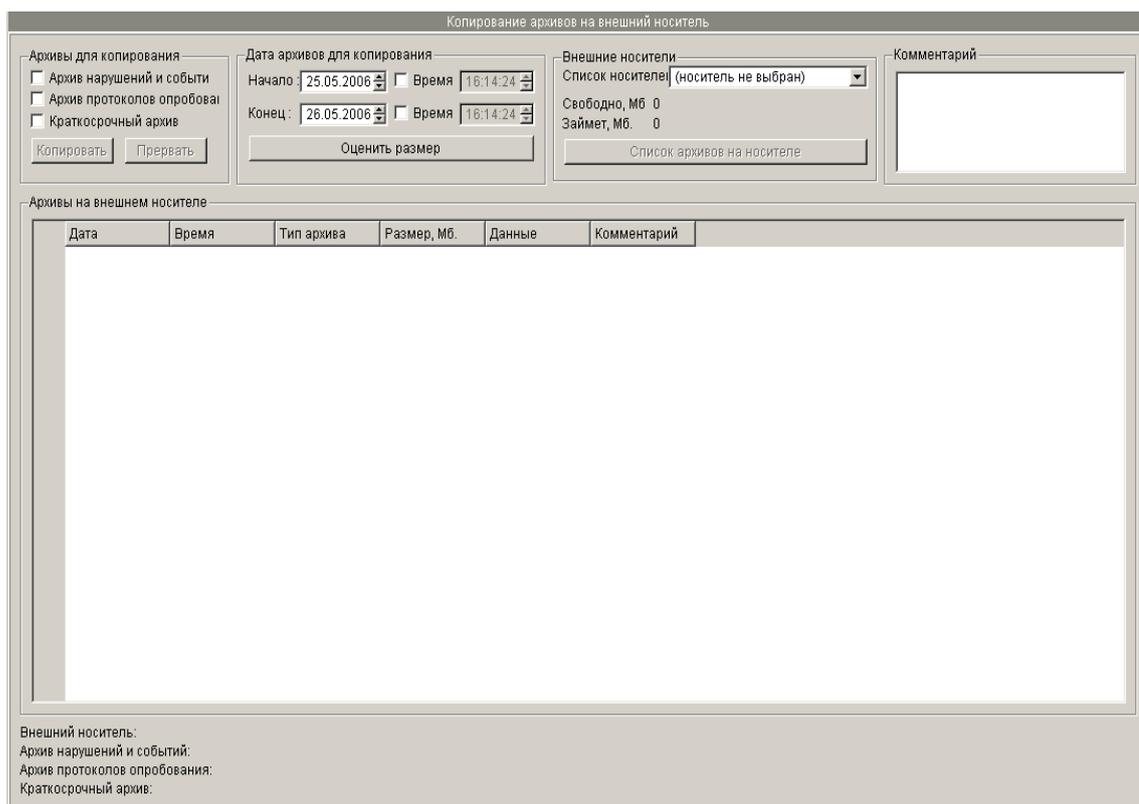


Рисунок 9 - Видеодиаграмма «Копирование архива на внешний носитель»

## Заключение

Комплекс программ предоставляет ресурсы для рассредоточения средств приема, отображения и архивирования данных на значительных расстояниях как от объекта управления, так и между компонентами системы.

Предоставляется возможность выбора операционных систем для функционирования комплекса и частей, что расширяет область его применения.

Возможность расширения комплекса за счет написания дополнительных компонент (примитивов), позволяет использовать подсистему отображения при проектировании различных систем контроля и управления АСУТП. При этом, затраты на доработку (написание недостающих компонент) и настройку комплекса значительно ниже, чем при разработке новой подсистемы.

Разработанные по описанной технологии средства находятся на стадии внедрения как функциональная подсистема контроля и диагностирования в программно-техническом комплексе технологических защит для системы аварийного охлаждения активной зоны реактора ВВЭР-440.

В настоящее время производится адаптация и необходимая доработка средств для их применения в качестве подсистемы контроля и диагностирования в системе управления органами регулирования, входящей в состав системы управления и защиты реактора ВВЭР-440.

Положительный опыт разработки, внедрения и сопровождения эксплуатации комплекса, его адаптации к другим системам управления позволяет сделать вывод о целесообразности применения его в аналогичных системах управления в качестве подсистемы контроля и диагностирования. Это обусловлено расширяемостью комплекса (разработкой дополнительных графических компонент и встраивания их в систему) и невысокой трудоемкостью конфигурирования комплекса.

### **Литература**

1. Елисеев В.В., Ларгин В.А., Пивоваров Г.Ю. Программно-технические комплексы АСУ ТП : Учебн. пособие – К. : Издательско-полиграфический центр «Київський університет», 2003. – 429 с.
  2. The Common Object Request Broker: Architecture and Specification, Revision 2.0, OMG
- DOCUMENT 97-02-25.**
3. Qt 4.1 Whitepaper. Trolltech, 2006.

**С. И. КРИКУНЕНКО, С.Ю. МОСЬПАН**

*ЗАО «Северодонецкое научно-производственное объединение “Импульс”»*

## **ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ТЕСТИРОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ КОНТРОЛЛЕРОВ И СВЯЗАННОГО С НИМИ ОБОРУДОВАНИЯ**

Описывается программно-технический комплекс, предназначенный для проверки работоспособности промышленных контроллеров, оценивания и контроля погрешности измерительных каналов, диагностирования устройств и блоков, предоставления справок о текущем состоянии измерительных каналов и состоянии оборудования промышленных контроллеров, диагностирования связанного оборудования, получения статистической информации о состоянии промышленных контроллеров и сетевых средств. Приводимая реализация комплекса является расширяемой, благодаря чему может применяться для тестирования промышленных контроллеров различных типов.

### **Введение**

Перед введением в эксплуатацию, промышленные контроллеры и связанное с ними оборудование должно пройти целый ряд многоступенчатых проверок. Кроме этого, в процессе эксплуатации, оборудование также периодически проходит плановые испытания. [1]

Для выполнения перечисленных проверок, необходимо реализовать программно-технический комплекс тестирования промышленных контроллеров и связанного с ними оборудования.

Комплекс должен выполнять функции проверки работоспособности технических средств промышленных контроллеров, оценивания и контроля погрешности измерительных каналов, диагностирования устройств и блоков, предоставления справок о текущем состоянии измерительных каналов и состоянии оборудования промышленных контроллеров, диагностирования связанного оборудования, получения статистической информации о состоянии промышленных контроллеров, сетевых средств.

В данной статье приводится один из практических примеров реализации программно-технического комплекса тестирования промышленных контроллеров и связанного с ними оборудования.

Приводимая реализация комплекса является расширяемой, благодаря чему может применяться для тестирования промышленных контроллеров (далее - контроллеров) различных типов.

Возможность расширения комплекса достигается благодаря разработки набора программных интерфейсов, реализация которых позволяет путем написания лишь непосредственно библиотеки связи с контроллером, подключать к комплексу промышленные контроллеры различных типов и фирм производителей.

Для настройки комплекса для тестирования определенного типа промышленного контроллера и связанного с ним оборудования, достаточно лишь добавить в комплекс Устройства Связи с Объектом (далее - УСО), программную библиотеку работы с УСО и программные модули тестов, отвечающие требованиям тестирования контроллеров данного типа. Все программные компоненты должны поддерживать набор интерфейсов, определенный для комплекса.

После этого производится настройка комплекса под новый тип оборудования и комплекс готов для тестирования новых промышленных контроллеров и связанных с ними устройств.

Существует большое множество как иностранных, так и отечественных комплексов тестирования промышленных контроллеров.

Основными отличиями приводимой реализации комплекса от большинства аналогов являются:

- расширяемость комплекса под тестирование контроллеров новых типов;
- относительно невысокая трудоемкость настройки комплекса под тестирование контроллеров новых типов;
- возможность вынесения компонент верхнего уровня системы на любое расстояние от нижнего уровня комплекса - в пределах сети Internet (благодаря использованию сетевой технологии CORBA[2]).

### **Краткое описание комплекса**

Комплекс программно-технических средств включает следующие функциональные компоненты:

- IBM PC – совместимые ПЭВМ под управлением операционных систем семейства Linux или Windows;
- сетевые средства связи ПЭВМ между собой: линии связи, сетевые контроллеры (Сеть верхнего уровня);
- сетевые средства связи с промышленным контроллером и его оборудованием: линии связи, УСО (Сеть нижнего уровня);
- сервер доступа к контроллеру и его оборудованию;
- комплекс технологических программ («клиент»).

Сети нижнего и верхнего уровня могут иметь один и тот же тип. Кроме того, одна и та же сеть может являться одновременно сетью и верхнего и нижнего уровней.

Программные средства комплекса функционируют на IBM PC – совместимых ПЭВМ под управлением операционных систем семейства Linux или Windows.

В комплексе используется «клиент-серверная» технология с разграничением доступа к функциям и техническим средствам. Благодаря использованию сетевой распределенной технологии CORBA[2], клиентские и серверные приложения могут быть размещены на разных ПЭВМ, которые могут функционировать под управлением операционных систем семейства

Linux или Windows. Графические программы комплекса реализованы с использованием графической библиотеки QT фирмы Trolltech[3], что позволяет использовать их под указанными операционными системами без изменения исходных текстов программ.

Общая функциональная структура взаимодействия функциональных компонент комплекса и оборудования промышленного контроллера приведена на рисунке 1.

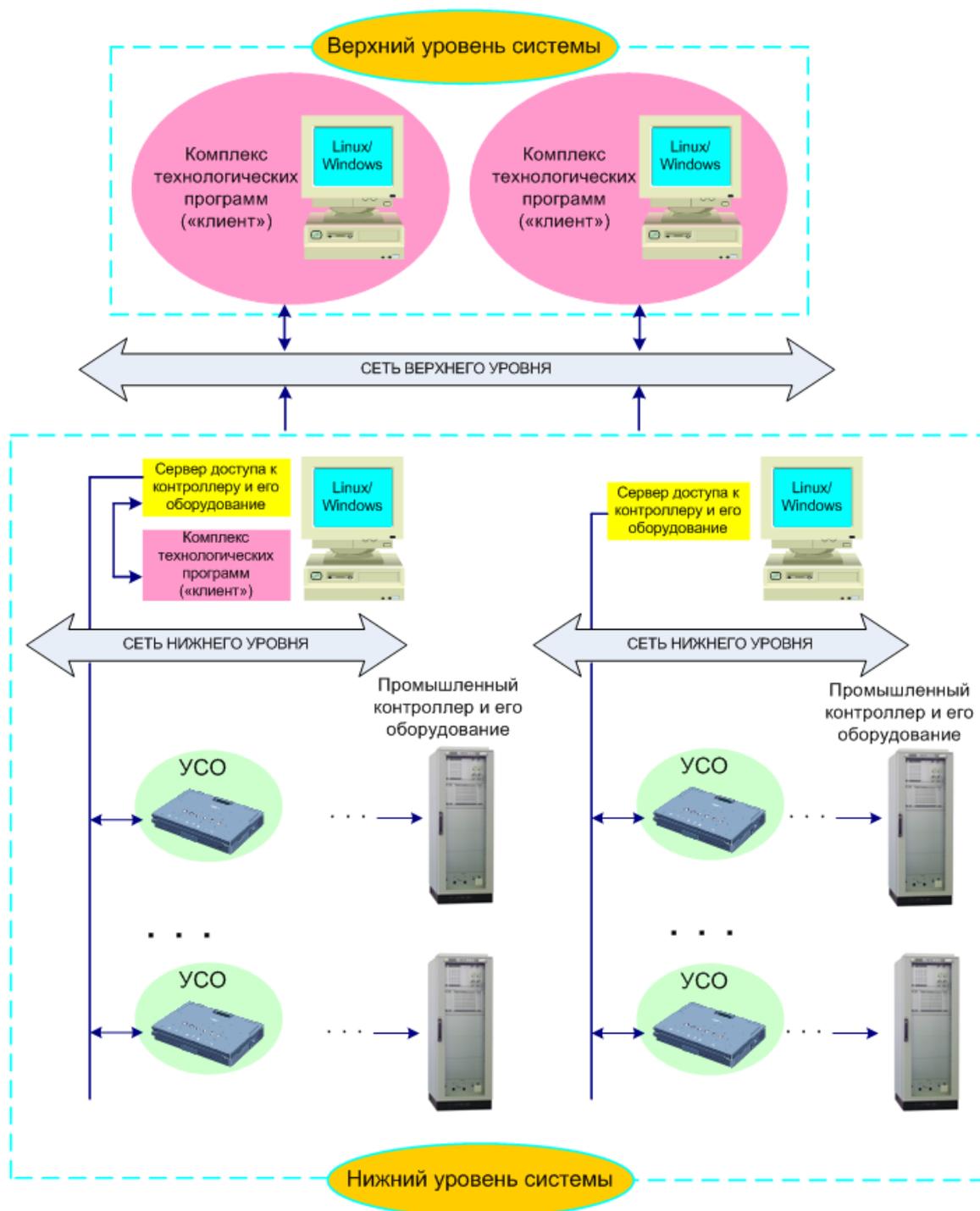


Рисунок 1 - Общая функциональная структура взаимодействия функциональных компонент комплекса и оборудования промышленного контроллера

Сервер функционирует в ПЭВМ, подключенной непосредственно к сети нижнего уровня, обеспечивающей соединение данной ПЭВМ с соответствующими промышленными контроллерами и их оборудованием (нижний уровень системы). Комплекс технологических программ может быть установлен как на нижнем уровне системы (на той же ПЭВМ, что и соответствующий сервер), так и на верхнем уровне (на любой ПЭВМ, связанной сетью верхнего уровня с нижним уровнем системы, т.е. сервером).

Программы инсталляции комплекса предоставляют возможности для отдельной установки сервера доступа к контроллерам и комплекса технологических программ (клиента). Установку сервера доступа к контроллерам и комплекса технологических программ можно выполнять как на одну, так и на разные ПЭВМ.

На программном уровне в комплекс введены понятия логического контроллера, логической сети, логической задачи.

Это сделано для абстрагирования от конкретного оборудования, линий связи и прикладных задач.

Был введен универсальный полнофункциональный логический промышленный контроллер, т.е. контроллер, по функциональности покрывающий множество контроллеров различных типов и назначений.

Для связи с логическим контроллером введена логическая сеть, которая выполняет функции обмена информацией с контроллером.

Технологические программы описаны понятием логическая программа. Логическая программа поддерживает функции управления ею и функции обмена информацией с другими программами.

Для работы с этими понятиями были реализованы четыре интерфейса:

- интерфейс взаимодействия задач;
- интерфейс взаимодействия с сервером доступа к контроллеру и его оборудованию;
- интерфейс взаимодействия с библиотекой доступа к контроллеру;
- интерфейс сетевого взаимодействия.

Каждая программная часть комплекса поддерживает эти интерфейсы (те из них, которые необходимы ей для взаимодействия с остальными частями комплекса). Благодаря реализации перечисленных интерфейсов – комплекс можно расширять за счет добавления в него новых компонент без изменения уже входящих в комплекс. Структура взаимодействия программных компонент комплекса между собой и с логическими устройствами приведена на рисунке 2.



Рисунок 2 - Структура взаимодействия программных компонент

### **Сервер доступа к контроллеру и его оборудованию**

Функциональная структура сервера доступа к контроллеру и его оборудованию приведена на рисунке 3.

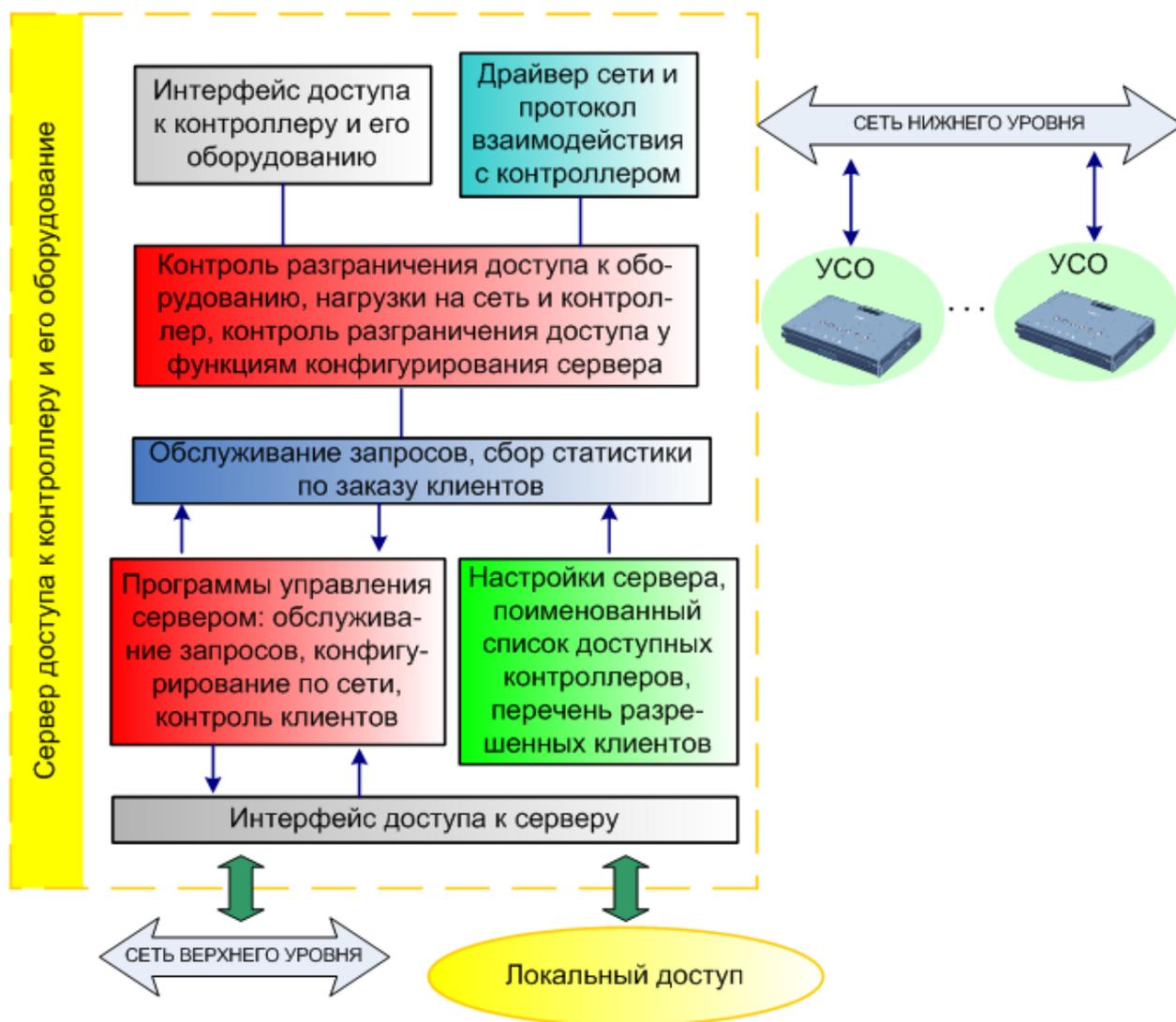


Рисунок 3 - Функциональная структура сервера доступа к контроллеру и его оборудованию

Сервер доступа к контроллеру и его оборудованию обеспечивает выполнение следующих функций:

- настройку сервера на конфигурацию обслуживаемых технических средств: конфигурацию сетей нижнего уровня, контроллеров и их оборудования;
- настройку сервера на конфигурацию обслуживаемых клиентов (комплексов технологических программ), установленных как локально, так и удаленно);
- настройку сервера на режим работы: тестовый (когда контроллер исключен из рабочего цикла АСУ), рабочий (когда контроллер находится в рабочем режиме и выполняет все свои функции в системе АСУ);
- прием от клиентов запросов к обслуживаемым техническим средствам, контроль их допустимости с учетом текущего режима работы, выполнение запросов и возврат клиентам ответных данных;

– накопление статистической информации о работе сервера и обслуживаемых технических средств, передачу данной информации клиентам по их запросам.

При запуске сервер:

– считывает информацию из конфигурационных файлов и определяет перечень обслуживаемых сетей нижнего уровня и перечень контроллеров в данных сетях;

– создает объекты (классы) управления каждой сетью нижнего уровня и объекты управления каждым контроллером в сети. Объекты создаются независимо от наличия и количества подключенных в текущий момент клиентов/пользователей. При подключении клиентов/пользователей вся обобщенная информация о сетях и контроллерах клиенту/пользователю передается из созданного класса. При вызове функций, уточняющих текущее состояние контроллера (маски, сырые данные, управления и т.д.) запрос передается сервером непосредственно контроллеру или сетевым средствам.

В процессе функционирования сервер выполняет следующее:

– отслеживает состояние контроллеров и сетей и обновляет информацию в соответствующем классе;

– при доступе к контроллеру или сети сервер проверяет правомерность доступа пользователя. Учитывается, что ряд функций доступны только в случае работы контроллера в тестовом режиме, и в тестовый режим его перевел именно текущий пользователь;

– при обращении к контроллеру сервер динамически подключает библиотеку, соответствующую типу контроллера. Соответственно типу сети динамически подключается библиотека доступа к сети;

– при каждом обращении к сети или контроллеру самим сервером или из библиотек, происходит обратный вызов указанных сервером (при открытии доступа к сети или контроллера) функций, выполняющих контроль и коррекцию потока сообщений;

– выполняет накопление статистической информации работы сервера.

Перечень и форматы функций библиотек жестко определены. Сервер допускает, что библиотека может не содержать ряд предписанных функций. Имена библиотек доступа к контроллерам унифицированы:

***libDntpAbn***тип\_Контроллера\_из\_файла\_конфигурации,

Имена библиотек доступа к сетям также унифицированы:

***libDntpNetmin***\_сети\_из\_файла\_конфигурации

Сервер при инсталляции может быть установлен в двух режимах: «не разрешено тестирование и управление контроллеров» и «разрешено тестирование и управление контроллеров».

При инсталляции сервера в режиме «не разрешено тестирование и управление контроллеров» устанавливается библиотека доступа к абоненту с ограниченным набором функций (только функции чтения информации из контроллеров). Сервер, получив команду на управление или тестирование абонента, отказывается выполнять эту команды и уведомляет об этом клиента. Для перевода сервера в другой режим работы, при котором разрешено тестирование и управление контроллером необходимо инсталлировать его в другом режиме.

Если сервер инсталлирован в режиме «разрешено тестирование и управление контроллеров», то устанавливается библиотека доступа к абоненту, содержащая полный набор функций доступа к абоненту. Серверу может быть назначен один из трех режимов работы:

- разрешено только чтение информации;
- разрешено тестирование;
- разрешено управление.

В дальнейшем есть возможность изменить режим работы сервера при помощи внешних программ. Изменять режим работы сервера может только пользователь с максимальными правами (пользователь типа «администратор»).

### **Комплекс технологических программ («клиент»)**

Функциональная структура комплекса технологических программ (система верхнего уровня) приведена на рисунке 4.

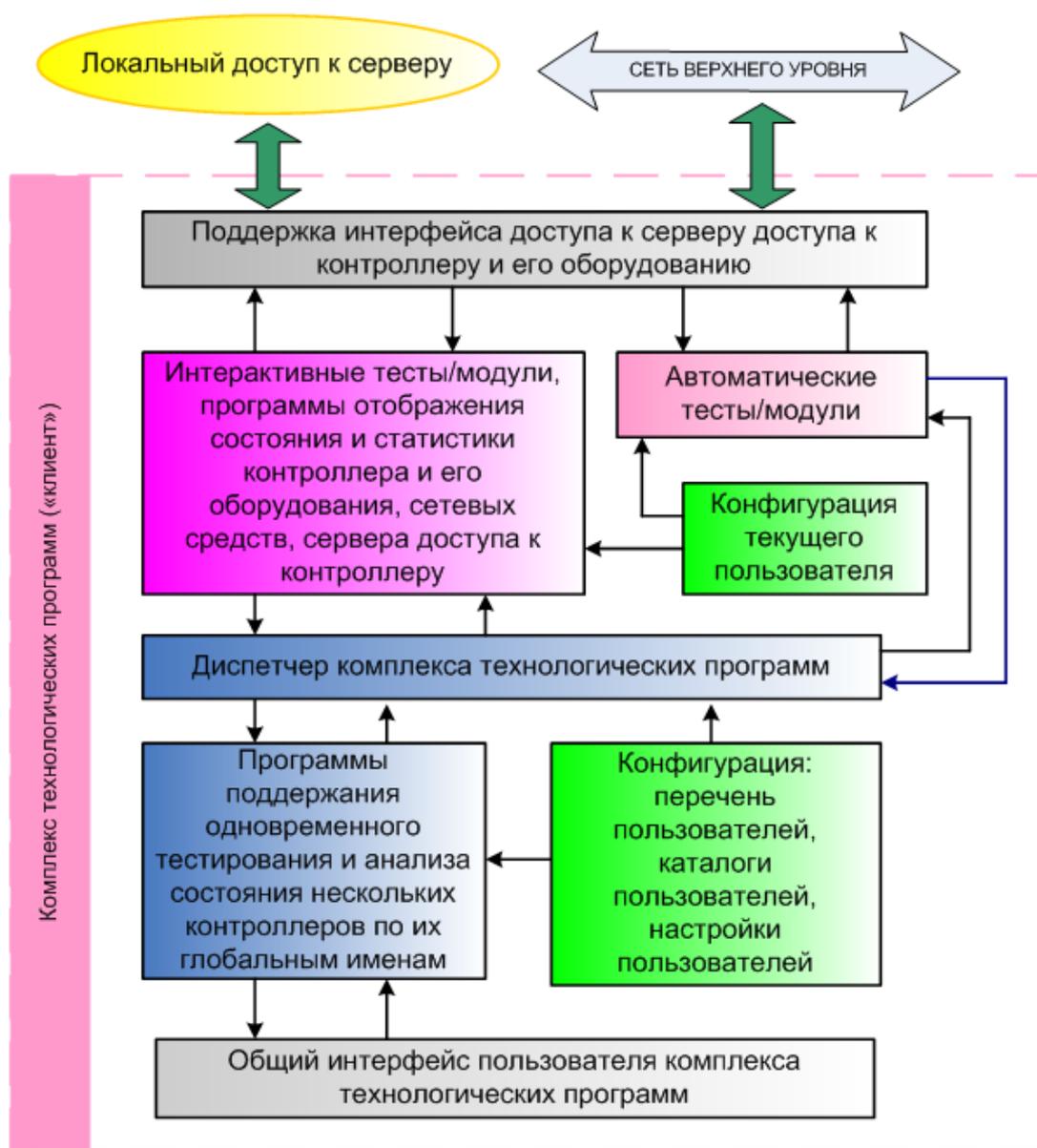


Рисунок 4 - Функциональная структура комплекса технологических программ

Основной связующей программой комплекса технологических программ является диспетчер комплекса технологических программ (далее - диспетчер). Диспетчер выполняет запуск и управление остальных программ комплекса, а также осуществляет обмен информацией между программами. Диспетчер является своего рода оболочкой, в которой функционируют программы комплекса.

Комплекс технологических программ (клиент) выполняет следующие функции:

- получение и отображение информации о состоянии технических средств контроллеров;
- управление загрузкой управляющей системы контроллеров;
- получение и отображение обобщенной информации о состоянии контроллеров;

- получение и отображение состояния технических средств доступа к контроллерам (сетевых средств);
- получение от контроллеров и отображение статистики;
- получение от контроллеров и отображение справочной информации;
- конфигурирование тестовой системы (настройка параметров запуска тестов);
- запуск программ проверки работоспособности технических средств одного или нескольких доступных контроллеров;
- вывод на экран и в файл протоколов тестирования;
- настройку программ метрологической поверки каналов ввода/вывода контроллеров;
- оценивание и контроль погрешности измерительных каналов;
- получение и отображение обобщенного состояния процесса тестирования контроллеров указанным пользователем (сведения о том, кто тестирует данный контроллер, какой результат этого тестирования). Предоставляется возможность просмотреть обобщенное состояние процесса тестирования контроллера произвольному пользователю с произвольного рабочего места;
- получение и отображение статистики сервера доступа к контроллерам;
- конфигурирование системы верхнего уровня (перечень серверов и перечень контроллеров, обслуживаемых серверами);
- конфигурирование системы нижнего уровня (определение перечня контроллеров, обслуживаемых сервером, прав доступа к контроллерам, квот и т.д.);
- диспетчеризацию задач комплекса технологических программ;
- запуск программ измерения характеристик контроллеров, а также проверки безударности режимов деградации и восстановления контроллеров;
- тестирование технических средств доступа к контроллерам (сетевых средств).

Общий вид комплекса технологических программ (системы верхнего уровня) приведен на рисунке 5.

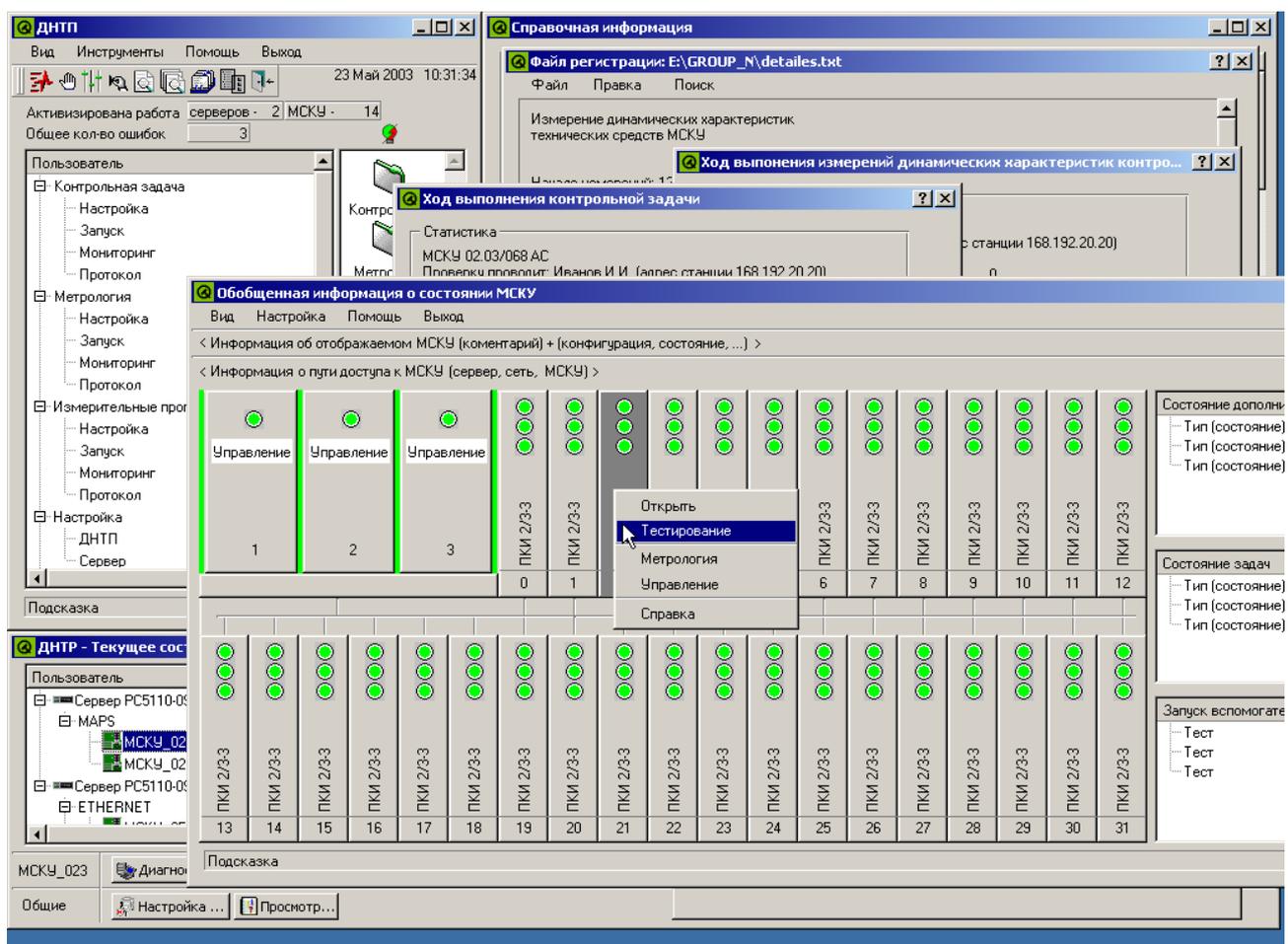


Рисунок 5 - Общий вид комплекса технологических программ

## Заключение

Описанный комплекс подходит для тестирования контроллеров различных типов.

Трудозатраты на доработку комплекса под тестирование новых типов контроллеров и настройку комплекса значительно ниже, чем при разработки новых комплексов тестирования.

Возможность вынесения компонент верхнего уровня системы на любое расстояние от нижнего уровня комплекса позволяет производить тестирование на любом расстоянии от проверяемого оборудования. А также производить многоуровневый контроль за процессом проведения тестирования.

Описываемый комплекс на данный момент применяется для тестирования следующих технических комплексов и средств:

- для тестирования технических средств МСКУ 2;
- для тестирования технических средств МСКУ 3;
- для тестирования технических средств системы аварийного охлаждения зоны реактора ВВЭР-440.

Внедренные и реализованные проекты, с использованием данного программно-технического комплекса показали, что комплекс выполняет поставленные перед ним задачи.

## **Литература**

1 Елисеев В.В., Ларгин В.А., Пивоваров Г.Ю. Программно-технические комплексы АСУ ТП : Учебн. пособие – К. : Издательско-полиграфический центр «Київський університет», 2003. – 429 с.

2 The Common Object Request Broker: Architecture and Specification, Revision 2.0, OMG

**DOCUMENT 97-02-25.**

3 Qt 4.1 Whitepaper. Trolltech, 2006.

**В.Н. ЛИСТРАТКИН, Т.Н. ЛИСТРАТКИНА**

*ЗАО «Северодонецкое научно-производственное объединение “Импульс”»*

## **КОМПЛЕКС ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОГРАММ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ УКТС-ВЛ**

В статье рассматриваются подходы при создании технологических программ контроллеров на примере комплекса технологических программ СКид.

### **Введение**

Система контроля и диагностики (далее – СКид) аппаратуры унифицированных комплексов технических средств (далее – УКТС-ВЛ) предназначена для оперативной диагностики и сбора данных с аппаратуры УКТС-ВЛ систем безопасности и нормальной эксплуатации энергоблоков с реактором типа ВВЭР[1].

При разработке СКид УКТС-ВЛ стал вопрос о создании комплекса технологических программ (далее – КТП) позволяющего выполнять настройку, проверку работоспособности, калибровку, контроль метрологических характеристик программно-технических средств СКид в процессе производства, при различных видах испытаний и техническом обслуживании в процессе эксплуатации.

Основными объектами обслуживания КТП СКид являются программируемые логические контроллеры ПЛК-1 и концентраторные станции СК-1. Контроллер ПЛК-1 предназначен для сбора диагностической информации и значений технологических параметров от блоков УКТС, контроля состояния оборудования шкафа УКТС-ВЛ и передачи сообщений в СК-1 с хронологией изменений (событий) и текущим состоянием. ПЛК-1 имеют радиальные цифровые каналы связи с каждым из блоков УКТС шкафа, а также 15 аналоговых каналов для измерения напряжения источников питания шкафа и 16 дискретных каналов для контроля состояния узлов шкафа УКТС-ВЛ. Связь ПЛК-1 с концентраторной станцией СК-1 выполняется посредством канала Arcnet. СК-1 осуществляет обработку сообщений, принятых от контроллеров ПЛК-1, упаковку в формат кадров Ethernet и отсылку в виде сообщений серверу системы диагностики. СК-1 является источником точного времени для контроллеров ПЛК-1. К одной СК-1 может быть подключено до 16 ПЛК-1.

При проектировании комплекса принята структура с выделенным диспетчером и набором тестов. Разработан единый интерфейс взаимодействия диспетчера с тестами. При этом диспетчер динамически настраивается на имеющееся множество тестов. Указанные решения позволили наращивать

количество тестов без переработки диспетчера. Каждый тест реализован как отдельная ActiveX компонента. Благодаря этому тесты могут легко встраиваться в другие программные продукты.

Учитывая широкий круг задач, решаемых с помощью КТП, в рамках комплекса было выделено два типа тестов: автоматические и интерактивные. Интерактивный тест при своем выполнении требует участия оператора. Автоматический тест позволяет запускать его в автоматическом режиме на заданное количество циклов исполнения. Предусмотрена возможность создания проекта тестов с включением в него набора тестов с заданными параметрами. Предоставляется возможность запуска созданного проекта заданное количество раз (при этом исполняются только автоматические тесты). Настройки проекта сохраняются в виде конфигурационного файла с возможностью загрузки и исполнения ранее сохраненного проекта.

При выполнении тестов создаются различные протоколы, степень подробности протокола диспетчера является параметром настройки.

### **Состав программных модулей комплекса**

Комплекс включает следующие основные программные модули:

- диспетчер комплекса технологических программ (главная программа комплекса, обеспечивающая управление выполнением других программ комплекса);
- программу расчета коэффициентов коррекции значений, измеренных каналами ПЛК-1;
- программу контроля связи с СК-1;
- программу проверки работоспособности СК-1;
- программу проверки метрологических характеристик измерительных каналов ПЛК-1;
- программу проверки метрологических характеристик ведения времени в ПЛК-1;
- программу контроля связи с ПЛК-1;
- программу контроля работоспособности ПЛК-1;
- программу мониторинга ПЛК-1 и СК-1;
- программу конфигурирования коммутатора Ethernet HP ProCurve 8000M;
- драйверы сети Arcnet.

Драйверы сети Arcnet (драйвер адаптера Arcnet и транспортный драйвер сети Arcnet) обеспечивают сервис доступа к сети Arcnet прикладным процессам, функционирующим в операционной среде Windows 2000. В частности, посредством сети Arcnet обеспечивается непосредственное подключение инженерной станции к ПЛК-1. Динамически подгружаемая библиотека ввода-вывода для доступа к драйверу Arcnet обеспечивает стандартный прикладной программный интерфейс доступа к сети посредством указанных драйверов.

Комплекс предназначен для использования в рабочей станции PC5110 или IBM PC/AT-совместимой ПЭВМ, выполняющей функции инженерной станции СКид УКТС-ВЛ. Комплекс функционирует под управлением операционной системы Windows 2000, также должен быть установлен Microsoft Word из поставки профессионального выпуска Microsoft Office 2000.

Для выполнения операций тестирования и настройки технических средств СКид УКТС-ВЛ инженерная станция должна быть подключена через адаптер Arcnet к ПЛК-1 или через адаптер Ethernet к локальной сети верхнего уровня (ЛСВУ) СКид.

### **Взаимодействие модулей диспетчера и тестов**

Комплекс технологических программ реализован с применением технологии создания многоуровневых приложений в среде Windows. Каждый программный модуль представляет собой COM объект, который имеет возможность поддерживать связь с другими объектами. Модули, реализующие функции выполнения тестирования, реализованы как ActiveX компоненты, что позволяет диспетчеру комплекса технологических программ взаимодействовать с текущим тестом как с элементом управления. Для передачи управляющих воздействий диспетчеру комплекса технологических программ тесты используют свойства и события. Свойства – это связанные с элементом управления атрибуты для передачи параметров вызова теста диспетчеру и для возврата результатов выполнения теста диспетчеру. События – уведомления о нажатии клавиши мыши либо клавиатуры при запуске и останове выполнения теста.

### **Диспетчер комплекса технологических программ**

Диспетчер комплекса технологических программ предоставляет пользователю возможность выбора режима работы для выполнения следующих операций:

- 1) выбора контролируемого устройства:
  - создания текущего набора тестов для выполнения;
  - добавления теста в текущий набор тестов для выполнения;
  - исключения теста из текущего набора тестов для выполнения;
- 2) конфигурирования диспетчера тестов:
  - настройки основных параметров выполнения текущего набора тестов;
  - сохранения файла конфигурации текущего набора тестов;
  - ввода параметров набора тестов из сохраненного файла конфигурации;
  - задания длительности контроля выполнения текущего набора тестов;
  - запуска процесса контроля выполнения текущего набора тестов;
  - звуковой сигнализации при обнаружении нарушений;
  - прерывания процесса контроля выполнения текущего набора тестов;

- 3) визуализации информации:
- динамического отображения результатов контроля;
  - получения справочной информации о работе программы;
  - просмотра протокола;
  - формирования отчетных документов в виде файлов и в виде твердых копий (принтер);
- 4) выполнения конфигурирования СКид УКТС-ВЛ.
- Главное окно комплекса программ показано на рисунке 1.

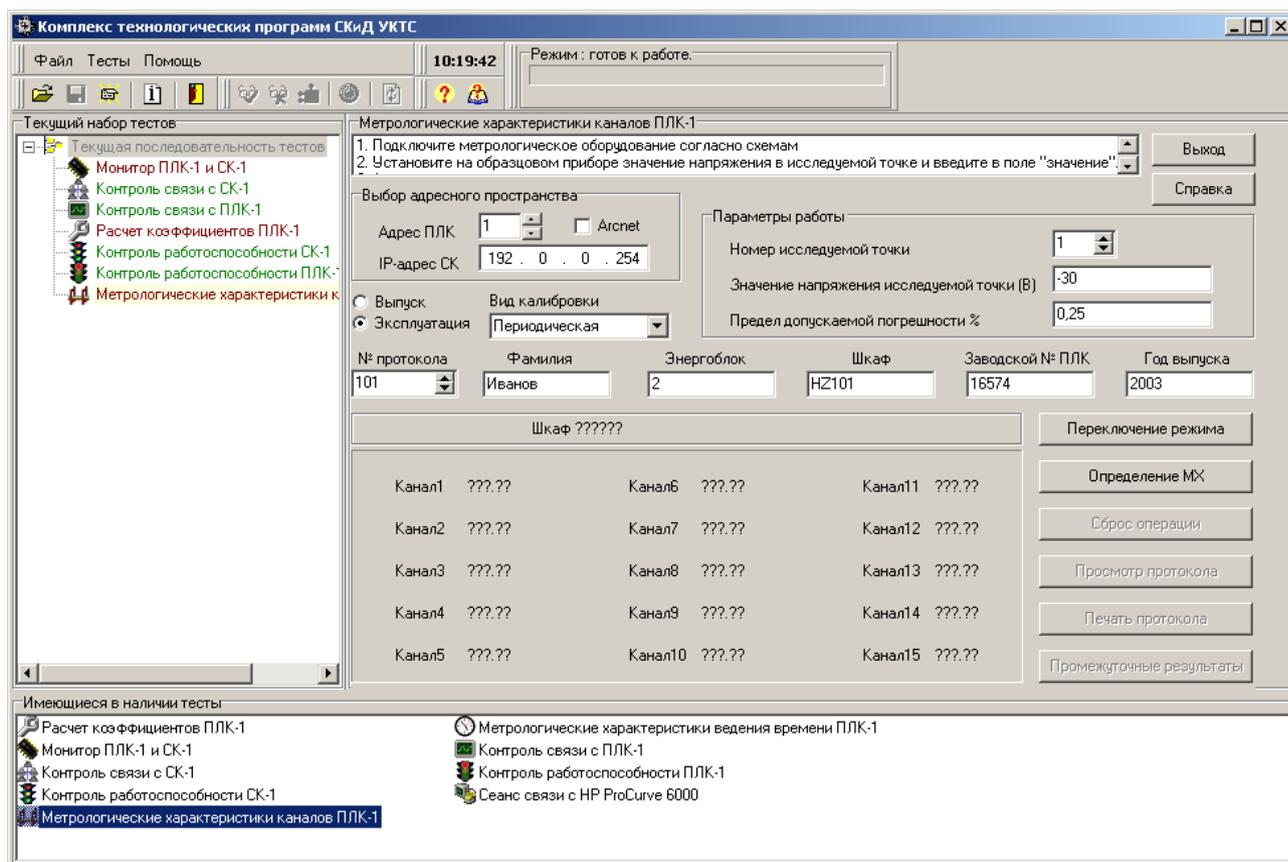


Рисунок 1- Главное окно комплекса технологических программ СКид УКТС-ВЛ

### Программа расчета коэффициентов коррекции значений полученных от измерительных каналов ПЛК-1

Программа расчета коэффициентов коррекции значений полученных от измерительных каналов ПЛК-1 основывается на одновременном подключении ко всем измерительным каналам ПЛК-1 калибратора напряжений, формирующего заданное значение, при этом в ПЛК-1 посылается информационное сообщение, содержащее значение установленного напряжения, и предписание о выполнении операции расчета коэффициента.

## **Программа контроля связи с СК-1**

Программа контроля связи с СК-1 предназначена для обнаружения нарушений в процессах передачи информации в/из сети Ethernet (Arcnet). Тест построен на основе «эхо запросов». Тестом обеспечивается возможность изменения длины информационной части «эхо запросов». При выполнении контроля ведется счетчик нарушений и протоколируется характер нарушений.

## **Программа контроля работоспособности СК-1**

Программа контроля работоспособности СК-1 предназначена для обнаружения сбоев и отказов аппаратуры концентраторной станции. Тест основан на статистическом анализе потока сообщений от проверяемой концентраторной станции, по Arcnet-входам которой (от одного до восьми), выбранным при настройке теста, имитируется максимальный поток сообщений от контроллеров. Имитация потока сообщений выполняется самой инженерной станцией путем вывода широковещательных сообщений по протоколу обмена с ПЛК-1 в сеть Arcnet. Контроль работоспособности выполняется путем анализа на идентичность содержимого переданных и принятых кадров и соответствия формата сообщений, принимаемых от СК-1 по сети Ethernet, протоколу ЛСВУ.

## **Программа калибровки метрологических характеристик измерительных каналов ПЛК-1**

Программа калибровки метрологических характеристик измерительных каналов ПЛК-1 основывается на одновременном подключении ко всем измерительным каналам ПЛК-1 калибратора напряжений, формирующего заданное значение. Проверка метрологических характеристик измерительных каналов напряжения выполняется при автономной проверке, или при проверке в составе шкафа УКТС-ВЛ.

При проверке определяются характеристики погрешностей значений измерительных каналов ПЛК-1 (систематическая и случайная составляющие погрешности, а также суммарная погрешность).

## **Программа проверки метрологических характеристик ведения времени в ПЛК-1**

Программа проверки метрологических характеристик ведения времени в ПЛК-1 предназначена для определения характеристик точности поддержания системного времени в ПЛК-1 как при автономном ведении без синхронизации, так и при наличии сетевой коррекции с синхронизацией. Режим расчета (с синхронизацией или без синхронизации) определяется оператором в зависимости от конфигурации проверяемого оборудования. Расчеты основываются на статистическом анализе отклонения времени фиксации

сообщений, передаваемых имитатором сигналов ИС-24 на информационные входы ПЛК-1, от границы секунды.

При проверке метрологических характеристик ведения времени в ПЛК-1 определяется абсолютная погрешность ведения времени при наличии системного источника единого времени (синхрометра) и линии связи с СК-1, а также абсолютная погрешность на интервале 1 h при автономном ведении времени. Расчеты погрешностей ведения времени, как при наличии системного источника единого времени, так и без него, базируются на статистическом анализе сообщений от ПЛК-1 о событиях и времени фиксации этих событий. Поток событий инициируется передачей на границе каждой секунды из имитатора ИС-24 в ПЛК-1 сообщений (синхронный режим работы ИС-24).

### **Программа контроля связи с ПЛК-1**

Программа контроля связи с ПЛК-1 предназначена для обнаружения нарушений в процессах передачи информации в (из) ПЛК-1. Тест построен на основе «эхо запросов». При выполнении контроля ведется счетчик нарушений и протоколируется характер нарушений.

### **Программа контроля работоспособности ПЛК-1**

Программа контроля работоспособности ПЛК-1 предназначена для обнаружения сбоев и отказов аппаратуры ПЛК-1. Тест основан на статистическом анализе сообщений от выбранного ПЛК-1, к входам которого подключен имитатор сигналов ИС-24, формирующий непрерывный поток сообщений по всем информационным каналам связи с блоками УКТС-ВЛ. Объем передаваемой информации в таком режиме – до 16 КВ/с.

Контроль осуществляется непрерывно анализом всех сообщений от ПЛК-1, при этом выполняются следующие действия:

- сравниваются данные сообщений с хронологией изменений (событийных сообщений) с эталонным кадром;
- контролируется количество кадров в событийном сообщении (должно быть равно 720);
- сравниваются все данные сообщений с текущим состоянием (регулярного сообщения) с эталонным кадром;
- контролируется количество кадров в каждом регулярном сообщении (должно быть равно 50);
- контролируется динамика сообщений, каждую секунду должны приходиться событийное сообщение (720 кадров) и регулярное сообщение (50 кадров);
- контролируется обобщенная информация о состоянии устройств ПЛК-1, передаваемая в каждом регулярном сообщении.

## **Программа конфигурирования коммутатора Ethernet HP ProCurve 8000M**

Программа представляет собой интерактивную среду для задания параметров функционирования коммутатора Ethernet HP ProCurve 8000M, входящего в состав сервера СКид. Программа запускается непосредственно из главного окна технологического комплекса программ.

### **Заключение**

Решения, принятые при создании КТП СКид, позволили получить универсальный технологический программный продукт с использованием готовых опробованных компонент. Разработанное изделие легко модифицируется и расширяется для выполнения дополнительных функций. КТП СКид используется на производстве при изготовлении контроллеров ПЛК-1 и СК-1, при настройке и эксплуатации СКид УКТС-ВЛ.

### **Литература**

1. Елисеев В.В., Пивоваров, Г.Ю. Ларгин В.А., Макарова В.И., Набатов А.С., Яценко В.И. Микропроцессорная система контроля и управления МСКУ 2М //Промышленные АСУ и контроллеры. 2002, №3. С. 1-5.

**В.Н. ЛИСТРАТКИН, Т.Н. ЛИСТРАТКИНА**

**ЗАО «Северодонецкое научно-производственное объединение “Импульс”»**

## **ОПЫТ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМ СБОРА ДАННЫХ НА ОСНОВЕ OPC ТЕХНОЛОГИИ**

Рассматривается опыт разработки серверов данных и архивирования с использованием стандартов OPC.

### **Введение**

На сегодня технология OPC (OLE for Process Control) является своего рода стандартом в области построения систем автоматизации. Использование SCADA-систем (Supervisory Control And Data Acquisition System), функционирующих на базе технологии OPC, позволяет существенно сократить сроки разработки автоматизированных систем управления. Современным SCADA-системам присуще отсутствие ориентации на конкретную аппаратуру нижнего уровня, специфические особенности которой сглаживаются разрабатываемыми для неё серверами ввода-вывода. Сложилась практика, при которой в большинстве случаев разработкой SCADA-систем занимаются одни фирмы, а разработкой серверов – другие. В основном, фирма, разрабатывающая устройства нижнего уровня, поставляет и сервера ввода-вывода для этой аппаратуры.

Исходя из популярности OPC технологии, создание OPC-сервера данных, обеспечивающего доступ к разрабатываемой ЗАО «СНПО „Импульс”» аппаратуре управляющих вычислительных комплексов МСКУ (далее – МСКУ)[1], явилось одним из наиболее оптимальных решений при проектировании системы АСУ ТП на базе указанных технических средств. OPC-сервер представляет собой программную среду, обеспечивающую одновременный унифицированный способ доступа к данным для программных пакетов различного функционального назначения.

### **Система управления производством на базе технических средств МСКУ**

МСКУ представляют собой программируемые вычислительные комплексы, основное функциональное назначение которых состоит в обеспечении приема и обработки данных от датчиков аналоговых и дискретных сигналов АСУ ТП, формировании управляющих воздействий в форме аналоговых и дискретных сигналов на исполнительные механизмы, обмене данными по локальной сети МАПС с другими МСКУ, рабочими станциями и серверами. Для выполнения предписанных назначением функций МСКУ имеет развитую номенклатуру устройств связи с объектом, контроллеры на базе

процессора i586, связанное оборудование, интерфейс с сетью единого времени и др.

Одна из возможных структур систем управления на базе технических средств МСКУ показана на рисунке 1. В структуре можно выделить несколько уровней обработки информации. На нижнем уровне средствами МСКУ выполняется сбор информации от датчиков ее обработка и выдача управляющих воздействий на исполнительные механизмы. На следующем уровне находятся рабочие станции операторов-технологов АСУ ТП и т.п. На данном уровне осуществляются, прежде всего, прием от МСКУ и визуализация информации. Наряду с этим, на верхнем уровне возможно оперативное управление технологическим процессом, принятие тактических решений на основе информации, полученной с нижнего уровня. В общем случае, здесь функционируют программные пакеты SCADA и MMI (Man Machine Interface).

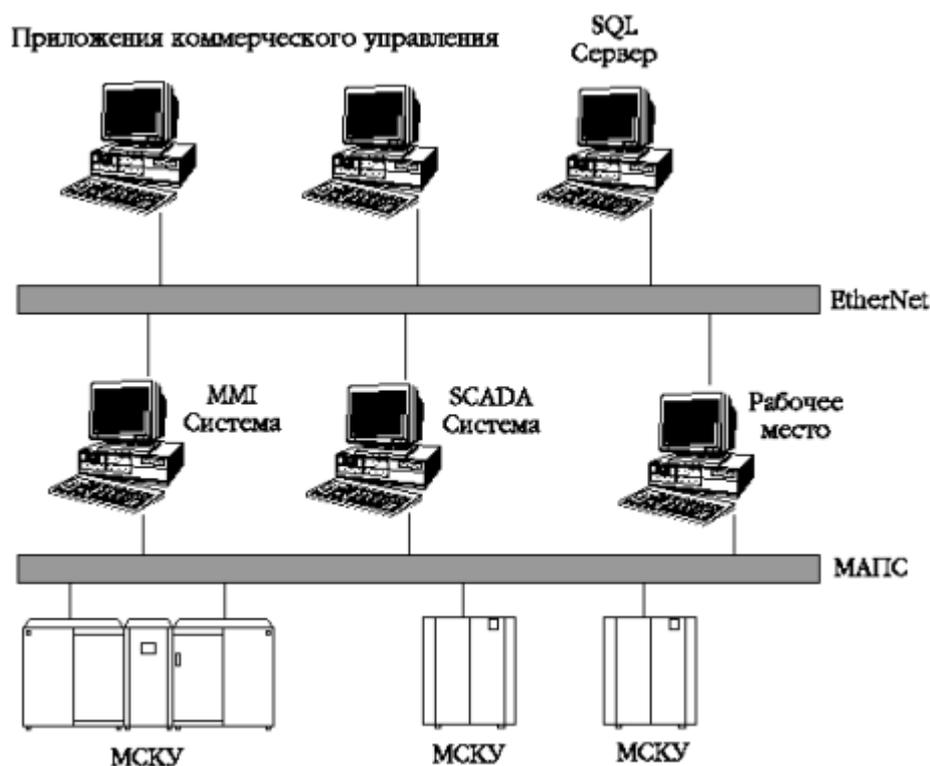


Рисунок 1 - Структура системы управления производством на базе технических средств МСКУ

При разработке OPC-сервера данных МСКУ М были поставлены следующие задачи:

- организовать взаимодействие приложений, функционирующих под управлением ОС Windows (SCADA-систем InTouch, Trace Mode, ...) между собой и МСКУ;
- обеспечить сервис доступа к технологическим данным комплексов МСКУ в соответствии со стандартом доступа к данным реального времени

OPC, используя версии v1.x и v2.x спецификации OPC DA (Data Access)[2],[3]. Требование вызвано тем, что первые применения OPC-сервера данных были совместными со SCADA-пакетами InTouch и Trace Mode. При этом InTouch поддерживал вторую версию стандарта OPC DA, а Trace Mode первую;

- обеспечить доступ к OPC-серверу данных клиентских приложений разрабатываемых с использованием различных инструментальных средств, в частности, Microsoft Visual C++, Visual Basic, Inprise Delphi и C++ Builder.

Разработанный OPC-сервер данных является автономной программной подсистемой, функционирующей на локальной или удалённой (через локальную сеть) рабочей станции наряду с другими программными компонентами. OPC-сервер содержит объекты и интерфейсы, которые выполняют следующие функции:

- конфигурирование и настройку на конкретную программную и аппаратную среду функционирования (OPC-сервер данных обеспечивает доступ к МСКУ через сеть МАПС и через стык RS232);

- обмен данными с аппаратными средствами процесса управления;

- кэширование данных;

- навигацию по имеющейся информации;

- представление данных прикладным процессам согласно OPC спецификации.

Сбор информации OPC-сервером выполняется в соответствии с правилами оперативной базы данных МСКУ М. Данное решение позволило не производить доработку программного обеспечения МСКУ для информационного взаимодействия с OPC-сервером. Селекция информации сервером осуществляется из инициативных сообщений обобщенной базы данных, принимаемых из сети МАПС. Принятые данные кэшируются с последующим предоставлением клиентским приложениям.

Изначально в разрабатываемом OPC-сервере были реализованы только обязательные согласно OPC стандартам интерфейсы. Но при отладке было выяснено, что для совместного функционирования со SCADA-пакетами необходима реализация интерфейса навигации по имеющимся в сервере элементам данных (IOPCBrowseServerAddressSpace). В последствии указанный интерфейс был реализован в OPC-сервере.

Доступ клиентских приложений, функционирующих на одном компьютере, к данным сервера на другом компьютере обеспечивается средствами ОС Windows NT/2000.

В комплексе с OPC-сервером разработаны также следующие инструментальные программы:

- программа настройки OPC-сервера;

- программа OPC-проводник (является реализацией OPC-клиента, использовалась как при отладке, так и как инструмент просмотра значений OPC-элементов);

- программа фиксации изменения значений заданных OPC-элементов.

Программа настройки OPC-сервера является графической оболочкой, позволяющей осуществлять настройку OPC-сервера. В качестве исходных данных при настройке используются bn-файлы, получаемые при конфигурировании оперативной базы данных МСКУ М. Программа включает также средства, позволяющие выполнять соединение с удаленным или локальным сервером, просмотр системной конфигурации, просмотр статической информации о работе сервера.

**Программа OPC-проводник** предназначена для тестирования состояния OPC-сервера, получения информации о поддерживаемых интерфейсах, настройки OPC-групп, отображения адресного пространства сервера, мониторинга и записи OPC-элементов. Программа реализована в соответствии со стандартом OPC DA v1.x и v2.x (доступ к данным)[3]. На рисунке 2 показано главное окно программы.

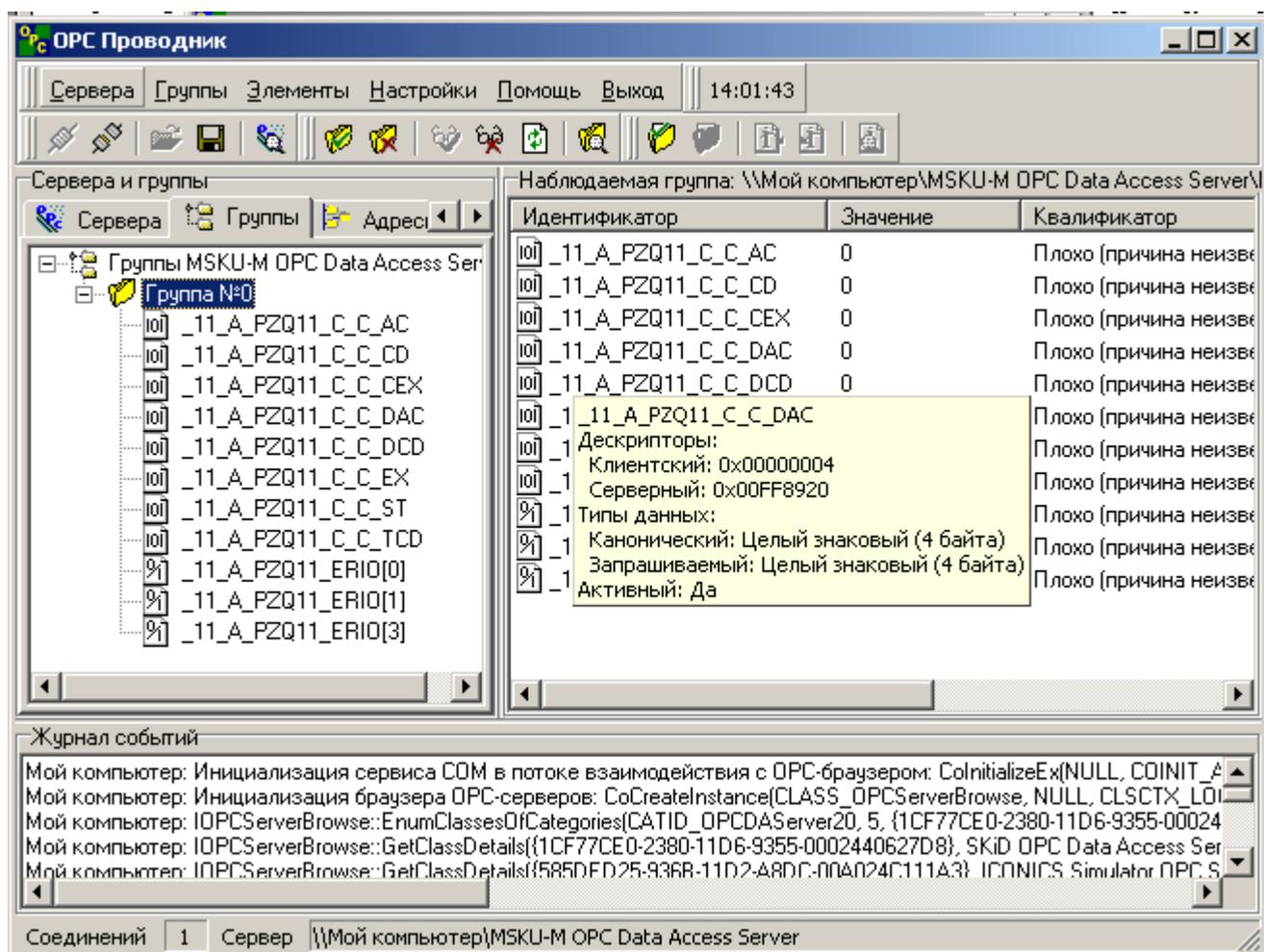


Рисунок 2 - Главное окно программы OPC-проводник

**Программа фиксации изменений OPC-элементов** предназначена для фиксации изменившихся значений OPC-элементов OPC-сервера с последующей записью файла протокола на диск. Программа состоит из исполняемого модуля и файла настройки, в котором хранится код типа версии OPC спецификации, по которой производится взаимодействие с OPC-сервером. На вход программе

подставляется файл конфигурации, созданный при помощи программы OPC-проводник, в котором приводится список OPC-элементов, изменение которых должны фиксироваться в протоколе.

В последующем была разработана модификация OPC-сервера для подключения к МСКУ 2 по сети Ethernet. Указанная реализация обеспечивает информационный обмен с МСКУ 2 как по резервированной так и не по резервированной сети, построенной на технических средствах Ethernet.

### **Использование OPC технологии при разработке системы контроля и диагностики УКТС-ВЛ**

Система контроля и диагностики (далее – СКид) предназначена для диагностики и сбора данных от аппаратуры унифицированного комплекса технических средств УКТС-ВЛ (далее - УКТС) систем безопасности и нормальной эксплуатации энергоблоков с реактором типа ВВЭР-1000, представления собранной информации оператору посредством видеogramм, визуализации архивных данных (в виде графиков) и ведения журнала нарушений.

Целью разработки СКид являлось создание единой системы оперативной диагностики аппаратуры УКТС.

Операторская станция является верхним уровнем СКид УКТС и предназначена для непрерывного накопления и отображения информации о состоянии контролируемого оборудования УКТС и программно-технических средств собственно СКид УКТС.

При разработке программного обеспечения операторской станции СКид использован опыт разработки OPC-сервера данных МСКУ.

В качестве SCADA-пакета был выбран GENESIS32. Решающим фактором, повлиявшим на выбор этого пакета, стало широкое использование его компонентами технологии OPC.

При разработке сервера СКид требовалось обеспечить выполнение следующих задач:

- непрерывный прием сообщений от абонентов системы;
- первичная обработка сообщений и формирование оперативной базы данных параметров энергоблока;
- передача сообщений абонентам системы по инициативе оператора;
- ведение архива регулярной (посекундной) информации глубиной не менее 24 часов;
- ведение архива изменений (событий) глубиной не менее 31 суток.

В связи с тем, что ни один из существующих SCADA-пакетов не обеспечивал выполнения требований к объему и динамике архивируемой информации, было принято решение о разработке сервера архивирования. В качестве интерфейса доступа к архивной информации был выбран интерфейс, определенный стандартом OPC HDA[4]. Выбор интерфейса позволил

использовать для отображения архивной информации средства SCADA-пакета GENESIS32.

Наряду с разработкой сервера архивирования, было принято решение о совмещении в рамках OPC-сервера СКид функций сервера данных (OPC DA) и сервера архивирования (OPC HDA). Благодаря совмещению функций серверов получен значительный выигрыш в производительности системы.

Использование решений, построенных на базе OPC стандартов, позволило разработать для СКид ряд инструментальных программ на базе OPC-сервера. Взаимодействие разработанных программных модулей операторской станции между собой и модулями операционной системы показано на рисунке 3.

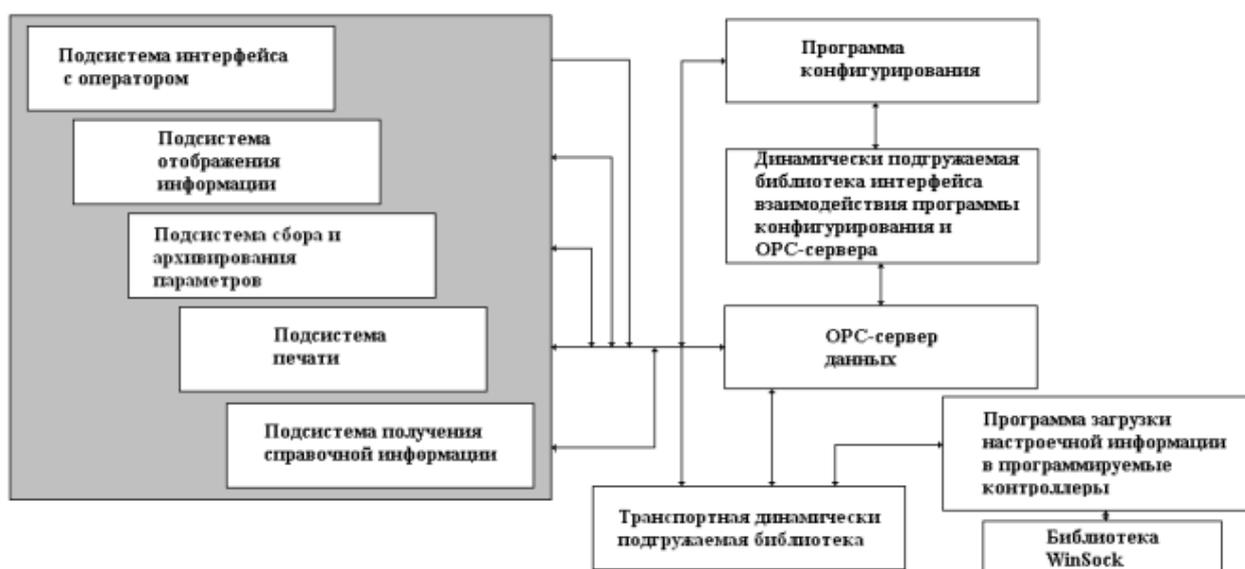


Рисунок 3 - Взаимодействие программных модулей операторской станции СКид

## Заключение

Опыт построения систем управления с использованием OPC технологии показал эффективность таких решений, как с точки зрения характеристик, так и временных затрат на разработку. Создание OPC-серверов позволило предоставить свободу выбора инструментальных пакетов при построении АСУ на базе технических средств, производимых ЗАО «СНПО „Импульс”». К настоящему времени внедрен ряд систем управления с применением OPC-сервера МСКУ (САУ ГПА агрегата №7 КС «Лоскутовка» УМГ «Донбасстрансгаз», АСУ ТП печей и котлов установки АТ-1, ЗАО «Укртатнафта» г. Кременчуг, система управления компрессором Анастасьевской ГЛКС, система управления газокomppressorными станциями ДКС «Солоха» компания «Укргаздобыча»). Система контроля и диагностики УКТС-ВЛ функционирует на энергоблоках № 3 и № 4 Запорожской АЭС и энергоблоке № 2 Хмельницкой АЭС.

## Литература

1. Елисеев В.В., Пивоваров, Г.Ю. Ларгин В.А., Макарова В.И., Набатов А.С., Яценко В.И. Микропроцессорная система контроля и управления МСКУ 2М //Промышленные АСУ и контроллеры. 2002, №3. С. 1-5.
2. OLE for Process Control. Data Access Custom Interface Standard. Version 2.0. October 14,1998.
3. OLE for Process Control. OPC Common Definitions and Interfaces. Version 2.5. December 17, 2001.
4. OLE for Process Control. Historical Data Access Custom Interface Standard. Version 1.1. January 26, 2001.

**В.Н. ЛИСТРАКИН, Т.Н. ЛИСТРАТКИНА, Ю.А. ДЕРЕВЯНЧЕНКО**

*ЗАО «Северодонецкое научно-производственное объединение “Импульс”»*

## **РАЗРАБОТКА ПРОМЫШЛЕННОЙ СЕТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ НА БАЗЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ETHERNET**

Рассмотрены основные решения, принятые при разработке программного обеспечения сети, построенной на базе аппаратуры Ethernet и пользовательского интерфейса сети МАПС.

### **Введение**

Большинство современных систем управления имеют распределенную структуру. Важным компонентом, влияющим на характеристики распределенных систем, является сеть передачи данных. Возрастающие требования к пропускной способности сетевых средств поднимают проблему модернизации принятых сетевых решений, использования новых подходов к построению сети. Вопрос о замене технических средств приобрел актуальное звучание и применительно к сети МАПС системы контроля и управления МСКУ (далее – МСКУ)[1].

### **Аппаратные средства**

МСКУ представляет собой программируемый вычислительный комплекс, выполняющий в системах управления функции низового контроллера, осуществляющего непосредственное управление технологическим процессом. Для организации обмена данными между МСКУ, операторскими и рабочими станциями используется специализированная аппаратура (контроллеры связи КСв), с помощью которой строится промышленная сеть МАПС. Сеть обладает пропускной способностью в 1 Mbyte/s и использует специализированный протокол. КСв осуществляет управление обменом данными по магистрали (формирование/анализ кадра сообщения и выдачу/прием сообщений) в соответствии с протоколом. Высокая надежность доставки информации в сети МАПС обеспечивается за счет резервирования сетевой аппаратуры.

В качестве аппаратной базы новой сети решено использовать технические средства сети Ethernet. Такое решение продиктовано следующими причинами:

- популярностью технологии Ethernet в области промышленной автоматизации и как следствие – доступностью большой номенклатуры изделий для создания сети Ethernet;
- большой пропускной способностью (на сегодняшний день имеются изделия, обеспечивающие скорость передачи информации до 10 Gbyte/s);
- использованием различных сред передачи (медь, оптика);
- активным развитием технологии Ethernet.

## Реализация программного обеспечения сети

При расширении аппаратурной реализации сети МАПС одно из основных требований предъявлено к сетевому программному обеспечению (ПО) МСКУ, в частности необходимости сохранения интерфейса доступа к сетевому сервису сети МАПС. По причине выполнения этого требования и типа используемой базовой сети новая сеть получила название сеть МАПС/Ethernet.

Одновременно с сохранением сетевого интерфейса к программному обеспечению предъявлены требования минимизации сетевым ПО МСКУ системных ресурсов – оперативной памяти и времени процессора. Исходя из указанных требований, принято решение о разработке специализированного упрощенного сетевого протокола на базе сетевого протокола МАПС. Значительная часть протокольных процедур сети МАПС выполняется на уровне контроллеров связи. ПО сети МАПС/Ethernet основные из этих процедур реализует в протокольном драйвере с учетом возможностей, предоставляемых аппаратурой Ethernet.

Для операционной системы ОС5000[2], функционирующей в МСКУ, разработан драйвер протокола и драйвер контролера Ethernet, которые функционально соответствуют драйверу сети МАПС для системы ОС 5000. Для операционных систем, применяемых в рабочих станциях (Windows 2000, Linux), разработаны транспортные драйверы. Для обмена с сетевыми контроллерами в рабочих станциях используются штатные драйверы операционных систем.

Для повышения надёжности передачи данных в сети МАПС/Ethernet, как и в сети МАПС, используется резервирование на уровне маршрута доставки сообщений посредством построения конфигураций, содержащих до трех магистралей. В сети МАПС/Ethernet, в отличие от сети МАПС, резервирование реализовано на логическом уровне (на уровне протокольного драйвера). Каждой магистрали может соответствовать как отдельная аппаратура передачи данных, так и несколько магистралей могут использовать одну и ту же сетевую аппаратуру. Возможная конфигурация резервированной сети МАПС/Ethernet показана на рисунке 1.

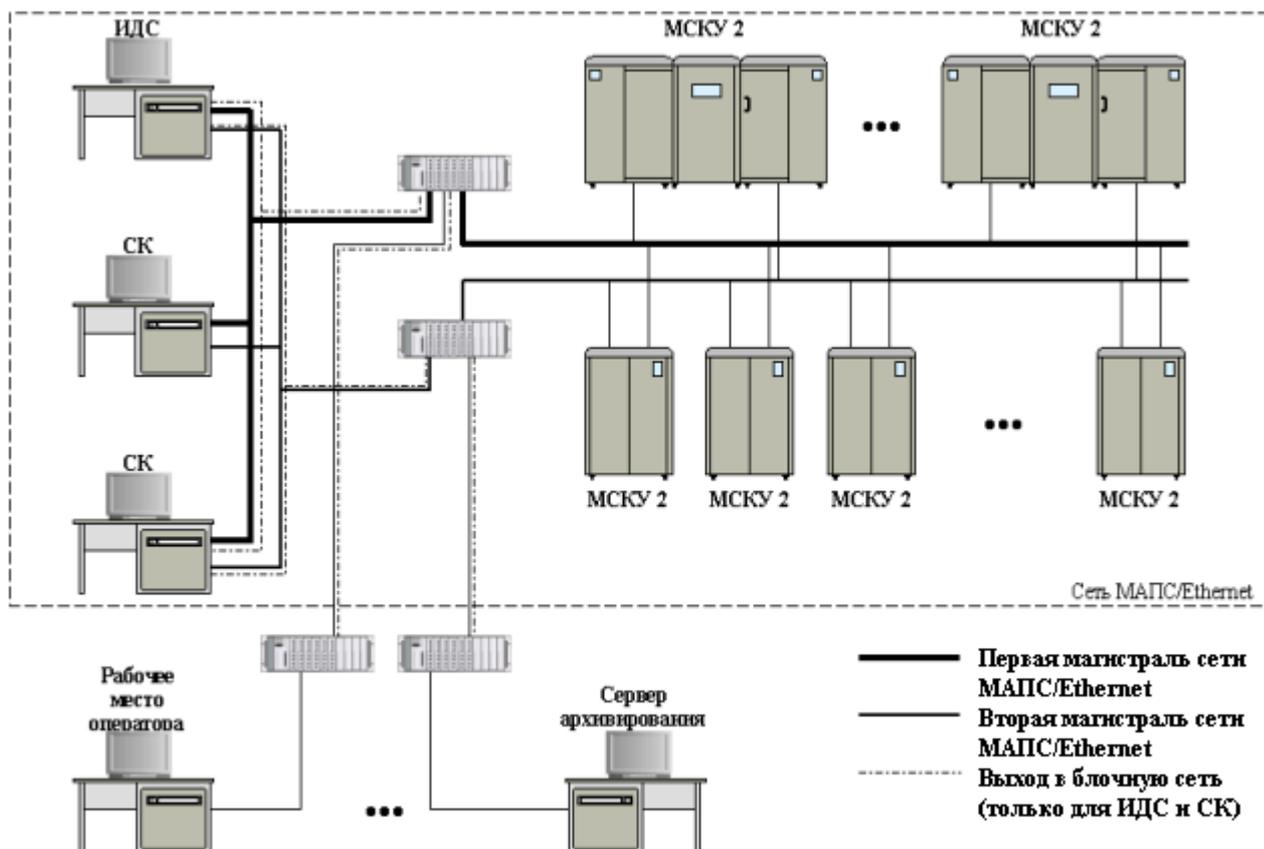


Рисунок 1 – Пример конфигурации сети МАПС/Ethernet, использующей две магистрали

На уровне протокола сети МАПС/Ethernet заложены возможности увеличения размера выдаваемого кадра и групповой выдачи, которые поддержаны аппаратурой сети Ethernet. Увеличение информационной части кадра до 1450 byte (в сети МАПС 256 byte), позволяют уменьшить количество обращений к сетевому оборудованию и снизить нагрузку на сеть.

В сети МАПС/Ethernet можно организовать 191 группу абонентов. Сообщения с групповым адресом обрабатываются всеми абонентами, входящими в группу с заданным групповым адресом. Групповая передача сообщения, по сравнению с адресной (индивидуальной), уменьшает нагрузку на сеть. Пример сети МАПС/Ethernet с подключением нескольких магистралей на одну шину передачи данных и примером передачи сообщения группе абонентов показан на рисунке 2.

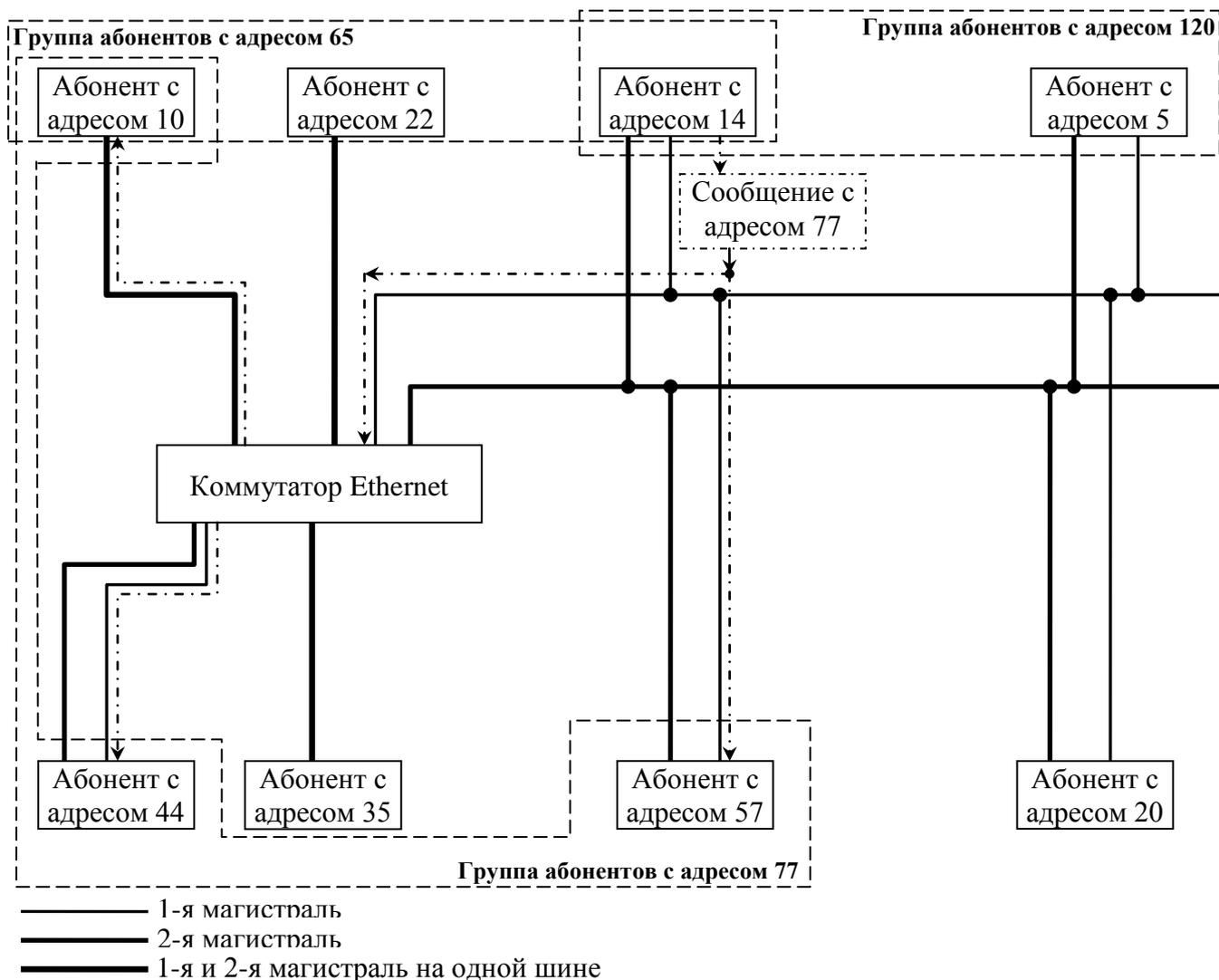


Рисунок 2 – Пример маршрута в сети МАПС/Ethernet сообщения предназначенного для группы абонентов

### Заключение

Подходы, принятые при разработке программного обеспечения сети МАПС/Ethernet, позволили решить задачу по созданию промышленной сети с минимальными затратами на разработку. Сохранены также присущие сети МАПС достоинства и задействованы функциональные возможности технологии Ethernet.

### Литература

1. Елисеев В.В., Пивоваров, Г.Ю. Ларгин В.А., Макарова В.И., Набатов А.С., Яценко В.И. Микропроцессорная система контроля и управления МСКУ 2М //Промышленные АСУ и контроллеры. 2002, №3. С. 1-5.
2. Елисеев В.В., Ларгин В.А., Пивоваров Г.Ю. Программно-технические комплексы АСУ ТП. К: Издательско-полиграфический центр «Киевский университет», 2003. 429 с.

**В.И. МАКАРОВА, Е.А. АЛЕКСЕЕВА, А.С. КОВАЛЕНКО,  
С.В ПИВОВАРОВА**

***ЗАО «Северодонецкое научно-производственное объединение “Импульс”»***

## **СЕРВИСНЫЕ СРЕДСТВА ПОДГОТОВКИ КОМПЛЕКТОВ ПО**

Рассмотрены инструментальные средства для сопровождения программных комплексов

### **Введение**

В ЗАО «СНПО “Импульс”» разрабатывается достаточно широкая номенклатура комплексов программного обеспечения (далее - ПО) различного функционального назначения. Для всех комплексов ПО необходимо обеспечивать надежность хранения и поставки Заказчику, а также удобство в использовании. Для решения данных задач и предназначены сервисные программные средства, обеспечивающие автоматизацию выполнения работ при подготовке, хранении и сопровождении комплексов программного обеспечения.

### **Общие сведения**

Каждый разработанный комплекс программ в процессе эксплуатации у Заказчика продолжает «жить» у разработчика в архивной службе сопровождения.

Сопровождение комплекса программ включает следующие этапы:

1) подготовку разработчиком и передачу в архивную службу:

- комплекта архива комплекса программ на носителях данных, предназначенного для обеспечения возможности корректировки комплекса программ в процессе сопровождения и включающего исходные тексты программ, документацию (эксплуатационную и сопровождения, включая инструкцию по сопровождению комплекса программ), инструментальные средства подготовки, тестовые программы и т.д.;

- комплекта поставки комплекса на носителях данных, включающего все исполняемые модули комплекса программ и эксплуатационную документацию, предназначенные для поставки Заказчикам;

2) учет, хранение, периодический контроль целостности носителей комплекса в архиве, изготовление копий комплектов и поставка их заказчикам;

3) внесение изменений в процессе сопровождения (при необходимости), переподготовку носителей комплекса и замена их в архиве, а также поставка измененной версии заказчикам;

4) инсталляцию комплекса программ с целью ввода комплекса программ в эксплуатацию, периодический контроль целостности на жестких дисках модулей инсталлированного комплекса в ходе его эксплуатации.

Технология организации хранения, поставки и сопровождения программных комплексов обеспечивает выполнение полного цикла работ, связанных с подготовкой комплексов программ для передачи в архив, хранением, учетом и контролем сохранности комплектов этих комплексов в архиве, а также их тиражированием, внесением изменений и вводом в эксплуатацию.

Для выполнения работ данного вида, как правило, используются инструментальные пакеты программ, предназначенные для создания установочных носителей программных комплексов пользователя [1]. Однако эти инструментальные пакеты имеют существенные недостатки. Во-первых, они не обеспечивают контроль соответствия структуры комплексов программ требуемой. Во-вторых, они, как правило, функционируют в какой-нибудь одной среде и имеют сложный оконный диалог, который ведется на английском языке.

### **Функции сервисных программных средств**

Разработанные в ЗАО «СНПО „Импульс”» сервисные программные средства формирования комплектов ПО обеспечивают выполнение следующих функций:

- подготовку комплекта архива комплекса программ на носителе (CD-ROM, DVD, floppy) в специальном упакованном формате с сохранением контрольных сведений о комплексе программ, версии комплекса;
- подготовку комплекта поставки из архива комплекса программ;
- создание копий комплекта с эталонного экземпляра (с целью его поставки заказчику);
- автоматическое включение в состав комплекта средств контроля целостности его как в процессе хранения, так и после инсталляции;
- автоматическое включение в состав комплекта средств инсталляции комплектов на жесткие диски, с целью ввода комплексов программ в эксплуатацию.

В связи с широким распространенным использованием у заказчика операционных систем Windows, Linux созданы универсальные и удобные средства сопровождения комплексов ПО, позволяющих работать на различных платформах. Универсальность комплексов ПО заключается в предоставлении следующих функциональных возможностей:

- подготовки комплектов ПО для функционирования в ОС Windows;
- подготовки комплектов ПО для функционирования в ОС Linux;
- включения компонент ПО, поддерживающих ранее используемые и поставляемые заказчику комплекты программ для ОС MS DOS.

Функциональная структура сервисных программ для организации хранения, поставки и сопровождения программных комплексов показана на рисунке 1.

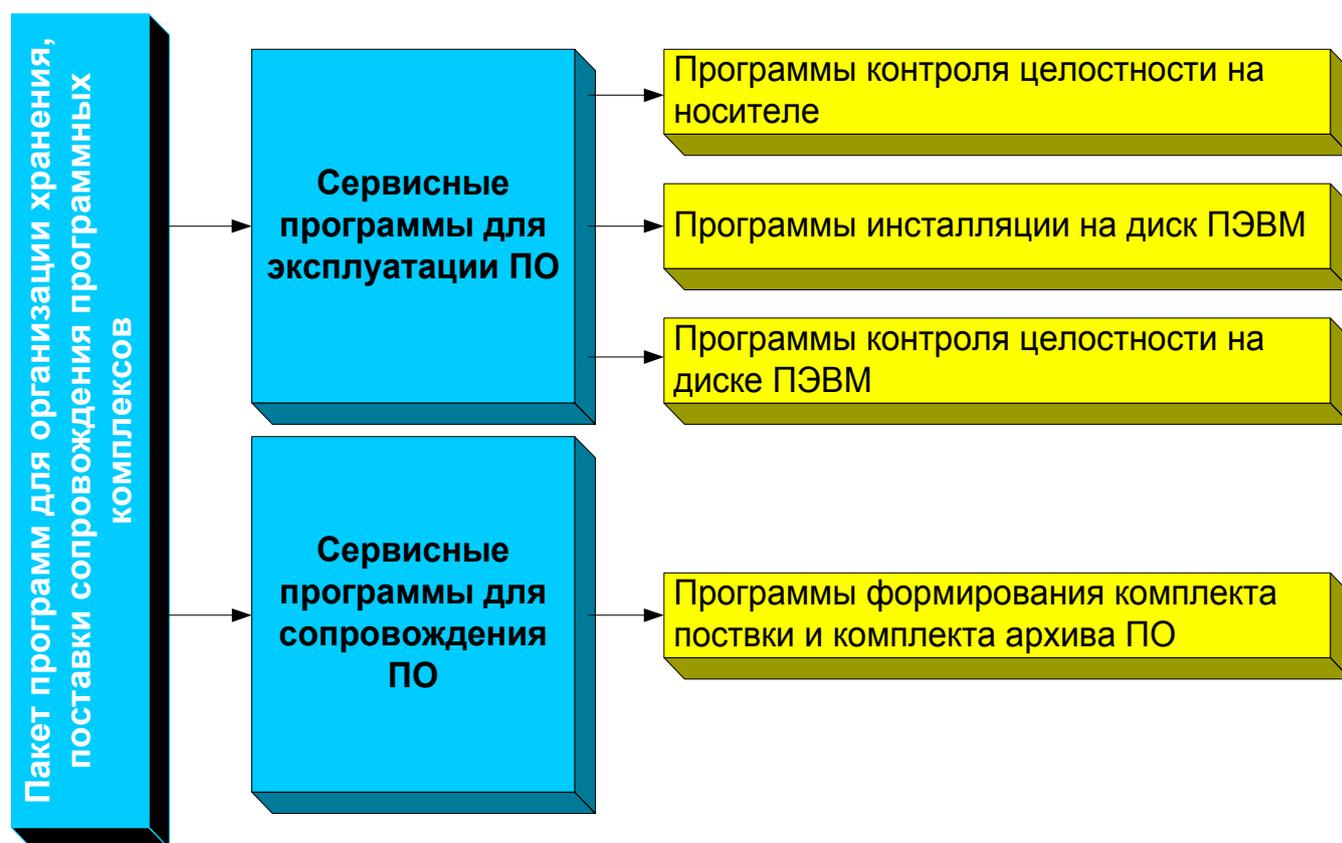


Рисунок 1 – Функциональная структура комплекса сервисных программ

Сервисные средства сопровождения архива ПО содержат программу для формирования комплектов ПО, которая представляет собой отдельный программный модуль, входящий в состав пакета сервисных средств, предназначенного для организации хранения, поставки и сопровождения программных комплексов, функционирующих в среде Windows и Linux.

В общем процесс создания комплектов архива и поставки комплексов программ состоит из следующих этапов:

- 1) создание или модификация существующих файлов сценариев для инсталляции в ОС Linux и ОС Windows, в соответствии с которым приложение будет инсталлироваться;
- 2) компиляция файлов сценариев и создание с помощью программы setup.exe комплекта поставки из архива комплекса программ в ОС Windows;
- 3) компиляция файлов сценариев и создание с помощью программ build и makedist комплекта поставки из архива комплекса программ в ОС Linux;
- 4) создание комплекта поставки в ОС MS DOS, если требуется включить компонент ПО для использования в MS DOS;
- 5) создание образа диска комплекта поставки;
- 6) создание образа диска архива комплекта.

Для больших по размеру приложений, инсталляционная копия которых не помещается на одном носителе, файл, полученный на шаге упаковки, разбивается на несколько файлов, каждый из которых помещается на один носитель заданного объема.

Структурная схема процесса создания дистрибутива показана на рисунке 2.

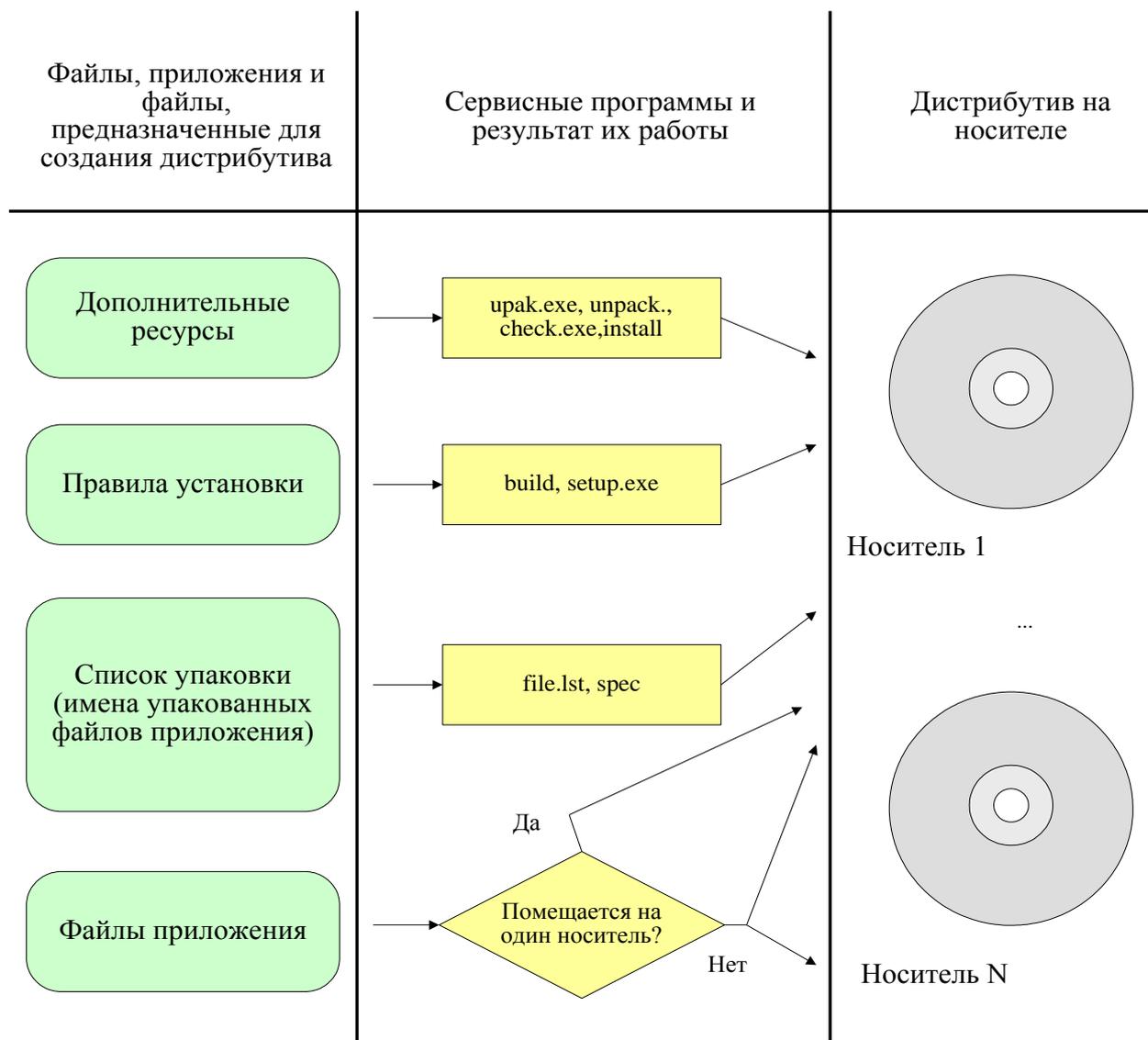


Рисунок 2 – Процесс создания дистрибутива

### Заключение

Разработанные сервисные средства обеспечивают подготовку комплектов ПО, сопровождение и инсталляцию одинаково просто как в ОС Windows, так и в ОС Linux и обеспечивают надежность хранения за счет использования сервисных средств контроля целостности.

## Литература

1. RPM Package Manager <http://rufus.w3.org/linux/RPM>
2. Your Source For rufus <http://www.rpm.org/>

**В.П. БЕРНАЦКИЙ, А.В. ГАВРИЛОВ, Д.В. ЕРЕМЕЕВ**

*ЗАО «Северодонецкое научно-производственное объединение “Импульс”»*

## **ОСОБЕННОСТИ АРХИВИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ АКНП**

В статье приведены особенности архивирования параметров аппаратуры контроля нейтронного потока, структура архива и основные возможности, предоставляемые пользователю.

### **Введение**

В аппаратуре контроля нейтронного потока (АКНП), разработанной ранее в 70-80 гг. прошлого века и эксплуатируемой в настоящее время (АКНП-3, АКНП-7), выполняется регистрация мощности и периода [1] электромеханическими самописцами типа РП-160 на бумажной ленте. Возросшие современные требования [2] предусматривают наличие в АКНП средств архивирования. Эти требования иницируют разработчиков АКНП создавать новые электронные средства архивирования, обеспечивающие сохранение более полной и подробной информации о функционировании АКНП. Актуальность архивирования параметров АКНП предопределяется также тем, что “нейтронная” характеристика может использоваться для общего анализа поведения реакторной установки (РУ).

В АКНП разработки и производства ЗАО «СНПО “Импульс”» АКНП-И в угоду соответствия нормативным документам [1] и требованиям эксплуатирующих организаций для регистрации мощности и периода применяются цифровые регистраторы SIREC фирмы Siemens, обеспечивающих отображение этих параметров на TFT-экране и сохранение их на съемном магнитном носителе. Вместе с этим специально для архивирования параметров АКНП-И разработан сервер архивирования СА АКНП, обеспечивающий архивирование полной и подробной информации о функционировании АКНП-И.

Целью данной статьи является описание реализованных в СА АКНП подходов к архивированию параметров АКНП.

### **Общая организация архивирования параметров АКНП**

Источником информации для архивирования являются устройства накопления и обработки (УНО) каналов АКНП. УНО каждые полсекунды формирует и передает в устройство технического обслуживания (УТО) информационный кадр, содержащий полную информацию о состоянии УНО и подключенных к нему устройств АКНП. Информационный кадр в УТО

дополняется параметрами УТО и пересылается в СА АКНП, где полученная информация размещается в файлах архива АКНП.

Кроме того, УНО формирует для УТО и событийные кадры о нарушениях, выявленных средствами оперативного контроля УНО и подключенных к нему устройств АКНП. В результате обработки в УТО событийных кадров УНО о нарушениях, а также при выявлении оперативным контролем УТО нарушений или фиксации события (например, в изменении оператором блочного щита управления уставок мощности) в журнал контроля УТО формируется и заносится соответствующее сообщение. Для обеспечения полной картины о поведении АКНП новые записи журнала контроля также пересылаются из УТО в СА АКНП и размещаются в соответствующих файлах архива АКНП.

При определении структуры архива АКНП за основу был взят принцип независимости каждого из каналов АКНП. В соответствии с ним архив АКНП решено было организовать как одинаковый набор файлов для каждого из каналов АКНП. При этом в каждом наборе один файл предназначен для сохранения содержимого журнала контроля, а остальные – для хранения параметров и сигналов соответствующего канала АКНП.

В соответствии с требованиями нормативного документа [2] архив параметров и сигналов для каждого из каналов АКНП должен состоять из кратковременного (суточного) архива (СА) и долговременного архива (ДА). СА предназначен для сохранения подробной информации о канале АКНП за последние 24 часа его работы, а долговременный архив (ДА) - для сохранения основных параметров и сигналов за год работы канала.

### **Структура и параметры кратковременного архива**

Для обеспечения объективной оценки поведения реакторной установки как в штатном режиме, так и в переходном и аварийном режимах, в кратковременном архиве принято решение хранить все поступающие из УТО информационные кадры. Кратковременный архив каждого из каналов АКНП при этом представляет собой файл фиксированной длины, содержащий заголовок со служебной информацией и 172800 последовательно размещаемых записей с информационными кадрами из УТО. Каждый информационный кадр содержит:

- дату и время начала формирования в УНО информационного кадра;
- по 100 архивных значений мощности, периода и дискретных сигналов для активного диапазона (в том числе, выходных сигналов регулирования и защит) с дискретностью 5 миллисекунд;
- по 5 показаний вычисленной в УНО и усредненной по трем каналам в функциональном дисплее реактивностей с дискретностью 100 миллисекунд;
- параметры устройств детектирования (УД) (значения частот, их коэффициенты тарировки и сигналы состояния УД) с дискретностью 500 миллисекунд;

- вычисленные мощности и периоды по всем диапазонам и уставки по ним с дискретностью 500 миллисекунд;
- сформированный по мощности и периоду весь набор дискретных сигналов УНО (сигналы регулирования и защит, исправности, указателей диапазонов, достижения фиксированных уровней номинальной мощности (5, 25 и 75 процентов) и др.) с дискретностью 500 миллисекунд;
- состояния дискретных и аналоговых выходных каналов УНО с дискретностью 500 миллисекунд;
- диагностическая информация (напряжения питания, температуры, версии программ и т.п.) с дискретностью 500 миллисекунд.

Номер записи в файле соответствует полусекундному интервалу времени приема.

Сохранение даты и времени начала формирования в УНО информационного кадра как одного из архивных параметров позволяет устанавливать с высокой точностью соответствие остальных архивных данных моменту их формирования в УНО. Сохранение подробной информации с дискретностью 5 миллисекунд предоставляет возможность детального анализа переходных процессов и нештатных ситуаций (например, снижение или подъем мощности реактора, возникновение сигнала неисправности и др.).

### **Структура и параметры долговременного архива**

Для обеспечения идентичности со структурой кратковременного архива принято решение долговременный архив каждого из каналов АКНП организовать как набор из 12 файлов (по одному на каждый месяц) и хранить в них только основные параметры. При выборе перечня основных параметров ставилась цель сохранить картину функционирования канала АКНП. Для этого достаточно сохранить из принятых в информационном кадре УТО значения следующих параметров:

- частот и коэффициентов тарировки всех УД;
- дискретных сигналов состояния всех УД;
- вычисленных мощностей и периодов по всем диапазонам;
- уставок мощности и периода;
- вычисленной и усредненной реактивностей;
- всего набора дискретных сигналов УНО.

При определении дискретности сохранения основных параметров в долговременном архиве решающим было достижение минимальной дискретности в существующих архивах информационно-вычислительной системы (ИВС) энергоблока (1 секунда) при допустимом объеме дискового пространства, необходимого в СА АКНП для хранения долговременного архива всех каналов АКНП. Как оптимальное сочетание определена дискретность в 1 секунду. Каждый файл долговременного архива каждого из каналов АКНП при этом представляет собой файл фиксированной длины,

содержащий заголовок со служебной информацией и 2678400 (по числу секунд за 31 день) последовательно размещаемых записей с основными параметрами канала АКНП. Номер записи в файле соответствует секундному интервалу времени приема.

### **Особенности программной реализации**

Программное обеспечение СА АКНП в целом было разграничено по своему функциональному назначению и состоит из следующих независимых подсистем:

- подсистемы сбора и архивирования параметров АКНП;
- подсистемы визуализации архива АКНП;
- подсистемы контроля создания архива;
- подсистемы поддержки единого времени.

Подсистема сбора и архивирования параметров (сервер) предназначена для непрерывного пополнения суточного и долговременного архивов параметров и журналов контроля каналов АКНП, а также для формирования и передачи в ИВС энергоблока текущих параметров АКНП. Кроме того, сервер накапливает и отображает информацию о собственных событиях и неисправностях в собственном журнале.

Подсистема визуализации архива АКНП (клиент) предназначена для предоставления оператору в удобном для анализа виде архивных данных. При этом программа клиента обеспечивает выполнение следующих функций:

- просмотра в графической и табличной формах параметров и сигналов, представленных в архивах;
- вывода на печать графиков параметров и сигналов;
- просмотра параметров настроек (конфигурации) канала АКНП;
- просмотра журнала контроля канала АКНП или журнала сервера;
- копирования файлов базы данных на внешний носитель;
- извлечения файлов базы данных архивов с внешнего носителя;
- экспорта архивных данных в файлы Microsoft Excel.

Для организации быстрого просмотра параметры и сигналы объединены в кадры текущего состояния, суточного и долговременного архивов, вызываемые из ранее созданных списков. С целью обеспечения просмотра параметров и сигналов в требуемом оператору виде и составе ему предоставляется возможность создания новых или редактирования существующих кадров. Возможна оперативная модификация кадра графиков, заключающаяся в изменении отображаемого на экране временного отрезка, в масштабировании и оцифровке графиков перед распечаткой, в перемещении графика по времени и изменении времени начала просмотра. Экспорт параметров и сигналов архива АКНП в таблицы формата Microsoft Excel предоставляет возможность выполнить достаточно сложную их обработку в сочетании с параметрами других подсистем энергоблока.

Подсистема контроля создания архива обеспечивает перезапуск программы сервера при ее “зависании” и перезагрузку СА АКНП по срабатыванию сторожевого таймера (Watchdog Timer).

Подсистема поддержки единого времени обеспечивает ведение системного времени в СА АКНП в соответствии с данными сети единого времени, а также осуществляет контроль работоспособности оборудования СА АКНП.

### **Особенности технической реализации**

Основным требованием при определении технических средств реализации СА АКНП являлось обеспечение длительного надежного функционирования. Технической базой реализации СА АКНП было определено исполнение рабочей станции ПС5120 производства ЗАО «СНПО “Импульс”». Особенности ее реализации являются:

- обеспечение надежного питания (два ввода 220 V, устройство аварийного включения резерва, источник бесперебойного питания, два источника питания модуля процессорного и т.п.);
- реализация внешних связей оптоволоконными линиями связи;
- резервирование внешних устройств ввода-вывода (CD-RW, FDD, магнитооптика);
- хранение архива на резервированных дисковых накопителях, организованных как Raid-массив и обеспечивающих сохранение работоспособности при отказе одного накопителя с автоматическим восстановлением информации при замене отказавшего накопителя на исправный;
- использование локального коммутатора сети Ethernet;
- обеспечение подключения к сети единого времени и контроля работоспособности оборудования.

Для сохранения возможности резервирования архива АКНП выдачу из УТО решено было выполнять по протоколу обмена IPX в широкоэвещательном режиме. При этом наличие резервных коммутирующих модулей в локальном коммутаторе сети Ethernet СА АКНП, к которому подключены все каналы АКНП и процессорный модуль СА АКНП, обеспечивает возможность резервного создания архива АКНП.

Для обеспечения надежной передачи информации из УТО в СА АКНП решено было использовать оптоволоконные линии связи и все передаваемые сетевые пакеты дублировать. При этом для повышения достоверности передаваемых архивных данных введен многоуровневый контроль, включающий в себя общий контроль пересылаемых сетевых пакетов, контроль информационной части сетевых пакетов контрольными суммами двух типов (XOR и ADC) и контроль нумерации информационных частей. За счет этого потеря одного из двух одинаковых пакетов или сбой при передаче одного из

пакетов не сказываются на создании архива данных, а сохраняемые в архиве параметры и сигналы соответствуют зафиксированным в АКНП-И.

Для размещения программного обеспечения и хранения архива используются два вида НЖМД – обычный винчестер в составе процессорного модуля емкостью 73 GB (операционная система и вспомогательные программы) и Raid-массив уровня 5 полезной емкостью 280 GB (архив и функциональные программы СА АКНП).

### **Выводы**

Принципы приведенной в статье технической и программной реализации архивирования параметров АКНП прошли проверку при пуске в эксплуатацию новых энергоблоков Хмельницкой и Ровенской АЭС и в настоящее время сервер архивирования СА АКНП поставляется для комплектов АКНП-И. Эксплуатация СА АКНП показала целесообразность его использования для оперативного получения информации при проведении пуско-наладочных работ, при проведении физических экспериментов на этапе освоения мощности, а также при анализе различных режимов работы оборудования в процессе работы энергоблока. Архивирование параметров АКНП облегчает решение как сегодняшних задач, так и тех, которые могут возникнуть в будущем.

### **Литература**

1. ГОСТ 27445-87. Системы контроля нейтронного потока для управления и защиты ядерных реакторов. Общие технические требования.
2. НП 306.5.02/3.035-2000. Требования по ядерной и радиационной безопасности к информационным и управляющим системам, важным для безопасности атомных станций. – К.: Гос. администрация ядерного регулирования, 2000.

## **4 ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ, ЖИВУЧЕСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ**

УДК 621.039.058

**М.А. ЯСТРЕБЕНЕЦКИЙ, Л.И. СПЕКТОР, Ю.В. РОЗЕН, В.В. СКЛЯР**

*Государственный научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности*

### **ЭКСПЕРТНАЯ ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ АЭС, РАЗРАБОТАННЫХ ЗАО «СНПО “ИМПУЛЬС”»**

За последние десять лет ЗАО «СНПО “Импульс”» разработало, испытало и ввело в эксплуатацию на АЭС ряд информационных и управляющих систем (ИУС) и их составляющих – программно-технических комплексов (ПТК) и технических средств автоматизации (ТСА). В число указанных разработок входят [1,2]:

- аппаратура контроля нейтронного потока модификаций АКНП-И, АКНП-ИФ, АКНП-ИФ440;
- ПТК модернизированной системы внутрореакторного контроля (СВРК-М);
- ПТК информационно-вычислительной системы (ИВС) – совместная разработка с Харьковским институтом комплексной автоматизации (ХИКА);
- ПТК технологических защит (КТЗ-И);
- микропроцессорные управляющие вычислительные комплексы модификаций МСКУ, МСКУ 2; МСКУ 3;
- рабочие станции ПС5110, ПС5120.

Одновременно с выполнением указанных разработок и их внедрением на АЭС Государственный научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности (ГНТЦ ЯРБ) проводил оценку соответствия ИУС, ПТК и ТСА требованиям по ядерной и радиационной безопасности (ЯРБ). Такая оценка выполнялась в форме Государственных экспертиз ЯРБ документации на ИУС, ПТК и ТСА.

Экспертная оценка выполнялась по следующим направлениям [3]:

- анализ соответствия проектно-конструкторской и эксплуатационной документации ИУС, ПТК и ТСА требованиям норм, правил и стандартов по ЯРБ;
- анализ соответствия программного обеспечения, как самостоятельного специфического компонента [4], требованиям норм, правил и стандартов по ЯРБ;
- анализ результатов испытаний ИУС, ПТК и ТСА.

Целью настоящей статьи является рассмотрение результатов экспертной оценки соответствия продукции ЗАО «СНПО “Импульс”» требованиям по ЯРБ.

## **1. Анализ соответствия проектно-конструкторской и эксплуатационной документации ИУС, ПТК и ТСА, разработанных ЗАО «СНПО «Импульс»», требованиям норм, правил и стандартов по ЯРБ**

Анализ по данному направлению включал следующее:

- составление перечня требований по ЯРБ (на основании действующих международных и национальных норм, правил и стандартов), которым должна соответствовать анализируемая разработка;
- анализ соответствия проектно-конструкторской, и эксплуатационной документации требованиям норм, правил и стандартов Украины;
- анализ соответствия проектно-конструкторской, и эксплуатационной документации фундаментальным принципам и критериям безопасности, установленным Международным агентством по атомной энергии (МАГАТЭ);
- анализ соответствия проектно-конструкторской, и эксплуатационной документации требованиям международных норм, правил и стандартов.

Выполнение анализа соответствия рассмотрим на примере аппаратуры контроля нейтронного потока АКНП-И [2].

Основными нормативными документами, содержащими требования к ИУС АЭС по ЯРБ, являются:

- НП 306.1.02/1.034-2000. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций;
- НП 306.5.02/3.035-2000. Требования по ядерной и радиационной безопасности к информационным и управляющим системам, важным для безопасности атомных станций;
- ГНД 306.7.02/2.041-2000. Методика оценки соответствия информационных и управляющих систем, важных для безопасности АС требованиям по ядерной и радиационной безопасности;
- ГОСТ 29075-91. Системы ядерного приборостроения для атомных станций. Общие требования.
- ПНАЭ Г-5-006-87. Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций;
- ПБЯ РУ АС-89. Правила ядерной безопасности реакторных установок атомных станций.

Фундаментальные принципы и критерии безопасности установлены в документе МАГАТЭ INSAG-12 «Основные принципы безопасности атомных электростанций».

Кроме того, важным международным документом, широко используемым во всем мире для оценки ИУС АЭС, является стандарт МАГАТЭ NS-G-1.3 «Информационные и управляющие системы, важные для безопасности АЭС. Руководство по безопасности».

Помимо основного перечня требований по ЯРБ для отдельных видов разработок составлялся дополнительный перечень. Так, например, для систем АКНП использовались следующие межгосударственные стандарты:

– ГОСТ 26843-86. Реакторы ядерные энергетические. Общие требования к системе управления и защиты;

– ГОСТ 27445-87. Системы контроля нейтронного потока для управления и защиты ядерных реакторов.

Основные требования к ИУС АЭС сформулированы в НП 306.5.02/3.035-2000 [3]. Этот документ учитывает требования национальных и международных норм, правил и стандартов, существовавших на момент выпуска документа в 2000 г. Поэтому, анализ соответствия проектно-конструкторской, программной и эксплуатационной документации требованиям норм, правил и стандартов Украины по ЯРБ проводился на основании НП 306.5.02/3.035-2000.

При анализе документации проводилось рассмотрение следующих документов [3]:

– технических условий (ТУ) или технических заданий (ТЗ);

– программ и методик приемочных испытаний на площадке изготовителя (ПМИ);

– планов и отчетов по верификации программного обеспечения (ПВР и ОВР);

– планов и отчетов валидации (ПВД и ОВД);

– отчетов о проектной оценке показателей надежности (ПОН);

– программ и методик предварительных испытаний на блоке АЭС (ППИ);

– программы опытной эксплуатации на блоке АЭС (ПОЭ).

В качестве примера в таблице 1 приведены результаты анализа технических условий «Аппаратура контроля нейтронного потока АКНП-И. Технические условия» ТУ У 30.0-31393258-010-2003 А.

В первом столбце таблицы указаны наименования требований по ЯРБ, устанавливаемых согласно НП 306.5.02/3.035-2000. Во втором столбце указаны соответствующие номера пунктов этого документа. В третьем столбце указаны номера пунктов анализируемого документа (ТУ), в которых приведены соответствующие требования по ЯРБ. В четвертом столбце указаны номера пунктов отчета ГНТЦ ЯРБ о выполнении Государственной экспертизы ЯРБ ТУ, в котором даны результаты анализа выполнения требований по ЯРБ. В пятом столбце знаком + отмечено соответствие разделов ТУ требованиям по ЯРБ.

Аналогичным образом оценивались и другие документы по системе АКНП-И (ПМИ, ПВР и ОВР, ПВД и ОВД, ПОН, ППИ, ПОЭ). Проведенный анализ позволил сделать вывод, что все рассмотренные документы удовлетворяют требованиям НП 306.5.02/3.035-2000.

**Анализ соответствия технических условий на АКПП-И требованиям  
НП 306.5.02/3.035-2000**

Наименование требований	№ п. НП 306.5.02/3.035-2000	№ п. ТУ	№ п. ЭЗ на ТУ	Оценка выполнения
К классу безопасности	3.1.3, 3.1.5	1.6,1.7	4.3.1.2	+
К категории сейсмостойкости	3.1.6	1.9.3	4.3.1.7.3	+
К функциям	4.2	1.6, 1.7	4.3.1.3, 4.3.1.4	+
К принципу единичного отказа	4.3	1.4.1÷ 1.4.5	4.3	+
К принципу резервирования	4.4	1.4.1÷ 1.4.5	4.3	+
К принципу независимости	4.5	1.4.1÷ 1.4.5	4.3	+
К защите от отказов по общей причине	4.7	1.6.6	4.3	+
К точности	4.8	1.6.2	4.3.1.5	+
К временным характеристикам	4.9	1.6.3	4.3	+
По надежности	4.10	1.6.4.8	4.3.1.7	+
К интерфейсу “человек-машина”	4.11	1.12	4.3.1.6	+
К предотвращению ошибок персонала	4.12	1.6.6.2	4.3	+
К защите от несанкционированного доступа	4.13	1.6.5	4.3.1.13	+
К параметрам электропитания	4.15	1.10	4.3.1.10	+
К техническому диагностированию	4.16	1.12.6	4.3.1.11	+
К апробации	4.17	4.6	4.2.6	+
К качеству	4.18	1.15	4.3.1.12	+
К испытаниям и приемке	4.19	Раз 4	4.3.2.2	+
По стойкости к воздействию окружающей среды	5.2	1.9.1	4.3.1.7	+
По стойкости к механическим воздействиям	5.3	1.9.3	4.3.1.7.3	+
К электрической изоляции	5.8	1.10	4.3.1.13.8	+
К электромагнитной совместимости	5.9	1.9.4	4.3.1.7.4	+
К программному обеспечению	6.2-6.6	4.13.3	4.3.2.5	+
К пожарной безопасности	5.13	2.5	4.3.1.7.5	+
К покупным изделиям	–	1.15	4.3.1.12	+

В таблице 2 приведены результаты анализа соответствия документов по аппаратуре АКПП-И фундаментальным принципам и критериям безопасности, установленным в INSAG-12.

Таблица 2

## Анализ соответствия документов на АКНП-И требованиям INSAG-12

Наименование требования	№ п. INSAG-12	ТУ	ПМИ	ПВР, ОВР	ПВД, ОВД	ППИ	ПОЭ	ПОН
Резервирование	4.22	+	+		+			
Оценка надежности	4.32	+		+				+
Независимость	4.35		+		+			
Управление доступом к оборудованию	4.51	+	+		+	+	+	
Уставки	4.54	+	+		+	+	+	
Человеко-машинный интерфейс	4.61	+			+		+	
Качество	4.74	+					+	
Проект электромагнитной совместимости	4.77	+						
Тестирование и тестируемость	4.79	+	+	+	+			
Обнаружение отказов	4.88	+	+		+		+	
Демонстрация работы системы	4.90	+	+		+	+	+	

Таким образом, все рассмотренные документы по аппаратуре АКНП-И удовлетворяют требованиям INSAG-12.

При анализе документов по АКНП-И учитывались требования стандарта МАГАТЭ NS-G-1.3. Данный стандарт не является обязательным для использования в Украине. Однако, учитывая важность положений NS-G-1.3 и рекомендации МАГАТЭ по применению этого стандарта для новых ИУС АЭС, в практике ГНТЦ ЯРБ используется данный стандарт.

В качестве примера в таблице 3 приведены результаты анализа соответствия документов по АКНП-И требованиям NS-G-1.3.

Таблица 3

## Анализ соответствия документов на АКНП-И требованиям NS-G-1.3

Наименование требования	№ п. NS-G-1.3	ТУ	ПМИ	ПВР, ОВР	ПВД, ОВД	ППИ	ПОЭ	ПОН
Резервирование	4.22	+	+		+			
Оценка надежности	4.32	+		+				+
Независимость	4.35		+		+			
Управление доступом к оборудованию	4.51	+	+		+	+	+	
Уставки	4.54	+	+		+	+	+	
Человеко-машинный интерфейс	4.61	+			+		+	
Качество	4.74	+					+	
Электромагнитная совместимость	4.77	+						
Тестирование и тестируемость	4.79	+	+	+	+			
Обнаружение отказов	4.88	+	+		+		+	

Наименование требования	№ п. NS-G-1.3	ТУ	ПМИ	ПВР, ОВР	ПВД, ОВД	ППИ	ПОЭ	ПОН
Демонстрация работы системы	4.90	+	+		+	+	+	

Таким образом, все рассмотренные документы по аппаратуре АКНП-И удовлетворяют требованиям NS-G-1.3.

## **2. Анализ соответствия программного обеспечения, разработанного ЗАО «СНПО “Импульс”», требованиям норм, правил и стандартов по ЯРБ**

При выполнении экспертной оценки особое внимание уделялось программному обеспечению (ПО), которое является самостоятельным специфическим компонентом, в результате чего к ПО предъявляются специальные требования по ЯРБ.

При анализе соответствия ПО требованиям норм, правил и стандартов использовалась программная документация ЗАО «СНПО “Импульс”», а также планы и отчеты по верификации ПО.

В соответствии с требованиями НП 306.5.02/3.035, распространяющимися на ПО ИУС, ПТК и ТСА, ГНТЦ ЯРБ проводил проверку ПО в части выполнения следующих требований:

- требований к структуре и элементам;
- требований к диагностированию и самоконтролю;
- требований к обеспечению защиты от отказов, искажений, ошибочных и несанкционированных действий;
- требований к процессу разработки;
- требований к верификации.

Выполнение анализа соответствия рассмотрим на примере ПО АКНП-И [2].

Для ПО АКНП-И, помимо документов ЗАО «СНПО “Импульс”» также использовались результаты верификации и валидации ПО, выполненных независимой организацией – ООО «Тандетрон» (г. Киев).

Ниже приводятся итоговые результаты экспертных оценок ПО АКНП-И, выполненных ГНТЦ ЯРБ.

По реализации требований к структуре и элементам ПО АКНП-И установлено:

- ПО реализовано в виде микропрограмм, реализующих функции ТСА, входящих в состав АКНП-И; микропрограммы достаточны для выполнения всех функций, перечисленных в ТУ;
- микропрограммы имеют модульную структуру; текст одного модуля содержит ограниченное количество операторов, имеет ясную структуру, легко модифицируется и тестируется.

По реализации требований к диагностированию и самоконтролю ПО АКНП-И установлено:

- ПО осуществляет непрерывный автоматический контроль технического состояния;
- ПО обеспечивает техническое диагностирование с глубиной, регламентированной в ТУ;
- ПО обеспечивает самодиагностирование (самоконтроль) программных средств;
- реализация программ непрерывного автоматического контроля, технического диагностирования и самоконтроля не влияет на выполнение программ основных информационных и управляющих функций и/или приводит к ухудшению их характеристик выше допустимых пределов;
- ПО обеспечивает возможность проведения периодических проверок (опробований) функций АКНП-И во время эксплуатации;
- ПО обеспечивает автоматическую регистрацию, хранение и отображение данных о результатах технического диагностирования.

По реализации требований к обеспечению защиты от отказов, искажений, ошибочных и несанкционированных действий ПО АКНП-И установлено:

- ПО предусматривает защиту от отказов (в том числе сбоев) технических средств, включая отказы по общей причине;
- ПО осуществляет контроль достоверности и защиту от искажений входной информации;
- ПО обеспечивает защиту от ошибок персонала;
- ПО обеспечивает защиту от несанкционированного доступа;
- в ПО ТСА АКНП-И класса безопасности 2 предусмотрены средства защиты от вирусов и программных закладок;
- ПО предусматривает защиту от собственных дефектов, которые могут вызвать отказ по общей причине.

По реализации требований к процессу разработки ПО АКНП-И установлено:

- при разработке ПО обеспечено его соответствие установленным критериям качества (надежность, корректность, модифицируемость, удобство применения и т.п.);
- все стадии процесса разработки ПО подробно документированы. Эксплуатационная документация содержит все необходимые сведения для использования ПО;

По реализации требований к процессу верификации ПО АКНП-И установлено:

- для всех этапов верификации зафиксированы удовлетворительные выводы, а также удовлетворительная интегральная оценка всех материалов;
- верификация ПО для устройств класса безопасности 2 выполнена специалистами, не принимавшими участия в разработке ПО; обзор и оценка результатов верификации ПО для устройств класса безопасности 2 проведены при сертификационных испытаниях ПО административно и финансово независимыми специалистами.

– в отчетах по верификации с достаточной полнотой отражены требования по ЯРБ, предъявляемые к ПО ИУС класса безопасности 2.

Таким образом, можно сделать вывод, что программное обеспечение ПО АКНП-И удовлетворяет всем требованиям по ЯРБ, содержащимся в НП 306.5.02/3.035. Документы по верификации ПО соответствуют критериям документированности, доступности, полноты, независимости и успешности, регламентированным в ГНД 306.7.02/2.041-2000.

### **3. Анализ результатов испытаний ИУС, ПТК и ТСА, разработанных ЗАО «СНПО “Импульс”»**

Каждое изделие, поставляемое на АЭС, проходит на предприятии-изготовителе необходимые предварительные и приемочные испытания для подтверждения его характеристик в соответствии с программой испытаний, которые принимаются межведомственной комиссией.

Выполнение анализа соответствия рассмотрим на примере АКНП-И [2].

При выполнении данного вида анализа рассматривались результаты следующих видов испытаний АКНП-И:

– предварительных испытаний опытного образца АКНП-И на площадке изготовителя, которые включали сертификационные испытания и государственную метрологическую аттестацию;

– приемочных испытаний опытного образца на площадке изготовителя, которые включали сертификационные испытания и государственную метрологическую аттестацию;

– валидации АКНП-И, которая включала валидацию ПО АКНП-И независимой организацией – ООО «Тандетрон» (г. Киев)

Для приемки оборудования АКНП-И были разработаны и согласованы следующие документы:

– программа и методика предварительных испытаний на площадке изготовителя;

– программа и методика приемочных испытаний на площадке изготовителя;

– программа и методика метрологической аттестации;

– программа обеспечения качества на стадии разработки;

– программа обеспечения надежности на стадии разработки;

– план и методика валидации;

– отчет по валидации;

– методика калибровки.

Все указанные документы (кроме программы и методики метрологической аттестации и методики калибровки) проходили в ГНТЦ ЯРБ экспертную оценку на предмет выполнения требований по ЯРБ.

Комиссия по проведению приемочных испытаний АКНП-И сочла возможным зачесть результаты предварительных испытаний, констатировала полноту представленного на испытания оборудования и документации,

технической документация и программы испытаний. По результатам работы комиссии был сделан вывод, что АКНП-И выдержало приемочные испытания и соответствует требованиям технических условий, нормативным документам (ДСТУ, ГОСТ и др.), распространяющимся на данный класс изделия, а также нормативным документам по ЯРБ и рекомендовано к производству, как серийно выпускаемая продукция.

### **Выводы**

В статье на примере аппаратуры контроля нейтронного потока АКНП-И были рассмотрены процедуры экспертной оценки на соответствие требованиям по ядерной и радиационной безопасности продукции ЗАО «СНПО “Импульс”», выпускаемой для АЭС.

За период с 1998 г. Харьковским филиалом ГНТЦ ЯРБ (отдел анализа безопасности ИУС АЭС) выполнено более 100 Государственных экспертиз ядерной и радиационной безопасности для оборудования ЗАО «СНПО “Импульс”», поставляемого на АЭС, что позволило подтвердить соответствие данного оборудования современным требованиям по ядерной и радиационной безопасности.

### **Литература**

1. Елисеев В.В., Ларгин В.А., Пивоваров Г.Ю. Программно-технические комплексы АСУ ТП – К.: Издательско-полиграфический центр „Київський університет”, 2003. – 429 с.
2. Елисеев В.В., Пивоваров Г.Ю., Набатов А.С., Мошинский С.А., Склад В.В., Спектор Л.И. Система контроля нейтронного потока для реакторов ВВЭР-1000: Обеспечение и оценка безопасности // Ядерная и радиационная безопасность. - 2005. – Т. 8. – № 1. – С. 51-66.
3. Ястребенецкий М.А., Васильченко В.Н., Виноградская С.В., Гольдрин В.М., Розен Ю.В., Спектор Л.И., Харченко В.С. Безопасность атомных станций: Информационные и управляющие системы – К.: Техніка, 2004. – 472 с.
4. Склад В.В., Харченко В.С. Анализ и гармонизация регулирующих требований к программному обеспечению информационных и управляющих систем АЭС с учетом изменений международной нормативной базы // Ядерная и радиационная безопасность. - 2004. – Т. 7. – № 4. – С. 34-47.

**Л.А. НОЧЕВКА, Ю.В. РЕМЕЗ**

***ЗАО «Северодонецкое научно-производственное объединение “Импульс”»***

## **ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ ИЗДЕЛИЙ ЗАО «СНПО “ИМПУЛЬС”», УСТАНОВЛЕННЫХ НА АЭС**

В данном докладе произведен сравнительный анализ эксплуатационных показателей надежности изделий ЗАО «СНПО “Импульс”», установленных на ЗАЭС, ХАЭС и РоАЭС со значениями, полученными расчетным путем и заданными в ТУ, приведены меры по повышению надежности.

### **Введение**

ЗАО «СНПО “Импульс”» систематически ведет сбор и анализ статических данных об эксплуатационной надежности разрабатываемых и поставляемых средств АСУ ТП.

Сбор и анализ статистических данных выполняется для:

- установления уровня эксплуатационной надежности средств АСУ ТП;
- проведения сравнительного анализа надежности средств, разрабатываемых нашим предприятием и другими организациями;
- улучшения качественных характеристик наших изделий.

### **Анализ эксплуатационных показателей надежности**

Лабораторией надежности было организовано наблюдение во время подконтрольной эксплуатации изделий на трех атомных станциях: Запорожской АЭС, Хмельницкой АЭС и Ровенской АЭС.

В 2004-2006гг. проводился анализ эксплуатационной надежности следующих изделий:

- АКНП-И – аппаратура контроля нейтронного потока;
- ИВС – информационно-вычислительная система (МСКУ2, ПС5110 и ПС5120);
- СВРК-М – модернизированная система внутриреакторного контроля реактора ВВЭР-1000 (МСКУ2, ПС5110 и ПС5120);
- шкафы УКТС-ВЛ – шкафы унифицированного комплекса технических средств (ШБ, ШРТ, ШК, БВн-118, БКИН-ВЛ, БКП-ВЛ, БПт-145, БПт-146);
- АДП-ВЛ – блок аналого-дискретного преобразования;
- БГР6-ТВЛ – блок распределения унифицированного токового сигнала;
- ППБА-ВЛ – пульт проверки блоков аналоговых;
- БКл – блок ключей;
- СКид (ПЛК, СК) – система контроля и диагностики;
- ИА – исполнительный автомат;

- ПрС-2 – преобразователь сигналов.

Экспериментальному исследованию надежности подлежит продукция, для которой в стандартах или технических условиях установлены нормативные требования показателей надежности, а в качестве способа подтверждения предъявляемых требований избран эксперимент (испытания, эксплуатационное наблюдение).

Задачи анализа надежности, преследующие цель получения оценок надежности системы и ее элементов при выбранных в процессе проектирования технических решениях, сравнения различных вариантов объектов и обоснования последующих решений с учетом стратегии технического обслуживания и ремонта, действия окружающей среды и других условий, решают с использованием количественных методов исследования надежности объектов.

Анализ надежности системы состоит из следующих этапов:

- идентификация объекта (назначение, область применения, функции, структура, состав, резервирование, системы технического обслуживания и ремонта режимы эксплуатации, внешние воздействующие факторы, квалификация обслуживающего персонала);

- определение цели анализа (номенклатура и требуемые значения показателей надежности, критерий качества функционирования объекта, возможные последствия отказов, критерии отказов и предельных состояний);

- определение исходных данных (получение и предварительная обработка исходных данных по надежности элементов и составных частей объектов, вычисление показателей надежности элементов, распределение надежности по элементам системы);

- анализ системы:

а) качественный анализ (определение типов неисправностей, механизмов отказов элемента и их последствий для системы, анализ функциональной схемы системы, анализ системы технического обслуживания и ремонта, включая дополнительную информацию со службы ремонта и других служб потребителя);

б) количественный анализ (получение количественных показателей надежности путем расчета, проведение анализа важности и живучести, оценка возможности совершенствования характеристик систем на основании резервных подсистем и стратегий технического обслуживания и ремонта);

в) оценка результатов анализа (сравнение с требуемыми показателями надежности, рекомендации и мероприятия по обеспечению требуемых показателей надежности, которые могут включать пересмотр конструкции, определение слабых мест, режимов, замену комплектующих с высоким риском возникновения неисправностей).

На оборудование, поставленное на атомные станции, имеются эксплуатационные показатели надежности за период с 2003 по 2006 год.

Результаты наблюдений для изделий приведены в таблице 1, а для системы АКНП-И за 2005 год: ЗАЭС – в таблице 2, ХАЭС – в таблице 3, РоАЭС – в таблице 4.

Таблица 1 – Эксплуатационные показатели надежности изделий ЗАО «СНПО «Импульс»»

Наименование	ЗАЭС				ХАЭС				РоАЭС				Усредненное эксплуатационное значение наработки на отказ, час	Средняя наработка на отказ по ТУ, час
	Число изделий	Кол-во отказов	Суммарная наработка, час	Эксплуатационное значение средней наработки на отказ, час	Число изделий	Кол-во отказов	Суммарная наработка, час	Эксплуатационное значение средней наработки на отказ, час	Число изделий	Кол-во отказов	Суммарная наработка, час	Эксплуатационное значение средней наработки на отказ, час		
ПС5110	63	35	1155888	<b>33025</b>	94	28	839186	<b>29970</b>	94	25	814804	<b>32592</b>	<b>31930</b>	<b>10000</b>
ПС5120	10	6	68496	<b>11416</b>	25	1	100800	<b>100800</b>	-	-	-	-	<b>24185</b>	<b>10000</b>
МСКУ2	1	1	13488	<b>13488</b>	185	32	1638432	<b>51201</b>	98	35	871545	<b>27900</b>	<b>37109</b>	<b>10000</b>
БВН-118	1202	0	10383216	<b>10383216</b>	1100	0	6982800	<b>6982800*</b>	-	-	-	-	<b>14366016</b>	<b>710000</b>
БКИН-ВЛ	611	2	5608608	<b>2804304</b>	550	5	15371400	<b>3074280</b>	-	-	-	-	<b>2997144</b>	<b>300000</b>
БКП-ВЛ	447	6	3954768	<b>659128</b>	454	6	2881992	<b>480332</b>	-	-	-	-	<b>569730</b>	<b>300000</b>
БПТ-145	1222	8	11217216	<b>1402152</b>	1100	12	6982800	<b>581900</b>	-	-	-	-	<b>910000</b>	<b>250000</b>
БПТ-146	894	2	7909536	<b>3954768</b>	908	1	5763984	<b>5763984</b>	-	-	-	-	<b>4557840</b>	<b>250000</b>
АДП-ВЛ	2495	2	22102872	<b>11051436</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	<b>11051436</b>	<b>200000</b>
ВГР6-ТВЛ	2128	6	21475200	<b>3579200</b>	1706	13	12138240	<b>933710</b>	-	-	-	-	<b>1769128</b>	<b>200000</b>
ППБА-ВЛ	2	0	14697	<b>14697</b>	5	0	28080-	<b>28080</b>	-	-	-	-	<b>42777</b>	<b>20000</b>
БКЛ-1ВЛ					306	4	2015424	<b>603856</b>	-	-	-	-	<b>603856</b>	<b>200000</b>
БКЛ-2ВЛ					3955	8	25504560	<b>3188070</b>	-	-	-	-	<b>3188070</b>	<b>200000</b>
ПЛК-1	529	6	4781688	<b>796978</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	<b>796978</b>	<b>60000</b>
СК-1	46	3	766728	<b>255576</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	<b>255576</b>	<b>60000</b>
ИА-3	36	1	441504	<b>441504</b>	10	0	21984	<b>21984*</b>	-	-	-	-	<b>463488</b>	<b>17000</b>
ИА-4/3	328	12	4022592	<b>335216</b>	40	0	457920	<b>457920*</b>	-	-	-	-	<b>373376</b>	<b>24000</b>
ПрС-2	93	0	471456	<b>471456</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	<b>471456</b>	<b>200000</b>

Примечание: \* - показатели эксплуатационной надежности определялись при одном условном отказе (n = 1).

Таблица 2 - Эксплуатационные показатели надежности АКНП-И ЗАЭС

Наименование		Число изделий (N)	Количество отказов (n)	Суммарная наработка ( $\Sigma T_{нар} = T_{нар} * N$ ), час	Средняя наработка на отказ, час	
					Значение по ТУ	Эксплуатационное значение
1 Формирование сигналов аварийной защиты по относительной физической мощности и скорости (периоду) ее изменения	Канал контроля нейтронного потока	18	2	303912	$1 \cdot 10^4$	$15 \cdot 10^4$
	Комплект, АКНП-И/1, АКНП-И/2, АКНП-И/3	6	0	101304	$1 \cdot 10^6$	**
	АКНП	2	0	33768	$2 \cdot 10^6$	**
2 Формирование сигналов предупредительной защиты	Канал контроля нейтронного потока	18	2	303912	$1 \cdot 10^4$	$15 \cdot 10^4$
	Комплект, АКНП-И/1, АКНП-И/2, АКНП-И/3	6	0	101304	$1 \cdot 10^6$	**
	АКНП	2	0	33768	$2 \cdot 10^6$	**
3 Формирование сигналов для регулирования и управления	Канал контроля нейтронного потока	18	0	303912	$8.7 \cdot 10^3$	$303 \cdot 10^3$
	Комплект, АКНП-И/1, АКНП-И/2, АКНП-И/3	6	0	101304	$2 \cdot 10^5$	**
	АКНП	2	0	33768	$4 \cdot 10^5$	**
4 Формирование сигналов о состоянии, в том числе диапазонов измерений, исправности технических средств, наличия электропитания и др.	Канал контроля нейтронного потока	18	0	303912	$1 \cdot 10^4$	$30.3 \cdot 10^4$
	Комплект, АКНП-И/1, АКНП-И/2, АКНП-И/3	6	0	101304	$5 \cdot 10^4$	**
	АКНП	2	0	33768	$5 \cdot 10^5$	**

## Окончание таблицы 2

Наименование		Число изделий (N)	Количество отказов (n)	Суммарная наработка ( $\Sigma T_{нар} = T_{нар} * N$ ) час	Средняя наработка на отказ, час	
					Значение по ТУ	Эксплуатационное значение
5 Регистрация относительных изменений физической мощности реактора и скорости (периода) этих изменений; представление информации, в том числе, формирование сигналов для световой и звуковой сигнализации, а также звуковая индикация сигналов от УД	Канал контроля нейтронного потока	18	0	303912	-	$30.3 \cdot 10^4$
	Комплект, АКНП-И/1, АКНП-И/2, АКНП-И/3	6	0	101304	$2 \cdot 10^4$	$10 \cdot 10^4$
	АКНП	2	0	33768	$2 \cdot 10^5$	**
6 Формирование сигналов для передачи в подсистемы и комплексы АСУ ТП атомной станции	Канал контроля нейтронного потока	18	1	303912	$8.7 \cdot 10^3$	$303 \cdot 10^3$
	Комплект, АКНП-И/1, АКНП-И/2, АКНП-И/3	6	0	101304	$5 \cdot 10^4$	$10 \cdot 10^4$
	АКНП	2	0	33768	$5 \cdot 10^5$	**

Примечание: \* - показатели эксплуатационной надежности определялись при одном условном отказе ( $n = 1$ );

$T_{нар}$  – 33768 ч (время наработки: для энергоблока №3 - с 04.11.2004 г. по 25.05.2006 г. – 13656 ч; для энергоблока №4 - с 08.02.2004 г. по 25.05.2006 г. – 20112 ч);

\*\* - недостаточная продолжительность опытной эксплуатации энергоблоков, не позволяет сделать окончательный вывод об эксплуатационной надежности.

Таблица 3 - Эксплуатационные показатели надежности АКНП-И ХАЭС

Наименование		Число изделий (N)	Количество отказов (n)	Суммарная наработка ( $\Sigma T_{нар} = T_{нар} * N$ ), час	Средняя наработка на отказ, час	
					Значение по ТУ	Эксплуатационное значение
<b>1</b> Формирование сигналов аварийной защиты по относительной физической мощности и скорости (периоду) ее изменения	<b>Канал контроля нейтронного потока</b>	9	1	106272	$1 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^5$
	<b>Комплект, АКНП-И/1, АКНП-И/2, АКНП-И/3</b>	3	0	35424	$1 \cdot 10^6$	**
	<b>АКНП</b>	1	0	11808	$2 \cdot 10^6$	**
2 Формирование сигналов предупредительной защиты	<b>Канал контроля нейтронного потока</b>	9	0	106272	$1 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^5$
	<b>Комплект, АКНП-И/1, АКНП-И/2, АКНП-И/3</b>	3	0	35424	$1 \cdot 10^6$	**
	<b>АКНП</b>	1	0	11808	$2 \cdot 10^6$	**
3 Формирование сигналов для регулирования и управления	<b>Канал контроля нейтронного потока</b>	9	0	106272	$8.7 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^5$
	<b>Комплект, АКНП-И/1, АКНП-И/2, АКНП-И/3</b>	3	0	35424	$2 \cdot 10^5$	**
	<b>АКНП</b>	1	0	11808	$4 \cdot 10^5$	**
4 Формирование сигналов о состоянии, в том числе диапазонов измерений, исправности технических средств, наличия электропитания и др.	<b>Канал контроля нейтронного потока</b>	9	0	106272	$1 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^5$
	<b>Комплект, АКНП-И/1, АКНП-И/2, АКНП-И/3</b>	3	1	35424	$5 \cdot 10^4$	**
	<b>АКНП</b>	1	0	11808	$5 \cdot 10^5$	**

Окончание таблицы 3

Наименование		Число изделий (N)	Количество отказов (n)	Суммарная наработка ( $\Sigma T_{нар} = T_{нар} * N$ ) час	Средняя наработка на отказ, час	
					Значение по ТУ	Эксплуатационное значение
5 Регистрация относительных изменений физической мощности реактора и скорости (периода) этих изменений; представление информации, в том числе, формирование сигналов для световой и звуковой сигнализации, а также звуковая индикация сигналов от УД	Канал контроля нейтронного потока	9	0	106272	-	$1 \cdot 10^5$
	Комплект, АКНП-И/1, АКНП-И/2, АКНП-И/3	3	1	35424	$2 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^4$
	АКНП	1	1	11808	$2 \cdot 10^5$	**
6 Формирование сигналов для передачи в подсистемы и комплексы АСУ ТП атомной станции	Канал контроля нейтронного потока	9	0	106272	$8.7 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^5$
	Комплект, АКНП-И/1, АКНП-И/2, АКНП-И/3	3	0	35424	$5 \cdot 10^4$	**
	АКНП	1	0	11808	$5 \cdot 10^5$	**

Примечание: \* - показатели эксплуатационной надежности определялись при одном условном отказе ( $n = 1$ );

\*\* - недостаточная продолжительность опытной эксплуатации энергоблока, не позволяет сделать окончательный вывод об эксплуатационной надежности.

Таблица 4 - Эксплуатационные показатели надежности АКНП-И РоАЭС

Наименование		Число изделий (N)	Количество отказов (n)	Суммарная наработка ( $\Sigma T_{нар} = T_{нар} * N$ ) час	Средняя наработка на отказ, час	
					Значение по ТУ	Эксплуатационное значение
<b>1</b> Формирование сигналов аварийной защиты по относительной физической мощности и скорости (периоду) ее изменения	<b>Канал контроля нейтронного потока</b>	9	1	94824	$1 \cdot 10^4$	$9.4 \cdot 10^4$
	<b>Комплект, АКНП-И/1, АКНП-И/2, АКНП-И/3</b>	3	0	31608	$1 \cdot 10^6$	**
	<b>АКНП</b>	1	0	10536	$2 \cdot 10^6$	**
2 Формирование сигналов предупредительной защиты	<b>Канал контроля нейтронного потока</b>	9	0	94824	$1 \cdot 10^4$	$9.4 \cdot 10^4$
	<b>Комплект, АКНП-И/1, АКНП-И/2, АКНП-И/3</b>	3	0	31608	$1 \cdot 10^6$	**
	<b>АКНП</b>	1	0	10536	$2 \cdot 10^6$	**
3 Формирование сигналов для регулирования и управления	<b>Канал контроля нейтронного потока</b>	9	0	94824	$8.7 \cdot 10^3$	$9.4 \cdot 10^4$
	<b>Комплект, АКНП-И/1, АКНП-И/2, АКНП-И/3</b>	3	0	31608	$2 \cdot 10^5$	**
	<b>АКНП</b>	1	0	10536	$4 \cdot 10^5$	**
4 Формирование сигналов о состоянии, в том числе диапазонов измерений, исправности технических средств, наличии электропитания и др.	<b>Канал контроля нейтронного потока</b>	9	0	94824	$1 \cdot 10^4$	$9.4 \cdot 10^4$
	<b>Комплект, АКНП-И/1, АКНП-И/2, АКНП-И/3</b>	3	0	31608	$5 \cdot 10^4$	**
	<b>АКНП</b>	1	0	10536	$5 \cdot 10^5$	**

Окончание таблицы 4

Наименование	Число изделий (N)	Количество отказов (n)	Суммарная наработка ( $\Sigma T_{нар} = T_{нар} * N$ ) час	Средняя наработка на отказ, час		
				Значение по ТУ	Эксплуатационное значение	
5 Регистрация относительных изменений физической мощности реактора и скорости (периода) этих изменений; представление информации, в том числе, формирование сигналов для световой и звуковой сигнализации, а также звуковая индикация сигналов от УД	Канал контроля нейтронного потока	9	0	94824	-	$9.4 \cdot 10^4$
	Комплект, АКНП-И/1, АКНП-И/2, АКНП-И/3	3	1	31608	$2 \cdot 10^4$	$3.1 \cdot 10^4$
	АКНП	1	0	10536	$2 \cdot 10^5$	**
6 Формирование сигналов для передачи в подсистемы и комплексы АСУ ТП атомной станции	Канал контроля нейтронного потока	9	0	94824	$8.7 \cdot 10^3$	$9.4 \cdot 10^4$
	Комплект, АКНП-И/1, АКНП-И/2, АКНП-И/3	3	0	31608	$5 \cdot 10^4$	**
	АКНП	1	0	10536	$5 \cdot 10^5$	**

Примечание: \* - показатели эксплуатационной надежности определялись при одном условном отказе ( $n = 1$ );

\*\* - недостаточная продолжительность опытной эксплуатации энергоблока, не позволяет сделать окончательный вывод об эксплуатационной надежности;

\*\*\* - случайный сбой. Вероятность такого события ( $P = e^{-\lambda t}$ ) должна быть не более  $4 \cdot 10^{-4}$  за 1 h (согласно 1.6.4.7 ТУ АКНП-И).

## Выводы

Анализ неисправностей показывает:

- большая часть отказов наступает во время планово-предупредительных ремонтов (ППР), т.к. в это время производится настройка, регулировка и проверка метрологических характеристик блоков;

- во время опытной эксплуатации (пример ПС 5120, ПрС-2 на ЗАЭС, период наблюдения - со второго полугодия 2005 года по май 2006) показатели надежности соответствуют указанным в ТУ с незначительным превышением;

- во время промышленной эксплуатации показатели надежности превышают заданные в ТУ на порядок. (Исключением является только БПт-145, значение показателей безотказности которого превышает заданное в ТУ, только в 2 раза, на что указано разработчикам, и они ведут работу по совершенствованию этого блока).

- с увеличением срока эксплуатации в пределах срока службы показатели безотказности улучшаются, так например:

- для блоков БГР6-ТВЛ (ЗАЭС) за 2003 – 2004 – 1524390, а за 2005 – 2006 – 3579200;

- для блоков АДП (ЗАЭС) за 2003 – 2004 – 9571776, а за 2005 – 2006 – 11051436.

Подконтрольной эксплуатации изделий ЗАО «СНПО „Импульс”» на АЭС является контрольными испытаниями на надежность для оценки соответствия показателей надежности изделий требованиям, установленным в стандартах, ТУ и ТЗ, что значительно укорачивает и удешевляет периодические испытания.

Согласно ГОСТ 27.410-87, допускается по согласованию с потребителем (заказчиком) контролировать надежность по результатам объединения информации, получаемой при испытаниях, с данными эксплуатации, что оговорено в ТУ, т.к. периодичность контрольных испытаний на надежность установлена более одного года (3 года) и поставка на испытания требуемого числа образцов невозможна по экономическим причинам.

В качестве мер по повышению надежности лаборатория №14 ЗАО «СНПО „Импульс”» проводит анализ причин отказов и организывает связь этапа эксплуатации с этапами проектирования и изготовления, с целью предотвращения появления аналогичных неисправностей в дальнейшем.

При поступлении отказавшего блока лабораторией надежности анализируется документация, сопровождающая блок, выясняется на каком этапе произошел отказ (входной контроль, пуско-наладочные работы, эксплуатация, ППР), предполагаемая причина неисправности, совместно с разработчиком после ремонта уточняется вид (случайный, ошибка при разработке, изготовлении или эксплуатации) отказа, разрабатываются, при необходимости, корректирующие и предупреждающие действия.

Ежемесячно такой анализ предоставляется зам. директора по качеству продукции, а ежегодно разрабатывается отчет по анализу отказов блоков, поступающих на ремонт.

## Литература

- 1 Буртаев Ю.Ф., Острейковский В.А. Статистический анализ надежности объектов по ограниченной информации.
- 2 Козлов Б.А., Ушаков И.А. Справочник по расчету надежности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики. М.: Радио и связь, 1985.
- 3 ДСТУ 2861-94. Надежность техники. Анализ надежности. Основные положения. К.: Держстандарт України, 1994.
- 4 ДСТУ 2864-94. Надежность техники. Экспериментальное оценивание и контроль надежности. К.: Держстандарт України, 1994.
- 5 ГОСТ 27.410-87. Надежность в технике. Методы контроля показателей надежности и планы контрольных испытаний на надежность. – М.: Изд-во стандартов, 1988.

## **ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОВЕРКИ УСТРОЙСТВ НА ЭЛЕКТРОМАГНИТНУЮ СОВМЕСТИМОСТЬ – ГМИ-1**

Рассматриваются вопросы электромагнитной совместимости технических средств, способы и методы ее проверки

Широкое использование электрических и электронных устройств для распределения мощности, автоматизации, проведения вычислений, а также для других целей привело к тому, что различные устройства работают в непосредственной близости друг к другу и их взаимное отрицательное влияние возрастает. Электромагнитные помехи стали основной проблемой для разработчиков аппаратуры, и похоже, что в будущем эта проблема станет еще более острой. Более того, широкое применение интегральных схем приводит к значительному уменьшению размеров оборудования. По мере того, как приборы уменьшаются в размерах и становятся более сложными, все больше микросхем сосредотачивается в малом объеме, что увеличивает возможность взаимных помех.

Сегодня от разработчиков аппаратуры требуется больше, чем просто сделать свои изделия работоспособными в идеальных лабораторных условиях. Помимо решения этой очевидной задачи, они должны гарантировать работу аппаратуры в «реальном мире», т.е. при наличии вблизи нее другого оборудования. Это означает, что на аппаратуру не должны оказывать влияние источники внешних шумов и сама она не должна являться источником шума. Полное устранение (или, что более реально, компенсация) электромагнитных помех должно быть одной из основных целей разработчика при разработке новых технических средств и оборудования.

Другой стороной данной проблемы является проблема по разработке методик проверки и испытательного оборудования, способного имитировать различные виды помех, для проведения всестороннего испытания разрабатываемых технических средств. Особенно жесткие требования по проверке на электромагнитную совместимость технических средств предъявляются к аппаратуре, которая поставляется на объекты атомной энергетики.

Наше предприятие ЗАО «СНПО „Импульс”» основную часть своей продукции поставляет именно на такие объекты, то и требования к оснащению испытательной лаборатории предъявляются высокие.

Для проведения испытаний технических средств на устойчивость к воздействию микросекундных импульсных помех большой энергии, вызываемых перенапряжениями, возникающими в результате коммутационных

переходных процессов и молниевых разрядов, испытательную лабораторию ЗАО «СНПО „Импульс”» необходимо было укомплектовать необходимым испытательным оборудованием.

Поскольку на территории Украины данное испытательное оборудование не производилось, а зарубежные образцы весьма дорогие, было принято решение укомплектовать испытательную лабораторию необходимым оборудованием, разработанным и изготовленным в нашей организации.

В результате проведенной работы были разработаны и изготовлены генератор микросекундных импульсов ГМИ-1 (рисунок 1) и устройство связи / развязки УСР-4.



Рисунок 1 – Генератор микросекундных импульсов ГМИ-1

ГМИ-1 имеет следующие технические характеристики:

- электропитание  $\sim 220$  (+22, минус 33) V, 50 Hz;
- ток потребления не более 0,1 А;
- выходные импульсы положительной и отрицательной полярности;
- сдвиг по фазе выходных импульсов по отношению к сетевому переменному напряжению от 0 до 360° через 90°;
- период следования выходных импульсов не менее 1 min;
- выход ГМИ-1 изолирован от его корпуса;
- ГМИ-1 имеет защитные крышки, оборудованные блокирующими устройствами;
- имеется световая сигнализация наличия сетевого и выходного напряжений, отсчет времени;
- эффективное выходное сопротивление не более 2  $\Omega$ ;
- масса ГМИ-1 не более 13 kg.

Электрические параметры ГМИ-1 приведены в таблице 1

Таблица 1

Наименование параметра	Норма параметра на выходе	Допускаемое отклонение
<u>Режим холостого хода (нагрузка не менее 10 кΩ)</u>		
1 Амплитуда импульсов напряжения, кV	0,5; 1,0; 2,0; 4,0	±10 %
2 Длительность фронта импульса напряжения, μs	1,0	±30 %
3 Длительность импульса напряжения, μs	50,0	±20 %
<b>Режим короткого замыкания (нагрузка не более 0,1 Ω)</b>		
4 Амплитуда импульса тока, кA		
5 Длительность фронта импульса тока, μs	0,25; 0,5; 1,0; 2,0	±10 %
6 Длительность импульса тока, μs	6,4 16,0	±20 %

Форма выходных импульсов, генерируемых ГМИ-1, приведена на рисунках 2 и 3.

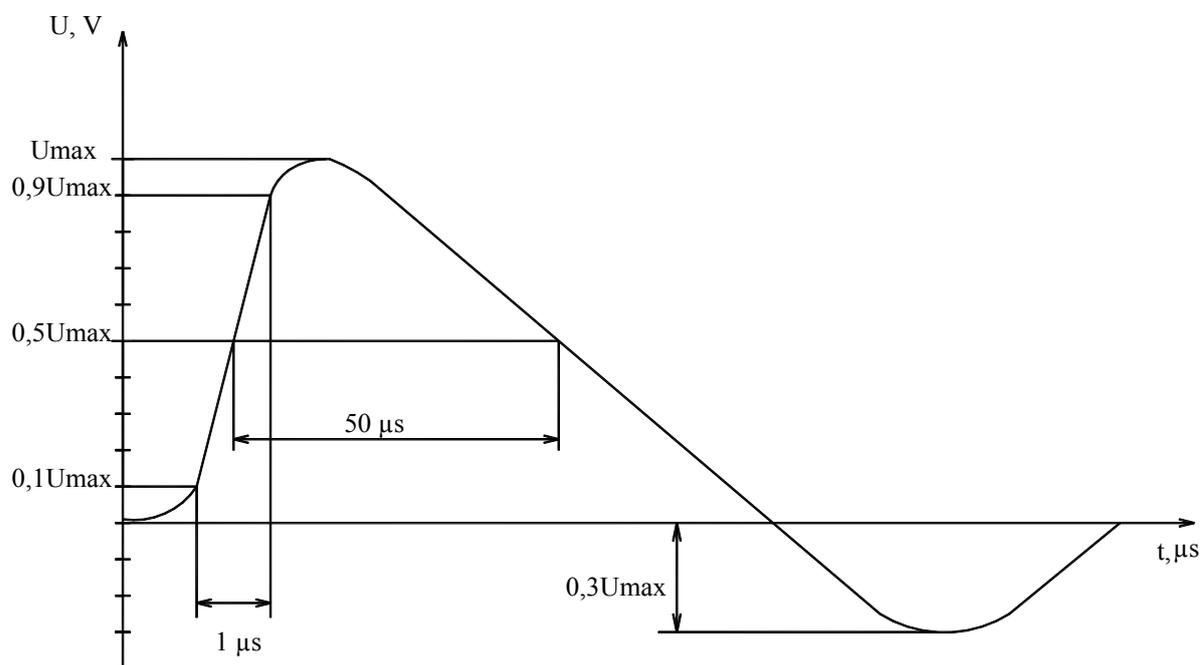


Рисунок 2 – Форма импульса напряжения ГМИ-1 в режиме холостого хода

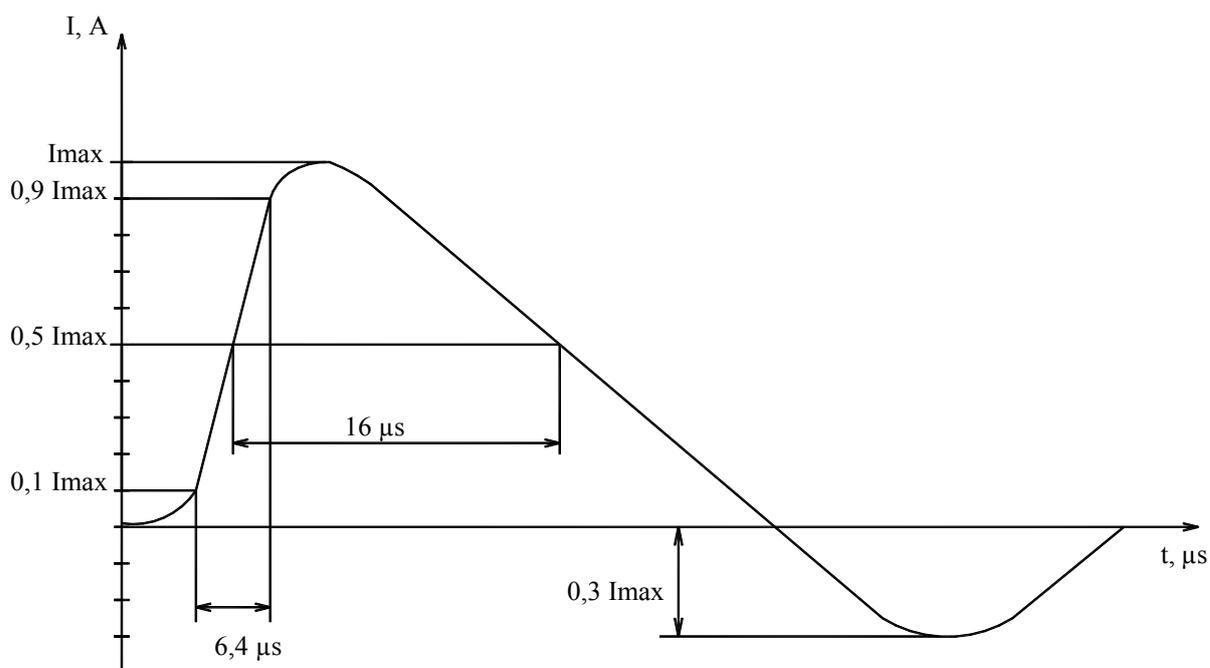


Рисунок 3 – Форма импульса тока ГМИ-1 в режиме короткого замыкания

Устройство связи / развязки УСР-4 (рисунок 4) имеет следующие технические характеристики при подаче импульсов на цепи электропитания:

- емкость конденсатора связи при подаче испытательных импульсов по схеме «провод – земля» ( $9 \pm 0,9$ )  $\mu\text{F}$ ;
- емкость конденсатора связи при подаче испытательных импульсов по схеме «провод – провод» ( $18 \pm 1,8$ )  $\mu\text{F}$ ;
- индуктивность развязки ( $1,5 + 0,5$ , минус  $0,1$ ) мН.

При подаче импульсов на цепи вода – вывода:

- емкость конденсатора связи ( $0,5 \pm 0,05$ )  $\mu\text{F}$ ;
- сопротивление связи ( $40 \pm 2$ )  $\Omega$ ;
- напряжение зажигания газонаполненного разрядника ( $90 \pm 9$ ) В;
- индуктивности развязки ( $20 + 10$ , минус  $2$ ) мН.



Рисунок 4 – Устройство связи / развязки УСР-4

ГМИ-1 и УСР-4 были подвергнуты метрологической аттестации на соответствие требований ГОСТ Р 51317.4.5.99 (МЭК 61000-4-5-95) и получили аттестат соответствия № РЪ 41/Р-129-03 от 19.06.2003 г. Эти приборы были переданы в испытательную лабораторию ЗАО «СНПО „Импульс”», где и эксплуатируются и по настоящее время.

#### **Литература**

3. Г. Отт. Методы подавления шумов и помех в электронных системах. М.: Мир, 1979. 7с.
4. ГОСТ Р 51317.4.5.99 (МЭК 61000-4-5-95) Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии. М.: Госстандарт России.

**П.И. ДЕКИН, А.Н. ПОГОРЕЛОВ**

*ЗАО «Северодонецкое научно-производственное объединение “Импульс”»*

## **ИСПЫТАНИЯ. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ВЫПУСКАЕМОЙ ПРОДУКЦИИ**

Закрытое акционерное общество «Северодонецкое научно-производственное объединение “Импульс”» специализируется на создании высоконадежных систем контроля и управления технологическими процессами для особо сложных объектов атомной и тепловой отраслей промышленности.

Поэтому очень важное значение приобретают проблемы повышения качества выпускаемой продукции.

Качество – это совокупность свойств продукции, обуславливающих ее способность удовлетворять определенным потребностям в соответствии с ее назначением. Качество вычислительной техники характеризуется совокупностью показателей конструктивных и электрических характеристик, надежностью в эксплуатации и уровнем технологичности при ее изготовлении. Проблема качества охватывает не только потребительские, но и технологические свойства продукции: долговечность, уровень стандартизации и унификации конструкций.

Система управления качеством выпускаемой продукции в ЗАО «СНПО “Импульс”», которая сертифицирована и имеет сертификат по ДСТУ ISO 9001-2001, предусматривает следующие работы на этапе проектирования и изготовления продукции:

- тщательный системный анализ объекта;
- проектирование с максимальным использованием апробированных решений;
- использование САПР при разработке устройств и комплексов;
- входной контроль комплектующих элементов;
- изготовление технических средств;
- длительная проработка изделий при граничных значениях параметров окружающей среды;
- предварительные и приемочные испытания изделий;
- приемо-сдаточные испытания перед отправкой на объект;
- сертификационные испытания;
- обучение персонала Заказчика, совместная опытная эксплуатация систем;
- гарантийное и послегарантийное обслуживание систем;
- поставка сервисных и контрольно-проверочных приборов.

Контроль качества продукции на этапе изготовления опытных образцов и серийной продукции на предприятии подтверждается следующими видами испытаний:

- 1) опытных образцов:
  - доводочными;
  - предварительными;
  - приемочными;
- 2) серийных образцов:
  - приемо-сдаточными;
  - приемочными;
  - типовыми;
  - периодическими;
  - сертификационными;
  - функциональными.

Испытания проводятся в лаборатории испытаний ЗАО «СНПО «Импульс»», аккредитованной в Системе сертификации УкрСЕПРО.

Лаборатория испытаний обеспечена всем необходимым испытательным оборудованием для оценки соответствия изделий требованиям нормативных документов, как для атомной энергетики, так и для других отраслей, и имеет возможность проводить следующие виды испытаний:

- 1) на безопасность;
- 2) климатические (холод, тепло, влага);
- 3) механические (вибрация, удары, сейсмоустойчивость, транспортирование);
- 4) электромагнитная совместимость:
  - электростатический разряд;
  - микросекундные помехи;
  - наносекундные помехи;
  - динамические изменения напряжения сети;
  - изменение частоты сети;
  - промышленные радиопомехи в цепях питания;
  - микросекундные помехи в цепях заземления;
  - синусоидальные помехи в цепях заземления;
  - магнитные поля частоты сети;
  - импульсные магнитные поля;
  - колебания напряжения электропитания;
- 5) электрическое поле;
- 6) степень защиты оболочек.

Лаборатория испытаний постоянно придерживается политики в области качества, а именно:

- удовлетворение потребностей заказчика в получении качественной продукции;
- достижение и установление доверия заказчиков;
- обновление и внесение новых видов испытаний;
- усовершенствование методов испытаний.

Испытания продукции проводятся членами комиссии, имеющие опыт в разработке и поставке изделий на объекты атомной энергетики.

Лабораторией испытаний проводится верификация программного обеспечения (ПО), которая играет немаловажную роль в повышении качества выпускаемой продукции.

Верификация проводится на каждом этапе проектирования ПО на предмет удовлетворения всем требованиям, сформулированным на предыдущем этапе. Верификация охватывает весь цикл жизни ПО: разработка требований к ПО, проектирование ПО (разработка алгоритмов ПО), кодирование ПО. Верификация отвечает на вопрос, правильно ли создано ПО. Верификация выполняется в соответствии с планом верификации.

Программное обеспечение программно-технических комплексов и технических средств автоматизации делится по уровню безопасности на классы. Для ПО класса безопасности 2 верификация проводится специалистами лаборатории испытаний, административно и финансово независимыми от специалистов, разрабатывающих ПО. Для ПО класса безопасности 3 верификация проводится специалистами, разрабатывающими ПО, а обзор и оценку результатов верификации проводят специалисты лаборатории испытаний.

На всех этапах верификации, в зависимости от класса безопасности, проверяется соответствие разрабатываемого ПО требованиям к структуре и элементам ПО, к диагностированию и самоконтролю, к обеспечению защиты от отказов, искажений, ошибочных и несанкционированных действий пользователя, к процессу разработки ПО.

По результатам верификации составляется отчет по верификации ПО, отражающий результаты проверок и их оценку, обнаруженные недостатки ПО, а также мероприятия по устранению обнаруженных недостатков.

Предприятием ЗАО «СНПО «Импульс»» принимаются меры к изготовлению и приобретению необходимого измерительного и испытательного оборудования для обеспечения испытаниями изделий, поставляемых на АЭС в Российскую Федерацию.

Разработана и введена в действие экранированная камера, которая дает возможность проводить испытания изделий, связанных с проверкой на устойчивость при воздействии высокочастотного излучения.

Разработано и находится в производстве уникальное оборудование для следующих видов испытаний:

- радиочастотного электромагнитного поля;
- кондуктивных помех от радиочастотных полей;
- колебательных затухающих помех;
- кондуктивных помех в полосе частот от 0 до 150 кГц;
- искажений синусоидальности электропитания;
- затухающего колебательного магнитного поля;
- устойчивость к пульсациям напряжения электропитания постоянного тока.

Предприятием приобретены и введены в эксплуатацию:

- анализаторы сети для одно и трехфазных цепей;
- генераторы высокочастотные до 1000 МГц;
- осциллографы с частотным диапазоном до 1000 МГц;
- регуляторы температур климатического оборудования с точностью поддержания температуры  $\pm 0,1$  °С.

Лаборатория испытаний постоянно повышает технический уровень своих сотрудников. Проводятся занятия по знаниям требований стандартов по ядерной безопасности и имеются удостоверения на право работ в области ядерной энергетики.

В настоящее время ведутся работы по подготовке к аккредитации лаборатории испытаний на соответствие требованиям ISO/IEC 17025-2001 «Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий». На данном периоде времени разработан комплект документов и передан на согласование в Национальное агентство аккредитации Украины в г. Киев.

Разработанные документы по системе качества лаборатории испытаний позволят более качественно проводить независимые испытания и удовлетворять все потребности заказчиков.

**А. Г. КОРОЛЁВ**

*Северодонецкий технологический институт*

## **СИСТЕМА ОБЪЕКТ GPSS КАК СРЕДСТВО МОДЕЛИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ**

В статье приводится сравнение команд и блоков для GPSS –World и Object GPSS. Object GPSS – это средство для написания моделей в стиле GPSS непосредственно на языке Delphi (Object Pascal). Каждая модель на Object GPSS представляет собой Include –файл (Model.pas), содержащий описание всех объектов модели и набор из 6 процедур: Initial, CloseAllObj, ResetAll, ModelTxt, Report, Modeling. Практически все части модели, кроме «начинки» процедуры ModelTxt, создаются программой – конвертером. Для создания исполняемой модели следует скомпилировать модель вместе с остальными стандартными частями проекта. Полученный .EXE – файл является моделью конкретной системы и с ней можно проводить эксперименты. В этой системе моделирования легко расширять набор команд и блоков для моделирования.

### **Введение**

Имитационное моделирование, как и моделирование вообще – мощное средство для изучения сложных систем. Для имитационного моделирования используется целый спектр языков, в частности язык GPSS. Лучше всего он описан в известной книге Шрайбера Т. Дж. «Моделирование на GPSS» , которая также известна, как «красная книга». Эта книга является фундаментальным самоучителем по языку GPSS и прекрасно описывает как проблематику задач моделирования систем массового обслуживания, так и методы их решения с помощью данного языка.

Язык GPSS существует более 40 лет, и за время своего существования многократно подвергался нападкам как недостаточно гибкий и устаревший. Тем не менее, сам дискретно – событийный подход, заложенный в его основу, был достаточно прочен, чтобы обеспечить его жизнеспособность в течение всех этих десятилетий. Язык GPSS был и остается весьма эффективным при решении множества задач, посвященных исследованию систем массового обслуживания. Очень негативно на языке GPSS отразилось то, что в восьмидесятых годах фирма IBM прекратила его поддержку. Поэтому, его дальнейшая история связана с работой таких его энтузиастов, и даже можно сказать подвижников, как Thomas J. Schriber, Springer Cox, Julian Reitman, James O. Henriksen, Peter Lorenz, Ingolf Stahl и целый ряд других.

В целом, ценность такого языка как GPSS для исследования систем массового обслуживания не подлежит сомнению. Однако, многолетний опыт преподавания этого языка, показал, что за годы своего развития, язык вобрал в себя и немало негативного, такого, что не выдержало проверку временем, и

мешает освоению GPSS студентами. Кроме того, этот язык, даже в новой версии, GPSS World, плохо сочетается с теми возможностями, которые предоставляет программисту операционная система Windows. Короче говоря, назрела задача попытаться модернизировать язык GPSS, и расширить его возможности по работе с Windows.

### **Конкретные предложения**

Попытка осмыслить эту проблему в целом, привела к пониманию, что начинать все нужно с погружения возможностей языка GPSS в один из хороших языков программирования, обеспечивающих эффективную работу с Windows. Естественно, что в первую очередь рассматривались такие языки, как Delphi, C++ Builder и C#. Очевидно, что реализация основных блоков GPSS не так уж и сложна. Она включает в себя работу со списками заявок и работу с такими объектами, как очереди, устройства, таблицы, и так далее.

Вопрос о том, как реализовать порядок выполнения блоков, управляемый заявками, имеет свое очевидное решение. Нужно чтобы все блоки модели были оформлены как вызовы процедур и находились в операторе Switch для языка C++, или в операторе Case для языка Delphi. Тогда выбор нужного блока (вызова процедуры) можно выполнять на основе номера следующего блока активной заявки, которая продвигается в данный момент. После выполнения очередного блока, управление вновь передается активной заявке. Естественно, что в качестве блоков возможно использование не любых процедур языка высокого уровня, а только тех, которые обеспечивают корректную работу со списками заявок, в частности, с номерами текущего и следующего блока активной заявки.

Таким образом, основные блоки, команды и стандартные числовые атрибуты языка GPSS можно представить как процедуры и функции языка C++ или Delphi, причем код модели на GPSS может быть адекватно представлен как последовательность соответствующих вызовов процедур языка программирования.

Модели в системе Object GPSS состоят из следующих частей:

1. Описания констант, переменных и объектов модели, а также специальных процедур и функций, используемых в модели.
2. Процедуры Initial, в которой выполняется инициализация всех переменных и объектов модели.
3. Процедуры ModelTxt, в которой и описывается собственно модель системы.
4. Процедуры Modeling, в которой указаны конкретные команды манипуляции с моделью.
5. Процедуры Report, в которой выполняется вывод дополнительных элементов выходной статистики. Обычно эта процедура пуста.
6. Процедуры CloseAllObj, в которой выполняется уничтожение всех дополнительных динамических объектов модели. Обычно эта процедура пуста.

Для создания моделей в системе используется программа - конвертер. Вся работа по созданию модели начинается с описания объектов, используемых для формирования модели. Затем формируется код, определяющий собственно работу модели. Так, например, рассмотрим простейшую модель такой системы массового обслуживания.

Пусть заявки поступают в систему со средним интервалом 100, распределенном по экспоненциальному закону. Они должны обслуживаться одним из 3 устройств. 4- канальным, за время 800+-400, или 6- канальным, за время 1100+-500, или 1- канальным, за время 600+-300. промоделировать обслуживание 10000 заявок. Протабулировать время обслуживания заявок.

Для такой системы необходимо вставить генератор заявок, 3 устройства соответствующего типа, очередь, и таблицу. А затем написать следующий текст модели.

```
{\Gen} ::Gen_ *:Gen.Generate(Exponential(100));
    *:Que.Queue;
    *:Transfer ([mm1,mm2,mm3]);
::mm1 *:Stor.Enter;
    *:Que.depart;
    *:Advance (800,400);
    *:Stor.Leave;
    *:Tab.Tabulate (m1);
    *:Terminate (1);

::mm2 *:Stor0.Enter;
    *:Que.depart;
    *:Advance (1100,500);
    *:Stor0.Leave;
    *:Tab.Tabulate (m1);
    *:Terminate (1);

::mm3 *:Fac.Seize;
    *:Que.depart;
    *:Advance (600,300);
    *:Fac.Release;
    *:Tab.Tabulate (m1);
    *:Terminate (1);
```

Аналогичный текст модели на GPSS World выглядит следующим образом.

```
Stor Storage 4
Stor0 Storage 6
tab table m1,0,50,100
    Generate (Exponential(1,0,100))
    Queue Que
    Transfer all,mm1,mm3,6
mm1 Enter Stor
    Depart Que
    Advance 800,400
```

```

    Leave stor
    Tabulate Tab
    Terminate 1

mm2 Enter Stor0
    Depart Que
    Advance 1100,500
    Leave Stor0
    Tabulate Tab
    Terminate 1

mm3 Seize Fas;
    Depart Que
    Advance 600,300
    Release Fas
    Tabulate Tab
    Terminate 1
start 10000

```

Полная модель этой системы в Object GPSS выглядит следующим образом.

```

    {~vb} Var
{\Gen} Gen:TGenerate;
{\Stor} Stor:TStorage;
{\Stor0} Stor0:TStorage;
{\Fac} Fac:TFacility;
{\Que} Que:TQueue;
{\Tab} Tab:TTable;
    {~ve}
    {~pfe}
    {~ib} procedure Initial;begin
    { Before Install }
    setstart(10000);
{\Gen} Init(Gen,'Gen',Gen_,Exponential(100));
{\Stor} Init(Stor,'Stor',4);
{\Stor0} Init(Stor0,'Stor0',6);
{\Fac} Init(Fac,'Fac');
{\Que} Init(Que,'Que');
{\Tab} Init(Tab,'Tab',0,50,100);
    {~ie}
    { After Install } end;
    {~mtb}procedure ModelTxt;begin with SYS do case ActiveBlock of

{\Gen} ::Gen_ *:Gen.Generate(Exponential(100));
    *:Que.Queue;
    *:Transfer ([mm1,mm2,mm3]);
::mm1 *:Stor.Enter;
    *:Que.depart;
    *:Advance (800,400);
    *:Stor.Leave;
    *:Tab.Tabulate (m1);
    *:Terminate (1);

```

```

::mm2  *:Stor0.Enter;
        *:Que.depart;
        *:Advance (1100,500);
        *:Stor0.Leave;
        *:Tab.Tabulate (m1);
        *:Terminate (1);

::mm3  *:Fac.Seize;
        *:Que.depart;
        *:Advance (600,300);
        *:Fac.Release;
        *:Tab.Tabulate (m1);
        *:Terminate (1);
{~mte} else modelerror;end;end;
{~mb} procedure Modeling; begin
start(GetTg1);
Show(Tab);
{~me}end;
{~rb} procedure Report;begin
{~re} end;
{~cab} procedure CloseAllObj;begin
{~cae} end;

```

Несмотря на кажущуюся громоздкость такой модели, на самом деле она довольно проста и весь текст этой модели, кроме содержимого процедуры ModelTxt, генерируется автоматически при вставке объектов.

Для создания модели ее текст должен пройти конвертирование в текст на языке Object Pascal. Конвертирование состоит в том, что пары символов \*: заменяются на номера блоков, а метки блоков преобразуются в константы целого типа, значения которых равны номеру блока с меткой. В итоге получается файл Model.pas, который компилируется совместно с другими модулями. В результате компиляции получается модель системы в виде .Exe - файла, с которой уже можно проводить эксперименты.

Всего в проект входят 6 модулей:

ModelingUnit – модуль главной формы модели.

ModelUnit – модуль, в который помещается модель (файл Model.pas)

GPSS\_SYS – модуль с основными командами и блоками Object GPSS, ядро всей системы.

AddModelUnit – модуль с дополнительными командами и блоками Object GPSS, используемыми для взаимодействия с главной формой.

InputBoxUnit – модуль с диалоговым окном ввода данных.

TableUnit - модуль с таблицами базы данных.

Все файлы проекта, кроме файла Model.pas, в принципе, не зависят от конкретной модели и вместо их кодов можно использовать DCU – файлы, то есть они могут быть представлены в виде уже откомпилированных частей, которые нуждаются только в сборке в единую программу. Правда, так как в

модуль ModelUnit включается файл Model.pas, то для компиляции всего проекта нужен его код, то есть файл ModelUnit.pas .

Как следствие вышесказанного, при распространении системы нет нужды поставлять исходные коды наиболее важных частей модели, а можно ограничиться поставкой кодов модуля ModelUnit.

Взаимные связи модулей отражены на рисунке1.

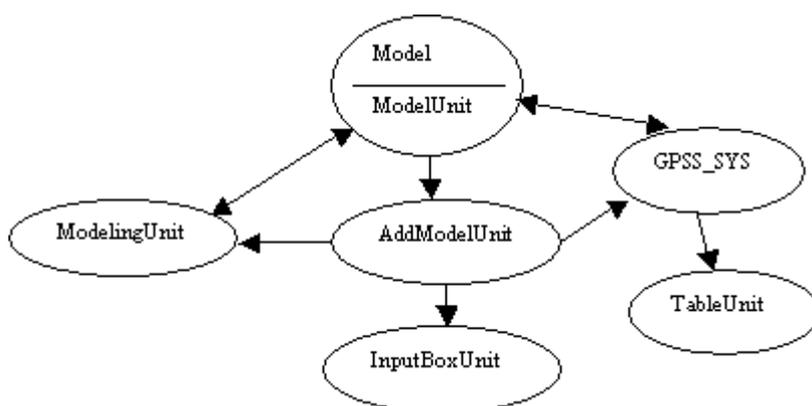


Рисунок 1 – Связи модулей проекта Object GPSS.

Созданное конвертером приложение, обеспечивает следующие возможности проведения опытов с моделью:

- 1 Запуск модели, то есть вызов процедуры Modeling с указанным значением счетчика TG1.
- 2 Временную, точнее досрочную остановку процесса моделирования, с возможностью продолжения текущего моделирования.
- 3 Полную очистку модели с возвратом ее в начальное состояние.
- 4 Сброс собранной статистики по модели.
- 5 Формирование полного или частичного отчета по моделированию.
- 6 Настройку перечня выводимой в отчет информации.
- 7 Просмотр выводимой в ходе моделирования, или выведенной по окончании моделирования графической информации.
- 8 Завершение моделирования.

Созданная программа может быть переименована и перенесена в другую папку.

Для представления списков заявок и работы с ними удобно использовать таблицы баз данных. Таблицы хорошо подходят и для представления X и P – параметров, а также для представления групп заявок и списков прерывания.

Развитие такой идеи построения моделей систем, привело к тому, что для языка Delphi были созданы процедуры, обеспечивающие возможность включения моделей, написанных в стиле GPSS в любую программу на языке Delphi. Как следствие этого, в модели, написанной в стиле GPSS, доступны все возможности самого языка Delphi. В частности, в такой модели можно легко

использовать файлы для ввода и вывода данных, можно просто и естественно, отображать ход моделирования в виде графиков или величин столбцов. Можно описывать массивы и матрицы любых объектов модели, в частности, многоканальных устройств, списков пользователей, таблиц, числовых функций, и многого другого.

Достаточно просто здесь можно построить произвольную процедуру управления ходом моделирования, и сбора статистики, в том числе, и управляемую пользователем.

Здесь просто и естественно создаются исполнимые файлы (программы) – являющиеся моделями конкретных систем массового обслуживания. Нет никаких проблем в создании новых блоков для построения модели, в том числе и блоков, которые нужны только для конкретной модели. Фактически, возможности разработчика модели более не ограничены набором имеющихся блоков GPSS, а определяются только его потребностями.

Именно такая система для построения моделей в стиле GPSS и названа автором объектным GPSS. Некоторое увеличение времени набора кода модели и несколько большее процессорное время моделирования, в сравнении, например, с GPSS World, с избытком компенсируется расширенными возможностями системы.

То, что для реализации системы выбран язык Delphi, а не C++, или, например, C# - не является принципиальным. Просто на этом языке код модели выглядит несколько более привычным, по сравнению с аналогичным кодом на языке C++. Однако, нет никаких принципиальных трудностей в построении аналогичной системы на языке C++.

В отличие от других версий GPSS, здесь предусмотрена типизация данных. Непосредственно в модели можно использовать следующие базовые типы данных: Integer, Double, Boolean, String. В этой связи, X и P параметры могут быть значениями любого из этих 4 типов.

Так как Object GPSS создает модели на основе классов объектов, то при работе с объектами вначале должно указываться имя объекта, затем точка, а затем, имя процедуры или функции из класса. Например, fac1.Seize – означает «занять устройство с именем fac1», fac1.Report('fac1') – «вывести отчет по устройству с именем fac1» и так далее.

Система Object GPSS содержит следующие классы объектов:

Класс TSYS, который содержит основные функции и блоки системы GPSS. Фактически это класс нужен только потому, что функции GPSS имеют слишком простые имена, которые могут понадобиться разработчику модели. Так, например, в GPSS – World есть СЧА M1 – текущее время жизни заявки, TG1 – текущее значение счетчика завершений. Аналогичные функции в Object GPSS будут выглядеть так SYS.M1 и SYS.TG1. Функции этого класса, в основном, совпадают с теми, которые есть, в GPSS World. К существенным изменениям набора функций можно отнести замену СЧА P и X на функции RP, IP, BP, SP, RX, IX, BX, SX, которые выдают значения вещественных, целых, логических и строковых P и X параметров соответственно. Хотя эти параметры задаются номерами, вместо номеров всегда можно использовать целые

именованные константы, тогда текст модели становится более наглядным. Для класса TSYS всегда создается объект SYS, который и используется в моделировании.

Набор блоков, которые используются без объектов, в основном, совпадает с теми, которые есть в обычном GPSS. Формально, все они отнесены к классу TSYS. Однако здесь возможно присваивание значений переменным, в том числе элементам массивов. Для этого используется блок LET.

P и X - параметры – типизированы, а поэтому вместо блоков ASSIGN и SAVEVALUE используются блоки RASSIGN, IASSIGN, BASSIGN, SASSIGN и RSAVEVALUE, ISAVEVALUE, BSAVEVALUE, SSAVEVALUE для вещественных, целых, логических и строковых P и X параметров соответственно. Значения X – параметров можно менять как при моделировании, так и при подготовке к новому моделированию. Имеются функции для проверки существования X и P параметров.

Возможна установка нового значения счетчика завершений в ходе моделирования, блок SETTG1.

Роль блоков GATE, TEST и TRANSFER взял на себя расширенный блок TEST, который обеспечивает разветвление на произвольное число направлений, в зависимости от выполнения условий, а также задержку заявки, если все условия неверны. Блок TRANSFER обеспечивает переход на подпрограмму, вероятностное и безусловное перенаправления заявок, а также выбор перехода на ту метку из списка, которая сопоставлена блоку, готовому принять заявку.

Появился блок розыска указанной заявки FINDXN1, который определяет для нее текущий и следующий блок, а также список, в котором она находится.

Модель может использовать и блоки, которые предназначены для использования возможностей конкретной головной программы. Они, строятся на основе имеющихся блоков. К ним относятся блоки TOPOINT, TOSTRING, TOVALUE и CURRENBLOCKS, которые выводят очередную точку, очередную строку, очередное значение и текущую информацию о блоках.

В отличие от GPSS – World , X – параметры имеются не только у системы, но и у любого объекта, включая базовый объект, у которого ничего нет, кроме этих параметров.

Набор функций очень велик, и включает в себя, в частности, аналоги функций типов C и D в GPSS World. Функции можно также выводить в виде графиков.

Класс TGENERATE описывает генераторы заявок, то есть фактически блоки GENERATE. Каждый блок GENERATE должен быть описан и проинициализирован. Дополнительно, у блока GENERATE может указываться условие, которое определяет, будет ли выпущена из него заявка. Приход новой заявки планируется, только если предыдущая заявка вышла из блока.

Класс TTABLE описывает таблицы, предназначенные для сбора статистики. Он пополнен процедурой, которая выводит таблицы в виде гистограмм.

Класс TQUEUE описывает очереди. Его процедуры и функции, по сути, не отличаются от аналогичных блоков и СЧА GPSS– World.

Класс TSTORAGE описывает многоканальные устройства. Он пополнен блоком SETSTORAGE, который устанавливает новую предельную емкость устройства, и блоком SETGOTO, который задает перенаправление заявок с входа устройства на другой блок, или обеспечивает запрет на вход заявок в многоканальное устройство.

Класс TFACILITY описывает одноканальные устройства. Для таких устройств также имеется блок SETGOTO, и несколько иначе построена система блоков для реализации прерываний, и для реализации доступности и недоступности устройства. А именно: блоки PREEMPT, RETURN, FAVAIL и FUNAVAIL заменены блоками EXTRACT, EXTRACTPREEMPT, PREEMPT, PREEMPT0, RETURN, RETURN0, которые удаляют обслуживаемые и прерванные на устройстве заявки, прерывает обслуживание заявки с занятием и без занятия устройства, а также возвращает из прерывания заявку после обслуживания текущей заявки или принудительно, после периода недоступности устройства.

Классы TGROUP, TIGROUP, TSGROUP описывают группы для вещественных чисел, целых чисел и для строк. Их процедуры и функции, по сути, мало отличаются от аналогичных блоков и СЧА GPSS World.

Класс TTGROUP описывает группы заявок. Его набор функций и процедур заметно расширен, в первых, за счет типизации данных, то есть в данном случае P – параметров, а во вторых, за счет обеспечения доступа к параметрам заявок из списка группы при отборе нужных заявок. Отбор нужных заявок и изменение значений их P – параметров ведется с помощью отдельно описанных функцию выбора и функций вычисления значений. Эта особенность повышает возможности блоков работы с группами заявок. В этом классе блоки SCAN и ALTER заменены блоками RSCAN, ISCAN, BSCAN, SSCAN и RALTER, IALTER, BALTER, SALTER, которые отыскивают и изменяют значения вещественных, целых, логических и строковых P параметров соответственно.

Класс TUSER описывает списки пользователя. Его набор функций заметно расширен за счет доступа к параметрам заявок из списка пользователя при выборе удаляемых заявок. Отбор нужных заявок ведется с помощью отдельно описанных функцию выбора. Эта особенность повышает возможности блоков работы со списками пользователя.

Имеется обширный набор функций, которые, в основном, совпадает с теми, которые есть в GPSS World. Однако к ним добавлены функции, которые выбирают значения по логическим условиям, или по номеру. Это функции RBYBOOL, IBYBOOL, SBYBOOL, RBYNUN, IBYNUM, SBYNUM для вещественных, целых и строковых значений соответственно.

Значения функций можно получать из диалогового окна или из компонента AddMemo главного окна. Это функции RINPUT, IINPUT, BINPUT, SINPUT, INPUTITEM и RGET, IGET, BGET, SGET для вещественных, целых и строковых значений соответственно.

Имеется также ряд других блоков, процедур и функций для организации моделей и процесса моделирования.

Если возникает необходимость создания новых блоков, то это возможно сделать следующим образом.

Можно просто вместо блока в процедуре ModelTtxt, поместить составной оператор, обрамленный ключевыми словами Begin - End. Составной оператор должен содержать блоки Object GPSS, и должен быть устроен таким образом, чтобы при любых ситуациях, в нем выполнялся ровно один блок, из числа описанных в системе.

Можно также оформить этот составной оператор как процедуру, и тогда ее можно использовать как новый блок. Для облегчения создания новых блоков, в системе имеется блок NOP, который не выполняет никаких полезных действий, а просто продвигает активную заявку в следующий блок модели. Именно на его основе и рекомендуется создавать новые блоки.

Программа - конвертер подготовки моделей позволяет легко вставлять и удалять описания объектов модели и требуемые вызовы процедур. Она позволяет выполнить открытие, редактирование и сохранение модели в промежуточной форме, а также выполнить ее конвертирование для включения кода модели в программу. Имена объектов можно оставить такими, какие они предлагаются по умолчанию, а можно ввести их вручную. Типы объектов выбираются из списка.

Работа по созданию конкретной модели требует выполнения следующих шагов.

1. Запустить приложение converter.exe
2. Открыть в нем имеющуюся модель, или создать новую. Если создана новая модель, то ее следует сохранить на диске.
3. Выполнить пункт «Convert And Run» в приложении converter.exe. Если в файле Model.pas имеются ошибки, то нужно их исправить и вновь выполнить шаг 3. Если ошибок нет, то запускается приложение с конкретной моделью и с ним можно проводить опыты.

Для создания очередной модели, (её EXE – файла) достаточно повторить пункты 2, 3.

Возможно сохранение в файле, отчета о результатах моделирования или графиков и гистограмм, сформированных моделью.

В заключение, следует отметить, что эксперименты с системой Object GPSS полностью подтвердили реалистичность всех возложенных на нее ожиданий. Она устойчиво работает и создает программы для конкретных моделей систем массового обслуживания на языке Delphi, в том числе и довольно сложных. В системе легко обеспечивается развитие за счет создания новых блоков и функций. Она может взаимодействовать с компонентами головной программы, как в ходе моделирования, так и на стадии подготовки модели к моделированию.

Система содержит 12 типов объектов, 74 блока, 73 команды для процедуры Modeling и 123 функции. Естественно, что часть этих команд будет использоваться крайне редко, так что реально нужно знать и использовать не более 100 команд, блоков и функций.

Система поддерживает работу с текстовыми файлами.

## Выводы

Указанный подход можно легко использовать и в других языках программирования, например, в Borland C++ или в C#. Преимущества рассматриваемой системы в том, что вся работа модели происходит совершенно прозрачно, и модель может использовать все возможности базового языка программирования, в данном случае – Delphi (Object Pascal). При моделировании выполняется только то, что явно указал разработчик модели. Система легко может быть развита или расширена в любом направлении, которое необходимо автору модели. Так как Delphi относится к языкам класса 4GL, то использование и развитие системы не требует высокой квалификации. Систему можно также использовать и для обучения. Тогда ее прозрачность и легкость развития окажется особенно полезной. Хотя при работе с системой, вы пишете код программы на языке высокого уровня (Object Pascal), однако знать этот язык вам не обязательно. И уж тем более вам не нужно знать как следует работать с оболочкой Delphi. Вы её просто не видите. Для работы с Object GPSS нужно знать только основы любого языка программирования, и знать набор процедур и функций, используемых для моделирования. Наборы личных процедур и функций для моделирования можно записывать как непосредственно в модели, так и в дополнительном файле, который можно включать в систему. Ссылка на такой файл должна быть в модуле ModelUnit. Все ваши процедуры и функции будут «невидимы» для модуля GPSS\_SYS, который реализует базовые возможности GPSS.

Оценивая опыт эксплуатации Object GPSS, следует отметить, что сами модели на нем, выглядят более естественно, чем на традиционных версиях GPSS. Логика построения моделей более прозрачна и более соответствует логики обычных программ. При этом, основные усилия разработчика моделей тратятся на саму модель, а не на борьбу с «особенностями» языка GPSS.

Развитые средства визуализации, дополнительные блоки вывода, и возможность приостановить исполнение модели в любой момент и посмотреть полные результаты моделирования, благотворно сказываются на отладке моделей, в то время как многие модели на GPSS, даже попадая в разряд «образцовых», на самом деле содержат ошибки, иногда довольно грубые.

Разработанная система может быть полезна как для тех, кто начинает осваивать дискретно-событийное моделирование, и хочет, чтобы его модели выглядели профессионально, так и для тех, кто разрабатывает сложные модели «под заказ».

Для получения студенческой или коммерческой версии системы следует написать автору письмо, в котором нужно указать, для какой именно версии Delphi он собирается использовать систему. Письма можно направлять по адресу.

[anatoliykg@hotmail.com](mailto:anatoliykg@hotmail.com)

Или

[anatoliykg@sti.lg.ua](mailto:anatoliykg@sti.lg.ua)

## Литература

1. Minuteman Software. 2000. GPSS World Reference Manual. Holly Springs NC: Minuteman Software.
2. Ståhl, I. 2001. GPSS – 40 years of development. In Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference, ed B. A. Peters et al. Piscataway, New Jersey: IEEE.
3. Wolverine Software Corporation. 1996. SLX: An introduction for GPSS/H users. Alexandria, Virginia: Wolverine Software Corporation.
4. Lorenz, P., H. Dorwarth, K.-C. Ritter, and T. J. Schriber. 1997. Towards a web based simulation environment. In Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference, ed. S. Andradottir, K. J. Healy, D. H. Withers, and B. L. Nelson. Piscataway, NJ: IEEE.

## Приложение 1. Конвертер.

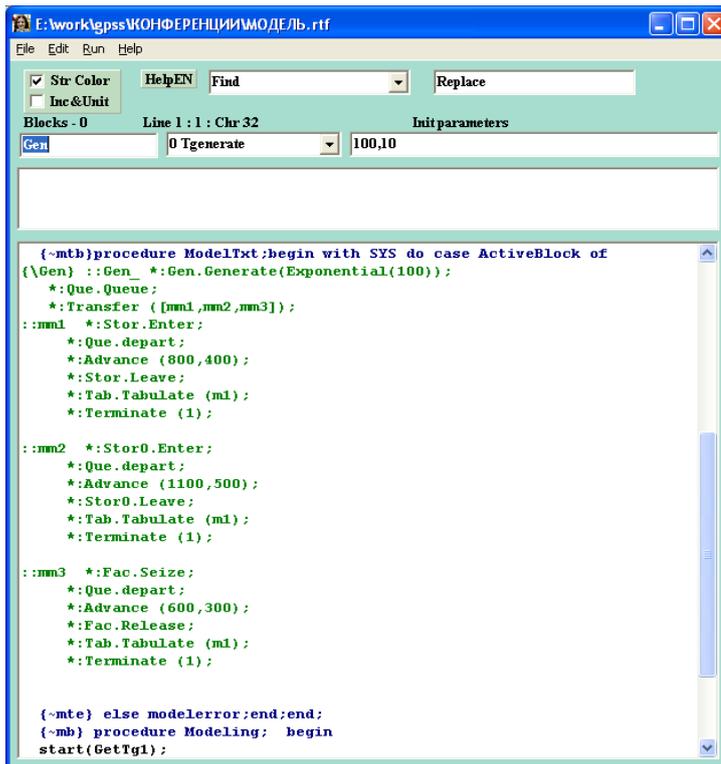


Рисунок 2 – Внешний вид программы - конвертера.

## Приложение 2. Пример

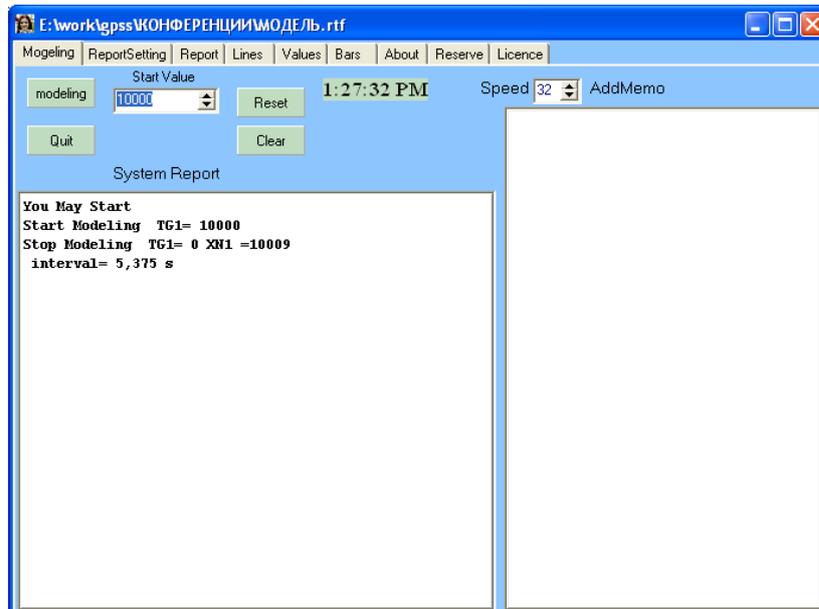


Рисунок 3 – Головная форма модели

Отчет по модели.

Date Time Stamp= 01.06.2006 13:31:47  
 REPORT AnatoliyGk@Sty.Lg.Ua : Product Num 816920  
 E:\work\gpss\КОНФЕРЕНЦИИ\МОДЕЛЬ.rtf  
 StartTime 0.00000 EndTime 993630.25414  
 Count4

```
{\Gen} ::Gen_ 1:Gen.Generate(Exponential(100));
2:Que.Queue;
3:Transfer ([mm1,mm2,mm3]);
::mm1 4:Stor.Enter;
5:Que.depart;
6:Advance (800,400);
7:Stor.Leave;
8:Tab.Tabulate (m1);
9:Terminate (1);

::mm2 10:Stor0.Enter;
11:Que.depart;
12:Advance (1100,500);
13:Stor0.Leave;
14:Tab.Tabulate (m1);
15:Terminate (1);

::mm3 16:Fac.Seize;
17:Que.depart;
18:Advance (600,300);
19:Fac.Release;
20:Tab.Tabulate (m1);
21:Terminate (1);
```

BLOCK Report

Location	Entries	Current
1	10008	0
2	10008	0
3	10008	0
4	4514	0
5	4514	0
6	4514	4
7	4510	0
8	4510	0
9	4510	0
10	4499	0
11	4499	0
12	4499	4
13	4495	0
14	4495	0
15	4495	0
16	995	0
17	995	0
18	995	0
19	995	0
20	995	0
21	995	0

Report FUTURE LIST Count= 9

XN1	Assem	Pr	Current	Next	TimeStamp	EndTime	Interrupt
10004	10004	0	6	7	993081.23565	993671.69849	0
10009	10009	0	0	1	993685.58166	993685.58166	0
10002	10002	0	6	7	992891.27547	993826.64873	0
9997	9997	0	12	13	992422.77207	993838.96498	0
10003	10003	0	6	7	993039.08621	993872.89724	0
10007	10007	0	6	7	993564.13270	994287.92997	0
10005	10005	0	12	13	993101.27414	994420.22182	0
10008	10008	0	12	13	993581.35363	994628.88149	0
10006	10006	0	12	13	993244.20028	994685.89171	0
Storage	Entries	Current	Max	Min	AverStor	AverTime	Utility
Stor	4514	4	4	0	3.62461	797.85529	0.90615
NextGo	XN1	AC1	ACapac	Capacity	NumObj		
0	10007	993564.13270	4.000	4	4		
Storage	Entries	Current	Max	Min	AverStor	AverTime	Utility
Stor0	4499	4	6	0	4.94197	1091.46279	0.82366
NextGo	XN1	AC1	ACapac	Capacity	NumObj		
0	9998	993630.25414	6.000	6	5		
Facility	Entries	Current	Utility	AverTime	NextGo	XN1	XN1P
NumObj	Fac	995	0	0.59741	596.58558	0	0
	Queue	Entries	Current	Max	Min	Zero	AverQueue
	AverTime (-Ze)	NumObj					AverTime
	Que	10008	0	19	0	5582	1.23681
		7					122.79459
							277.66114

Table	Tab	Entries	10000.00000		
Mean	1033.04240	StdDev	369.58591	NumObj	8
	Range	Frequency			
	300.00000	0.00000			
	400.00000	80.00000			
	500.00000	464.00000			
	600.00000	563.00000			
	700.00000	874.00000			
	800.00000	987.00000			
	900.00000	1059.00000			
	1000.00000	1002.00000			
	1100.00000	965.00000			
	1200.00000	1013.00000			
	1300.00000	690.00000			
	1400.00000	625.00000			
	1500.00000	520.00000			
	1600.00000	519.00000			
	1700.00000	203.00000			
	1800.00000	139.00000			
	1900.00000	105.00000			
	2000.00000	72.00000			
	2100.00000	42.00000			
	2200.00000	27.00000			
	2300.00000	17.00000			
	2400.00000	17.00000			
	2500.00000	5.00000			
	2600.00000	7.00000			
	2700.00000	3.00000			
	2800.00000	2.00000			
	2900.00000	0.00000			

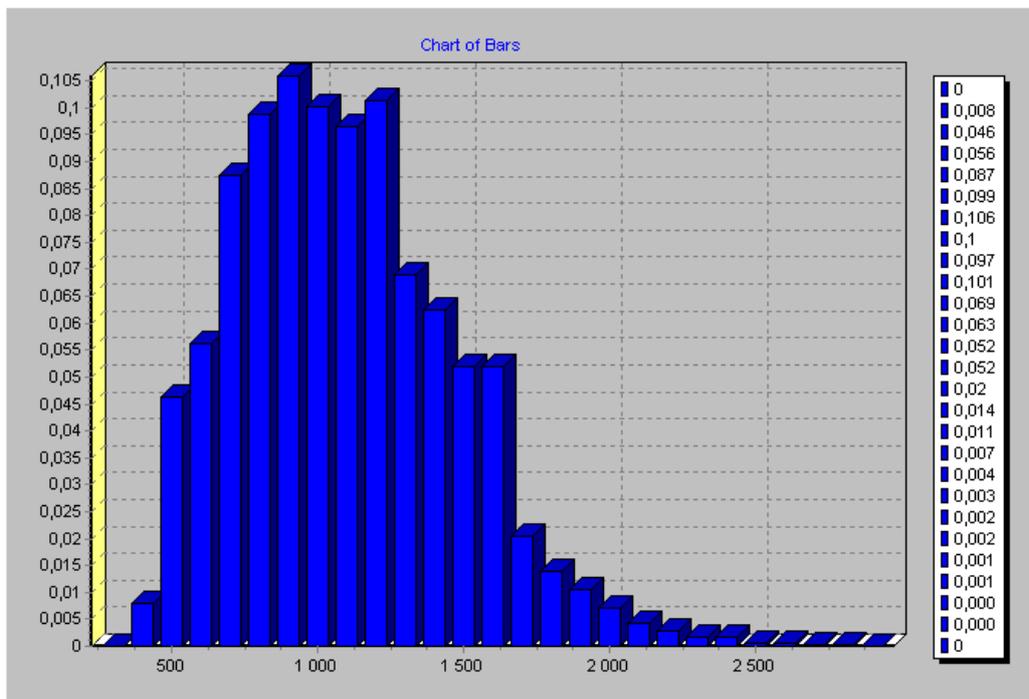


Рисунок 4 – Гистограмма таблицы

## **5 МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИСПЫТАНИЙ, ВЕРИФИКАЦИИ, ВАЛИДАЦИИ, СЕРТИФИКАЦИИ**

УДК 004.05

**Б. М. КОНОРЕВ, В.В. СЕРГИЕНКО, Г.Н. ЧЕРТКОВ**

*Сертификационный центр АСУ Госцентр качества Государственного комитета ядерного регулирования Украины, г. Харьков, Украина*

### **ОЦЕНИВАНИЕ КАЧЕСТВА ПО ИУС КРИТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ: НОРМАЛИЗОВАННОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ОБЪЕКТА ЭКСПЕРТИЗЫ**

В статье рассмотрено необходимое условие реализации сценария оценивания качества ПО ИУС критического применения с использованием инструментальных средств - утилит, - нормализация представления проекта ПО ИУС и процедура формирования оценочной модели ПО ИУС на основе опросных листов – шаблонов.

#### **Введение**

Информационно-управляющие системы (ИУС) критического применения в атомной энергетике, космической отрасли и других прикладных областях представляет специфический комплексный и весьма наукоемкий вид продукции. Комбинация оборудования, программного обеспечения и человеческого фактора поднимает сложность создаваемых систем до беспрецедентного уровня. Главными критериями оценки качества таких систем является безопасность применения и интегральная полезность. Социальная значимость несоответствующего качества определяется рисками в диапазоне «материальные потери – нанесение вреда окружающей среде – угроза здоровью и жизни людей».

ИУС относятся к категории систем с интенсивным использованием программного обеспечения (ПО). ПО, представляющее программно-реализуемые и программно-поддерживаемые функции ИУС, является важным элементом, определяющим функциональную безопасность ИУС в целом. Это обуславливает необходимость измерения и оценивания качества ПО в течение всего жизненного цикла (ЖЦ) ИУС [1]. Базовыми этапами ЖЦ ИУС критического применения являются:

- разработка и предварительные испытания;
- квалификационные испытания (валидация, сертификация, лицензирование);
- приемка в опытную эксплуатацию и промышленную эксплуатацию;
- сопровождение и модернизация.

Задача обеспечения достоверных оценок характеристик качества ПО, реализующего или поддерживающего критические функции ИУС, является весьма актуальной.

Для эффективного оценивания (измерения) характеристик качества и функциональной безопасности ПО ИУС для конкретных случаев необходимо сформировать нормативный профиль требований к критическому ПО.

Нормативный профиль включает 3 ключевых элемента:

- эталонная ссылочная модель требований к качеству и функциональной безопасности ПО ИУС критического применения;
- спецификация методик и метрики оценки качества и функциональной безопасности ПО ИУС критического применения;
- спецификация инструментальных средств – утилит поддержки оценивания характеристик качества и функциональной безопасности критического ПО.

Наличие адекватного нормативного профиля, определяющего регулирующие требования к процессам, методам, метрикам и процедурам оценивания характеристик качества и функциональной безопасности ПО ИУС, является необходимым условием достижения и аттестации требуемого уровня функциональной безопасности при разработке конкретного проекта ПО ИУС критического применения.

## **1 Интегрированная инструментальная среда поддержки экспертизы**

Интегрированная инструментальная среда поддержки экспертизы и/или независимой верификации состоит из подсистем (комплексов утилит) поддержки сценария экспертизы ПО на аналитическом, информационном и организационном уровнях [1,3,4]. Нормализация объекта экспертизы при оценивании качества ПО ИУС обеспечивает стандартный интерфейс для использования методик и утилит – автоматизированных процедур интегрированной инструментальной среды.

Интегрированная инструментальная среда включает три комплекса утилит (подсистем):

1. статический анализ исходных кодов ПО ИУС;
2. формирование и профилирование нормативных требований к ПО ИУС;
3. интегральная оценка показателей качества и безопасности ПО ИУС.

**Комплекс утилит (подсистема) статического анализа исходных кодов ПО** обеспечивает анализ исходных кодов и оценивание базовых характеристик качества ПО с использованием метрик „физическая размерность”, „интервал значений”, „точность” переменных ПО для измерения семантических и интервально-точностных инвариантов (неизменных свойств) ПО ИУС [2]. Преимущество использования инвариантов заключается в том, что критерий правильности проверяемого кода определяется автоматически, - это контроль сохранности инварианта.

**Комплекс утилит (подсистема) формирования и профилирования нормативных требований к ПО ИУС** обеспечивает формирование, анализ и верификацию актуальных гармонизованных нормативных требований (нормативных профилей) конкретного проекта, которые устанавливаются на основе международных базовых стандартов серий IAEA NS-G-1.1, IEC 60880-2, ISO/IEC 9126, ISO/IEC 14598, IEC 61508, SE ECSS-E, Q, M- XX и соответствующих национальных стандартов.

Концепцией разработки подсистемы предусматривается использование скрининг-технологии. Скрининг -технология, реализуется с помощью 2-х базовых процедур:

- формирование профилеобразующей базы в соответствии с таксономией и установленной ссылочной базой регулирующих стандартов проекта ПО;
- формирование нормативного профиля конкретного проекта путем гармонизации дизъюнктов профилеобразующей базы с использованием процедур специализации и обобщения.

**Комплекс утилит (подсистема) интегральной оценки качества и безопасности ПО** обеспечивает формирование и визуализацию всех составляющих (частичной и обобщенных) оценок показателей качества и безопасности ПО. Классификация составляющих качества отображает регулирующие требования к ПО с учетом функционального назначения, уровня критичности, статуса разработчика и т.п.

## **2 Нормализованное представление объекта экспертизы**

Необходимым условием использования интегрированной инструментальной среды для поддержки экспертизы и независимой верификации ПО ИУС является нормализация представления конкретного проекта ПО ИУС. Нормализация является также необходимым этапом сценария для оценки неопределенности, получаемой при экспертизе результатов измерений. Неопределенность результатов зависит от 2-х факторов:

- а) полнота покрытия или охвата ПО ИУС как объекта экспертизы методиками оценивания;
- б) чувствительность используемых методов и реализующих их утилит, применяемых для оценивания характеристик ПО ИУС.

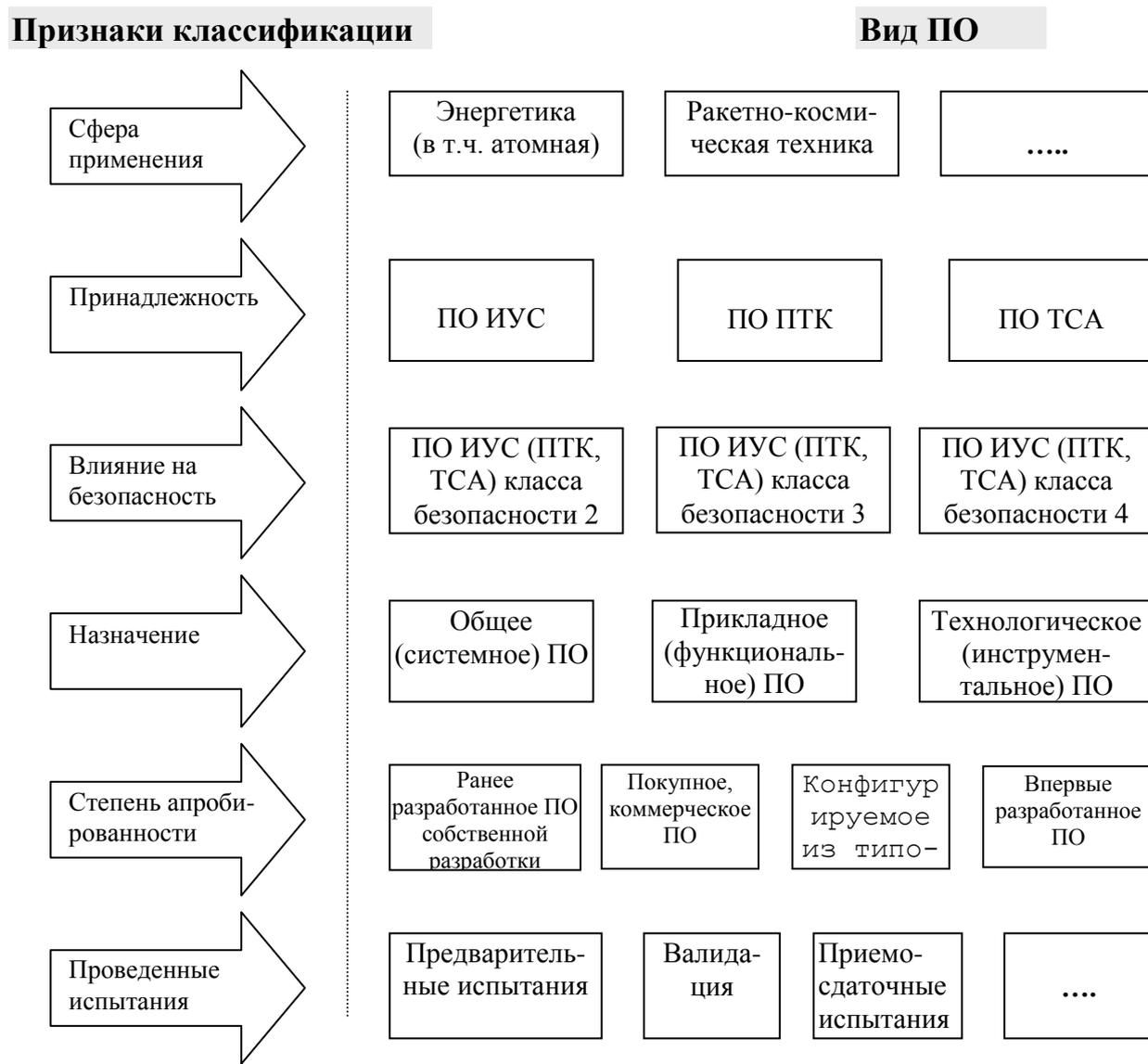
Основой для нормализации является классификатор.

Для определения номенклатуры характеристик качества ПО критического применения и дальнейшей конкретизации требований к различным видам программного обеспечения необходимо классифицировать ПО. В качестве признаков классификации выбраны:

- сфера применения;
- принадлежность ПО;
- влияние на безопасность;
- назначение;
- степень апробированности;

– объем проведенных испытаний.

По этим признакам ПО образует фасетно-иерархическую классификацию, в которой отдельные группы его видов относительно независимы (рисунок 1).



Конкретный маршрут в классификаторе выбирается при рассмотрении конкретного проекта ПО.

Необходимо отметить, что:

- второй классификационный признак (принадлежность) не влияет на нормирование безопасности ПО и требования к ПО ИУС, ПО ПТК и ПО ТСА являются едиными;

- по признаку назначения специфические требования предъявляются к инструментальным средствам, используемым при разработке и верификации, а требования к общему и прикладному ПО симметричны;

- степень апробированности существенно влияет на объем регулирующих требований к ПО по каждому из его видов;

- в зависимости от влияния на безопасность требования к ПО существенно отличаются и их необходимо учитывать при выборе характеристик качества;

- объем проведенных испытаний (последний признак) позволяет оценить надежность и качество проверяемого ПО.

В результате нормализации формируется оценочная модель ИУС (рисунок 2).

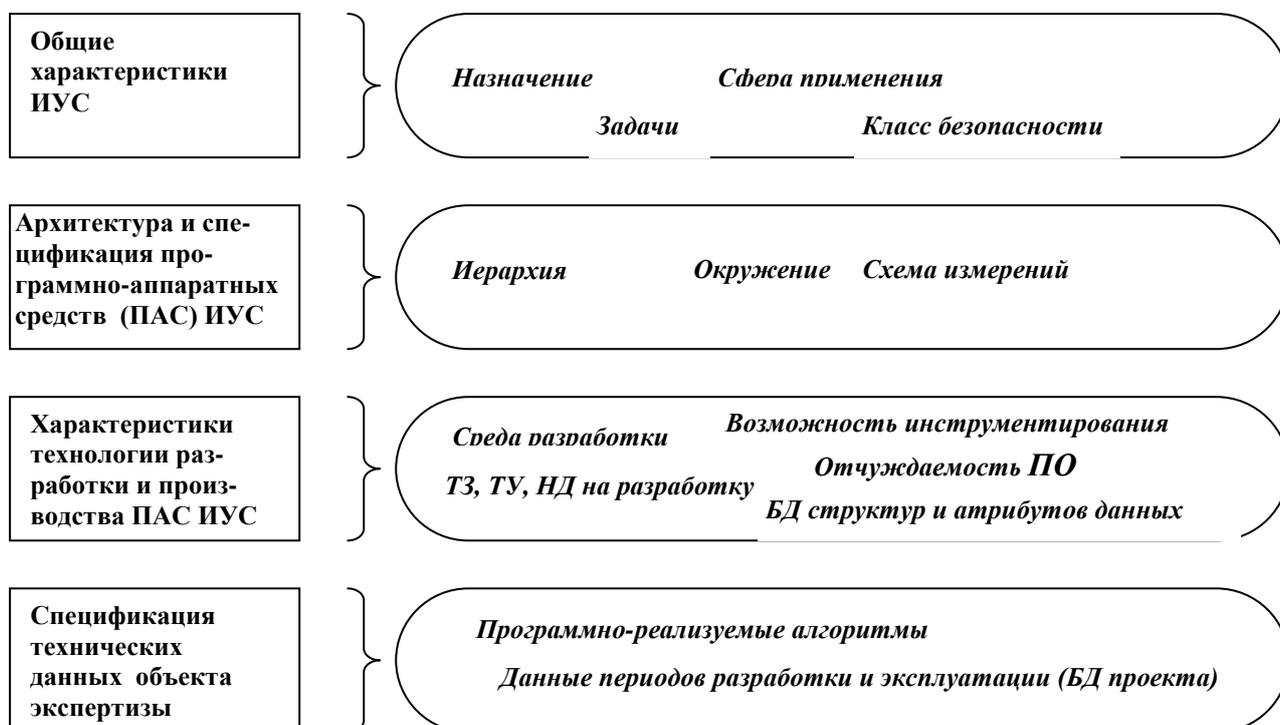


Рисунок 2 – Нормализованное представление объекта экспертизы (укрупненное представление оценочной модели ПО ИУС)

Оценочная модель представляет описание конкретной ИУС и выполняется на основе классификатора эталонной модели. Эталонная модель представляет шаблон для полного, однозначного и непротиворечивого перечисления свойств ИУС, существенных для проведения экспертизы или независимой верификации ПО.

Процедура формирования оценочной модели основана на технологии опросных листов. Данные опросов заносятся в БД. Для формализации (компьютерного представления) хранения и использования необходимо также решить проблему языка.

Принцип построения опросного листа (возможный вариант) представлен в таблице 1.

Таблица 1

**Опросный лист для формирования нормализованного представления  
объекта экспертизы**

Элемент нормализованного представления объекта экспертизы	Описание или ссылки на ТД	Примечания, комментарии
1. Общие характеристики ИУС. Назначение. Задачи. Сфера применения. Класс безопасности.		
2. Архитектура и спецификация программных или программно-аппаратных средств ИУС (нижний уровень, сетевой уровень, верхний уровень).		
2.1 Схема измерений характеристик и атрибутов ПО, использованная разработчиком при верификации и валидации на этапе разработки		
2.2 Распределение критичности FMESCA, FTA (вероятность-последствия отказов) для составных частей структуры ПО		
3. Общие характеристики технологии разработки и производства программных или программно-аппаратных средств ИУС с использованием САПР (или инструментальных средств).		

3.1 Характеристики и функциональные возможности используемой САПР или инструментальных средств (включая платформу и ОС).		
3.2 Возможность отчуждения ПО ИУС и наличие соответствующей документации.		
3.3 Наличие ТЗ, ТУ, НД на разработку ПО или ИУС в целом, включая ПО.		
3.4 Программно-реализуемые критические функции ИУС и наличие соответствующей документации: формульные схемы, диаграммы, таблицы и т.п.		
3.5 Наличие БД, содержащей структуры и атрибуты данных для всех уровней архитектуры программно-аппаратных средств ИУС.		
3.6 Возможность инструментирования путем расстановки «зондов»- КТ для проверки инвариантов «семантика» и «численное значение» переменных ПО (если отчуждение ПО возможно) или алгоритмов если ПО не отчуждается) с использованием утилит или средствами САПР.		
3.7 Возможность анализа и изменения атрибутов в КТ инструментированной версии ПО (или алгоритмов) утилитами или средствами САПР.		
3.8 Языки проектирования и языки программирования при использовании САПР (или инструментальных средств).		
3.9 Какие стандарты поддерживаются САПР.		
4. Спецификация ТД объекта экспертизы.		
4.1 Исходное ПО для всех компонентов архитектуры ИУС.		
4.2 БД ПО ИУС (период разработки и период эксплуатации).		
4.3 Программно-реализуемые алгоритмы (функции).		

### **Заключение**

Нормализация информации и ТД проекта является необходимым условием проведения экспертизы и/или независимой верификации ПО ИУС критического применения с использованием инструментальных средств – утилит объективной оценки качества ПО. Нормализация представления объекта экспертизы выполняет роль раскрытия спецификации ПО ИУС.

При оценивании качества и надежности сложных систем присутствует неопределенность оценки. Нормализация представления объекта экспертизы является необходимой процедурой для оценки степени такой неопределенности.

Для решения задачи нормализации предложен подход, основанный на использовании эталонной и оценочной моделей. Эталонная модель определяет спецификацию существенных свойств ПО ИУС. На основе эталонной модели через процедуру опросных листов формируется оценочная модель.

Разработка модели нормализованного представления является основой для быстрого и четкого (формального, специфицированного) обмена информацией о проверяемом ПО критического применения между различными организациями (включая регулирующие органы и фирмы-производители).

### Литература

1 Конорев Б.М., Харченко В.С., Чертков Г.Н. Концепция и принципы реализации интегрированной инструментальной системы для поддержки экспертизы и независимой верификации критического программного обеспечения. // Государственный комитет ядерного регулирования Украины, Государственный центр регулирования качества поставок и услуг, Сертификационный центр АСУ, Харьков, 2003. – 60 стр.

2 Конорев Б. М. и др. Модель оценивания качества ПО ИУС критического применения на основе инвариантов. //Радиоэлектронные и компьютерные системы, 2006г., №7, с. 162-170, Харьков «ХАИ» 2006.

3 Б. М. Конорев, В.С. Харченко и др. Оценивание качества ПО ИУС критического применения: диверсификация технологий верификации. // Труды Международного Симпозиума “Измерения важные для безопасности в реакторах” Словакия, Смоленице, 25-27 октября 2005г, с. X- 1/11 – 11/11.

4 Конорев Б.М., Алексеев Ю.Г., Сергиенко В.В., Харченко В.С., Чертков Г.Н. Риск-ориентированный подход к оценке ИУС АЭС критического применения с учетом независимой верификации // Материалы Международного Симпозиума “Измерения на АЭС важные для безопасности ” Москва, 23-25 ноября, 2004.

## **ТИПИЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ РАЗРАБОТКЕ И СЕРТИФИКАЦИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ**

Прошло уже почти пять лет с момента введения в действие ДСТУ ISO 9001-2001 «Системы управления качеством. Требования». Многие предприятия за это время разработали и сертифицировали свои системы управления качеством (СУК). А те, кто еще не сделал этого, в ближайшее время сделают.

Что же побуждает предприятия сертифицировать свои СУК, хотя дело это в общем-то добровольное и достаточно дорогое?

Объясняется это просто: предприятия сертифицируют свои СУК, так как это выгодно! Сертификация СУК стала обязательным требованием для участия в большинстве тендеров, как в Украине, так и при поставках за рубеж.

Требование о разработке и внедрении СУК исходит и от владельцев предприятия. Особенно часто это происходит, когда такими владельцами становятся иностранцы.

Заинтересованные стороны, а именно потребители, собственники, инвесторы и т. д. тоже выдвигают требование о наличии сертифицированной СУК потому, что им нужны гарантии стабильной (применительно к качеству продукции) работы предприятия. А гарантию может дать СУК, построенная в соответствии с требованиями стандарта ДСТУ ISO 9001-2001. В п. 1.1 этого стандарта указано: "Этот государственный стандарт устанавливает требования к системе управления качеством, если организация должна доказать свою способность систематически поставлять продукцию, которая отвечает требованиям заказчика и применимым регламентирующим требованиям...".

Сказанное выше позволяет сделать вывод, что в теории добровольная сертификация СУК на практике постепенно превращается в обязательную.

То, что интерес организаций к созданию СУК постоянно растет, подтверждается данными Международной организацией по стандартизации (ISO), в соответствии с которыми сегодня во всем мире сертифицировано более 700 тысяч систем управления качеством и каждый год почти в полтора раза увеличивается количество сертифицированных систем. Конечно, по состоянию внедрения систем управления качеством Украина отстает от развитых стран. Общее количество действующих сертификатов по состоянию на 01.01.06 г. выданных предприятиям Украины органами по сертификации Системы УкрСЕПРО и другими органами по сертификации, которые сертифицируют системы по международным стандартам ISO (в других системах), составляет более 1400.

Однако в процессе разработки и внедрения СУК, соответствующей

требованиям стандарта ДСТУ ISO 9001-2001, возникает немало проблем, многие из которых предприятия создают себе сами, затрачивая на их решение большое количество времени и денег. Давайте же рассмотрим эти проблемы.

#### 1. Неправильный выбор консультанта

В настоящее время очень многие организации предлагают консалтинговые услуги по разработке СУК, отвечающей требованиям стандартов ISO серии 9000, причем зачастую консультанты, работающие в этих организациях, не имеют необходимого опыта построения систем управления и, что не менее важно, не обладают достаточным производственным опытом. Как же не ошибиться в выборе консалтинговой фирмы?

Прежде всего, стоимость предоставляемых услуг не должна быть основным критерием, обязательно нужно попытаться оценить качество этих услуг до заключения договора на консультации. Критериями при выборе фирмы-консультанта могут быть:

а) Предлагаемые сроки реализации проекта и характер оказываемых услуг.

Говоря о сроке реализации проекта, нужно уточнить, какой срок подразумевает консалтинговая фирма. Иногда речь может идти о времени, необходимом только для разработки документации, без учета времени на обучение персонала и внедрение СУК. В этом случае реальные сроки реализации проекта могут оказаться на четыре-пять месяцев длиннее. Что касается характера услуг, то прежде всего не следует прибегать к услугам консультантов, предлагающих предприятию готовый комплект документации СУК или обещающих, что всю документацию СУК они напишут для организации сами. Поскольку консультант не может знать специфику и процессы организации также хорошо, как ее сотрудники, то в обоих случаях ценность документации СУК и соответственно ценность СУК заказчика сводятся к нулю.

б) Опыт работы консалтинговой фирмы.

Целесообразно узнать общий опыт работы консалтинговой фирмы, опыт консультирования по заявленному стандарту и опыт работы с предприятиями аналогичного профиля или специфики.

в) Штат консультантов.

Имеет смысл оценить численность штатных и привлекаемых внештатных консультантов. Предпочтительной является фирма, располагающая значительным числом штатных консультантов.

г) Выполненные работы.

Необходимо выяснить, были ли у консалтинговой фирмы клиенты аналогичного профиля, и если да – запросить отзывы. Однако не стоит чересчур доверять положительным отзывам и благодарственным письмам, поскольку было бы наивно ожидать, что компания также представит и отрицательные отзывы со стороны клиентов. Информация о том, какое число бывших клиентов после создания СУК продолжили пользоваться услугами данной консалтинговой фирмы, также может быть интересна для анализа.

д) Предлагаемый спектр услуг.

Большой спектр услуг, которые консалтинговая фирма может предложить своим клиентам, как в процессе создания СУК, так и при ее дальнейшем совершенствовании, говорит о постоянном повышении квалификации специалистов и серьезной методической работе в компании. Иногда консалтинговые фирмы в качестве дополнительной услуги предлагают сопровождение процесса сертификации, причем сразу оговаривается ряд органов по сертификации, для которых эта услуга действует.

2. Руководство и персонал предприятия не воспринимает и не реализует рекомендации консультанта (или реализует, но с большим опозданием).

Руководство предприятия иногда не понимает того, что хотя консультант является лицом, заинтересованным в конечном результате, однако он не может выполнить работу за персонал организации. Если у сотрудников предприятия нет мотивации, то консультант не сможет заставить персонал работать в направлении реализации проекта по созданию СУК.

3. Руководство предприятия не понимает того, что для разработки и внедрения СУК требуются ресурсы не только на проведение консультаций и сертификационного аудита.

Иногда предприятия пытаются построить СУК с минимальными расходами, не вводя в штат необходимых специалистов в данной области. Руководство назначает подразделение, отвечающее за реализацию задачи по разработке СУК: как правило, это ОТК или технический отдел. Проводится обучение, составляются мероприятия, а дальше возникают проблемы с их выполнением. Практика показывает, что деятельностью по созданию, внедрению и поддержанию функционирования СУК должны заниматься освобожденные специалисты, численность которых для предприятия с численностью скажем, должна составлять 1-3 человека.

Попытки решить задачу без выполнения этого условия в большинстве случаев не приводят к достижению результата вообще или приводят к длительным срокам реализации проекта. И, конечно, этих специалистов нужно обучить пониманию и реализации требований стандарта ISO 9001:2000.

4. Неправильная организация процесса обучения персонала реализации требованиям стандарта ISO 9001:2000.

Наиболее эффективным способом организации обучения является обучение части персонала (всего высшего руководства и части руководителей среднего звена) на семинарах, проводимых представителями консалтинговых фирм на своей территории, и другой части (некоторых руководителей среднего звена и всего рядового персонала) на семинарах, проводимых представителями консалтинговых фирм на территории предприятия. Далее обученные специалисты передают полученные знания остальным сотрудникам предприятия. Такая организация связана с тем, что руководители, как правило, работают в условиях постоянного дефицита времени, и им довольно сложно выделить время на обучение, если обучения проводится без отрыва от производства.

5. Руководство считает, что СУК, соответствующая требованиям стандарта ДСТУ ISO 9001-2001, может быть создана на предприятии за три-пять месяцев, включая ее сертификацию.

Задача ставится подчиненным, которые еще и не слышали о существовании такого стандарта, а если слышали, то весьма немного. В таком случае система может быть создана только на бумаге, потому что в такой срок выполнить подобную задачу маловероятно. На разработку и внедрение СУК может потребоваться в среднем от 8 до 15 месяцев (в зависимости от исходного состояния и числа работников в организации). Конкретные сроки разработки и внедрения можно определить после анализа существующего состояния и оценки степени соответствия действующей СУК требованиям стандарта ДСТУ ISO 9001-2001. Это можно сделать либо силами собственных обученных специалистов, либо с привлечением опытных консультантов.

6. Непонимание высшим руководством предприятия своей роли и своих обязанностей при построении СУК.

Встречаются ситуации, когда первые руководители инициируют проект по разработке СУК (выпускают приказ) и после этого самоустраняются от участия в его реализации. Иногда их участие заканчивается утверждением мероприятий по разработке СУК, реализация которых ими уже не контролируется. Однако руководители не должны забывать, что по их отношению к проекту подчиненные судят о его важности. Если руководство не проявляет заинтересованности, то также будут себя вести и подчиненные, и в таком случае вероятность успешного внедрения СУК близка к нулю.

Поэтому рекомендуется применять методологию, известную как PDCA: Plan-Do-Check-Act (Планирование - Исполнение - Проверка - Воздействие). Ее суть заключается в последовательном выполнении следующих действий: спланировать, что нужно сделать; выполнить задуманное; проконтролировать выполнение и проанализировать результаты; предпринять действия по улучшению деятельности на основе результатов анализа. Только таким образом можно достичь поставленных целей.

7. Разработка документации СУК осуществляется службой качества без участия других подразделений и руководителей.

При этом документация будет разработана (служба по качеству не может не выполнить указания руководства), но реальное положение дел будет сильно отличаться от того, что написано. Ведь сотрудники службы качества не могут быть специалистами во всех областях деятельности.

Один из частных случаев развития такой ситуации - покупка готового пакета документированных методик у какой-либо фирмы. После получения подобных документов СУК у подразделений возникает огромное желание положить их на полочку и более не брать их в руки. Требуемые документированные методики целесообразно разрабатывать тем подразделениям, которые в наибольшей степени будут пользоваться ими. Руководство по качеству также лучше создавать, привлекая специалистов из различных областей деятельности. Специалисты службы качества, конечно же, должны участвовать в составлении документации СУК, а именно, в разработке

документов общесистемного характера (например, методик управления документацией, управления записями и т. д.), а также в проверке соответствия разрабатываемой другими подразделениями документации требованиям стандарта ДСТУ ISO 9001-2001.

8. Предприятие формально подходит к реализации проекта, пытаясь построить систему только на бумаге

Это происходит тогда, когда на предприятии преобладает желание получить сертификат на СУК любым способом. Однако если СУК существует только на бумаге, то это с большой вероятностью выяснится в дальнейшем: как на сертификационном аудите, так и при проверке со стороны заказчика, который может пожелать перед заключением крупного контракта посмотреть на предприятие самостоятельно.

9. Предприятие не уделяет внимания проведению предупреждающих действий или совсем их не осуществляет.

Плохо, если данная проблема обнаруживается на сертификационном аудите. Одной из возможных причин может быть то, что для проведения предупреждающих действий нужно уметь предвидеть развитие событий, анализировать информацию, в отличие от корректирующих действий, где надо исправлять то, что уже произошло. Другой возможной причиной может быть то, что две обязательные процедуры (корректирующие действия и предупреждающие действия) объединяют в одну и называются "корректирующие и предупреждающие действия", однако, по сути, говорится о проведении только корректирующих действий, т. е. действий после того, когда несоответствие возникло.

10. Не уделяется должного внимания этапу внедрения, следующему за разработкой документации СУК

После разработки методик руководство предприятия ждет, когда все это заработает. Однако при нашем отношении к нормативной документации ничего не заработает без дополнительных усилий. Если персонал предприятия до этого момента не умел работать по правилам (требованиям нормативной документации), то не следует ждать, что в этом случае события будут развиваться по иному сценарию.

В стандарте ДСТУ ISO 9001-2001 заложены механизмы, позволяющие решить данную проблему: обучение персонала, внутренний аудит. Следует обучать персонал новым правилам, оценивать результативность обучения, проверять выполнение персоналом установленных правил, и все это снова и снова.

В заключение хотелось бы отметить, что, конечно, проблем на пути разработки и внедрения СУК в соответствии с требованиями стандартов ISO серии 9000 гораздо больше. Ведь каждая организация имеет свою специфику. Но постарайтесь не создавать сами себе проблем, о которых рассказано выше, и у вас останется больше сил, времени и других ресурсов на создание системы.

**В.В. КРАВЦОВ**

*ГП Государственный центр регулирования качества поставок и услуг*

## **ПРИНЦИП «СКВОЗНОЙ» СЕРТИФИКАЦИИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В СФЕРЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ**

В настоящее время общепризнанно, что сертификация — одна из наиболее эффективных форм подтверждения качества продукции или услуг, а также их конкурентоспособности на внутреннем и внешних рынках. В настоящее время сертификация является средством правового регулирования торговых отношений и формирования партнерства между производителями и потребителями продукции и услуг.

Современные формы сертификации обеспечивают:

- гарантию качества продукции (услуги) путем предотвращения попадания на рынок продукции, не соответствующей требованиям нормативных документов;
- доверие к качеству экспортируемой продукции;
- предотвращение импорта продукции, не отвечающей требованиям нормативных документов;
- замещение импортной продукции высококачественной отечественной;
- защиту изготовителя от конкуренции с поставщиками несертифицированной продукции;
- расширение рекламных возможностей поставщика;
- стабильное качество конечной продукции.

В сфере использования атомной энергии особое значение должно уделяться сертификации сложных технических систем - автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП), систем управления защитой (СУЗ), систем физической защиты (СФЗ), систем пожарной безопасности (СПБ) и т.п. (далее - СТС), отказы которых могут привести к тяжелым, а порой и непредсказуемым последствиям.

Несмотря на разнообразие назначения, состава и условий использования все СТС обладают некоторыми основными общими свойствами, позволяющими объединить их в один класс. К таким общим свойствам относятся целостность, эмерджентность, иерархичность и конечность.

*Целостность* подразумевает целенаправленную работу всех компонентов СТС как единого целого для выполнения системой ее назначения.

*Эмерджентность* определяет появление у СТС свойств, которые не присущи ее компонентам и вызваны неаддитивностью характеристик

системы, нелинейностью связей между характеристиками системы и характеристиками ее компонентов.

*Иерархичность* структуры СТС понимается как возможность представления системы частью суперсистемы более высокого уровня иерархии, а любой части системы — как системы более низкого уровня.

*Конечность* СТС указывает на конечность потребных для ее создания ресурсов, т.е. принципиальную ее реализуемость.

Помимо этих свойств СТС присущи сложность, высокая стоимость, многоцелевой характер.

Сложность СТС определяется большим числом ее возможных состояний. В стоимость включаются затраты на создание, производство и эксплуатацию. Многоцелевой характер СТС приводит к необходимости характеризовать ее свойства рядом показателей, требования к которым нередко оказываются противоречивыми.

Формы и методы сертификации сложных изделий отличаются от традиционных подходов, применяемых при сертификации более простого оборудования.

Анализ отечественных и зарубежных процедур сертификации СТС свидетельствует, что основная отличительная особенность зарубежной технологии их проектирования и создания заключается в сертификационной направленности всех видов работ (начиная с этапа эскизного проектирования), т.е., по существу, в реализации принципа так называемой «сквозной» сертификации, нашедшего широкое применение в мировой практике. Орган по сертификации сложных изделий включается в сертификацию не на заключительном этапе производства (когда изделие уже спроектировано и изготовлено), а с начала проектирования на всех этапах создания опытного изделия и включает значительные объемы моделирования и наземных лабораторно-стендовых испытаний на воздействие широкого спектра условий и факторов жизненного цикла изделия, когда имеется возможность корректировать мероприятия по повышению надежности и безопасности изделий.

В этом случае еще на ранних стадиях создания СТС могут быть вскрыты недостатки, в том числе несоответствие требованиям норм, правил и стандартов по ядерной и радиационной безопасности (ЯБР), которые легче устранить до или в процессе создания опытной СТС, чем во время его испытаний.

Для реализации этого принципа уже на этапе эскизного проектирования разрабатывается программа сертификации, которая охватывает все виды работ.

Зарубежные фирмы относят разработку и развитие программы сертификации к серьезной инженерной работе, выполняемой проектировщиками и специальной службой (подразделением, отвечающим за координацию работ по сертификации).

Характерной особенностью работ на всех этапах разработки является их сертификационная направленность, ориентация на последовательное заполнение пунктов таблиц соответствия, т.е. доказательство (методами

анализа, статистическими данными, рабочей технической документацией, результатами испытаний) соответствия характеристик СТС требованиям НТД.

Программа «сквозной» сертификации должна включать создание моделей, стендов и других установок; разработку или уточнение методов исследований; проведение моделирования, лабораторных, стендовых испытаний с оценкой соответствия СТС требованиям норм, правил и стандартов ЯБР.

Следует особо отметить, что важнейшей процедурой реализации принципа «сквозной» сертификации является верификация, которая в мировой практике находит все более широкое применение, главным образом, при проверке и оценке результатов проектно-конструкторских работ (выполняемых соответствующими конструкторскими подразделениями) на начальном этапе создания новой техники.

Данная процедура является практически единственным способом подтверждения истинности и правильности принятых технических решений в условиях большой степени неопределенности, имеющей место на начальных этапах проектирования, когда еще нет изготовленных элементов проектируемых СТС и их испытания еще невозможны. Верификации подлежат вновь разработанные конструкции элементов СТС и процессы их функционирования; мероприятия по повышению качества изделий; оценка результатов реализации этих мероприятий и т.д.

Верификация (в зависимости от характера, особенностей и вида оцениваемых технических решений) может основываться на аналитических исследованиях; расчетах; математическом и физическом моделировании; тщательном анализе исходных данных, проектно-конструкторской, технологической и эксплуатационной документации; сравнении с образцами-аналогами и т. д.

По результатам верификации, по которым выявлены те или иные несоответствия, разрабатываются и реализуются *предупреждающие мероприятия*, охватывающие различные аспекты деятельности конструкторского бюро, направленные на устранение выявленных при верификации несоответствий (дефектов конструкции и др.) и, тем самым, на повышение безопасности и надежности СТС. Для доказательства эффективности предупреждающих мероприятий они, в свою очередь, также подвергаются процедурам верификации.

Документированные результаты верификации используются при завершающей сертификации изделий в качестве *доказательной документации* наряду с результатами испытаний, статистическими данными о качестве изготовления и эксплуатации изделий, результатами исследования отказов и оценкой эффективности мероприятий по повышению безопасности и надежности, разрабатываемых и реализуемых на последующих стадиях создания СТС.

К следующему этапу «сквозной» сертификации, проводимой на начальных этапах проектирования, можно отнести лабораторно-стендовые сертификационные испытания уже изготовленных образцов

спроектированных агрегатов, механизмов, узлов и систем создаваемых сложных технических изделий.

В развитие вышеуказанного подхода представляется целесообразным приведение в соответствие отечественных требований и норм лабораторно-стендовых испытаний с общепринятыми в мировой практике требованиями и нормами развитой системы сертификационных испытаний, связанной с условиями рыночной конкуренции и жесткой регламентацией качества.

Таким образом, правомерно заключить, что для придания лабораторно-стендовым испытаниям *сертификационной направленности*, методы и средства проведения лабораторно-стендовых сертификационных испытаний также должны быть подвергнуты процедурам верификации, т.е. проверке и доказательству (подтверждению) их соответствия требованиям норм, правил и стандартов ЯБР.

В связи с вышесказанным еще на начальном этапе создания изделия должны разрабатываться методики сертификационных испытаний СТС и экспериментально-испытательных средств, с помощью которых на этапе лабораторно-стендовой отработки будет осуществляться заполнение значительного объема таблицы соответствия. Данная работа должна быть завершена к концу *этапа разработки рабочей документации* и входить в состав документации при экспертизе этой рабочей документации с целью формирования заключения о ее соответствии требованиям норм, правил и стандартов ЯБР для дальнейшего согласования с регулирующим органом.

По завершению вышеописанных мероприятий, дальнейшие работы по сертификации проводятся в соответствии с действующими процедурами подтверждения соответствия.

#### *Литература*

1. Закон України “Про дозвільну діяльність в сфері використання ядерної енергії”
2. Качалов В.А., Горлов В.Н. Применение методов системного анализа при рассмотрении концептуальных вопросов создания системы сертификации продукции атомной промышленности и энергетики. Управление качеством и сертификация продукции в атомной промышленности и энергетики. - М., 1995.
3. Барабанов В.В., Захаров М.Г., Крель Н.Л., Пархотин И.И., Аростанова И.В. Концепция сертификации обеспечения надежности сложной наукоемкой продукции. Проблемы продвижения продукции и технологий на внешний рынок. - М., 1997.

**В.И.КРАСНОВ<sup>1</sup>, В.В. МЕЛЬНИК<sup>1</sup>, Б.Е.СИМКИН<sup>1</sup>, А.Т.СОКОЛОВ<sup>1</sup>,  
В.А.ПОЛИВЕНОК<sup>1</sup>, М.А.ЯСТРЕБЕНЕЦКИЙ<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>ЛьвовОРГРЭС, <sup>2</sup>Государственный научно-технический центр ядерной и радиационной безопасности*

## **ВЕРИФИКАЦИЯ И ВАЛИДАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОБЛОКОВ АЭС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛЕЙ БЛОКОВ**

Данная статья рассматривает один из важнейших аспектов модернизации автоматических систем регулирования (АСР) энергоблоков АЭС - связанную с этим необходимость верификации и валидации их математического и программного обеспечения. Актуальность вопроса заключается в том, что именно работа АСР, которая является частью информационной и управляющей системы (ИУС) блока, должна обеспечивать поддержание технологических параметров в заданных проектом пределах и, тем самым, снижать вероятность включения в работу следующих элементов эшелонированных барьеров обеспечения безопасности.

Модернизация АСР занимает соответствующее место в отраслевой программе поэтапной модернизации – уже проведена на ряде блоков и предусматривается в ближайшие годы модернизация АСР первого и второго контуров на Запорожской, Южно-Украинской, Ровенской и Хмельницкой АЭС, модернизация аппаратуры автоматического регулятора мощности реактора – регулятора ограничения мощности – ускоренной предупредительной защиты (АРМ-РОМ-УПЗ). Аналогичные работы ведутся на АЭС России и Болгарии.

Верификация и валидация математического и программного обеспечения является ключевым вопросом обеспечения безопасности в процессе проектирования и внедрения АСР. Модернизация АСР коренным образом отличается от модернизации других ИУС, таких, например, как дискретные системы управления - защиты и блокировки. Это отличие заключается в том, что если при модернизации дискретных систем управления стремятся, как правило, полностью сохранить алгоритмы функционирования существующих систем, развивая их элементами контроля и самодиагностики, то при модернизации АСР производят изменение алгоритмов их работы. Так, в большинстве АСР на действующих энергоблоках АЭС используется аналоговая аппаратура авторегулирования и уже простой переход на цифровую аппаратуру и цифровые законы регулирования изменяет АСР. Более того, существующие АСР, как правило, не являются всережимными, зачастую не удовлетворяют требованиям по качеству регулирования в полном диапазоне нагрузок энергоблока и во всех проектных переходных процессах. Это обстоятельство приводит к тому, что разработчики проектов модернизации АСР вносят в

алгоритмы их работы новые элементы, ранее отработанные на других АСР и других типах энергоблоков. К новым элементам относятся, прежде всего те, которые повышают качество регулирования и обеспечивают всережимность АСР. Следует отметить, что у разработчиков АСР в Украине имеется большой опыт перехода от аналоговых АСР к цифровым. Это работы по разработке и внедрению цифровых АСР второго контура, выполненные предприятием ЛьвовОРГРЭС на АЭС «Козлодуй», работы ЛьвовОРГРЭС и ХГПЗ им. Т.Г.Шевченко на энергоблоках Южно-Украинской, Запорожской и Ровенской АЭС, работы ЛьвовОРГРЭС совместно с Вестрон и Westinghouse по системам регулирования парогенераторов на блоках Южно–Украинской АЭС и др.

Большое значение для верификации алгоритмов имеет проведение анализа устойчивости систем управления, как это предусмотрено документом «Общие положения обеспечения безопасности атомных станций» НП306.1.02/1.034-2000 [3].

В [1] проанализированы особенности модернизации систем регулирования с переходом от аналоговой на микропроцессорную технику, рассмотрены подходы к проведению анализа устойчивости контуров регулирования и проведению верификации и валидации алгоритмов.

В [2] определены подходы к верификации алгоритмов сложных взаимосвязанных цифровых систем регулирования, сочетающих в себе цифровые методы обработки информации, логическое управление по возмущению, корректирующие воздействия при изменении нагрузки энергоблока и режима его работы.

Объекты регулирования энергоблока АЭС характеризуются сложными динамическими взаимосвязями между контурами регулирования, разнообразием исходных событий переходных процессов, при которых АСР должны удовлетворять высоким требованиям по ограничению отклонений технологических параметров, переменностью динамических свойств при изменении нагрузки и при изменении режима работы энергоблока. Например, взаимосвязь между АСР давления и АСР уровня в деаэраторе проявляется в режиме холодного питания деаэраторов (при отключенных подогревателях низкого давления) и практически не проявляется при номинальной работе энергоблока. Поэтому предпочтительным для анализа устойчивости является подход, при котором обеспечивается учет всех взаимосвязей и имеется возможность исследовать все характерные переходные процессы. Этот подход является более трудозатратным на этапе проектирования, но сокращает вероятность ошибок при разработке АСР и уменьшает объем испытаний на действующем оборудовании. Этот подход нашел отражение в международных проектах модернизации АСР питания парогенераторов на энергоблоках 1 и 2 Южно-Украинской АЭС и на блоках ВВЭР-440 №3 и 4 АЭС «Козлодуй», в проекте модернизации АСУТ и регуляторов первого, второго контуров на энергоблоках №5 и 6 АЭС «Козлодуй», в проекте модернизации АРМ-РОМ-УПЗ, регуляторов УСБ блока №1 Южно-Украинской АЭС, а также в проектах модернизации блоков № 1 - 4 Запорожской АЭС.

Основными чертами этих проектов явились:

- разработка компьютерных моделей технологического оборудования и систем управления блока, влияющих на работу модернизируемой АСР;
- связь моделей с работающим в реальном масштабе времени ПТК АСР или с формализованным описанием алгоритмов АСР;
- экспериментальная проверка всех проектных переходных режимов на модели;
- выборочная проверка переходных процессов на действующем энергоблоке с сопоставлением их с переходными процессами на модели.

Модель технологического оборудования энергоблока ВВЭР-1000 и в последних проектах давала возможность тестирования почти всех регуляторов первого контура и машзала при работе блока на мощности и в пускоостановочных режимах. Объем моделирования включает следующее технологическое оборудование:

- Циркуляционный контур реактора (активная зона, циркуляционные трубопроводы, ГЦН, парогенераторы);
- Технологические системы первого контура (деаэраторы подпитки и борного регулирования, системы подпитки-продувки, уплотнения ГЦН, компенсатор давления, система продувки парогенераторов);
- Технологические системы второго контура (деаэраторы, турбопитательные и вспомогательные питательные насосы, аварийные питательные насосы, трубопроводы питательной воды к парогенераторам, паропроводы острого пара, паросбросные устройства, проточная часть турбины, СПП, конденсатор и конденсатный тракт, регенеративные подогреватели низкого и высокого давления, КСН, система уплотнения турбины, дренажный бак, технологический конденсатор, маслоохладители турбины);
- Электрогидравлическая система регулирования турбины.

Модель систем управления блока адекватно отображает работу жизненно важных систем управления, без которых невозможно правильно воспроизвести переходные процессы с имитацией аварийного отключения оборудования и разгрузки энергоблока. Это система группового управления органами СУЗ, системы, воздействующие на мощность реактора (АРМ-РОМ-УПЗ), АВР конденсатных насосов первой, второй ступени и сливных насосов ПНД, защита ПВД, система дистанционного управления запорной и регулирующей арматуры, механизмов с блокировками и т.д.

Математическая модель выполнена по модульному принципу, т.е. состоит из набора подмоделей отдельных технологических систем и систем управления блока, объединенных через оперативную базу данных. Каждый технологический узел или элемент описывается набором дифференциальных и нелинейных алгебраических уравнений, описывающих процесс с учетом конструктивных и физических характеристик технологического оборудования. Уравнения учитывают балансы тепла и массы, гидравлику первого и второго контуров, термодинамические уравнения состояний среды и т.д. Расчет модели производится в реальном масштабе времени с циклом 0.1 сек.

Так как с применением модели делаются выводы об устойчивости и качестве работы контуров управления во всех режимах работы блока и выбираются настроечные параметры, которые устанавливаются как исходные при вводе АСР в работу, а также принимаются решения о необходимости изменения структуры отдельных систем регулирования и их блокировок, к качеству модели предъявляются довольно жесткие требования. В каждом проекте модель адаптировалась под конкретный блок и производилась ее верификация. Так в проекте блоков №5,6 АЭС «Козлодуй» модель верифицировалась трижды с составлением протокола с представителями заказчика (при замене АСУТ, регуляторов первого контура и регуляторов вспомогательных систем второго контура). Модель должна сравниваться с реальным оборудованием блока в статике и в динамике. Для сравнения использовались стационарные данные: значения технологических параметров блока на нескольких нагрузках в статическом состоянии, переходные процессы на реальном оборудовании при аварийных режимах (из стационарного архива), переходные процессы, полученные на блоке в результате специально проведенных экспериментов. Кроме того, для верификации использовались данные, полученные ЛьвовОРГРЭС и другими организациями в результате экспериментов, проведенных на другом подобном оборудовании. В качестве примера на рисунках 1 - 4 приведены результаты сравнения модельных характеристик с реальными динамическими характеристиками оборудования энергоблока №6 АЭС «Козлодуй».

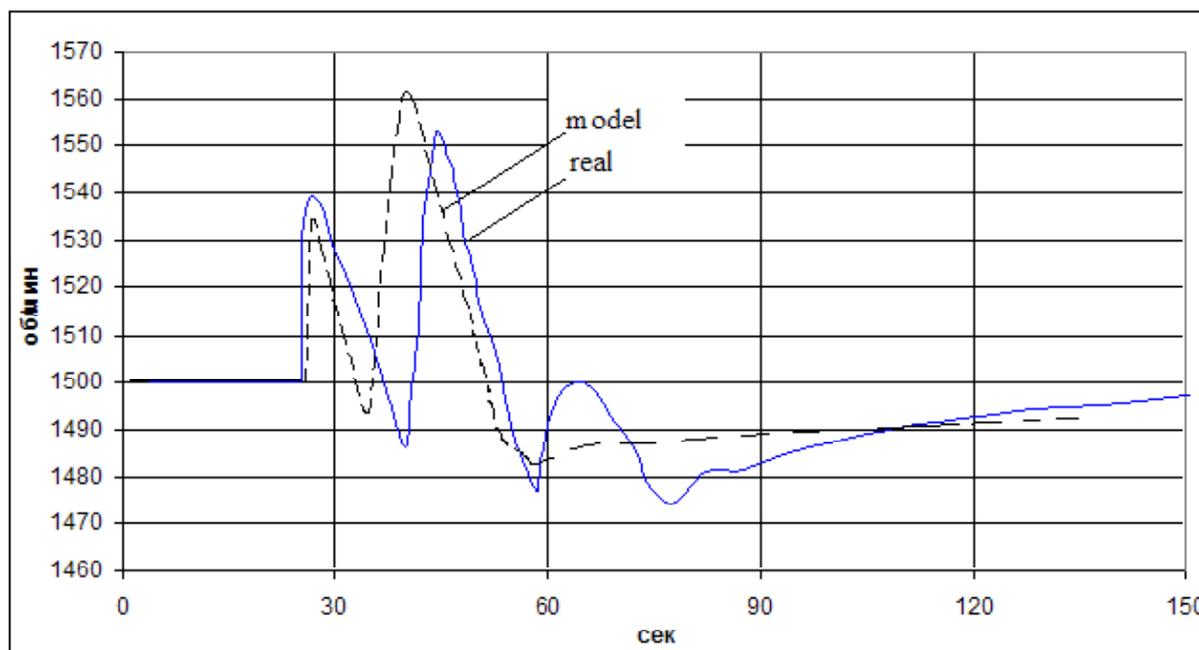


Рисунок 1 - Сравнение характеристик модели с реальным оборудованием в режиме сброса нагрузки турбины до собственных нужд. Переходной процесс изменения оборотов турбины

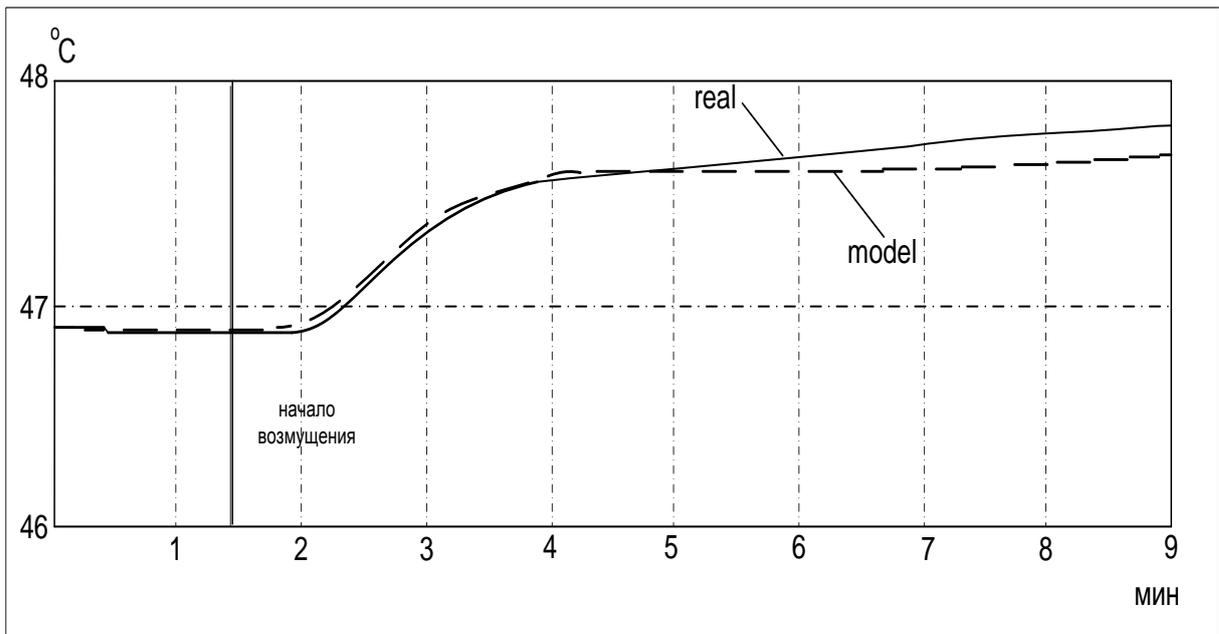


Рисунок 2 - Сравнение характеристик модели с реальным оборудованием при возмущении расходом воды на маслоохладители турбины. Переходной процесс изменения температуры масла за маслоохладителями

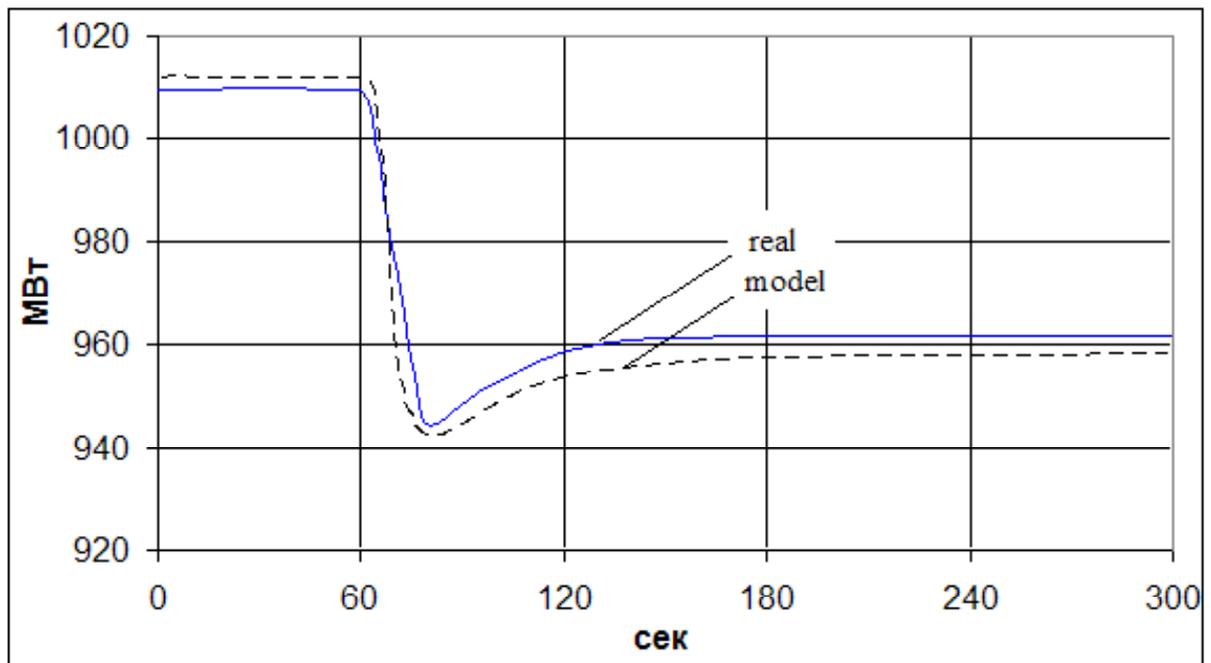


Рисунок 3 - Сравнение характеристик модели с реальным оборудованием при возмущении регулируемыми клапанами турбины. Изменение электрической мощности

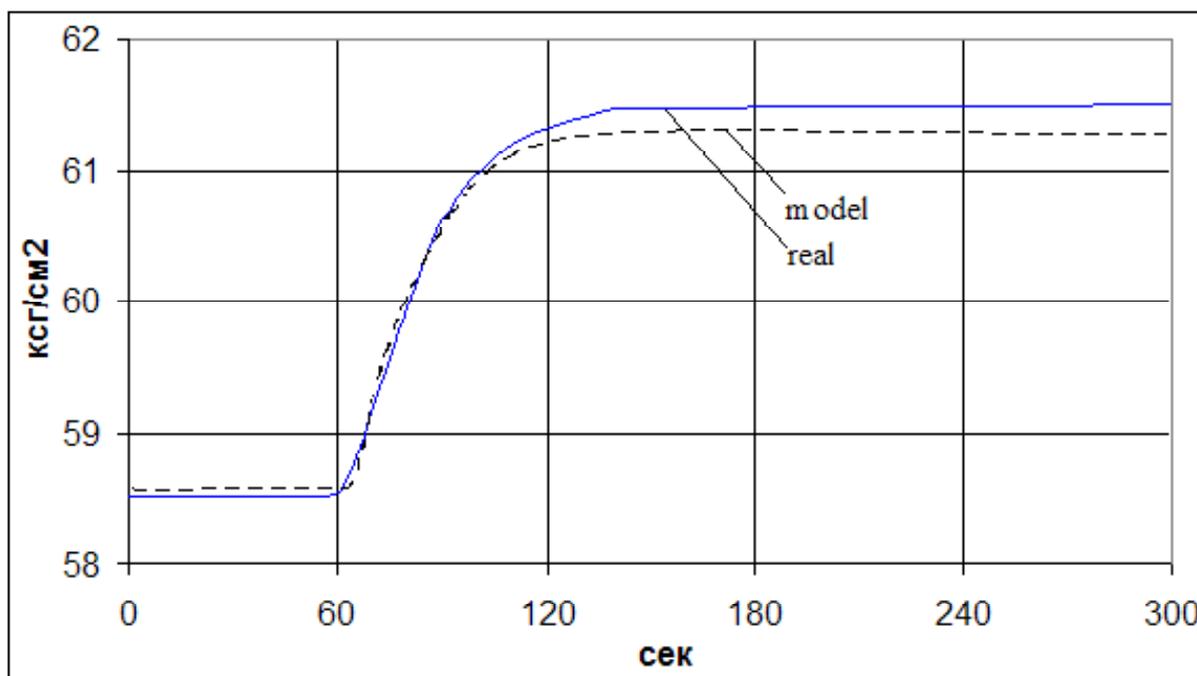


Рисунок 4 - Сравнение характеристик модели с реальным оборудованием при возмущении регулирующими клапанами турбины. Изменение давления пара в ГПК

Разработаны, верифицированы и использованы в различных проектах следующие модели:

- ВВЭР-1000. Блоки №1,2,3 Южно-Украинской АЭС;
- ВВЭР-1000. Блоки №1,2,3,4 Запорожской АЭС;
- ВВЭР-1000. Блоки №5,6 АЭС «Козлодуй»;
- ВВЭР-440. Блоки №3,4 АЭС «Козлодуй»;
- ВВЭР-440. Блок №2 Армянской АЭС;
- ВВЭР-1000. Блок №4 Ровенской АЭС;
- ВВЭР-1000. Блок №1 Хмельницкой АЭС.

Существует несколько вариантов интерфейса модели с тестируемой АСУ:

Формализованные алгоритмы и база данных верифицируемой системы управления транслируются в исполнимую программу для IBM-совместимого компьютера. Эта программа выполняется на том же компьютере, что и модель энергоблока. В результате проводится верификация математического обеспечения системы. Верификация программного обеспечения генерации загрузочных модулей и программного обеспечения функционирования контроллера осуществляется без использования модели. Примером такого подхода являются проекты реконструкции АСУТ энергоблоков №1-4 Запорожской АЭС;

Стойки реальной АСУ и ее верхний уровень (операторские и инженерная станции, исторический сервер и т.д.) соединяются с моделью энергоблока через разделяемую память (shared memory). В контроллеры тестируемой системы загружается реальное программное обеспечение, которое подлежит

верификации. Примером такого подхода являются проекты реконструкции АСУТ, регуляторов первого и второго контуров энергоблоков №5,6 АЭС «Козлодуй», а также проекты реконструкции системы управления питательной водой энергоблоков №1, 2,3 и регуляторов УСБ Южно-Украинской АЭС;

Стойки реальной АСУ и ее верхний уровень соединяются с моделью энергоблока через модули ввода/вывода. Примером такого подхода являются проект реконструкции системы управления питательной водой энергоблоков ВВЭР-440 №3,4 АЭС «Козлодуй», а также проект головного АРМ-РОМ-УПЗ, который был введен на энергоблоке №4 Ровенской АЭС.

Использование модели энергоблока при проведении верификации и валидации математического и программного обеспечения реконструируемых АСР энергоблоков АЭС позволило:

Провести анализ устойчивости систем управления, как требуется «Общими положениями обеспечения безопасности атомных станций» НП306.1.02/1.034-2000;

Объем верификации математического и программного обеспечения АСР значительно расширяется и охватывает пускоостановочные режимы работы блока, в диапазоне нагрузок, а также аварийные;

Тестирование АСР с участием модели во многих случаях показывает необходимость изменения структуры алгоритмов, так как проектные алгоритмы не обеспечивают требуемое качество регулирования во всех режимах работы энергоблока;

Применение модели энергоблока позволяет значительно сократить время верификации математического и программного обеспечения АСР;

Применение модели во время заводских приемочных испытаний позволяет убедительно продемонстрировать заказчику работоспособность системы во всех режимах работы энергоблока, облегчает сдачу системы;

Применение модели, как правило, позволяет сократить сроки ввода АСР в работу. Риск создания аварийных и нештатных ситуаций на работающем блоке при этом значительно уменьшается. Так как результаты динамических испытаний на блоке в значительной мере совпадали с результатами тестирования АСР с моделью, это позволило при вводе АСР в работу в значительной степени сократить необходимое количество динамических испытаний с отключением оборудования на реальном блоке;

Параметры настройки, найденные при тестировании АСР с моделью в значительной степени совпадали с параметрами настройки, установленными на реальной АСР при сдаче ее в эксплуатацию.

Следует отметить, что в некоторых случаях применение модели – это единственно возможный метод верификации математического и программного обеспечения АСР в тяжелых динамических режимах работы энергоблока, особенно АСР управляющих систем безопасности, когда проведение реального эксперимента затруднено или невозможно, исходя из условий безопасности.

## **Выводы и рекомендации**

1. Применение модели энергоблока как средства верификации и валидации математического и программного обеспечения АСР повышает качество проведения работы, обеспечивает ее документирование, сокращает сроки ввода АСР в работу, в некоторых случаях является единственным возможным способом надежного тестирования системы.

2. Так как с применением модели делаются важные выводы о качестве АСР и принимаются решения об изменении ее структуры, особое внимание следует уделять качеству разрабатываемой модели и ее обязательной верификации.

## **Литература**

1. М.А.Ястребенецкий, В.Г.Кондратенко, Б.Е.Симкин, А.Т.Соколов, В.А.Поливенко, В.И.Краснов. Оценка безопасности при модернизации систем регулирования АЭС. «Ядерная и радиационная безопасность», 4, 2004.

2. М.А.Ястребенецкий, Л.М.Любчик, В.С.Харченко, В.Н.Васильченко, Б.Е.Симкин, В.В.Мельник, В.А.Поливенко, Ф.Таулец. Нормирование и оценка безопасности информационных и управляющих систем. Оценка алгоритмов автоматического регулирования. «Ядерная и радиационная безопасность», 2,2002.

3. НП306.1.02/1.034-2000. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций.

## 6 ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА СКУ

УДК 681.3.06:621.3.049.75

**В.Б. ГОВЗАН**

*ЗАО «Северодонецкое научно-производственное объединение “Импульс”»*

### **ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ САПР ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ РСAD И СИСТЕМОЙ УСТАНОВКИ КОМПОНЕНТОВ НА ПЕЧАТНУЮ ПЛАТУ**

Переход на современные методы монтажа компонентов на печатные платы, требует от изготовителя продукции внедрения не только нового оборудования, но и применения соответствующих программных средств, которые позволяют в полной мере использовать это оборудование. Настоящая статья описывает разработку системы, которая позволила решить проблему ухода от «ручного» ввода информации необходимой для установки ЭРЭ на печатную плату, путём преобразования данных получаемых из САПР печатных плат РСAD в систему установки компонентов CSM 7000.

#### **Введение**

Широкое применение радиоэлектронных компонентов поверхностного монтажа в разработках ЗАО «СНПО „Импульс”» потребовал от предприятия приобретения и внедрения современного оборудования, позволяющего обеспечивать необходимое качество и скорость выполнения работ связанных с установкой компонентов поверхностного монтажа (SMD-компонентов) на печатную плату. Для этого в мае 2004 года предприятие приобрело оборудование швейцарской фирмы ESSEMTEC- автомат и ручной полуавтомат для установки SMD-компонентов, печь оплавления, трафаретный принтер для нанесения паяльной пасты и другое сопутствующее оборудование. После эксплуатации указанного оборудования в течении полугода, выяснилось что при одновременном изготовлении различных типов печатных узлов одним из узких мест было отсутствие своевременно подготовленных программ для установки компонентов. Зачастую эти работы сопровождалась повышенной трудоёмкостью, что отражалось и на сроках выполнения полного цикла монтажных работ, т.к. формирование программ для установки выполнялось непосредственно на основе топологии изготовленной печатной платы. В связи с этим, предварительная подготовка информации до получения печатной платы не производилась, что сказывалось на темпах производства. Все эти обстоятельства послужили основанием для разработки комплекта программ, которые обеспечили бы автоматизированное формирование данных для установки компонентов на печатную плату.

## Описание разработки системы

Основным фактором, который обеспечил возможность выполнения данной разработки, было то, что с приобретённым автоматом-установщиком CSM 7000 поставлялась программа CAD.exe (CAD-конвертор) которая позволяла преобразовывать данные, поступающие из CAD-системы в данные соответствующие по структуре входным данным автомата.

Проанализировав структуру входных данных автомата, было выяснено, что данные которые могут быть выгружены из pcb-файлов систем разработки печатных плат PCAD 4.5 и PCAD 2000, используемых на предприятии в настоящий момент, не в полной мере соответствуют входным данным автомата. В частности, данные которые могли быть получены средствами системы PCAD 4.5 не соответствовали структуре rnr-файла (Pick and Place - файл с указанием координат установки компонентов на печатную плату), т.к. в файле выгружаемом системой PCAD 4.5 (ins-файл) при помощи утилиты PC-INSERT содержались координаты всех электрорадиоэлементов (ЭРЭ), а для автомата-установщика требовались координаты только SMD-компонентов. Также в ins-файле некорректно по сравнению с rnr-файлом отображаются габариты платы и точка привязки.

Для PCAD 2000 структура rnr-файла соответствует входным данным CAD-конвертора, но для обеспечения полной совместимости с входными данными автомата, в файле отсутствует информация о номиналах и типах входящих в разработанное изделие ЭРЭ. Такими же недостатками обладает и файл, полученный из системы PCAD 4.5. Это связано с тем, что на предприятии изначально при внедрении системы PCAD 4.5 в начале 90-х годов был разработан комплекс программ, которые позволяли вводить перечни элементов на изделия в структуре dbf-файла. Этот файл содержит всю необходимую информацию об используемых в изделии ЭРЭ, а именно: тип и наименование элементов, их количество, позиционные обозначения, имена макросов посадочных мест ЭРЭ и их установки, а также другие параметры. Формирование dbf-файла производится при помощи разработанной на предприятии программы, в процессе работы которой производится выбор компонентов из базы данных ЭРЭ, которая ведётся на предприятии с момента её создания и по сегодняшний момент. Полученный dbf-файл позволяет в дальнейшем конструктору сформировать в интерактивном режиме спецификацию в соответствии с ЕСКД, помочь при разработке файлов описания цепей (alt-файлов), а также на основании разработанного dbf-файла формируется лимитно-заборная карта для закупки комплектующих изделий. Имея в наличии такой механизм формирования перечней ЭРЭ, переходить на метод ведения всех атрибутов элементов непосредственно в системах проектирования плат (с возможностью формирования файлов BOM (Bill Of Material)) не представлялся целесообразным с точки зрения дополнительной трудоёмкости, т.к. разработка схем электрических принципиальных ведётся не

в среде проектирования PCAD, а в других графических редакторах не совместимых с системой PCAD.

Учитывая выше приведенные факторы, был разработан комплект программ, а также методология подготовки данных, которые позволили обеспечить взаимосвязь с системой CSM 7000.

Для обработки входных данных разработаны следующие программы:

- 1) **CONVPNP**- программа для преобразования данных полученных из системы PCAD 4.5 (ins-файлы) в формат rnr-файла;
- 2) **ChangeParts** – программа ставящая в соответствие конструкторским типам корпусов, типы корпусов и номиналы системы CSM7000 согласно таблице соответствий корпусов.

Кратко рассмотрим принципы работы каждой из указанных программ.

### Программа CONVPNP

**Входным файлом** программы **CONVPNP** является файл с расширением \*.ins. Он представляет собой текстовый файл, сформированный программой PC-INSERT системы PCAD 4.5, содержащий описание установок всех ЭРЭ на плате, габариты платы и точку привязки. Для обеспечения корректного вывода файла программа PC-INSERT должна быть соответствующим образом настроена.

**Выходным файлом** программы является файл с расширением \*.rnr. Он представляет собой текстовый файл, содержащий описание установок ЭРЭ поверхностного монтажа на плате в формате отчёта Pick and Place PCAD 2000.

Дополнительно программа добавляет в выходной файл, первыми двумя строчками, габариты платы из входного файла.

Интерфейс программы **CONVPNP** представлен на рисунке 1.

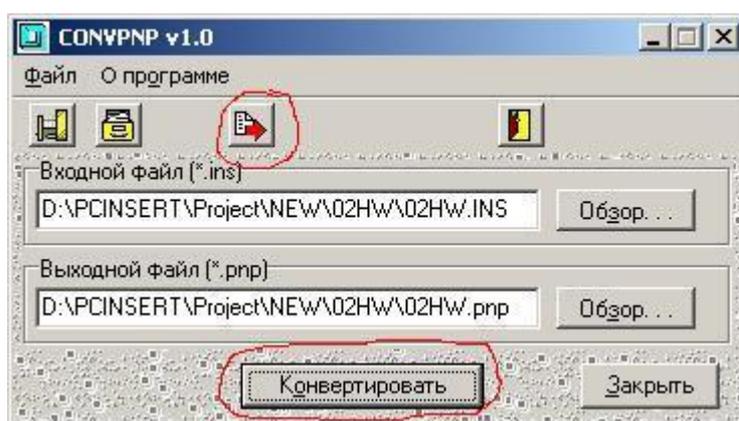


Рисунок 1 – Интерфейс программы **CONVPNP**

После выполнения программы **CONVPNP**, полученный rnr-файл, также как и rnr-файл, полученный из системы PCAD 2000, передается в электронный архив предприятия совместно с dbf-файлом, содержащим информацию о радиоэлементах, используемых в конкретном изделии.

Как было сказано ранее, pnp-файл для системы PCAD 2000 получается стандартными средствами самой системы PCAD путём выполнения команды **File/Reports - Pick and Place Locations**, при этом в начало полученного текстового файла любым текстовым редактором вносятся дополнительно две строки вида:

Ref1	Nil	Nil	Nil	Top	0.000	0.000	0
Ref2	Nil	Nil	Nil	Top	X_max	Y_max	0

где X\_max, Y\_max - соответственно X,Y координаты правого верхнего угла платы.

Эти строки нужны CAD-конвертору для определения габаритов платы.

Вид окна File Reports с предустановленными настройками для выгрузки pnp-файла приведён на рисунке 2.

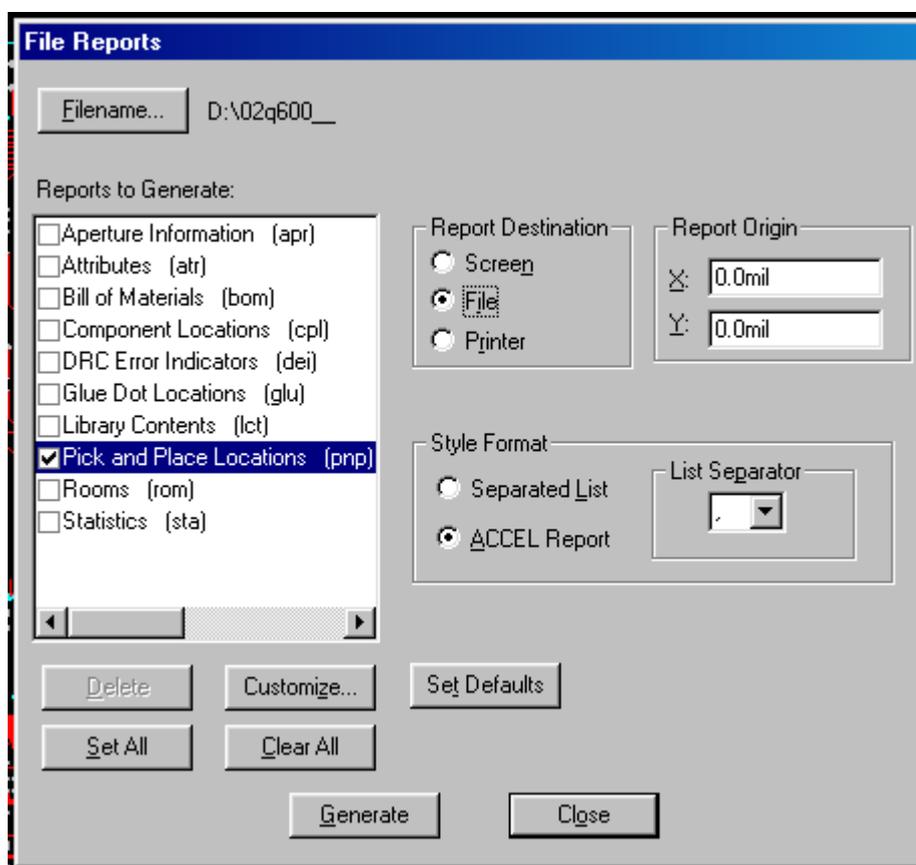


Рисунок 2 – Вид окна **File Reports**

## Программа ChangeParts

Программа предназначена для замены во входном файле (.pnp) конструкторских типов корпусов на типы корпусов и номиналы системы CSM7000, согласно перечню элементов (\*.dbf) и таблице соответствия корпусов (smd.xls- файл созданный в табличном редакторе MS Excel). Данную программу использует оператор системы CSM 7000, выполняя работы по

подготовке информации необходимой для установки SMD-компонентов для конкретного изделия. Входные данные для работы программы оператор получает в электронном архиве.

**Входные данные:**

- pnp-файл размещения планарных элементов на плате, в формате отчета Pick and Place (\*.pnp);
- файл перечня элементов для блока элементов (\*.dbf);
- таблица соответствия (smd.xls), содержит данные по соответствию конструкторских типов корпусов и номиналов элементов, типам корпусов, номиналам и углу поворота библиотечных элементов системы CSM 7000.

**Выходные данные:**

- файл размещения планарных элементов, в формате отчета Pick and place, со стороны монтажа (\*\_top.pnp);
- файл размещения планарных элементов, в формате отчета Pick and place, со стороны пайки (\*\_bottom.pnp);
- файлы ошибок (если есть): ошибки, обнаруженные в файле перечня элементов (\*.e3.err), ошибки обнаруженные в файле соответствия (\*\_excel.err).

Одно из окон интерфейса программы **ChangeParts** представлено на рисунке 3.

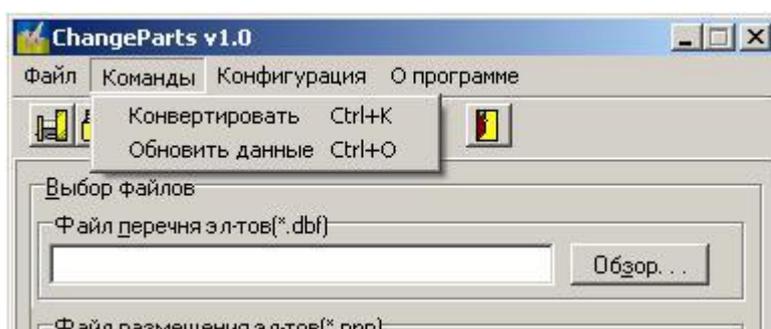


Рисунок 3 – Интерфейс окна программы **ChangeParts**

Корректная обработка программы **ChangeParts** возможна только при наличии в таблице smd.xls всех заполненных полей соответствий корпусов элементов. При наличии незаполненных полей, программа выдаёт сообщения об ошибках.

### **Правила заполнения таблицы SMD.XLS**

Таблица служит для назначения соответствий между наименованиями корпусов и номиналами элементов полученных из системы конструкторского проектирования и корпусами и номиналами, внесёнными в базу системы CSM 7000. Внешний вид отображения полей в таблице smd.xls представлен на рисунках 4 и 5.

Расшифровка наименований столбцов сведена в таблицу 1.

	A	B	C	D
1	NAME	TIP	PRT	KORPUS
2	Конденсатор	1812 X7R-25B-1 мкФ+10% Philips	1812C	
3	Дроссель	BLM31B601F1 Murata	BLM31	
4	Конденсатор	1206 NPO-50B-33 пФ+10% Philips	1206-C	
5	Конденсатор	1206 X7R 25B 0,1 мкФ +20% Philips	1206-C	
6	Конденсатор	1206 X7R 50B 1000 пФ +10% Philips	1206-C	1
7	Конденсатор	1206 X7R-25B-0,33 мкФ +10% Philips	1206-C	
8	Фильтр	NFM41PC204F1H3 Murata	NFM41P	
9	Резистор	1206 RC01 0,25 1 кОм +5% Philips	1206R	
10	Резистор	1206 RC01 0,25 1 МОм +5% Philips	1206R	
11	Резистор	1206 RC01 0,25 10 кОм +5% Philips	1206R	

Рисунок 4 – Отображение полей в таблице SMD.XLS

E	F	G
TYPE	VALUE	DEG
1812	1 MKF 25V	
0805C	BLM31B601F1	
1206C	33 PF 50V	
1206C	0.1MKF 25V	
1206C	1000PF 50V	
1206C	0.33 MKF 25V	
1206C	NFM41PC204F1H3	
1206R	1KOM 0.25W	
1206R	1 MOM 0.25W	
1206R	10 KOM 0.25W	

Рисунок 5 – Отображение полей в таблице SMD.XLS (продолжение)

### Расшифровка наименований столбцов таблицы SMD.XLS

Таблица 1

<b>NAME</b>	тип ЭРЭ
<b>TIP</b>	полное наименование ЭРЭ по спецификации
<b>PRT</b>	наименование макроса, описывающего ЭРЭ в библиотеке PCAD
<b>KORPUS</b>	тип корпуса ЭРЭ
<b>TYPE</b>	тип корпуса в библиотеке автомата CSM-7000
<b>VALUE</b>	номинал ЭРЭ в программе BOX автомата CSM-7000
<b>DEG</b>	угол поворота компонента относительно библиотеки корпусов LIB автомата CSM-7000.

После выполнения программы ChangeParts, оператор системы CSM 7000, проверяет наличие в файле \*\_Excel.err элементов, которые не были введены в систему CSM 7000. Если такие элементы имеются, оператор добавляет новые компоненты в систему при помощи программы BOX, поставляемой с системой CSM 7000.

### Программа BOX

Интерфейс программы представлен на рисунке 6. В данной программе оператор добавляет необходимые корпуса и номиналы компонентов, назначает

им соответствующие номера питателей (Feeder). После добавления отсутствующих компонентов оператор заполняет в таблице smd.xls следующие поля:

– Поле **TYPE** (тип корпуса в библиотеке автомата CSM-7000, поле "Library", см. рис. 6);

– Поле **VALUE** (типонаименование корпуса в программе BOX автомата CSM-7000, см. рис. 6).

Заполнив указанные поля, файл таблицы smd.xls сохраняется. Причём файл доступен для записи и чтения как библиотекарю базы данных, так и оператору системы CSM 7000. Таким способом поддерживается актуальное состояние взаимосвязи базы данных компонентов предприятия с базой элементов системы CSM 7000.

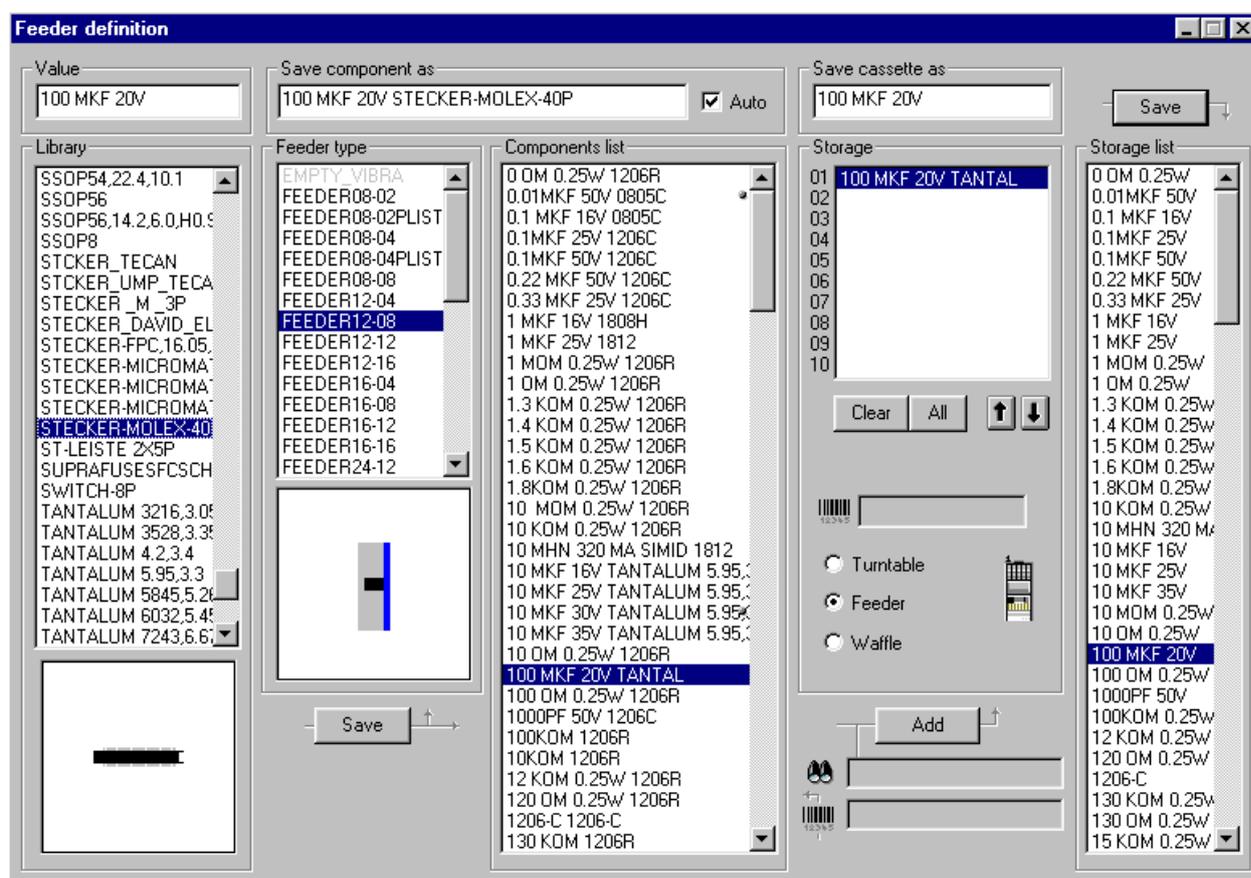


Рисунок 6 – Интерфейс программы BOX

После выполнения всех указанных операций оператор системы запускает на выполнение программу **CAD-конвертор** (CAD.exe), поставляемую с системой. Входными данными которой являются rnr-файлы полученные после отработки программы ChangeParts. Результатом работы программы является получение файлов \*.brd для установки компонентов на соответствующие стороны печатной платы. Эти файлы сохраняются под определённым именем, соответствующим шифру собираемого изделия, и в дальнейшем могут быть многократно использованы до момента внесения изменений в изделие.

Для выполнения монтажа компонентов на печатную плату с использованием автомата CSM 7000, запускается на выполнение программа **EasyPlaser**, поставляемая с системой CSM 7000. Входными данными для которой служат brd-файлы, полученные после обработки описанного ранее комплекта программ.

### **Выводы**

Таким образом проанализировав результаты проделанной работы, можно сказать что разработанные комплект программ и методология их применения намного упрощают работу оператора системы автоматизированного монтажа SMD-компонентов, тем самым ускоряя общий цикл временных затрат на производство продукции и уменьшают количество ошибок которые могут возникнуть при монтаже.

### **Литература**

1. Operator and programming manual for CSM 7000. Fully Automatic SMD Pick and Place System. ESSEMTEC.

**А. В. СУВОРИН, А.М. ЛАРГИНА, О. П. МИХАЙЛИНА,  
М.А. ОЖЕРЕДОВА**

*Северодонецкий технологический институт восточноевропейского  
национального университета им. В. Даля*

## **ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ В ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ**

В химической технологии для предварительной оценки принципиальной возможности осуществления химического превращения, а также для оценки влияния на реакцию таких внешних параметров, как температура (Т), давление (Р), состав реакционной среды, применяется расчет изобарно-изотермического потенциала химической реакции ( $\Delta G_{T,P,C}$ ). В основу программного расчета изобарно-изотермического потенциала химической реакции положено известное уравнение Темкина-Шварцмана [1]:

$$\Delta G_{T,P,C} = \Delta G_T + RT \ln(K_f) + RT \ln(K_a) \quad (1)$$

где  $\Delta G_T$  - значение изобарно-изотермического потенциала реакции при нестандартной температуре. Рассчитывается по формуле:

$$\Delta G_T = \Delta H_{298}^0 - T * \Delta S_{298}^0 - T(M_0 * \Delta a + M_1 * \Delta b + M_2 * \Delta c + M_{-2} * \Delta d) * 10^{-3} \quad (2)$$

исходя из справочных значений изменения энтальпии ( $\Delta H_{298}^0$ ) и энтропии ( $\Delta S_{298}^0$ ), а также значений коэффициентов температурной зависимости теплоемкости веществ, участвующих в реакции ( $M_0, M_1, M_2, M_{-2}, \Delta a, \Delta b, \Delta c, \Delta d$ ).  $RT \ln(K_f)$ - поправка, учитывающая давление, состав газовой фазы и отклонения свойств реальных газов от идеальных. Величина  $K_f$  рассчитывается:

$$K_f = \frac{\prod \gamma_{\text{прод}}^{n_{\text{прод}}}}{\prod \gamma_{\text{исх}}^{n_{\text{исх}}}} \cdot \frac{\prod N_{\text{прод}}^{n_{\text{прод}}}}{\prod N_{\text{исх}}^{n_{\text{исх}}}} \cdot \left( \frac{P}{N_{\text{прод}} - N_{\text{исх}}} \right)^{(n_{\text{прод}} - n_{\text{исх}})} \quad (3)$$

исходя из фактического числа моль вещества, участвующих в реакции (N) и соответствующих им стехиометрических коэффициентов (n), а также активностей реальных газов ( $\gamma$ ), зависящих от фактически их критических температур и давлений.

$RT \ln(K_a)$ - поправка, учитывающая отклонение свойств реальных электролитов от идеальных. Величина  $K_a$  рассчитывается по формуле:

$$K_a = \frac{\prod A_{\text{прод}}^{n_{\text{прод}}}}{\prod A_{\text{исх}}^{n_{\text{исх}}}} \quad (4)$$

исходя из справочных данных зависимости коэффициентов активностей веществ ( $\gamma$ ) от их концентрации (m):

$$A = \gamma * m \quad (5)$$

При расчете активностей веществ в многокомпонентном электролите с одним общим ионом использован метод А.Б. Здановского [2], заключающийся в циклическом шаговом приближении активности воды в индивидуальных растворах и активности воды в смешанном растворе и расчетом приведенных концентраций растворенных веществ.

Расчет константы равновесия и равновесного состава осуществляется по известной методике, изложенной, например в [2,3], с использованием уже рассчитанных значений величин  $K_f$ ,  $K_\gamma$  и  $K_a$  для соответствующих значений температур, давлений и начальных концентраций веществ.

Программа реализована с использованием языка программирования Delphi 7 фирмы Borland. Преимущества этого языка программирования заключаются в скорости разработки приложений, высокой производительности разработанных приложений, низких требованиях разработанных приложений к ресурсам компьютера, возможность наращиваемости за счет встраивания новых компонент и инструментов в среду Delphi, возможности разработки новых компонент и инструментов собственными средствами Delphi (существующие компоненты и инструменты доступны в исходниках), удачной проработки иерархии объектов и т.д.

В программе организованы базы данных для хранения информации в виде таблиц:

1. Стехиометрических уравнений
2. Термодинамических данных веществ
3. Коэффициентов летучестей для газообразных веществ
4. Коэффициентов активностей для жидких веществ (электролитов)
5. Активность воды в растворах электролитов

Имеется возможность пополнения указанных баз данных до 65535 записей каждая, т.е. база данных 1 может содержать до 65535 уравнений химических реакций, а базы данных 2-5 могут содержать информацию о 65535 химических веществах (широко известные справочники термодинамических величин одновременно содержат информацию о 3500-5500 веществах).

При выборе значений из таблиц 3-5 базы данных предусмотрена возможность интерполяции и экстраполяции за пределы известных данных с обязательной фиксацией количества шагов экстраполяции.

В программе реализованы циклы по температуре (Т), давлению (Р), числу моль (N) для каждого газообразного вещества и по молярной весовой концентрации ( $C_{мв}$ ) для каждого компонента электролита. На рисунке 1 представлено главное окно программы. На панели управления расположены кнопки для открытия базы стехиометрических уравнений , переход в режим редактора таблиц , запуска на расчет , сохранения результатов , настройки программы  и вывода результатов расчетов на экран или печать в виде графиков или таблиц. Результаты расчетов могут быть отправлены по электронной почте .

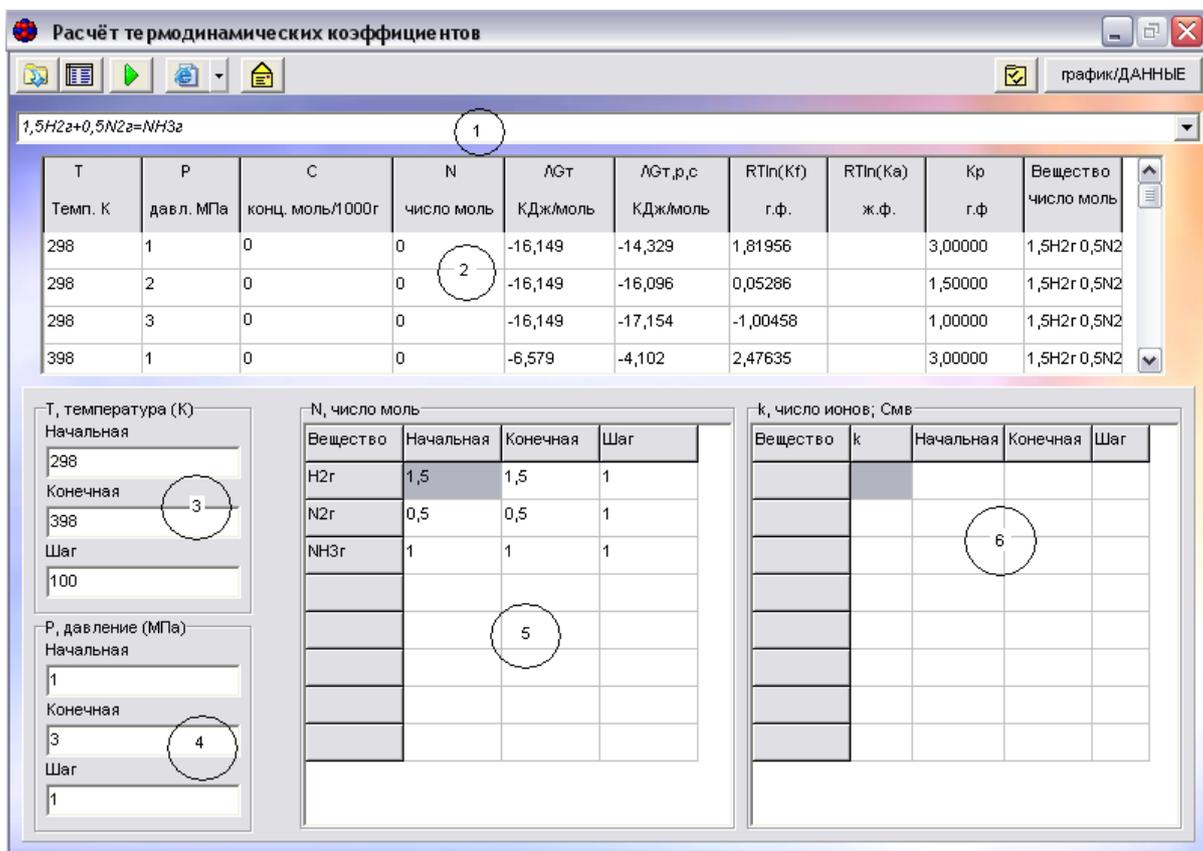


Рисунок 1 – Главное окно программы

Основное поле окна содержит элементы, отражающие базу стехиометрических уравнений (1), результаты расчетов (2), поле для ввода интервала температур (3) и давлений (4), а также для ввода интервала числа моль газообразных веществ (5) и числа ионов  $k$  и концентрации электролитов  $C_{\text{мв}}$  (6).

Результат выполнения работы программы может быть сохранен в виде файла .html и просмотрен на любом браузере. Также предусмотрено построение графиков для наглядного представления результатов работы.

Таким образом, созданный программный продукт позволит существенно облегчить и ускорить термодинамические расчеты в химической технологии. Он может использоваться как на промышленных предприятиях, научно-исследовательских институтах, так и в учебном процессе.

### Литература

1. Мюнстер А. Химическая термодинамика.: М. Мир 1971г, 296с.
2. Рябин В.А., Остроумов М.А., Свит Т.Ф. Термодинамические свойства веществ. Л.: Химия 1977г, 390с.
3. Физическая химия. Теоретическое и практическое руководство. Под ред. академика Б.П. Никольского. //Изд. перераб. и доп. Л.: Химия 1987г, 880с.

**О.П. ТИМОНОВА, Л.В. ТОРОПОВА**

***ЗАО «Северодонецкое научно-производственное объединение “Импульс”»***

## **ТЕХНОЛОГИЯ ПРОЦЕССОВ ОТМЫВКИ И ВЛАГОЗАЩИТЫ ПЕЧАТНЫХ УЗЛОВ**

Внедрение в производство ЗАО «СНПО “Импульс”» линии поверхностного монтажа неотъемлемо связано с технологией очистки печатных узлов от остатков паяльной пасты и флюса.

### **Введение**

Для нас, как потребителей открылся широкий рынок оборудования, используемого для очистки печатных узлов поверхностного монтажа. Это оборудование струйной отмывки и ультразвуковое оборудование различных моделей. Правильный выбор необходимого оборудования имеет первостепенное значение. Постоянное совершенствование технологий очистки и влагозащиты печатных узлов требует информационной подкованности и должного уровня знаний. В то же время требования к качеству очистки и влагозащиты печатных узлов в электронной промышленности непрерывно повышаются.

### **1 Технология очистки печатных узлов поверхностного монтажа**

Благодаря детальному изучению различных материалов, их свойств, способов и методов очистки специалистами отдела главного технолога была отработана и внедрена в производство оптимальная технология очистки. Удаление флюса, остатков паяльной пасты и различных загрязнений в специальной моющей среде с добавлением акустической энергии ультразвука обеспечило требуемый уровень очистки. В ЗАО «СНПО “Импульс”» очистка печатных узлов производится на промышленном цифровом ультразвуковом оборудовании. Основными параметрами процесса очистки являются: температура моющей среды, частота ультразвука, время отмывки, время воздействия ультразвука.

Использование ранее распространенных технологий очистки в растворителях в настоящее время теряют эффективность по мере увеличения плотности компоновки, уменьшения размеров электронных компонентов и зазоров между платой и компонентами. В связи с этим затрудняется проникание и циркуляция моющей среды в зазорах между платой и компонентами. Технология, основанная на ультразвуковом методе отмывки, позволяет добиться требуемого качества очистки.

Загрязнения, возникающие в процессе монтажа, как правило многокомпонентны и могут в комплексе содержать растворимые и нерастворимые компоненты. Эффект воздействия ультразвука состоит в том,

что он эмульгирует любые компоненты, то есть переводит их в моющую среду и вместе с ней удаляет их с поверхности изделий электронной техники. Для удаления моющей среды из-под корпусов электронных компонентов и с поверхности плат.

Эффективность удаления загрязнений при растворении, эмульгировании или механической очистке зависит от физических и химических свойств очищающих сред и методов их использования.

При выборе очищающих сред необходимо руководствоваться составами и свойствами загрязнений, подлежащих отмывке. Условно их можно разделить на три группы:

- нейтральные компоненты, появившиеся в процессе производства (жиры, масла, пыль, волокна бумаги, тканей и др.). Они легко удаляются бензином;

- ионогенные компоненты (активаторы флюсов, минеральное содержание отпечатков пальцев и др.). Для очистки требуется использование водных растворов поверхностно-активных веществ;

- полярные органические соединения (органические кислоты – канифоль и активаторы, продукты разложения флюсов и др.). Удаляются с использованием тоже полярных растворов (спирта).

Выбрать средства, обладающие наилучшими и просто удовлетворительными очищающими свойствами довольно затруднительно, хотя существует много различных очистителей.

В радиоэлектронной промышленности используются главным образом спирт, спирто-бензиновая смесь, алифатические и ароматические углеводороды, фреоны, деионизированная вода, водные растворы поверхностно-активных веществ, технических моющих средств.

Многие из этих растворителей токсичны, пожаро- и взрывоопасны. Очиститель на основе спирто-бензиновой смеси в соотношении 1:1 в дополнение к этим недостаткам неудобен непостоянством состава из-за различных скоростей спарения компонентов, невозможностью регенерации смеси.

Этиловый спирт хорошо удаляет остатки канифольных флюсов и растворяет некоторые неорганические загрязнения, но не действует на маслянистые и жировые пленки, под которыми может оказаться значительное количество загрязнений. Бензин удаляет жиры и масла, в том числе жировой секрет отпечатков пальцев. Основным недостатком спирто-бензиновой смеси является то, что она смывает только первую и третью группы загрязнений, перечисленных выше.

Вторая же, которая является распространенной и наиболее опасной, большей частью остается. Для решения данной проблемы необходимо использовать водные растворы технических моющих средств (поверхностно-активные вещества), либо добавлять диссоциирующие добавки в растворитель (например, использовать водный раствор изопропилового спирта).

Удаление жировой пленки органическими растворителями основано на способности последних растворять жировые загрязнения, благодаря свойству

химической структуры их молекул. Перспективной считается замена органических растворителей более безопасными с использованием экономичных процессов. Среди таких растворителей привлекают внимание фреоны. Растворяющая способность чистых фреонов недостаточна для удаления остатков канифольных флюсов. Поэтому используют азеотропные смеси фреонов с соответствующими растворителями (чаще со спиртом). Азеотропными называют жидкие смеси, при кипении и конденсации которых состав смеси не меняется. Такие смеси выкипают, конденсируются при постоянной температуре и не разделяются.

Вследствие низкого поверхностного натяжения фреонов (18-23 дин/см, для воды 73 дин/см) они проникают в углубления, пазухи и под скопления загрязнений, легко вытекают из капилляров и щелей, создавая условия для обмена моющей жидкости, обладают исключительной способностью к смачиванию поверхностей, смачивают также поверхность фторопласта.

Обычно применяют фреон-113 (химическое название - трифтортрихлорэтан). Его азеотропная смесь с этиловым спиртом (19:1) позволяет смыть практически всю гамму органических загрязнений, сопутствующих процессам монтажа.

Применение водных растворов поверхностно-активных веществ в сочетании с ультразвуком дает эффективный результат качества отмытки.

Распространение ультразвуковых колебаний значительной амплитуды вызывает в жидкости целый ряд явлений, важнейшие из которых – кавитация, акустические потоки, радиационное давление. Эти явления оказывают основное физическое воздействие на процесс ультразвуковой очистки, они же усиливают химическое взаимодействие моющей жидкости с загрязнениями.

Кроме чисто механического разрушения пленок загрязнений, кавитация и акустические течения интенсифицируют процессы эмульгирования и растворения, сопутствующие очистке. Акустические течения способствуют выносу загрязнений и улучшают обмен моющего раствора в зоне очистки, радиационное давление наряду с кавитацией (но в значительно меньшей степени) способствует разрушению загрязнений. Кавитационные пузырьки являются главным фактором, разрушающим поверхностные пленки загрязнений.

При воздействии мощного ультразвукового излучателя на жидкость в последней наблюдаются переменные давления, изменяющиеся с частотой возбуждающего поля и создающие высокие плотности энергии. При амплитудах звукового поля, превышающих некоторое пороговое для данной жидкости значение, возникает кавитация, которая характеризуется ростом пузырька в течение всего полупериода отрицательных давлений ультразвукового поля, а также в течение некоторой части полупериода положительных давлений. Пузырек вырастает до некоторого максимального размера и захлопывается.

Пузырек, захлопываясь, создает ударные волны большой силы – импульсы давления, достигающие нескольких тысяч атмосфер. Такие высокие ударные давления вызывают сильные кавитационные разрушения на

поверхности твердых тел. Пузырек проникает под пленку загрязнений и перемещаясь под ней отрывает и дробит ее при захлопывании.

Акустические течения играют большую роль в очистке растворимых загрязнений. Растворение связано с процессом диффузии, переходом компонентов загрязнений из твердой фазы в жидкую, причем эффективность очистки определяется скоростью перехода загрязнений из пограничного слоя в остальной объем.

Интенсивное перемешивание, вихревые потоки, возникающие вблизи очищаемых поверхностей, уменьшают толщину диффузионного слоя и увеличивают скорость очистки. Акустические потоки способствуют также лучшему обмену растворителей в зоне очистки, уносу загрязненного растворителя и поступлению свежей порции раствора.

Что необходимо знать при очистке печатных узлов с наложением ультразвука?

Для обеспечения максимального эффекта очистки в первую очередь необходимо правильно подобрать моющий раствор. Наиболее подходящими для ультразвуковой очистки являются растворы технических моющих средств (поверхностно-активные вещества). Моющий раствор должен отвечать следующим требованиям:

- наличие хорошей смачиваемости загрязнений и очищаемой поверхности;
- разрушение связей загрязнений с поверхностью и перевод загрязнений в раствор;
- стабилизация загрязнений в моющем растворе с целью предотвращения их ресорбции;
- индифферентность по отношению к материалу очищаемых изделий.

Качество отмывки подтверждено набором целым рядом способов и методов. К этим способам и методам относятся: измерение поверхностного сопротивления, метод конденсации, контроль с использованием тестового набора Zestron Flux Test.

Использование тестирования с применением реактива, входящего в состав тестового набора Zestron Flux Test, позволяет определить наличие остатков активаторов флюсов, место их расположения и концентрацию в отдельных (критичных точках) на поверхности печатного узла. Отличительными особенностями метода тестирования являются:

- простота в применении и низкая стоимость по сравнению с другими методами тестирования;
- оперативная оценка климатической надежности изделий электронной техники;
- высокая информативность, делает видимыми активные остатки флюсов.

## 2 Технология нанесения влагозащитного покрытия на печатные узлы

Влагозащитное покрытие представляет собой тонкую защитную полимерную пленку, толщиной в 25-75 мкм, которая наносится на смонтированный печатный узел. Главным образом оно предназначено для защиты электронных изделий, эксплуатирующихся в жестких климатических условиях и подвергающихся воздействию влаги, агрессивных химикатов, температурных колебаний, механической вибрации и органических образований. Влагозащитное покрытие является диффузионным барьером на пути влаги к поверхности печатного узла.

При выборе влагозащитного покрытия необходимо учитывать следующие критерии:

- ремонтпригодность;
- условия эксплуатации;
- метод нанесения.

В зависимости от условий эксплуатации при выборе влагозащитного покрытия необходимо учитывать следующее:

- класс горючести;
- прочность;
- эластичность;
- термостойкость;
- хорошую адгезию к разнородным материалам;
- диэлектрические свойства;
- электроизоляционные свойства;
- устойчивость к воздействию химических веществ;
- устойчивость к образованию плесени;
- климатическая стойкость.

Нормативная документация предлагает для нанесения лакового покрытия, как известно, следующие методы: с помощью кисти, погружением, центрифугирование.

Нанесение на печатные узлы лакового покрытия методом погружения способствует хорошему проникновению покрытия под компоненты и полному обволакиванию труднодоступных мест.

Инженерно-техническими работниками предприятия ЗАО «СНПО «Импульс»» разработана и внедрена в производство полуавтоматическая установка, а также технология нанесения лакового покрытия на печатные узлы методом погружения на данной полуавтоматической установке. Внедрение данной установки и технологии лакирования позволило снизить долю ручного труда, обеспечить равномерность лаковой пленки. Фиксированное время выдержки ПУ в емкости с лаком обеспечивает проникновение лака под корпуса чип-компонентов с зазором менее 0,3 мм.

Основными факторами, влияющими на качество нанесения покрытия погружением, являются скорости погружения и извлечения печатного узла из ванны, вязкость лакового покрытия.

По ряду определенных причин не всегда возможно применение процесса погружения печатных узлов в лак (наличие негерметичных радиоэлементов и т.д.). В таких случаях применяется метод нанесения лака с помощью кисти. При нанесении лака с помощью кисти возможны непокрытые участки печатной платы. Во избежание подобных дефектов внедрен процесс визуального контроля качества покрытия при помощи ультрафиолетового детектора. Люминесцентные добавки, входящие в состав лаков, под действием источника ультрафиолетового излучения дают характерное свечение, что позволяет легко проконтролировать качество покрытия поверхности печатного узла и радиоэлементов в процессе его нанесения.

В настоящий момент применение влагозащитных покрытий является наиболее оптимальным решением по совокупности эксплуатационных и технологических характеристик для обеспечения надежности печатных узлов, эксплуатирующихся в жестких климатических условиях.

### **Литература**

- 1 Грачев А.А. Очистка печатных узлов при поверхностном монтаже.// ЭкиС - Киев: VD MAIS, 2003, № 11.
- 2 Материалы семинара «Отмывка печатных узлов». – Москва, ЗАО Предприятие ОСТЕК, декабрь 2003.
- 3 Грачев А., Мельник А., Панов Л. Поверхностный монтаж при конструировании и производстве электронной аппаратуры. Киев, 2004.
- 4 Справочное руководство «OSTEC Поверхностный монтаж», 2005.
- 5 Информационный бюллетень «Поверхностный монтаж», 2005, № 6-7.
- 6 Информационный бюллетень «Защита электроники от неблагоприятных факторов. Влагозащитные покрытия» OSTEC, Киев, 2005.
- 7 Аркадий Медведев. Информационный бюллетень «Технологии», 2004.

**И.Н. РОГОВОЙ**

*ЗАО «Северодонецкое научно-производственное объединение “Импульс”»*

## **ПОВЕРХНОСТНЫЙ МОНТАЖ. ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА ОБОРУДОВАНИЯ**

В настоящее время осуществляется стремительный переход от технологии монтажа компонентов в отверстие к изготовлению блоков с компонентами поверхностного монтажа. Данный вопрос требует от специалистов, занимающихся построением технологии изготовления блоков, очень тщательного подхода при оценке факторов выбора оборудования. Данная статья призвана помочь построить технологию изготовления блоков с применением современного оборудования для производственного участка. Статья содержит введение, основную часть, список литературы. 7 страниц, 5 таблиц.

### **Введение**

Выбор оборудования во многом зависит от технологии изготовления блоков, которая принята или планируется к применению на предприятии. Основными критериями при выборе оборудования можно выделить следующие:

- серийность выпускаемой продукции;
- номенклатура используемых типоразмеров печатных плат;
- типоразмеры и номенклатура устанавливаемых компонентов;
- быстрая переналадка;
- количество имеющихся трудовых ресурсов;

### **1 Серийность выпускаемой продукции**

В зависимости от количества и номенклатуры выпускаемой компанией продукции все производства можно разделить на три вида: единичные (или опытное), мелкосерийные, серийные (массовое). Основные показатели серийности представлены в таблице 1.

Единичное производство характерно большой номенклатурой выпускаемой продукции и малым количеством выпускаемой продукции при этом оборудовании, предполагаемое к постановке на производственных участок отличается своей большой универсальностью и малой производительностью при своей относительно невысокой стоимости.

Мелкосерийное производство характерно меньшей номенклатурой выпускаемой продукции, чем единичное, но большим количеством выпускаемой продукции. Оборудование, предполагаемое к постановке на производственных участок при данном типе производства отличается своей

большой универсальностью и средней производительностью, средней стоимостью.

Серийное производство характерно малой номенклатурой выпускаемой продукции и большим количеством выпускаемой продукции. Оборудование, используемое на производственных участках при данном типе производства отличается достаточной универсальностью и высокой производительностью, высокой стоимостью.

Таблица 1

**Сравнительные характеристики и показатели серийности производства**

Виды производства	Количество блоков /месяц	Номенклатура блоков, шт./месяц	Производительность оборудования
Единичное	до 50	50	малая
Мелкосерийное	от 50 до 3000	20	средняя
Серийное	свыше 3000	3	большая

## 2 Типоразмеры печатных плат

Номенклатура печатных плат (далее ПП), используемых при производстве изделий электронной промышленности в настоящее время очень значительна. Для выбора оборудования необходимо знать все типоразмеры печатных плат используемых на производстве. За основной типоразмер ПП стоит принимать максимальный. Только данный типоразмер будет решающим и ограничивающим одновременно при выборе оборудования.

## 3 Типоразмеры и номенклатура корпусов элементов

Данный показатель важен для определения количества типов корпусов компонентов поверхностного монтажа (далее КПМ). Каждый корпус компонента имеет свои отличительные особенности конструкции и установки. Определение показателя производится на основании детального анализа КПМ блока используемых в производстве блоков с составлением сравнительных таблиц. Пример данной сравнительной таблицы приведен в таблице 3.

Таблица 2

**Сравнительная таблица используемых корпусов КПМ в производстве**

Тип корпуса КПМ	Количество корпусов в блоке 1, шт.	Количество типаноминатов в блоке 1, шт.	Количество корпусов в блоке 2, шт.	Количество типаноминатов в блоке 1, шт.
0204	30	2	20	1
1206	100	10	19	1
SOT-23	5	3	0	0
SO-8	15	5	0	0
SOD	2	1	1	1
.....	...	...	...	...

#### 4 Вид поставляемой тары с компонентами

Все компоненты поверхностного монтажа могут поставляться в следующей таре: лента (каждому типу корпуса соответствует лента определенной ширины), пенал для микросхем (имеет свою ширину и габариты), паллетта.

#### 5 Коэффициент готовности оборудования к работе

Быстрая переналадка оборудования или перестройка параметров и характеристик оборудования отображает его общую технологичность. За какой промежуток времени можно подготовить оборудование к работе или перейти от выполнения данного вида продукции к иному за выделенное время и характеризует коэффициент готовности оборудования к работе (далее КГО). Данный коэффициент отличен по своей динамике и у каждого производителя особый.

Весь потенциал конструкторской и технологической мысли производителя оборудования сводится к минимизации времени готовности оборудования к работе. Основная минимизация достигается за счет применения универсальных средств крепления исполнительных механизмов; параллельного выполнения подготовительных и основных операций. Данный показатель не до конца дает представление о времени, затрачиваемом на последовательную подготовку оборудования к выполнению операции одним специалистом, например, времени для подготовки паяльной пасты к нанесению, распаковки КПМ и загрузки их в оборудование для установки.

Коэффициенты готовности базового оборудования при производстве блоков элементов с применением КПМ приведены в таблице 4.

Таблица 3

Коэффициенты готовности основных типов оборудования

Тип оборудования	Дозаторы	Трафаретный принтер (ручной)	Полуавтомат установки КПМ	Автомат установки КМП	Печь оплавления
Коэффициент готовности оборудования, мин	1-2	2-5	5-7	10-15	15-30
Подготовительное время, мин	20-480	20-480	30-240	30-480	5-10

#### 6 Трудовые ресурсы

Анализируя показатели таблицы 4, можно с уверенностью сказать что оборудование, выпускаемое сейчас имеет почти одинаковый КГО, однако для уменьшения подготовительного времени на выполнение операции необходимо

распараллеливание работы персонала или применение дополнительных средств.

Для оценки количества персонала, необходимого для работы, необходимо просмотреть всю цепочку технологического процесса изготовления блоков.

Нанесение паяльной пасты. Состоит из подготовки паяльной пасты к работе (доведение до комнатной температуры, ее перемешивание) и самого процесса нанесения. Этот вид работ требует от персонала только исполнительности. Количество рабочих – 1.

Установка компонентов. Состоит из подготовительных операций (распаковка компонентов из заводской тары и загрузка их в оборудование) и процесса установки. Количество рабочих – 1. Следует отметить, что при использовании полуавтоматического и автоматического оборудования к данному списку следует добавить специалиста по написанию программ установки компонентов на оборудовании.

Оплавление паяльной пасты. Количество персонала при ручном оплавлении паяльной пасты зависит только от необходимой производительности участка. Для выполнения операций с печью оплавления достаточно одного человека.

Обслуживание всего спектра оборудования также потребует иметь на предприятии обученного специалиста. Основные достоинства этого подхода: независимость от поставщика оборудования при ремонте и профилактике, экономия времени на обращении за помощью к поставщику оборудования, уменьшение времени простоя оборудования при ремонтах и профилактиках

Оптимальная численность трудовых ресурсов для работы с технологической линейкой выпуска блоков с компонентами поверхностного монтажа, исходя из вышеуказанного, составляет четыре человека.

## **7 Оборудование для нанесения паяльной пасты**

В зависимости от способа нанесения паяльной пасты оборудование можно разделить на ручное, полуавтоматическое и автоматическое.

Сравнительный анализ оборудования для нанесения паяльной пасты представлены в таблице 5.

При выборе оборудования следует обратить внимание на следующие моменты:

- эффективная зона нанесения паяльной пасты (не на всю площадь ПП, указанную в описании, может наноситься паста; оборудование может иметь свои технологические ограничения);
- максимальные габариты устанавливаемых ПП;
- возможность нанесения на двух сторонах ПП;
- необходимость дополнительного оборудования (сжатый воздух и т.д.);
- требует ли трафарет промежуточного крепления перед установкой на оборудование (некоторые модели требуют промежуточное крепление

растянутого трафарета на натяжную рамку с клеем, что увеличивает стоимость трафаретов)

Таблица 4

Оборудования для нанесения паяльной пасты. Сравнительный анализ

Тип оборудования	Достоинства	Недостатки	Цена, USD
<b>Дозатор</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1. Очень гибкое оборудование;</li> <li>2. Простота в использовании;</li> <li>3. Не требует использование трафарета;</li> <li>4. Нанесение паяльной пасты вне зависимости от габаритов ПП</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1. Длительный процесс нанесения;</li> <li>2. Малая производительность;</li> <li>3. Качество нанесения зависит от исполнителя;</li> <li>4. Минимальный шаг выводов при нанесении 1,5 мм</li> </ul>	1500-2500
<b>Трафаретный принтер</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1. Большая производительность;</li> <li>2. Простота в использовании;</li> <li>3. Минимальный шаг выводов при нанесении - менее 0,6 мм</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1. Требуется использование трафаретов</li> <li>2. Качество нанесения зависит от исполнителя;</li> <li>3. Трудность поддержания параметров нанесения;</li> <li>4. Поле нанесения паяльной пасты зависит от типа оборудования</li> </ul>	3000-6000
<b>Полуавтомат нанесения</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1. Большая производительность;</li> <li>2. Минимальный шаг выводов при нанесении - менее 0,6 мм;</li> <li>3. Большая повторяемость процесса</li> <li>4. Качество нанесения не зависит от исполнителя</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1. Требуется использование трафаретов</li> <li>2. Поле нанесения паяльной пасты зависит от типа оборудования</li> </ul>	6000-10000
<b>Автомат нанесения</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1. Большая производительность;</li> <li>2. Минимальный шаг выводов при нанесении - менее 0,6 мм;</li> <li>3. Большая повторяемость процесса</li> <li>4. Качество нанесения не зависит от исполнителя</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1. Не требует использование трафаретов</li> <li>2. Поле нанесения паяльной пасты зависит от типа оборудования</li> </ul>	10000-20000

## 8 Оборудование для установки компонентов

Оборудование для установки компонентов на печатную плату можно разделить на ручное, полуавтоматическое и автоматическое.

Сравнительный анализ оборудования для установки КПМ представлен в таблице 6.

При выборе оборудования для установки компонентов следует так же учитывать следующие аспекты:

- необходимость вспомогательных устройств (компрессор для сжатого воздуха, запасные питатели и т.д.);
- стоимость оборудования зачастую не включает стоимость питателей к нему;
- количество питателей указывается отдельно и определяется исходя из количества типономиналов корпусов на блоке (см. таблицу 3) и вида поставляемой тары компонентов;
- оговаривайте включение программного обеспечения в стоимость оборудования;
- возможность установки оборудования в линию.

Таблица 5

Оборудования для нанесения Установки КПМ. Сравнительный анализ

Тип оборудования	Достоинства	Недостатки	Цена, USD
<b>Вакуумный установщик</b>	1. Очень гибкое оборудование; 2. Простота в использовании; 3. Не требует написания программы для установки; 4. Поле установки в малой степени зависит от габаритов ПП	1. Малая производительность; 2. Точность установки зависит от исполнителя; 3. Не устанавливает BGA	1500-7000
<b>Полуавтомат</b>	1. Производительность до 2000 комп/час; 2. Простота в использовании;	1. Точность установки зависит от исполнителя; 2. Требуется написание программы установки 3. Поле установки зависит от габаритов ПП; 4. Не устанавливает BGA	7000-15000
<b>Автомат</b>	1. Производительность до 15000 комп/час; 2. Установка всех типов корпусов	1. Точность установки зависит от исполнителя; 2. Требуется написание программы установки 3. Поле установки зависит от габаритов ПП	50000-250000

## 9 Оборудование для оплавления паяльной пасты

Оборудование для оплавления паяльной пасты можно разделить на ручное и автоматическое.

Основным представителем оборудования для ручного оплавления является термофен. Оплавление паяльной пасты происходит под действием горячего воздуха. Имеет сменные насадки для регулировки скорости потока горячего воздуха, регулировку температуры.

Печи оплавления, или автоматическое оборудование для оплавления паяльной пасты, по способу передачи нагрева подразделяются на конвекционные, инфракрасные и инфракрасно-конвекционные.

Конвекционные печи в настоящее время применяются редко из-за невозможности исключения теневого эффекта на печатной плате при оплавлении и влияния отражательной способности корпусов компонентов. Имеют малые габариты.

Конвекционные печи имеют сложную систему управления, значительные габариты, исключают теневой эффект при оплавлении паяльной пасты, значительное потребление электроэнергии.

Инфракрасно-конвекционные печи имеют простую систему управления, небольшие габариты, исключают теневой эффект при оплавлении паяльной пасты, незначительное потребление электроэнергии.

При выборе печи оплавления кроме метода нагрева следует обратить внимание на следующие характеристики:

- эффективная зона нагрева (не всегда ширина конвейера печи является прогреваемой полностью);
- ширина конвейера и максимальная высота устанавливаемой ПП;
- возможность регулировки температуры и скорости конвейера;
- возможность подключения термопар для контроля температуры на ПП;
- способ установки печи (на стол или оригинальную подставку);
- включение в спецификацию поставки вытяжной системы.

### Литература

- 1 Технологии в электронной промышленности. Издательство Файнстрит. 2005-2006 гг.;
- 2 Технологическое оборудование для производства и ремонта электронной техники. Каталог продукции VD MAIS. 2005г.

**В.В. ЧЕРЕПЕНКО**

***ЗАО «Северодонецкое научно-производственное объединение “Импульс”»***

## **ИЗГОТОВЛЕНИЕ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ШНУРОВОГО ОПТИЧЕСКОГО КАБЕЛЯ**

### **ВЫБОР КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ. ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО УЧАСТКА**

В данной статье изложены основные моменты по освоению изготовления изделий из шнурового оптического кабеля. Тезисно отражены основные вопросы, возникающие при выборе конструктивных элементов и технологического оборудования. Отражены критерии принятия решений по выбору конструктивных элементов и технологического оборудования. Изложен подход к организации производственного участка и подход к самостоятельному тестированию продукции и оценке её качества.

#### **Введение**

Настоящее время характеризуется стремительным процессом информатизации и компьютеризации. Это сильнее всего проявляется в росте и гибкости информационных сетей. Во-первых, растет количество электронных банков данных, которые становятся доступными для большого количества пользователей. Во-вторых, современные программные продукты и разнообразные программные приложения требуют одновременного открытия большого числа сессий передачи данных. Противодействовать таким растущим потребностям в объёмах передаваемых данных можно только применяя особую «среду» при передачи информации, по отношению к используемой до сравнительно недавнего времени.

К таким особым подходам относится применение оптических волокон. Оптическое волокно в настоящее время считается самой совершенной физической средой для передачи информации, а также самой перспективной средой для передачи больших потоков информации на значительные расстояния. Сегодня волоконная оптика находит применение практически во всех задачах, связанных с передачей информации. Стало возможным подключение рабочих станций к информационной сети с использованием волоконно-оптического миникабеля.

Стремительно входит в жизнь использование волоконно-оптических интерфейсов в локальных вычислительных сетях промышленных предприятий, научных организаций, объектах с повышенной сложностью оборудования и технологических процессов. Это приводит к тому, что предприятия, изготавливающие и поставляющие продукцию на такие объекты, также осваивают технологию применения оптических кабелей и способствуют её внедрению.

ЗАО «СНПО «Импульс»» является одним из ведущих предприятий по производству и поставке продукции на объекты атомной энергетики. К такой продукции относится вычислительная аппаратура и управляющие комплексы для контроля и управления технологическими процессами. При построении управляющих комплексов возникает необходимость объединения аппаратных средств в локальную вычислительную сеть с повышенными требованиями к скорости и объёмам передаваемой информации. В этой части практически неизбежным становится применение оптических кабелей и использование волоконно-оптических интерфейсов. Что, в свою очередь, диктует необходимость освоения конструкций и технологии изготовления изделий их шнурового оптического кабеля, с помощью которого производится подключение отдельных аппаратных средств к оптической магистрали локальной сети объекта, а также организация связи между близкорасположенными функциональными модулями монтируемого комплекса.

## **1. Выбор конструктивных элементов. Выбор технологического оборудования.**

### **1.1 Вопросы, возникающие при освоении изделий их оптического кабеля**

К основным вопросам, встающими перед разработчиками, конструкторами и технологами любого предприятия, осваивающего изделия из волоконно-оптического кабеля можно отнести следующие:

- выбор типа кабеля и его марки, выбор производителя кабеля;
- выбор видов соединителей, выбор производителя и фирму-поставщика оптических соединителей;
- выбор оборудования для изготовления изделий, организация производственного участка;
- разработка конструкции и технологии изготовления;
- тестирование продукции, определение качества изделий.

### **1.2 Выбор оптического кабеля**

Выбор кабеля, в свою очередь, диктуется несколькими требованиями:

- требованиями Заказчика, и разработчика аппаратуры в части характеристик передаваемых потоков информации (скорость, объём, мощность сигнала на выходе источника и чувствительность приёмника оптического сигнала);
- назначением продукции и условиями её эксплуатации;
- требованиями к надёжности продукции и стабильности оптических характеристик с течением времени;
- стоимостью и возможностью приобретения (доступностью на рынке).

При рассмотрении характеристик передаваемых потоков информации определяют тип оптических волокон (одномодовые, многомодовые) и диаметр оптических волокон (в настоящее время наиболее распространены волокна диаметром 50 мкм и 62,5 мкм). В соответствии с техническими требованиями,

полученными от Заказчика, был сделан выбор многомодовых волокон диаметром 62,5 мкм.

При рассмотрении назначения продукции в первую очередь обращают внимание на наличие воздействия механических факторов (вибрации, удары, растяжения), климатических факторов (температура, влажность, ультрафиолетовое излучение), а также обращают внимание на место установки и эксплуатации. Исходя из этих факторов определяется конструктивное исполнение кабеля (тип оболочки, наличие силовых элементов, препятствующих растяжению и разрыву кабеля, герметизацию и изоляцию оптических волокон, необходимость применения специальных средств для защиты от грызунов, насекомых и т.п.).

Изделия из шнурового оптического кабеля являются неотъемлемой частью поставляемого Заказчику оборудования. Поэтому все эксплуатационные требования по механическим нагрузкам и климатическим воздействиям, предъявляемые к поставляемой продукции справедливы и к оптическому кабелю. Поставляемые Заказчику изделия предназначены для установки и эксплуатации в закрытых отапливаемых помещениях. Изделия не подвергаются прямому воздействию атмосферных факторов. Специальных требований по защите (грызуны, насекомые) не требуется. Все изделия, в которых предусматривается применение оптических кабелей, имеют конструкционные элементы (кабельные каналы, монтажные кроссы), предназначенные для механической фиксации кабельно-проводниковой продукции и защищающие её от разрывов и растяжений.

Поэтому для изготовления изделий из шнурового оптического кабеля, учитывая требования негорючести применяемых материалов, был выбран оптоволоконный кабель в оболочке из малодымных безгалогенных материалов (LSZH) диаметром 1,5 мм; 2,5 мм; 3 мм с волокном в буферной оболочке диаметром 900 мкм и кевларовыми нитями в качестве силового элемента, препятствующего разрыву и растяжению кабеля.

Продукция ЗАО «СНПО «Импульс»», предназначенная для автоматизации технологических процессов на атомных станциях, должна иметь максимальные показатели по качеству и надёжности. Поэтому для удовлетворения этих требований был выбран оптический кабель фирм Corning и AMP. Данные фирмы являются одними из мировых лидеров по изготовлению оптических кабелей. Кабели этих фирм имеет соответствующие международные сертификаты качества, опробованы в Украине несколькими фирмами. Результаты опробования подтверждают высокое качество продукции фирм Corning и AMP. Кроме того, анализ предложения на рынке по данному направлению показал целесообразность выбора кабелей именно этих производителей, так как в Украине имеется по два представительства этих фирм.

### 1.3 Выбор оптических соединителей

Выбор оптических соединителей (коннекторов), также как и выбор оптического кабеля, обусловлен рядом факторов. К основным факторам, обуславливающим выбор оптических соединителей, относятся:

- условия эксплуатации изделий, в которых применяются оптические кабели;

- требования Заказчика;

- производственные возможности.

Условия эксплуатации определяют в первую очередь выбор соединителей с позиции материала корпуса, материала ферула, степени герметичности соединителя, способа крепления к ответной части и надёжности соединения с ответной частью.

Требования Заказчика диктуют привязку к существующему у Заказчика оборудованию, а также могут быть вызваны наличием специфических требований к параметрам передаваемого сигнала.

Фактор производственных возможностей рассматривается в том случае, если на предприятии уже освоена технология изготовления изделий из шнурового оптического кабеля и имеется набор определённого оборудования. Поэтому, при прочих равных условиях, целесообразно рекомендовать применение соединителей, аналогичных соединителям, применяемым в ранее освоенных изделиях.

Перед выбором типа соединителей был произведен анализ изделий-аналогов, изготавливаемых другими фирмами и оценка влияния каждого из видов соединителя на параметры передаваемого сигнала. По результатам проведенного исследования было установлено, что в настоящее время наиболее применяемыми являются соединители типа SC, FC, ST, LC, MTRJ. Данные соединители при оценке параметра затухания оптического сигнала имеют значение вносимых потерь в диапазоне 0,1 – 0,3 дБ. Параметр вносимых потерь у всех соединителей полностью соответствовал требованиям Заказчика. Поэтому при освоении технологии монтажа соединителей на шнуровой оптический кабель на производстве ЗАО «СНПО “Импульс”» основным фактором был выбор соединителей разработчиком, исходя из конструктивных особенностей интерфейса применяемых коммутационных устройств и интерфейса функциональных модулей. Вследствие этого в качестве основных соединителей были выбраны SC и MTRJ.

Фактор привязки к существующим производственным возможностям не использовался, так как изделия из шнурового оптического кабеля осваивались впервые.

#### 1.4 Выбор оборудования

После выбора конструктивных элементов (кабеля и соединителей) возникает вопрос выбора оборудования. При этом рассматриваются следующие аспекты:

- состав комплекта оборудования;

- вид и параметры оборудования, исходя из производственной программы.

При определении состава комплекта оборудования была проведена работа по изучению технологии монтажа соединителей на шнуровой оптический кабель. В общем, такая технология включает следующие этапы:

- разделку оптического кабеля;
- монтаж соединителей;
- полировку рабочих торцов соединителей (ферулов);
- проверку затухания оптического сигнала.

Разделка кабеля подразумевает его порезку на заготовки, удаление наружной оболочки и силовых элементов (кевларовых нитей, пластиковых волокон) в местах установки оптических соединителей, зачистку и обезжиривание оптического волокна.

Монтаж соединителей подразумевает их непосредственную установку на оптический кабель и фиксацию на кабеле (приклеивание, механическую обжимку и т.п.).

Полировка рабочих торцов соединителей выполняется для придания торцу ферула (центральной рабочей части соединителя) определенной формы и чистоты поверхности. Данная процедура выполняется с целью обеспечения требуемых параметров по затуханию оптического сигнала.

Проверка затухания оптического сигнала выполняется с целью проверки соответствия значения параметров затухания оптического сигнала нормативной и технической документации. В процессе проверки затухания оптического сигнала также происходит выявление продукции изготовленной с нарушением требований конструкторской или технологической документации и отбраковка такой продукции.

Состав комплекта оборудования был выбран исходя из необходимой последовательности операций, описанной выше. А именно, в состав комплекта вошли стрипперы для удаления наружной оболочки кабеля, стрипперы для удаления буфера оптического волокна, приспособления для удаления силовых элементов оптического кабеля, шаблоны для разделки кабеля под каждый из видов соединителей, обжимные приспособления (для механической фиксации соединителей на кабеле), приспособления для заполнения соединителей клеем, приспособления для удаления излишков оптических волокон после операции монтажа. Кроме того, в состав комплекта оборудования вошли приспособления для полировки ферулов и оборудование для проверки затухания оптического сигнала.

Приспособления для полировки и оборудование для проверки затухания оптического сигнала заслуживают отдельного рассмотрения и более скрупулезного выбора, так как именно это оборудование необходимо выбирать с привязкой к производственной программе.

Оборудование для полировки ферулов делится на автоматизированное – полировальные машины и ручное – подложки и оправки для полировки. Автоматизированное оборудование обеспечивает возможность изготовления большого количества изделий (обработка на одной единице оборудования до 500 соединителей в течение рабочей смены продолжительностью 8 часов). При помощи ручных приспособлений на одном рабочем месте (одним

исполнителем) в течение восьмичасовой рабочей смены возможна обработка до 20 соединителей. Для производства ЗАО «СНПО “Импульс”» оказалось достаточным приобретение приспособлений для ручной полировки, так как производственная программа в среднем составляет 400 соединителей в месяц. После организации четырех рабочих мест по полировке соединителей была обеспечена возможность обработки порядка 1500 соединителей в месяц.

Оборудование для проверки затухания оптического сигнала подразделяется на две группы:

- оборудование для контроля абсолютного численного значения затухания оптического сигнала;

- оборудование позволяющее производить контроль абсолютного численного значения затухания оптического сигнала, а также контролировать геометрию полируемых ферулов. Данная разновидность оборудования позволяет производить контроль с минимальными потерями времени на подключение проверяемого изделия к оборудованию и обеспечивает высокую достоверность контроля. Основным недостатком такого вида оборудования является его высокая стоимость.

Основным критерием в выборе проверочного оборудования является сопоставление стоимости оборудования и сроков его окупаемости. Для производства ЗАО «СНПО “Импульс”» с мелкосерийным изготовлением изделий из шнурового оптического кабеля наиболее рациональным оказалось приобретение оборудования для контроля только абсолютного численного значения затухания оптического сигнала.

Следует отметить, что при выборе оборудования учитывались рекомендации производителя кабеля и производителя соединителей относительно фирм-производителей технологического оборудования. Руководствуясь принципом достижения максимального качества было выбрано и приобретено оригинальное оборудование в соответствии с полученными рекомендациями. Это оборудование, предлагаемое фирмой АМР.

Критерием для организации производственного участка (площадь, количество рабочих мест, количество исполнителей) служила также производственная программа выпуска изделий из шнурового оптического кабеля. При вышеописанной производственной программе оказалось достаточным организовать производственный участок площадью в 40 м<sup>2</sup>, с четырьмя рабочими местами по установке соединителей и их полировке, одним рабочим местом по порезке оптического кабеля на заготовки и одним рабочим местом по проверке затухания оптического сигнала. Такой участок на производстве ЗАО «СНПО “Импульс”» обслуживается четырьмя исполнителями.

### 1.5 Разработка конструкции и технологии изготовления

Разработка конструкции изделий из шнурового оптического кабеля свелась к использованию выбранных видов оптических соединителей, выполнению требований Заказчика в плане длины изготавливаемых изделий и маркировочных обозначений на них, а также к соблюдению требований

производителя оптических соединителей в части использования оригинальных комплектов комплектующих частей и рекомендаций по их применению. На основании этого была разработана конструкторская документация на широкую гамму изделий с коннекторами SC и MTRJ, отличающихся между собой длинами, а также буквенной и цветовой маркировкой.

Для таких изделий был разработан типовой технологический процесс, который учитывал все требования конструкторской документации и рекомендации поставщиков оптических соединителей в плане соблюдения итераций процесса сборки, установки и соблюдения технологический режимов (температура, время, применяемый инструмент и технологическая оснастка).

После разработки конструкторской и технологической документации была изготовлена опытная партия изделий, подтверждающая освоение технологического процесса на производстве.

#### 1.6 Тестирование продукции, определение качества изделий

При определении качества (тестировании) продукции из оптоволоконного кабеля основополагающими являются два момента:

- соответствие требованиям технической документации фирмы-производителя (поставщика) комплектующих изделия в части значения затухания оптического сигнала;

- соответствие требованиям Заказчика, а именно, обеспечение устойчивости к тем воздействиям, которым подвергается аппаратура, в составе которой выполняется поставка изделий из оптоволоконного кабеля.

Исходя из таких соображений для тестирования продукции, изготовленной на производстве ЗАО «СНПО «Импульс»» была разработана программа испытаний, учитывающая, с одной стороны, параметры по затуханию оптического сигнала, оговоренные производителем (поставщиком) оптических соединителей, а, с другой, требования технических условий на изделия в составе которых было запланировано поставлять Заказчику изделия из шнурового оптического кабеля. В качестве объекта для испытаний методом случайной выборки из разных партий продукции были отобраны образцы, изготовленные по типовому технологическому процессу. Такая выборка изделий позволила минимизировать влияние человеческого фактора и влияние вероятностных ошибок (некачественная партия комплектующих, отступление от требований технологического процесса и т.п.). Из отобранных изделий был собран макет реальной линии связи, имитирующий несколько оптоволоконных каналов (линий связи) с максимально возможным количеством разъемных соединений - наиболее уязвимых мест для внешних воздействующих факторов.

На таком макете было произведено начальное измерение затухания оптического сигнала. Затем макет был подвергнут воздействию повышенной влажности и повышенной температуре, воздействию пониженной температуры, термоциклированию, механическим циклическим ударам и вибрациям, механическим ударам, имитирующим падение при транспортировке. Кроме того, макет подвергался проверке на растяжение о оценке достаточной

надежности сочленения оптических соединителей с ответной частью (оптическими розетками).

После каждого вида воздействий производились замеры величины затухания оптического сигнала и сравнение этой величины с первоначальными замерами (до испытаний).

Критерием для оценки было условие, при котором затухание оптического сигнала на любой итерации испытаний не должно превышать первоначального значения, измеренного до испытаний.

Все образцы испытания выдержали.

Второй, сравнительной, стадией тестирования образцов изготавливаемой продукции было сравнение с результатами испытаний аналогичного макета, состоящего из изделий производства других фирм. Макет формировался и испытывался по абсолютно идентичным требованиям. Результаты такого сравнения показали, что продукция ЗАО «СНПО “Импульс”» не уступает по качеству продукции иных аналогичных производств.

Третьей стадией тестирования было предоставление образцов продукции производства ЗАО «СНПО “Импульс”» на проверку и испытания в другие фирмы, которые проводили тестирование и определение качества по своим методикам. Все образцы продукции производства ЗАО «СНПО “Импульс”» выдержали проводимые испытания.

### **Заключение**

В данной статье рассмотрены основные моменты по освоению нового вида продукции в ЗАО «СНПО “Импульс”», а именно, изделий из шнурового оптического кабеля (патч-кордов), применяемых при построении локальных вычислительных сетей с использованием отдельных единиц оборудования и микропроцессорных комплексов производства ЗАО «СНПО “Импульс”».

Все вопросы, изложенные в статье, подвергались детальному рассмотрению, итогом которого становилось принятие решений по выбору конструктивных элементов, разработке конструкторской и технологической документации, выбору технологического оборудования, организации производственного участка, изготовлению образцов продукции и испытанию этих образцов.

После полномасштабного проведения всех этапов работ и получения положительных результатов был составлен акт внедрения технологического процесса изготовления изделий из шнурового оптического кабеля на производстве ЗАО «СНПО “Импульс”».

В настоящее время в составе различных аппаратных средств Заказчикам поставлено более 1000 единиц продукции производства ЗАО «СНПО “Импульс”» с применением оптического кабеля, которые отлично зарекомендовали себя в работе на реальных объектах.

### **Литература**

1. Р.Р. Убайдулаев, Волоконно-оптические сети, М., «Эко-Трендз», 1998
2. Измерение параметров в оптических сетях. Под ред. В.В. Шикина, М., «Технос», 2003
3. А.А. Мячев, Оптические кабели, Санкт-Петербург «Эльбрус», 2001
4. Tuso Electronics, Каталог продукции, 2005
5. R&M, Каталог продукции, 2004

**А. В. СУВОРИН, А.М. ЛАРГИНА, О. П. МИХАЙЛИНА, М.А. ОЖЕРЕДОВА**

*Северодонецкий технологический институт восточноевропейского национального университета им. В. Даля*

## ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ В ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

В химической технологии для предварительной оценки принципиальной возможности осуществления химического превращения, а также для оценки влияния на реакцию таких внешних параметров, как температура (Т), давление (Р), состав реакционной среды, применяется расчет изобарно-изотермического потенциала химической реакции ( $\Delta G_{T,P,C}$ ). В основу программного расчета изобарно-изотермического потенциала химической реакции положено известное уравнение Темкина-Шварцмана [1]:

$$\Delta G_{T,P,C} = \Delta G_T + RT \ln(K_f) + RT \ln(K_a) \quad (1)$$

где  $\Delta G_T$  - значение изобарно-изотермического потенциала реакции при нестандартной температуре. Рассчитывается по формуле:

$$\Delta G_T = \Delta H_{298}^0 - T * \Delta S_{298}^0 - T(M_0 * \Delta a + M_1 * \Delta b + M_2 * \Delta c + M_{-2} * \Delta d) * 10^{-3} \quad (2)$$

исходя из справочных значений изменения энтальпии ( $\Delta H_{298}^0$ ) и энтропии ( $\Delta S_{298}^0$ ), а также значений коэффициентов температурной зависимости теплоемкости веществ, участвующих в реакции ( $M_0, M_1, M_2, M_{-2}, \Delta a, \Delta b, \Delta c, \Delta d$ ).  $RT \ln(K_f)$ - поправка, учитывающая давление, состав газовой фазы и отклонения свойств реальных газов от идеальных. Величина  $K_f$  рассчитывается:

$$K_f = \frac{\prod \gamma_{\text{прод}}^{n_{\text{прод}}}}{\prod \gamma_{\text{исх}}^{n_{\text{исх}}}} \cdot \frac{\prod N_{\text{прод}}^{n_{\text{прод}}}}{\prod N_{\text{исх}}^{n_{\text{исх}}}} \cdot \left( \frac{P}{N_{\text{прод}} - N_{\text{исх}}} \right)^{(n_{\text{прод}} - n_{\text{исх}})} \quad (3)$$

исходя из фактического числа моль вещества, участвующих в реакции (N) и соответствующих им стехиометрических коэффициентов (n), а также активностей реальных газов ( $\gamma$ ), зависящих от фактически их критических температур и давлений.

$RT \ln(K_a)$ - поправка, учитывающая отклонение свойств реальных электролитов от идеальных. Величина  $K_a$  рассчитывается по формуле:

$$K_a = \frac{\prod A_{\text{прод}}^{n_{\text{прод}}}}{\prod A_{\text{исх}}^{n_{\text{исх}}}} \quad (4)$$

исходя из справочных данных зависимости коэффициентов активностей веществ ( $\gamma$ ) от их концентрации (m):

$$A = \gamma * m \quad (5)$$

При расчете активностей веществ в многокомпонентном электролите с одним общим ионом использован метод А.Б. Здановского [2], заключающийся в циклическом шаговом приближении активности воды в индивидуальных растворах и активности воды в смешанном растворе и расчетом приведенных концентраций растворенных веществ.

Расчет константы равновесия и равновесного состава осуществляется по известной методике, изложенной, например в [2,3], с использованием уже рассчитанных значений величин  $K_f$ ,  $K_\gamma$  и  $K_a$  для соответствующих значений температур, давлений и начальных концентраций веществ.

Программа реализована с использованием языка программирования Delphi 7 фирмы Borland. Преимущества этого языка программирования заключаются в скорости разработки приложений, высокой производительности разработанных приложений, низких требованиях разработанных приложений к ресурсам компьютера, возможность наращиваемости за счет встраивания новых компонент и инструментов в среду Delphi, возможности разработки новых компонент и инструментов собственными средствами Delphi (существующие компоненты и инструменты доступны в исходниках), удачной проработки иерархии объектов и т.д.

В программе организованы базы данных для хранения информации в виде таблиц:

- Стехиометрических уравнений
- Термодинамических данных веществ
- Коэффициентов летучестей для газообразных веществ
- Коэффициентов активностей для жидких веществ (электролитов)
- Активность воды в растворах электролитов

Имеется возможность пополнения указанных баз данных до 65535 записей каждая, т.е. база данных 1 может содержать до 65535 уравнений химических реакций, а базы данных 2-5 могут содержать информацию о 65535 химических веществах (широко известные справочники термодинамических величин одновременно содержат информацию о 3500-5500 веществах).

При выборе значений из таблиц 3-5 базы данных предусмотрена возможность интерполяции и экстраполяции за пределы известных данных с обязательной фиксацией количества шагов экстраполяции.

В программе реализованы циклы по температуре (Т), давлению (Р), числу моль (N) для каждого газообразного вещества и по молярной весовой концентрации ( $C_{мв}$ ) для каждого компонента электролита. На рисунке 1 представлено главное окно программы. На панели управления расположены кнопки для открытия базы стехиометрических уравнений , переход в режим редактора таблиц , запуска на расчет , сохранения результатов , настройки программы  и вывода результатов расчетов на экран или печать в виде графиков или таблиц. Результаты расчетов могут быть отправлены по электронной почте .

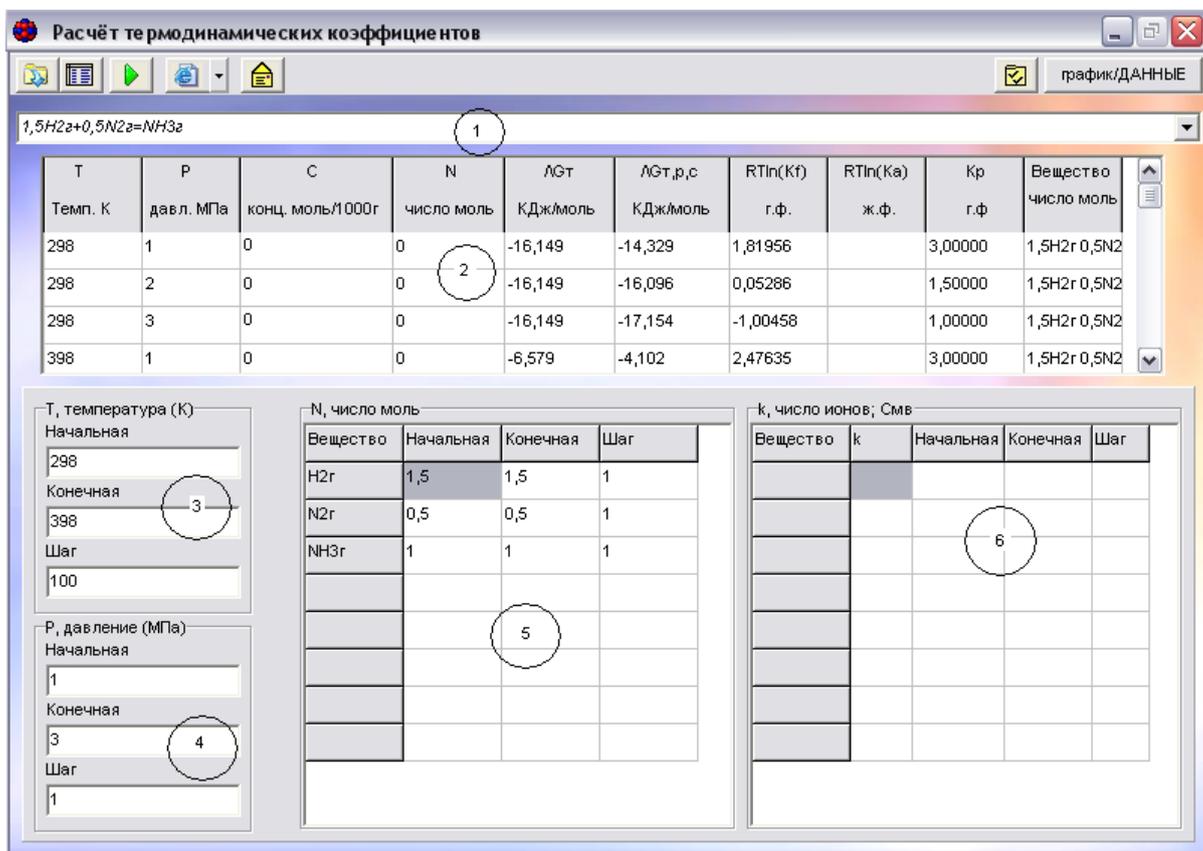


Рисунок 1 – Главное окно программы

Основное поле окна содержит элементы, отражающие базу стехиометрических уравнений (1), результаты расчетов (2), поле для ввода интервала температур (3) и давлений (4), а также для ввода интервала числа моль газообразных веществ (5) и числа ионов  $k$  и концентрации электролитов  $C_{\text{мв}}$  (6).

Результат выполнения работы программы может быть сохранен в виде файла .html и просмотрен на любом браузере. Также предусмотрено построение графиков для наглядного представления результатов работы.

Таким образом, созданный программный продукт позволит существенно облегчить и ускорить термодинамические расчеты в химической технологии. Он может использоваться как на промышленных предприятиях, научно-исследовательских институтах, так и в учебном процессе.

### Литература

4. Мюнстер А. Химическая термодинамика.: М. Мир 1971г, 296с.
5. Рябин В.А., Остроумов М.А., Свит Т.Ф. Термодинамические свойства веществ. Л.: Химия 1977г, 390с.
6. Физическая химия. Теоретическое и практическое руководство. Под ред. академика Б.П. Никольского. //Изд. перераб. и доп. Л.: Химия 1987г, 880с.

**М. В. ГОРОДЧАНИН**

*ЗАО «Северодонецкое научно-производственное объединение “Импульс”»*

## **ТЕХНИЧЕСКОЕ ПЕРЕВООРУЖЕНИЕ НАШЕГО ПРОИЗВОДСТВА - – ВЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ**

В данной статье изложены основные моменты становления производства в новых условиях хозяйственных отношений а также отражены моменты принятия решений и методика организации участка по изготовлению конструктивов из металлического листа.

### **Введение**

ЗАО «СНПО „Импульс”» является одним из ведущих предприятий по поставке вычислительной техники на объекты атомной энергетики. К такой технике относится следующая продукция: вычислительная аппаратура и управляющие комплексы контролирующие и управляющие технологическими процессами предприятий.

При переходе предприятия от методики планового производства к работе в условиях «рыночного хозяйствования» одним из основных показателей качества поставок продукции является минимизация времени изготовления техники.

Получить «заказ» на изготовление такой техники, выполнить работы в указанные сроки, изготовить технику по качеству, не уступающую европейскому уровню, практически невозможно без применения высокотехнологичного оборудования с ЧПУ.

Оборудование систем контроля и управления технологическими процессами – это шкафы, в которых размещаются системные блоки, начинённые радиоэлементами; мониторы; сетевое оборудование.

Разработка шкафов, тумб, тумб-подставок и других конструктивов занимают особую роль в цикле проектирования и изготовления техники предприятия в целом. Как и ранее предприятие иногда вынуждено обращаться к услугам фирм, ведущих европейских производителей шкафов таких как Ritall, Schroff, приобретая у них шкафы для макетных образцов нашей техники.

Для изготовления серийной продукции (шкафов, тумб и конструктивов) служит собственная развитая машиностроительная база, позволяющая производить продукцию в максимально сжатые сроки.

## **1. Участок оборудования для обработки металлического листа**

Один из актуальных вопросов на предприятиях, которые ведут самостоятельные разработки и изготовление под «заказ» техники высокого уровня, в которой задействованы конструктивы из металлического листа, является вопрос технического перевооружения производства, выбор и приобретение современного металлообрабатывающего оборудования.

Четыре года назад администрацией предприятия была поставлена задача: изготовление шкафов, тумб и других конструктивов из металлического листа своими силами.

По существующим в мировой практике передовым технологиям необходимо было приобретать универсальное высокотехнологичное просечное и гибочное оборудование, а для чего – провести поиск, сделать сравнительный анализ, доказать целесообразность приобретения современного, универсального оборудования для обработки и получения «изделий» из металлического листа.

Это оборудование должно было соответствовать возросшим нуждам нашего производства и позволить сокращение сроков изготовления изделий из листа.

Посетив выставку «INTER-TOOL 2001» в г. Киеве и затем «МЕТАЛЛООБРАБОТКА-2001» в г. Москва специалисты предприятия познакомились с представленным на рынке Украины и стран СНГ гибочным и просечным оборудованием. Среди этих предложений наибольший интерес у нас вызвало оборудование, выпускаемое фирмами «Trumpf» и «EXT» из Германии, «Amada» из Японии и «FINN-POWER» из Финляндии.

Принимая во внимание габариты выпускаемой техники было принято решение ориентироваться на просечное оборудование, по эксплуатационным характеристикам, способное работать с листом 2500 мм. х 1250мм.

Были изучены технические характеристики, сделаны сравнительные характеристики их возможностей, соответствия нашими требованиями. Был изучен опыт предприятий, работающих на оборудовании этих фирм, получены коммерческие предложения от фирм на Украине, России являющихся дилерами по продаже, запуску и гарантийному обслуживанию этого высокотехнологичного, оснащённого ЧПУ, оборудования.

Установив основные критерии оценки: «Цена», «Качество», «Надёжность и долговечность в эксплуатации» было принято решение - приобретать комплект оборудования обработки металлического листа производства Японии фирмы «Amada», согласно коммерческих предложений фирмы «БАТЕКС» г. Киев.

В комплект вошли два прессы с ЧПУ – просечной и гибочный, а также станок для заточки и переточки просечного инструмента, работающий в полуавтоматическом режиме с параметрами, задаваемыми оператором через систему ЧПУ.

Это оборудование оказалось приемлемым для нас по цене, простым и надёжным в эксплуатации.

На сегодня мы имеем трехлетний опыт эксплуатации этого оборудования. На нем мы обрабатываем тонколистовые материалы толщиной от 1 до 3,5 мм. Хорошо зарекомендовал себя просечной пресс модели «Европа–258» - высокоскоростной, с возможностью обработки листа с максимальными габаритами листа 2500мм. на 1250 мм. Легко и доступно оператор задаёт параметры детали на гибочном прессе, где по окончании ввода параметров система ЧПУ выдаёт рекомендации по применению гибочного инструмента.

Внедрение в технологический цикл производства обработки металлического листа на оборудовании «Amada» позволяет нашему предприятию оперативно, без изготовления дорогостоящей специальной технологической оснастки, в указанные сроки, поставлять заказчикам наши изделия, выживать в сложных современных условиях жёсткой конкурентной борьбы на «рынке» аналогов нашей продукции.

Изучив возможности просечного и гибочного оборудования фирмы «АМАДА», сегодня наше предприятие осваивает технологию изготовления каркасов шкафов, тумб для вычислительной техники из профиля собственного изготовления, изготовленного по документации, разработанной нашими специалистами.

Таким образом в перспективе при производстве вычислительной техники, входящие в них изделия из металлического листа, будут полностью базироваться на конструктивах собственного изготовления.

Производственная база для изготовления изделий из металлического листа ЗАО «СНПО „Импульс”» представляет собой комплекс современного высокопроизводительного технологического оборудования с ЧПУ.

**В.Н. СМОЛИЙ**

*Северодонецкий технологический институт Восточноукраинского  
национального университета им. В.Даля*

## **ОРГАНИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ПРОИЗВОДСТВА БЛОКОВ ЭЛЕКТРОННЫХ АППАРАТОВ**

Исследования, проводимые в отрасли производства электронных аппаратов (ЭА), показали наметившиеся тенденции глобализации взгляда на проблему повышения качества электронных средств, системности в решении проблемы повышения надежности за счет вариации техпроцессов изготовления электронных аппаратов и интеграции производства компьютерной техники по обеспечению связи моделирования с производством. В рассматриваемых системах моделирования электронных аппаратов недостаточное внимание уделяется вопросам анализа надежности электронных аппаратов с учетом влияния вибрационных, механических, компоновочных и прочих факторов. В связи с этим, актуальной является проблема развития теории автоматизации технологического процесса производства электронных аппаратов, связанная с наметившимися тенденциями в ее современном видении [3].

Решить проблему повышения надежности ЭА невозможно без анализа влияния возмущающих факторов, таких, как вибрационные, механические и ударные воздействия на конструкторскую иерархию электронных аппаратов [1, 2]. Причем решение данной проблемы предполагает выполнение последовательного анализа влияния этих возмущений с внесением корректив по результатам анализа. Целью внедрения вновь полученных результатов в производимый блок электронного аппарата служат, предложенные в работе [6]: критерий компоновки типового элемента замены (ТЭЗ) ЭА, критерий компоновки блока ЭА и критерий качества технологического процесса (ТП) производства блока ЭА.

Для внедрения научно-исследовательских результатов в существующий процесс производства блока электронного аппарата предлагается комплекс технических средств для ТП производства блоков ЭА. Для технологического процесса производства электронного аппарата характерно наличие нескольких блоков, выполняющих различные функции [4]. К таким блокам отнесем: анализ технического задания и генерация вариантов технического предложения, системотехнический, топологический, конструкторский, технологический, опытно-конструкторский, испытательный, производственный. Каждый из выделенных блоков работает со своим набором входных данных и генерирует соответствующие выходные данные. Все это происходит под влиянием управляющих воздействий с оптимизацией целевой функции. В рамках адаптивной системы по критерию компоновки, связывающему параметры ЭА и его составляющих с параметрами техпроцесса его производства.

В работе [5] было предложено комплексирование технических средств, базирующееся на организации процесса решения отдельной задачи в отдельной сети (структура отдела НИИ) с последующим объединением ее в общую сеть. Эта структура является громоздкой и экономически не эффективной в современных экономических условиях, поэтому применим структуру локальной сети с выходом в глобальную сеть, на которой реализуем функции организации процесса производства, включив сюда решение задачи экспертного рецензирования поступающих извне проектов и комплексную лабораторию механических испытаний. Предполагаемая структура комплекса технических средств приведена на рисунке 1.

Разработанные программно-технические комплексы для моделирования механических нагрузок блока ЭА и его составляющих [1, 2] в предлагаемом комплексе технических средств выделены отдельным элементом. Посредством сетевой технологии реализована взаимосвязь разработанных программно-технических комплексов (ПТК), как с АРМами конструктора, технолога и производства, так и с экспериментальной установкой. Такой конфигурацией обеспечена возможность управления процессом производства и пополнения системы недостающей информацией, поступающей из лаборатории механических испытаний.

На рис. 1 компонент АРМ означает, либо одного специалиста, либо группу людей, выполняющих рассматриваемые функции. Автоматизированная складская система (АСС) связана, как с АРМ технолога, так и с АРМ производства, что позволяет обеспечить «гибкость» процесса производства и уменьшить себестоимость изделия без потери надежности.

АРМ производства включен в единую локальную сеть и обуславливает течение технологического процесса, сходное с «естественным», однако в рассматриваемом случае на производственные станки и автоматы идут программы, перестроенные под задачу повышения надежности производимого изделия.

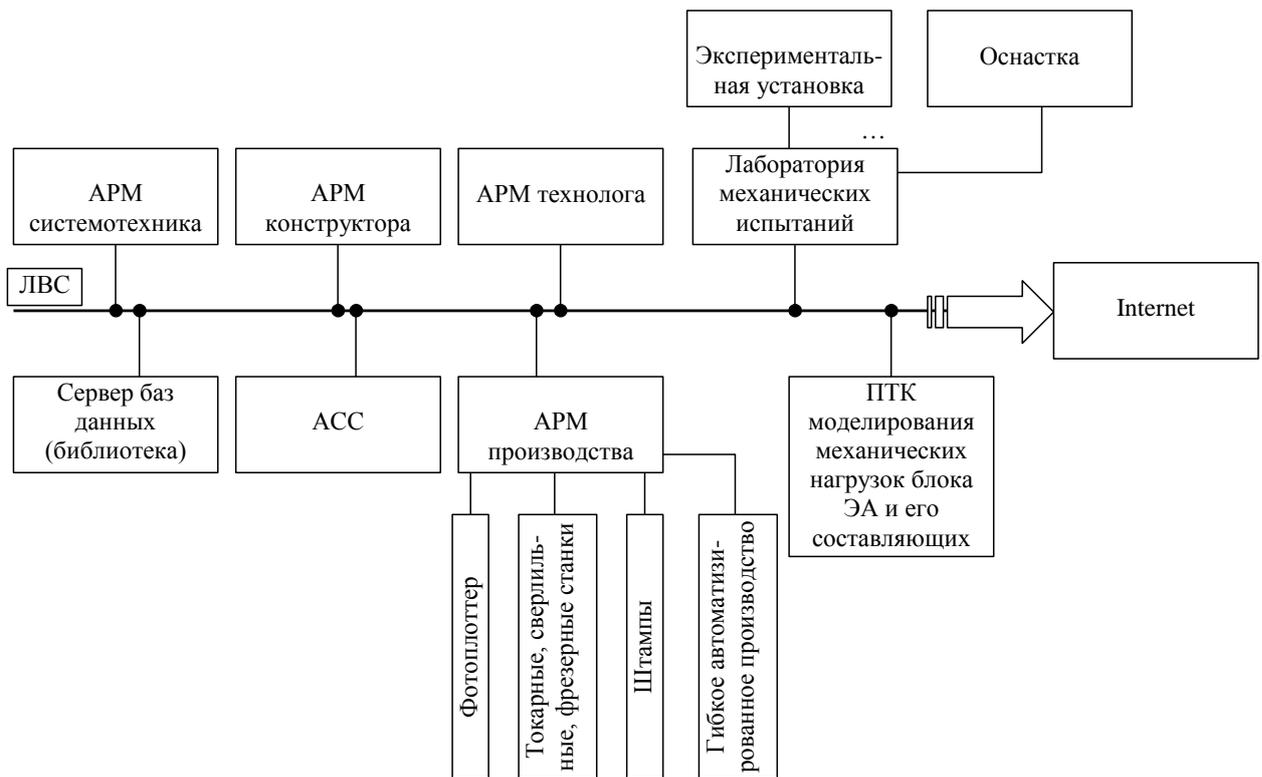


Рисунок 1 – Структура комплекса технических средств

Отдельно выделенный блок - сеть Internet, предполагает выполнение предлагаемым комплексом технических средств функции рецензирования проектов, поступающих с других предприятий или фирм отрасли, и простоту организации и построения распределенной структуры производства, предполагающую и поддерживающую специализацию предприятий и расширяющие имеющееся в наличии у предприятий программно-техническое обеспечение.

### Литература

1. Ульшин В.А., Смолий В.Н. Программно-технический комплекс для моделирования механических нагрузок типовых элементов замены электронных аппаратов // Вісник СНУ ім. В.Даля. - 2005. – №10(92). - С. 220-225.
2. Ульшин В.А., Смолий В.Н. Программно-технический комплекс для моделирования механических нагрузок блоков электронных аппаратов // Праці Луганського відділення Міжнародної Академії інформатизації. - 2006. – №1(12). - С. 45-49.
3. Ульшин В.А., Смолий В.Н. "Критерий компоновки как системный фактор в теории автоматизации производства электронных аппаратов" Міжн. конф. «Моделювання та дослідження стійкості динамічних систем (DSMSI-2005)». – Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – 2005. - С.157
4. Генкин Б.И., Смолий В.Н. Математическое моделирование колебаний блоков электронных аппаратов// Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжнародний зб. наукових праць. – Донецьк: ДонНТУ, 2006.- Вип. 31. – С.46-53.
5. Смолий В.Н. Автоматизированная система управления технологическим процессом производства типовых элементов замены электронных аппаратов / Диссертация на соискание уч. степ. к.т.н., Донецк, 2001, 204 с.

6. Ульшин В.А., Смолий В.Н. Задачи системного моделирования процесса производства электронных аппаратов // Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжнародний зб. наукових праць. – Донецьк: ДонНТУ, РВА ДонНТУ, 2005.- Вип. 29. – С.206-212.