



# Автоматизация производства смолы ПВХ на заводе «Капролактам»

Екатерина Есина, Алексей Пастухов

В статье рассматривается АСУ ТП производства поливинилхлорида. Описываются функциональные возможности системы, технические характеристики, структура и назначение аппаратно-программных средств. Представлены решения, направленные на снижение влияния человеческого фактора и повышение безопасности при производстве, а также основные принципы организации аппаратного дублирования на разных уровнях с целью обеспечения высокой надёжности системы в целом.

## Предыстория создания системы

Производственный комплекс ОАО «СИБУР-Нефтехим» состоит из трёх технологически взаимосвязанных заводов по производству нефтехимической продукции. Завод «Капролактам» — одно из предприятий этого комплекса — расположен в городе Дзержинск. На заводе действует несколько производств, на одном из которых выпускается смола поливинилхлорида (ПВХ).

Ранее этот производственный процесс контролировался при помощи системы автоматики первого поколения на базе ЭВМ ЕС-1010. Многие параметры отображались на показывающих приборах. Процессы регулирования производились вручную. Естественно, что возникла необходимость в замене ЕС-1010, причём оборудование верхнего уровня подлежало замене на современную систему с учётом того, что на технологических установках оставались прежние датчики и исполнительные устройства. Новая система должна была поддерживать все функции и возможности старой системы, а также обеспечивать дополнительный сервис в работе персонала. Внедрение такой системы АСУ ТП позволило бы снизить уровень влияния человеческого фактора на процесс производства, а также повысить безопасность работы обслуживающего персонала.

Работы по внедрению новой системы АСУ ТП были переданы предприятию ООО НТО «Терси-КБ» (г. Саров Нижегородской области), уже имевшему к

тому времени опыт создания систем автоматизации и диспетчеризации на заводах ОАО «СИБУР-Нефтехим». Согласно поставленным требованиям, предприятием учитывались условия привязки новой системы к существующему ассортименту приборов и преобразователей, характеристики выходных сигналов, точность измерений параметров и износ имеющегося оборудования. Внедрение новой системы предполагало выполнение «под ключ» полного объёма работ, охватывающего все основные стадии от предпроектного обследования и выпуска проектно-сметной документации до поставки, монтажа и наладки. По завершении этих работ планировалось провести комплексные испытания, выпустить исполнительную и эксплуатационную документацию, обучить персонал для самостоятельного обслуживания системы.

## Технологический процесс

Технологический процесс производства смолы ПВХ проводится методом суспензионной полимеризации. Процесс выполняется в двух параллельных технологических потоках, которые называют «северной» и «южной» нитками. В каждой нитке работает семь реакторов, предназначенных для проведения полимеризации винилхлорида (ВХ). Одновременно в работе может находиться до 10 реакторов.

Технологический процесс производства состоит из трёх стадий. На первой стадии происходит подготовка для загрузки в реактор компонентов: обессо-

ленной воды, раствора эмульгатора (МОПЦ) и винилхлорида. На этом этапе важными показателями являются массы отдельных компонентов. Второй этап является основным в производстве, в нём осуществляется полимеризация ВХ в реакторе. Реактор представляет собой вертикальный цилиндрический аппарат с перемешивающим устройством (мешалка) и теплообменной оболочкой (рубашка). Процесс полимеризации ВХ проводится внутри реактора с определённой температурой, влияющей на интенсивность реакции. Температура среды в реакторе регулируется подачей охлажденной воды или водяного пара в рубашку реактора. Окончание полимеризации определяется по истечении определённого времени, в зависимости от марки получаемого ПВХ и по началу падения давления в реакторе. На третьей стадии по окончании полимеризации проводится дегазация реактора в несколько этапов. Результатом всех описанных процессов является образование в реакторе суспензии ПВХ.

Оборудование, относящееся к данному производственному процессу, располагается в отдельном корпусе цеха. Этот корпус цеха по взрывопожарной опасности относится к категории А, по ПУЭ имеет класс взрывоопасной зоны В-Ia, характеризуется категорией и группой взрывоопасных смесей ПАТ1.

Для защиты персонала от вредных воздействий и оптимизации управления контроль состояния всех технологических процессов по показаниям датчиков и управление исполнитель-

ными механизмами производятся удалённо с диспетчерского пункта.

Объём параметров для автоматизации 14 реакторов и всего вспомогательного оборудования можно оценить по количеству используемых каналов для разных типов сигналов:

- общее количество каналов телеизмерения — 72;
- общее количество каналов телесигнализации — 392;
- общее количество каналов телеуправления — 420;
- общее количество каналов телерегулирования — 32.

## АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ

Система АСУ ТП выполнена на базе комплекса программно-технических средств «Каскад-САУ» производства НТО «Терси-КБ». Комплекс «Каскад-САУ» зарегистрирован в Госреестре СИ и имеет разрешение на право применения оборудования, сертификат об утверждении типа средств измерений.

Структура системы содержит два уровня, условно именуемых «средний» и «верхний». Средний уровень представлен контролируемым пунктом, состоящим из нескольких щитов (шкафов). На этом уровне в автоматическом режиме производится вся обработка информации, поступающей от датчиков и операторов системы, с передачей данных на верхний уровень, а также регулируются и управляются технологичес-

кие процессы по заданным алгоритмам. Верхний уровень содержит рабочие места операторов, серверы и другое оборудование. На верхнем уровне размещаются конфигурационные и архивные данные, реализуются интерфейсы оператора и инженера системы.

В составе среднего уровня находятся три щита, установленных в помещении диспетчерской службы цеха. Конструктивно они выполнены на базе 19" шкафов фирмы Rittal напольного исполнения с двухсторонним доступом. Корпуса шкафов выбраны со степенью защиты от проникновения пыли и воды IP55. Конструктивное исполнение всех щитов унифицировано. Внутренняя часть щитов позволяет осуществлять подвод и монтаж кабелей в ограниченном пространстве благодаря компактному и специально оптимизированному размещению элементов. Сигнальные кабели подведены к щитам через цоколи и закреплены кабельными зажимами, вводные отверстия герметизированы. Прокладка кабельных линий осуществлена по кабельному этажу, использована кабельная продукция с оболочками, не поддерживающими горение. В каждом щите установлен вентилятор принудительного охлаждения, включение и отключение которого производится автоматически технологическим алгоритмом контроля температуры воздуха в щитах. Для удобства работы в щитах установлены светильники дневного света.

В щитах контролируемого пункта размещены блоки ввода/вывода производства НТО «Терси-КБ». Конструктивное исполнение блоков предусматривает их монтаж на симметричную направляющую 35 мм стандарта DIN 46277. Соединение блоков между собой обеспечивается конструкцией корпуса Phoenix Contact. Блоки входят разъёмами один в другой, образуя линейку с единой шиной.

К крайнему левому блоку подключается внешний разъём, подводящий линии питания. Максимальное количество блоков на одной шине — 15 штук. Адрес каждого блока уникален и задаётся перемычками на плате. Ведущим устройством на шине является коммуникационный блок ВСЕ-4, который

опрашивает остальные (ведомые) блоки. Блок ВСЕ-4, в свою очередь, опрашивается процессорным блоком СРСD по любому из интерфейсов: Ethernet 10Base-T, RS-232 или RS-485 по протоколу Modbus.

Щиты контролируемого пункта разделены по принадлежности к обработке параметров измерения, управления или сигнализации и имеют различия, связанные с типом и количеством обрабатываемых параметров. В соответствии с данным делением щитам присвоены следующие наименования: щит центральный, щит управления и щит сигнализации. На рис. 1 показан внешний вид щитов контролируемого пункта и серверного щита из состава верхнего уровня системы.

В центральном щите находятся процессорные блоки СРСD, устройство управления резервированием UCR-2, блоки телеизмерения ВAD-8 и телерегулирования ВАО-8, блоки питания и коммутаторы сети Ethernet.

Для обеспечения высокой надёжности производится дублирование основных составных частей щита: дублируется процессорный блок СРСD, выполненный на базе безвентиляторного промышленного компьютера ARK-3382 производства компании Advantech, дублируются блоки телерегулирования ВАО-8, блоки питания, коммутаторы сети Ethernet и линии связи с оборудованием ввода/вывода.

Применение промышленного компьютера Advantech ARK-3382 в данном проекте обусловлено требованиями к конструктивному исполнению (высокая надёжность конструкции, безвентиляторный корпус, возможность применения носителя CompactFlash с лёгким доступом к нему извне вместо жёсткого диска) в сочетании с высокой производительностью процессора (Celeron 1 ГГц). Выбор данной модели компьютера также обусловлен требованиями к наличию наряду со стандартным перечнем периферийных интерфейсов (монитор, клавиатура, COM-порт RS-232) четырёх интерфейсов Ethernet 10/100 Мбит/с, необходимых для организации двух дублированных линий связи.

Дублированные блоки СРСD работают параллельно друг другу. В каждый момент времени один из них является ведущим, а другой ведомым. Входные параметры от датчиков и сигнализаторов поступают параллельно на оба блока, управление выходными каналами

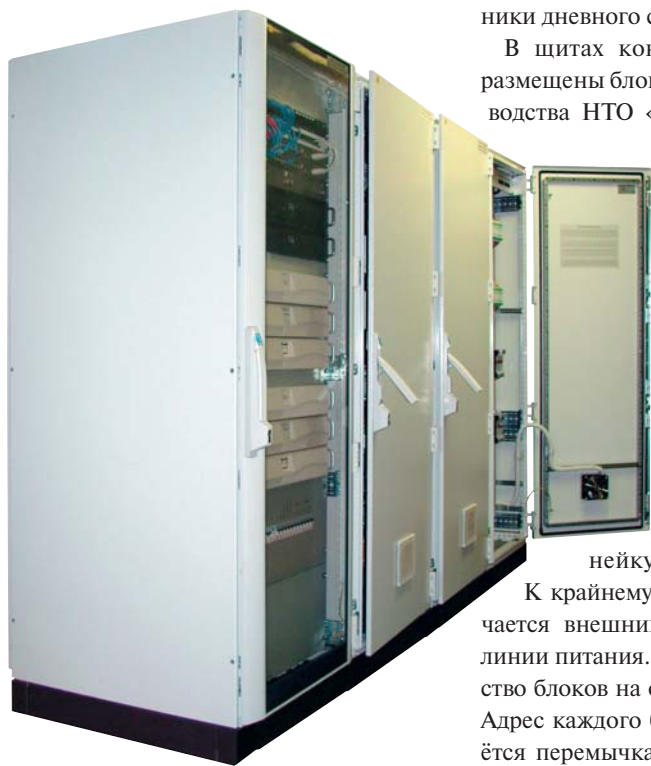


Рис. 1. Внешний вид щитов системы «Каскад-САУ»

производится только ведущим блоком CPCD. Устройство управления резервированием UCR-2 определяет, какой из двух блоков CPCD является ведущим в системе. Специализированное программное обеспечение процессорного блока CPCD работает под управлением операционной системы реального времени QNX 4. Схема связей резервированного оборудования в центральном щите показана на рис. 2.

Блоками ВАО-8 центрального щита обеспечивается приём нормализованных сигналов телеизмерения 4...20 мА от существующих преобразователей с собственными источниками питания. Приведённая погрешность измерительных каналов не превышает 0,15%.

Блоками ВАО-8 производится формирование сигналов телерегулирования 4...20 мА. Электропитание данных сигналов обеспечивается установленными в щите блоками питания 24 В постоянного тока.

В дублированной схеме работы блоков телерегулирования ВАО-8 один блок является основным, другой резервным. Рабочей нагрузкой управляет основной блок ВАО-8, резервный в этот момент отключён от выходных цепей и работает на внутреннюю нагрузку, при этом контроль выходного тока сохраняется. Перевод резервного блока в режим основного производится по команде процессорного блока. В этом случае основной блок по цепям блокировки переводится в резерв и отключается от рабочей нагрузки. Цепи блокировки предотвращают одновременную работу основного и резервного блоков на рабочую нагрузку.

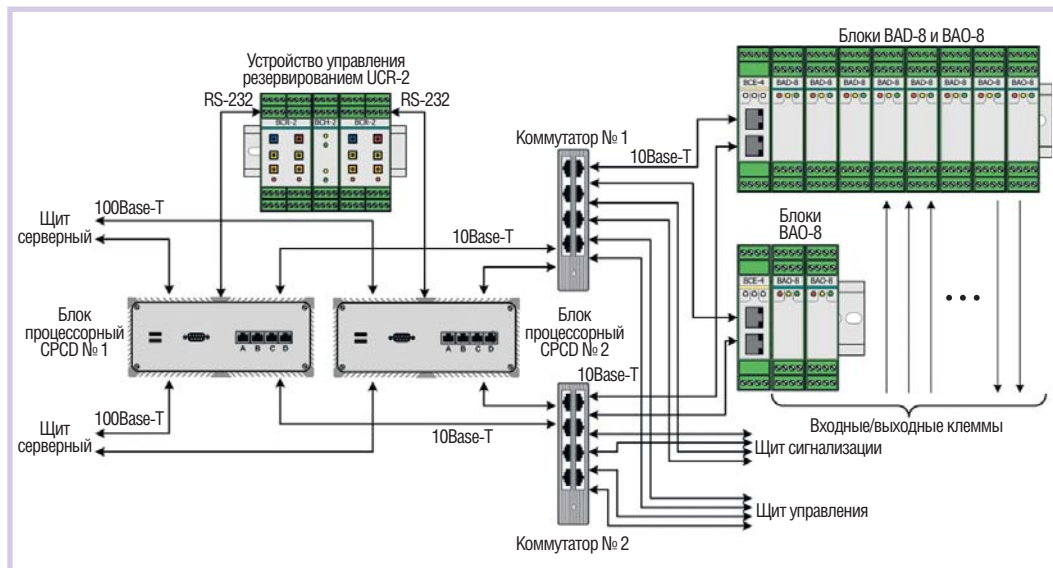


Рис. 2. Структура связей резервированного оборудования центрального щита

Все блоки ввода/вывода имеют на лицевой стороне корпуса индикацию, которая отражает рабочее состояние блоков, сигнализирует о наличии питания, об обмене данными, а в дублированной системе дополнительно присутствует индикация о состоянии ведущего устройства.

Схемы щитов сигнализации и управления реализованы на блоках ввода/вывода сигналов VID-14 и BOD-14, которые осуществляют обмен информацией с процессорными блоками через коммуникационный блок ВСЕ-4.

В состав щита сигнализации входят линейки блоков дискретного ввода VID-14. Данные блоки осуществляют обработку дискретной информации технологического процесса, поступающей со стоек релейных щитов и непосредственно от технологического оборудования. Входные каналы блоков имеют индивидуальную гальваническую развязку. Дополнительно к этому дискретные входы изолированы от полевых устройств с помощью промежуточных реле, расположенных в этом же щите. Компоновка щита сигнализации, конструктивное размещение его элементов показаны на рис. 3.

В состав щита управления входят линейки блоков дискретного вывода BOD-14, которые производят выдачу на электропневмопозиционеры и другие исполнительные устройства сигналов телеуправления. Дискретные выходы 24 В управляют полевыми устройствами с питанием 220 В через промежуточные реле. Контакты реле рассчитаны на коммутацию переменного тока до 5 А напряжением до 250 В. Фаза, поданная на реле, защищена клеммой с держателем предохранителя.

Для обеспечения надёжности передачи данных производится дублирование каналов связи щитов сигнализации и управления с центральным щитом, а также блоков питания полевых цепей. Покомпонентное дублирование выполнено таким образом, что при выходе из строя какого-либо элемента переключение на резерв производится только у данного элемента без переключения других (исправных) элементов на резервные.

С помощью перечисленного оборудования средний уровень системы (контролируемый пункт) производит измерение и контроль параметров от технологических датчиков, осуществляет обработку и хранение информации, вычисление расчётных параметров, выдаёт сигналы регулирования и управления технологическим процессом по заданным алгоритмам, обеспечивает передачу информации по контролируемому параметрам технологического процесса на верхний уровень.

Верхний уровень системы имеет дублированную структуру, схема которой приведена на рис. 4. Он содержит два взаимозаменяемых автоматизирован-



Рис. 3. Щит сигнализации: конструктивное размещение элементов

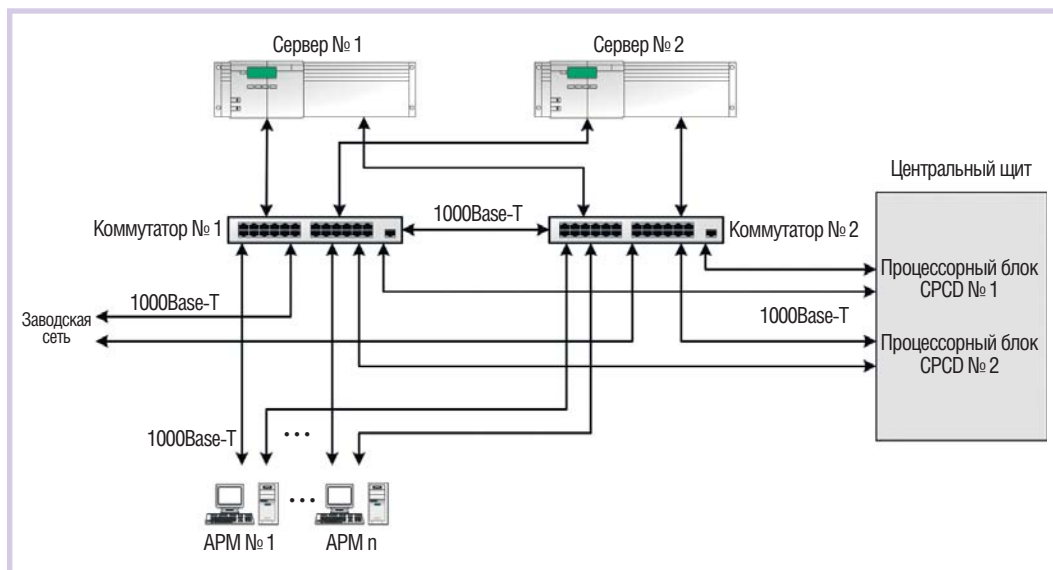


Рис. 4. Дублированная структура верхнего уровня системы

ных рабочих места (АРМ) операторов, одно автоматизированное рабочее место оператора-инженера, серверное оборудование с дублированным архивно-конфигурационным сервером, комплектом сетевого оборудования и дублированной системой бесперебойного питания.

Оборудование верхнего уровня, кроме АРМ и принтеров, размещено в серверном щите. Одним из основных элементов верхнего уровня является дублированный архивно-конфигурационный сервер. Он предназначен для хранения программной конфигурации системы, а также выполняет функцию долгосрочного архивирования информации о параметрах и событиях технологического процесса, результатов измерений и вычислений. Программное обеспечение сервера «Каскад-САУ» версии 3.2 работает под управлением операционной системы общего назначения MS Windows 2000 Professional. Длительность хранения в архиве информации о событиях, происходящих в системе, не менее 360 суток, точных данных — не менее 30 суток, усреднённых данных — не менее 360 суток, сводок — без ограничения времени. Внешний вид серверного и центрального щитов показан на рис. 5.

Автоматизированные рабочие места операторов и инженера подключены к серверному щиту по сети Ethernet через 24-портовый промышленный коммутатор. Программное обеспечение АРМ «Кас-

кад-САУ» версии 3.2 работает под управлением операционной системы MS Windows 2000 Professional.

Автоматизированные рабочие места выполнены на базе персональных компьютеров в офисном исполнении. Каждое место оборудовано двумя жидкокристаллическими мониторами, влагозащищённой клавиатурой и манипулятором «мышь». Два монитора позволяют расширить рабочее пространство для отображения данных. Такое решение даёт возможность оператору одновременно контролировать работу нескольких реакторов и вспомогательного оборудования.



Рис. 5. Внешний вид серверного и центрального щитов

АРМ реализует идентификацию пользователя для обеспечения защиты от несанкционированного доступа к управлению технологическим оборудованием и модификации конфигурационной информации. Программное обеспечение АРМ «Каскад-САУ» предусматривает следующие меры защиты от несанкционированного доступа:

- применение системы персональных имён и паролей;
- разграничение системных и технологических прав для различных ка-

тегорий оперативного и обслуживающего персонала;

- регистрация действий оператора и инженера.

На мониторах АРМ представлена оперативная информация о работе технологического оборудования в виде мнемосхем, списков событий и трендов. Оператору предоставляется возможность ручного управления технологическим оборудованием, задания величин уставок и регулирующих сигналов. Возможны генерация по запросу оператора различных сводок и отчётов, графиков, таблиц за заданный промежуток времени и распечатка их на принтере. Организованы построение текущих и архивных трендов для произвольно выбранного сочетания параметров и распечатка их на принтере. Реализована функция просмотра предыстории данных и событий за заданный промежуток времени. Периодически производится синхронизация времени АРМ по времени архивно-конфигурационного сервера.

АРМ инженера предназначен для модификации и сопровождения системы. На этом рабочем месте реализуются сервисные функции, проводится проверка правильности функционирования программно-технических средств. У обслуживающего персонала участка КИП имеется возможность с помощью АРМ инженера изменять и вносить дополнения в технологические алгоритмы системы.

Дополнительно АРМ инженера выполняет все функции автоматизированного рабочего места оператора, представляя собой резервное АРМ оператора. Отказ любого из АРМ не приводит

к потере архивных и оперативных данных, а также к потере автоматического управления и контроля за процессом на объекте в целом или на его отдельных участках со стороны других АРМ.

### СИСТЕМА ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ

К электропитанию системы были предъявлены отдельные требования по надёжности источников бесперебойного питания и по обеспечению стабилизации частоты и напряжения на выходе цепей. В соответствии с этими требованиями было принято решение использовать источники бесперебойного питания PW9125 (3000 В·А) с двойным преобразованием (online) и встроенными батареями. Предписанное в технических требованиях время работы от батарей при пропадании напряжения питающей сети должно быть не менее 30 минут. Для обеспечения этого времени к источнику бесперебойного питания (ИБП) дополнительно подключён батарейный модуль ВАР 3000 ЕВМ72. В ИБП предусмотрена функция «горячей» замены батарей, что позволяет осуществлять замену внутренних батарей без отключения нагрузки. Для замены неисправного блока ИБП в системе предусмотрен сервисный байпас SB 3000, который позволяет питать потребители в обход источника бесперебойного питания. Управление байпасом производится ручным переключателем на задней части корпуса.

Цепи питания каждого щита защищены автоматическими выключателями, расположенными в нижней части серверного щита. В том же щите расположено устройство автоматического включения резервного питания (АВР), обеспечивающее питание системы от одного из двух вводов заводской сети электропитания.

Автоматизированные рабочие места оператора и инженера тоже снабжены ИБП, в качестве которых применены источники SUA750I фирмы APC. Тип этих ИБП — линейно-интерактивный (line-interactive), мощность — 750 В·А.

Общая структурная схема электропитания системы представлена на рис. 6.

### ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АЛГОРИТМЫ

Сигналы управления работой всех реакторов и вспомогательного оборудования, участвующего в технологическом процессе, формируются в процессе выполнения технологических алгоритмов системы. С помощью технологических алгоритмов в системе автоматизации решены следующие задачи:

- автоматическая обработка сигналов, поступающих от датчиков давления, разрежения и температуры, используемых на всех реакторах и вспомогательном оборудовании;
- автоматическое и по указанию оператора формирование команд управления клапанами, мешалками, вентиляцией и насосами;
- автоматическая сигнализация положения клапанов, мешалок и насосов на технологической линии процесса;
- автоматическое поддержание температуры в реакторах согласно регламенту.

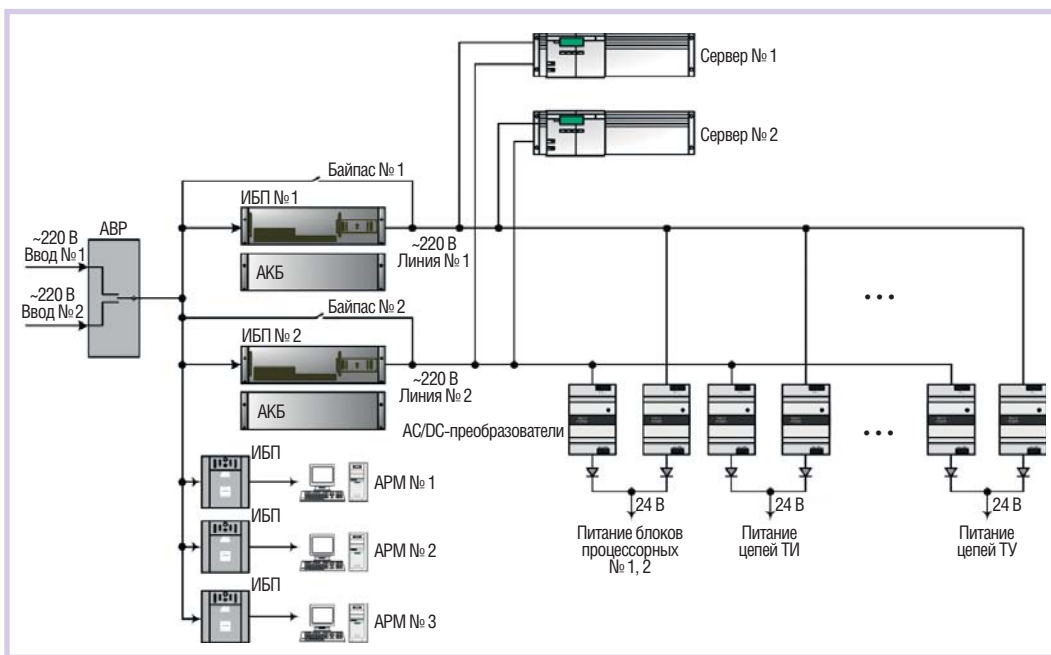
Для получения ПВХ различных марок в производстве применяются различные рецептуры и режимы операций. Поэтому перед запуском технологического процесса обслуживающему персоналу предоставляется возможность выбора марки ПВХ, а также изменения настроек и режимов работы технологического алгоритма. Так, оператор имеет возможность ручной корректировки констант полимеризации и вспомогательных технологических уставок для определённой марки ПВХ.

Алгоритм работы системы представляет собой пошаговое исполнение технологических операций. Каждая технологическая операция выполняется либо средствами системы, либо обслуживающим персоналом вручную. При ручном режиме обслуживающий персонал должен подтвердить выполненную операцию с целью регистрации её исполнения в архивной базе сервера системы.

В алгоритме предусмотрена возможность выхода в нерабочее состояние из любой операции без выполнения каких-либо исполнительных действий системы. При неуспешном завершении какой-либо из операций оператор имеет возможность перехода на следующую операцию.

Для визуального наблюдения за протекающими процессами разработаны общая технологическая мнемосхема (рис. 7) и отдельные мнемосхемы реакторов (рис. 8), отображающие схему определённого реактора вместе с его вспомогательным оборудованием. Дополнительно к этому созданы отдельные мнемосхемы с отображением всех общецеховых вспомогательных систем, подлежащих автоматизации.

Общая технологическая мнемосхема отображает состояние только наиболее важных параметров, запорной арматуры и насосов всего производства. Для получения детальной информации о работе любого из реакторов существует возможность перехода на его мнемосхему как с общей мнемосхемы, так и через контек-



Условные обозначения: АВР — автоматическое включение резервного питания; АКБ — аккумуляторная батарея; АРМ — автоматизированное рабочее место; ИБП — источник бесперебойного питания; ТУ — телеизмерение.

Рис. 6. Структурная схема электропитания системы

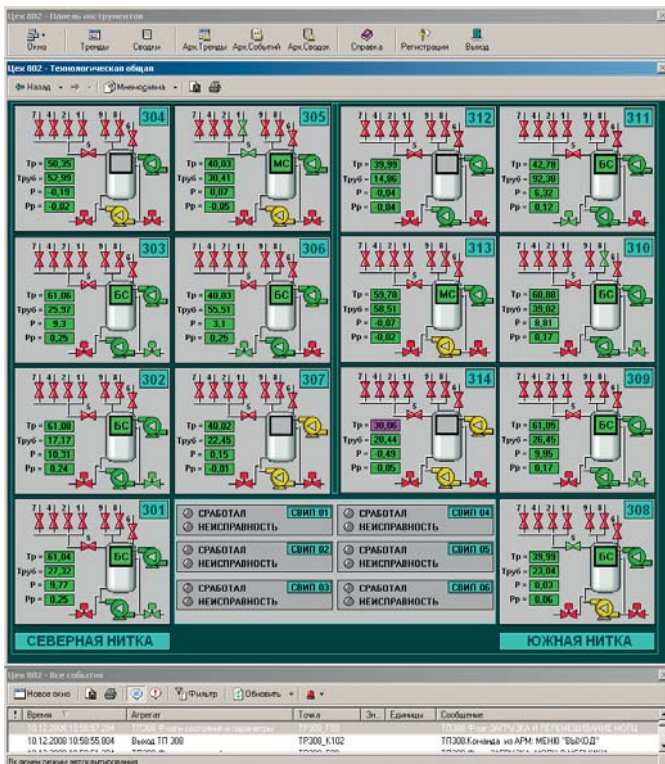


Рис. 7. Общая технологическая мнемосхема

стное меню любой мнемосхемы. На мнемосхеме реактора отображаются информация о состоянии оборудования, участвующего в технологическом цикле, значения контролируемых аналоговых и дискретных параметров, а также информация автоматической системы регулирования процесса полимеризации.

### ФУНКЦИИ СИСТЕМЫ

Внедрённая система автоматически в реальном масштабе времени протекания технологического процесса реализует следующие функции:

- сбор, первичная обработка и регистрация информации о технологическом процессе и состоянии технологического оборудования;
- диагностика состояния технических средств сигнализации и управления (в том числе измерительных каналов), проверка достоверности информационных сигналов;
- контроль параметров технологического процесса, вычисление расчётных параметров, формирование команд управления исполнительными устройствами;
- выдача на исполнительные устройства сигналов управления и регулирования;
- выработка системных сообщений в нештатных ситуациях (при выходе значений параметров за регламентированные нормы, при отказах датчиков и т.д.);

- архивирование информации о технологическом процессе в архивно-конфигурационном сервере.

Одновременно с перечисленными функциями системы АРМ оператора по запросам персонала (оператора) предоставляет следующие возможности:

- отображение на мониторах АРМ оперативной информации о работе технологического оборудования в виде мнемосхем, списков и трендов;
- управление работой оборудования, уставками и настройками технологических алгоритмов непосредственно с мнемосхем;
- генерация по запросу оператора различных сводок и отчётов, графиков, таблиц за заданный период (в том числе за смену, сутки, месяц и т.д.) и распечатка их на принтере;
- построение текущих и архивных трендов;
- просмотр предыстории технологического процесса и действий оператора за заданный промежуток времени.

Для обслуживания системы, включая модификацию технологических параметров и алгоритмов, на АРМ инженера реализованы сервисные функции:

- редактирование информационного и математического обеспечения системы (параметров, алгоритмов, карт управления, мнемосхем и т.д.);
- администрирование системы (настройка профилей пользователей, оборудования, аппаратного обеспечения и т.д.).

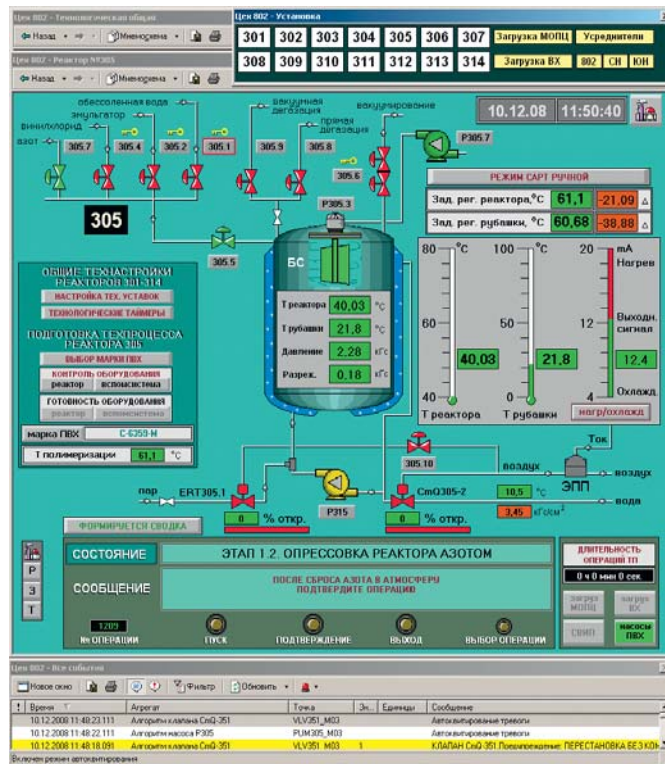


Рис. 8. Мнемосхема реактора

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Внедрение системы проходило в III квартале 2007 года в условиях действующего производства. В связи с этим подключение реакторов к новой системе осуществлялось поочередно по мере их вывода из технологического цикла. В процессе подключения реакторов производилась коррекция математического обеспечения системы посредством подбора настроечных коэффициентов и уточнения работы алгоритмов для учёта особенностей оборудования (реактора) и параметров работы системы.

В процессе проведения пусконаладочных работ были успешно пройдены все необходимые заводские и приёмосдаточные испытания, после чего система была запущена в промышленную эксплуатацию.

За время работы внедрённой системы были проведены две запланированные остановки цеха. Во время данных остановок обслуживающим персоналом совместно с сотрудниками НТО «Терси-КБ» проводилась оценка текущего состояния системы и анализировалось качество её работы. Показатели свидетельствовали об отсутствии отклонений в работе системы, об эффективности реализованных в системе решений, которые гарантируют стабильную работу производства смолы ПВХ с высоким качеством выпускаемой продукции. ●