

# Система управления опытным универсальным стендом-камерой

*Андрей Шустов, Марианна Шустова*

В статье описывается система управления опытным универсальным стендом-камерой для отработки основных технологических процессов производства МОКС-топлива. Перед разработчиками стояла задача создания современного и надёжного решения, обеспечивающего безопасность обслуживающего персонала и высокую точность позиционирования механизмов.

## История создания системы

В настоящее время в рамках федеральной целевой программы «Ядерные энерготехнологии нового поколения» реализуется проект создания производства виброуплотнённого МОКС-топлива для реактора БН-800, который строится на Белоярской АЭС, а также для гибридной зоны уже действующего на той же АЭС реактора БН-600. Проект предусматривает строительство комплекса для МОКС-топлива на Горно-химическом комбинате мощностью 14 тонн в год. Технология производства гранулята МОКС-топлива является сегментом замкнутого ядерного топливного цикла и позволяет использовать плутоний для генерации электроэнергии.

ОАО «СвердНИИХиммаш» как генеральный проектировщик занималось разработкой основной части комплексов технологического оборудования для производства МОКС-топлива. В рамках проведения опытно-конструкторских работ в этом направлении специалистами ООО «НПП «АИС» была поставлена задача разработки системы управления опытным универсальным стендом-камерой, предназначенным для контроля и управления в реальном масштабе времени мостовым трёхпозиционным краном. Кран должен осуществлять точное позиционирование при транспортировке контейнеров и монтаже/демонтаже оборудования внутри технологической камеры, которая будет использоваться для отработки основных технологических процессов производства МОКС-топлива.

Разработчикам было необходимо выполнить ряд требований, предъявляемых к системе:

- устранение оператора от работы в камере (от работы в условиях, опасных для здоровья);
- создание условий для обеспечения удобства работы оператора и высокой степени безопасности работы эксплуатирующего персонала;
- достижение точности позиционирования крана при перемещениях в горизонтальной плоскости 5 мм;
- обеспечение простоты эксплуатации и технического обслуживания;
- унификация и стандартизация применяемых программных и технических средств.

После ввода в эксплуатацию системы должен быть выполнен анализ её технических возможностей и характеристик для формирования требований к автоматизированной системе управления штатными камерами, которые будут использоваться для производства МОКС-топлива.

## Объект управления

Кран мостовой расположен в технологической камере. Он состоит из таких узлов, как мост и тележка, и имеет механизмы продольного, поперечного и вертикального перемещения. В камере смонтирована платформа с рельсовыми путями, по которым перемещается мост. На мосту располагаются рельсы, по которым перемещается тележка, оборудованная механизмом для подъёма контейнеров и технологического оборудования.

Горизонтальное перемещение крана в продольном направлении осуществляется путём перемещения моста по рельсовому пути, а в поперечном направлении – путём перемещения тележки по рельсам моста. Вертикальное перемещение обеспечивает механизм подъёма.

## Архитектура системы

Система имеет трёхуровневую архитектуру.

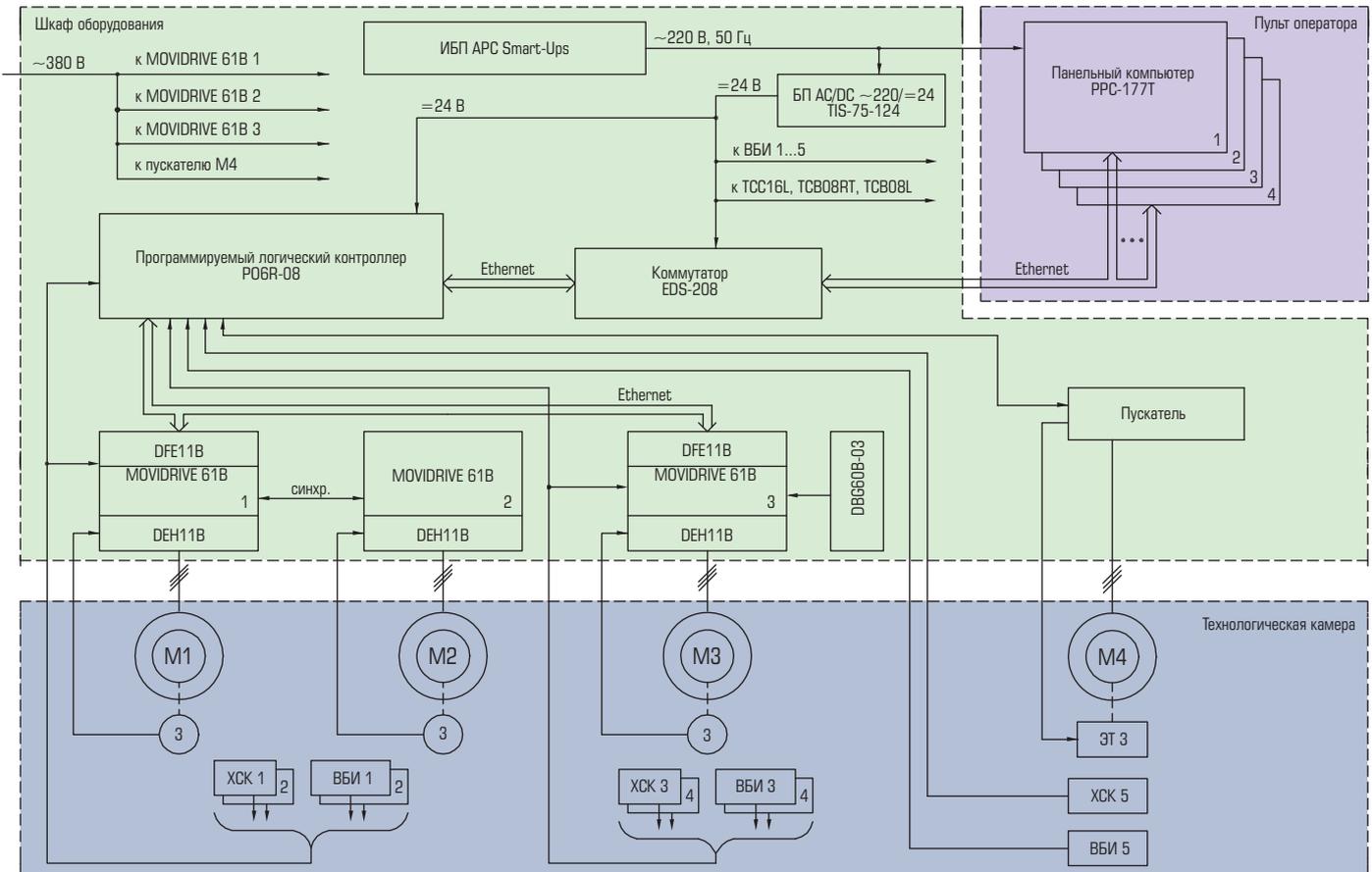
Нижний уровень включает датчики положения исполнительных механизмов, устройства управления исполнительными механизмами и обеспечивает:

- преобразование контролируемых положений исполнительных механизмов в электрические сигналы;
- преобразование управляющих электрических сигналов в механические перемещения исполнительных механизмов.

Средний уровень содержит устройства, обеспечивающие взаимодействие с соседними (в основном, с нижним) уровнями системы и реализующие следующие функции:

- сбор и обработку сигналов с датчиков положения;
- формирование управляющих сигналов на устройства управления исполнительными механизмами;
- автоматическую диагностику;
- обмен информацией с верхним уровнем системы.

Верхний уровень состоит из устройств, предоставляющих интерфейс работы с оператором, и обеспечивает:



**Условные обозначения:** ЭТ – электрический тормоз; M1...4 – двигатели; DFE11B – плата интерфейса Ethernet (Modbus TCP); DEN11B – плата обработки сигнала датчика обратной связи; Э – датчик обратной связи (преобразователь угловых перемещений – энкодер); DBG60B-03 – пульт с клавиатурой и дисплеем.

**Рис. 1.** Структурная схема системы

- обработку и визуальное представление информации, поступающей со среднего уровня;
- отображение положения крана в камере;
- отображение текущих значений контролируемых параметров;
- обработку команд оператора и их передачу на средний уровень системы. Структурная схема системы приведена на рис. 1.

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ**

В состав технического обеспечения системы входят:

- датчики положения исполнительных механизмов;
- устройства управления исполнительными механизмами;
- программируемый логический контроллер (ПЛК);
- устройства связи с объектом (УСО);
- коммуникационное оборудование;
- пульты оператора;
- источник бесперебойного питания (ИБП);
- блоки питания (БП).

Датчики положения исполнительных механизмов и устройства управления исполнительными механизмами относятся к нижнему уровню системы. Датчики положения исполнительных механизмов размещены в технологической камере (рис. 2), устройства управления исполнительными механизмами – в шкафу оборудования (рис. 3). ПЛК, УСО, коммуникационное оборудование, ИБП и БП, относящиеся к среднему уровню системы, тоже размещены в шкафу оборудования. В качестве шкафа оборудования использован универсальный шкаф компании Rittal серии TS8 со степенью защиты IP66. Пульты оператора, входящие в состав верхнего уровня системы, расположены вдоль передней стены камеры (рис. 4).

Датчики положения предназначены для бесконтактного или контактного определения положения объектов – в данном случае механизмов крана, а также индикации факта попадания крана в зону срабатывания и выдачи соответствующего дискретного сигнала. В качестве датчиков положения используются контактные датчики ава-



**Рис. 2.** Оборудование в технологической камере

рийного ограничения движения приводов, бесконтактные датчики предаварийного ограничения движения приводов, датчики обратной связи устройств управления исполнительными механизмами (преобразователи угловых перемещений двигателей – энкодеры). С целью аварийного ограничения перемещения слева и справа приводов движения моста и тележки, а также аварийного ограничения движения сверху привода подъёма/опускания крюковой подвески крана используются контактные концевые выключатели Schneider Electric типа ХСК, работающие на разрыв электрической цепи привода. Для предаварийного ограничения перемещения слева и справа, для

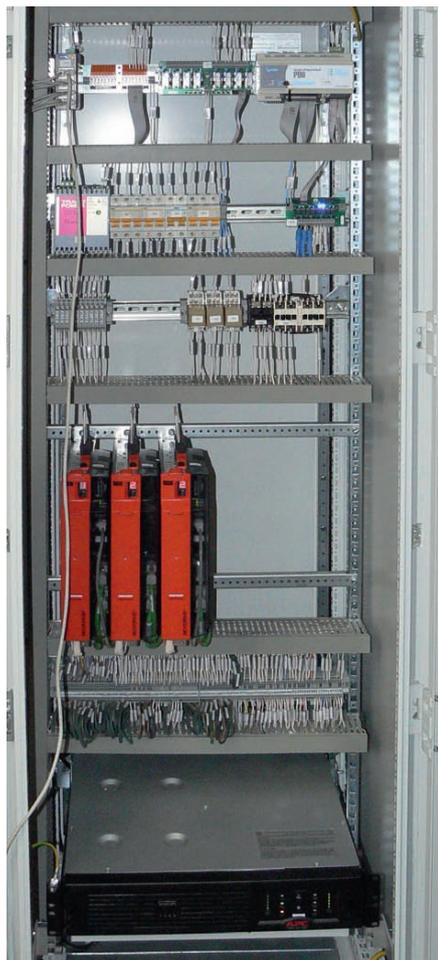


Рис. 3. Шкаф с установленным оборудованием

определения исходного положения (нуль-позиции) приводов движения моста и тележки, а также для предаварийного ограничения движения сверху привода подъёма/опускания крюковой подвески крана применены бесконтактные индуктивные выключатели ЗАО «Сенсор» типа ВБИ. Увеличение точности перемещения приводов движения моста и тележки в заданную координату достигается с помощью преобразователей угловых перемещений SEW-eurodrive типа EH1S (на рис. 1 обозначены «Э»).

ПЛК обеспечивает сбор, преобразование, первичную обработку и передачу информации на пульты оператора, а также формирование команд на устройства управления исполнительными механизмами. ПЛК представлен процессорным модулем P06R-08 BASE DIO (ЗАО ПК «Промконтроллер»). За согласование сигналов отвечают УСО, в качестве которых выбраны модуль клеммных соединений ТСС16L, а также усилители дискретных сигналов ТСВ08RT и ТСВ08L.

Основные компоненты системы (пульт оператора, ПЛК и устройства



Рис. 4. Пульт оператора

управления исполнительными механизмами) объединены в локальную вычислительную сеть (ЛВС) Ethernet. В ЛВС используется сетевой коммутатор Моха EDS-208.

Пульты оператора обеспечивают возможность управления системой путём задания оператором команд, а также производят отображение контролируемой информации:

- текущего состояния компонентов системы;
- ошибок и блокировок при выполнении операций;
- состояния выполнения команд оператора.

В качестве пультов оператора используются панельные промышленные компьютеры PPC-177T компании Advantech. Эти компьютеры построены на базе процессора Intel Core 2 Duo с частотой 1,8 ГГц, имеют 17-дюймовый цветной монитор с резистивной сенсорной панелью и память DDR2 объёмом 1 Гбайт. Для подключения к ЛВС используется один из двух имеющихся у них гигабитных портов Ethernet. Степень защиты по передней панели — IP65. За время эксплуатации компью-

теры PPC-177T показали себя надёжными и удобными в работе устройствами с широкой функциональностью.

Для управления исполнительными механизмами применены частотные преобразователи SEW-eurodrive MOVIDRIVE MDX61B, реверсивный пускатель ПМ12-010651 и блок управления электромагнитным тормозом привода подъёма, встроенный в клеммную коробку двигателя. Эти устройства обеспечивают преобразование команд ПЛК в управляющие сигналы для исполнительных механизмов.

Для стабилизации и поддержания электропитания системы в течение расчётного времени при пропадании сетевого напряжения используется ИБП SUA1500RM12U компании APC. Питание оборудования системы постоянным напряжением с номиналом 24 В производится от БП Traco Power TIS-75-124.

### ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ

Программное обеспечение (ПО) системы составляют программные средства обработки, хранения, передачи и отображения информации. Функционально оно делится на три части:

- ПО верхнего уровня (пульт оператора);
- ПО среднего уровня (ПЛК);
- ПО нижнего уровня (частотного преобразователя — ЧП).

ПО каждого уровня, в свою очередь, подразделяются на общее и специальное. Состав общего и специального ПО пульта оператора, ПЛК и ЧП приведён в табл. 1.

Системное ПО TeNIX 5 поставляется ЗАО «Промконтроллер»; оно является средой выполнения прикладной программы пользователя и обеспечивает доступ ко всем ресурсам ПЛК. Системное ПО TeNIX 5 включает в свой состав:

- ядро многозадачной операционной системы Linux;
- драйверы обеспечения работы ядра с аппаратурой ПЛК;
- драйверы подсистемы ввода-вывода, взаимодействующие со встроенным ПО модулей ввода-вывода;
- файловую систему;
- ПО, обеспечивающее пользовательский функционал ПЛК (включая резервирование, диагностику, поддержку Modbus и т.д.).

Управляющая программа ПЛК разработана специалистами ООО «НПП

Состав общего и специального ПО

ВИД ПО	ПО ПУЛЬТА ОПЕРАТОРА	ПО ПЛК	ПО ЧП
Общее	<ul style="list-style-type: none"> <li>Операционная система Windows 7 Professional</li> <li>SCADA-система GENESIS32 (ICONICS)</li> <li>Драйверы системных устройств</li> <li>Tecan OPC-сервер</li> </ul>	Среда выполнения прикладной программы пользователя – системное ПО TeNIX 5	<ul style="list-style-type: none"> <li>IPOSplus</li> <li>Встроенный регулятор синхронного режима</li> </ul>
Специальное	Управляющая программа пульта оператора	Управляющая программа ПЛК	Файл конфигурации параметров ЧП

«АИС» и предназначена для управления работой ПЛК, производящего непрерывный сбор и обработку данных, поступающих от УСО, и передачу информации по локальной сети на пульт оператора. Программа выполняет следующие функции:

- сбор, обработку и передачу на пульт оператора информации о положении исполнительных механизмов, состоянии ЧП и технических средств ПЛК, результатах выполнения операций;
- приём значений уставок и команд с пульта оператора;
- выполнение команд, поступающих с пульта оператора;
- диагностику технических средств ПЛК;
- автоматическое управление функционированием программных и технических средств ПЛК.

Tecan OPC-сервер (далее OPC-сервер) является универсальным средством доступа к данным ПЛК со стороны SCADA-системы. OPC-сервер получает данные из ПЛК по сконфигурированному каналу связи. В процессе работы OPC-сервера ведётся журнал событий с регистрацией времени подключения и отключения, нарушений качества передачи данных. Реализована процедура автоматического восстановления сетевого соединения.

OPC-сервер обеспечивает выполнение следующих функций:

- подключение (создание пространства имён) для одного или более ПЛК;
- доступ к пространству переменных ПЛК;
- восстановление соединения в случае разрыва связи с ПЛК;
- автоматический запуск сервера при запуске SCADA-системы и загрузка рабочей конфигурации;
- мониторинг значений переменных ПЛК, а также запись переменных через интерфейс пользователя OPC-сервера;
- ведение журнала работы, в котором фиксируются основные события и нештатные ситуации;
- сохранение и загрузка конфигурации OPC-сервера.

SCADA-система является комплексом приложений для операционных систем Microsoft Windows, построенных в соответствии со спецификацией OPC, и предназначена для создания программного обеспечения сбора данных и оперативного диспетчерского управления верхнего уровня систем

промышленной автоматизации. Специалистами ООО «НПП «АИС» с помощью SCADA-системы GENESIS32 (ICONICS) разработана управляющая программа пульта оператора, которая реализует интерфейс пульта оператора и выполняет следующие функции:

- приём информации, поступающей от ПЛК;
- отображение текущих и заданных значений координат;
- отображение состояния датчиков, мнемосхемы текущего положения крана;
- отображение работоспособности программно-технического комплекса системы;
- приём и обработка управляющих команд;
- организация, просмотр и ведение баз данных;
- формирование и выдача текстовых и звуковых сообщений оператору;
- защита от несанкционированного доступа, разграничение полномочий пользователей.

ЧП имеют стандартно встроенное ПО IPOSplus – это система автоматического позиционирования и управления циклом работы приводов. Основные возможности IPOSplus:

- высокоэффективное позиционирование привода при наличии обратной связи (датчика);
- различные способы обмена данными (системная шина S-Bus, RS-485, сетевые интерфейсные модули);
- обработка цифровых и аналоговых входных/выходных сигналов;
- выбор скорости и темпа позиционирования;
- обработка сигналов датчика абсолютного отсчёта;
- считывание и запись всех параметров преобразователя через команды обмена данными;
- изменение параметров во время перемещения (конечное положение, скорость и темп позиционирования, вращающий момент).

Перемещение моста крана осуществляется двумя частотно-регулируемыми приводами. Для синхронизации работы

приводов моста используется встроенный регулятор синхронного режима – это специальная программа, использующая для работы инкрементные сигналы от ведущего устройства (сигналы инкрементного датчика). Данная программа позволяет управлять несколькими приводами в синхронном режиме.

ПО ЧП настраивается в процессе ввода ЧП в эксплуатацию с последующей подстройкой параметров. Управление работой приводов осуществляется записью значений параметров и соответствующего слова управления в ЧП из управляющей программы ПЛК по протоколу Modbus TCP.

## ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ РАБОТЫ СИСТЕМЫ

Перемещение как моста, так и тележки крана осуществляется путём задания приводу соответствующей координаты и сигнала, разрешающего перемещение. Привод автоматически обрабатывает заданное перемещение и останавливается в заданной координате. Горизонтальные перемещения крана выполняются тремя частотно-регулируемыми приводами, каждый из которых состоит из мотор-редуктора и частотного преобразователя. Перемещение моста крана осуществляется двумя приводами, работающими в режиме синхронизации. Перемещение тележки осуществляется с помощью третьего привода. Точность останова обеспечивается встроенной в ЧП системой позиционирования и автоматического управления циклом работы IPOSplus, а также наличием инкрементных датчиков обратной связи на мотор-редукторах. Синхронность работы двух мотор-редукторов перемещения моста обеспечивается встроенным регулятором синхронного режима (из ПО ЧП), который постоянно сравнивает угловое положение роторов ведущего и ведомого двигателей. Аварийное ограничение перемещений моста и тележки крана осуществляется с помощью переключателей конечных ХСК.

Вертикальное перемещение крана вверх или вниз осуществляется при нажатии и удерживании оператором со-

ответствующей кнопки управления, при отпускании кнопки движение прекращается. Обеспечение точности вертикального перемещения системой не контролируется и полностью возлагается на оператора. Ограничение подъёма осуществляется с помощью индуктивного датчика ВБИ, аварийное ограничение подъёма — с помощью переключателя конечного ХСК.

Перемещение крана осуществляется по команде оператора, передаваемой интерфейсом управляющей программы пульта оператора. Команда оператора посредством OPC-сервера поступает на ПЛК. ПЛК, анализируя текущее состояние системы, формирует команды на ЧП.

Для эффективного управления краном предусмотрено несколько режимов работы системы:

- пусковой;
- ручной;
- полуавтоматический;
- завершения работы.

Права управления краном распределены по двум группам, которые закреплены за администратором и оператором. Оператор обладает ограниченными правами и может управлять краном только в полуавтоматическом режиме, выбирая целевые координаты перемещения крана в виде заранее настроенных администратором технологических позиций. Администратор обладает полными правами и может управлять краном в полуавтоматическом и ручном режимах, а также выполнять изменение текущих настроек ПО.



Рис. 5. Окно управляющей программы пульта оператора в ручном режиме

### ПУСКОВОЙ РЕЖИМ

Пусковой режим предназначен для выполнения ряда обязательных операций перед началом работы системы после включения питания: включение света по секциям, подача питания на приводы, позиционирование крана в нуль-позицию.

Процесс позиционирования крана в нуль-позицию необходим для определения нулевой координаты оси перемещения привода с целью обеспечения возможности управления краном посредством задания абсолютных координат перемещения. Условно оси перемещения приводов крана обозначены

следующим образом: ось перемещения моста крана — ось  $X$ , ось перемещения тележки крана — ось  $Y$ , ось вертикального перемещения крюковой подвески крана — ось  $Z$ .

При успешном окончании пускового режима осуществляется переход в полуавтоматический режим работы. При возникновении неполадок в процессе выполнения пускового режима оператор проводит диагностику неисправности и для устранения неполадок осуществляет запуск системы в ручном режиме.

### РУЧНОЙ РЕЖИМ

Ручной режим предоставляет ряд функций управления:

- управление краном по осям  $X$  и  $Y$  по отдельности путём задания необходимых координат вручную по каждой оси;
- управление подъёмом и опусканием крюковой подвески крана по оси  $Z$ ;
- выполнение выхода в нуль-позицию отдельно по каждой оси  $X$  и  $Y$ ;
- включение питания приводов;
- задание значений предельно допустимых координат по осям  $X$  и  $Y$ ;
- диагностику неисправностей и состояний системы при возникновении неполадок.

Окно управляющей программы пульта оператора в ручном режиме представлено на рис. 5.

За диапазон перемещения моста и тележки крана принимается расстояние от нулевых координат по осям до предельно допустимых координат по соот-

## НОВОСТИ НОВОСТИ НОВОСТИ НОВОСТИ

### Защищённые ноутбуки Panasonic теперь в программе поставок ПРОСОФТ

ПРОСОФТ и российское представительство японской компании Panasonic заключили дистрибьюторское соглашение. Заказчикам ПРОСОФТ теперь доступны защищённые ноутбуки Panasonic TOUGHBOOK. Это семейство ноутбуков и портативных компьютеров производства японской компании, предназначенных для эксплуатации в неблагоприятных для электроники условиях: при низких температурах, под воздействием влаги, ударов и вибраций. Присутствие в продуктивном портфеле ПРОСОФТ ноутбуков TOUGHBOOK положительно скажется на качестве обработки поступающих клиентских запросов.

Panasonic – ведущий производитель защищённых ноутбуков. Начиная с 1996 года Panasonic самостоятельно осуществляет разработку и производство ноутбуков TOUGHBOOK на собственных заводах в Японии и на Тайване. Ноутбуки Panasonic широко применяются для автоматизации работ в полевых и промышленных условиях по всему миру: в армиях и службах силовых структур, предприятиях добывающего сектора, строительной отрасли, на транспорте, в машиностроении, автомобильной промышленности, геологии и т.д. Компания Panasonic предлагает широкий модельный ряд защищённых мобильных устройств, включающий сверхпортативные ПК (UMPC), планшетные ноутбуки, а также мощные полноформатные модели. На все поставляемые защищённые ноутбуки действует фирменная гарантия 3 года. ●

ветствующим осям. Нулевые координаты определяются в процессе выхода в нуль-позицию. Предельно допустимые координаты по осям  $X$  и  $Y$  настраиваются оператором с правами администратора. Значения предельно допустимых координат определяются габаритными размерами камеры и технологическими особенностями производимых работ.

Управление подъёмом и опусканием крюковой подвески крана по оси  $Z$  осуществляется вручную при помощи соответствующих кнопок.

### ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКИЙ РЕЖИМ

Полуавтоматический режим предназначен для управления краном по осям  $X$  и  $Y$  по заданным фиксированным координатам технологических точек, а также для управления подъёмом и опусканием крюковой подвески крана по оси  $Z$ .

Фиксированные координаты технологических точек записываются и хранятся в таблице технологических позиций. Каждая запись таблицы содержит в себе следующие поля:

- название позиции,
- значение координаты по оси  $X$ ,
- значение координаты по оси  $Y$ .

Для перемещения крана в технологическую позицию оператор выбирает необходимую позицию в таблице и выполняет команду перемещения.

Оператор при наличии прав администратора имеет возможность редактировать, добавлять и удалять записи в таблице технологических позиций.

Управление подъёмом и опусканием крюковой подвески крана по оси  $Z$  в данном режиме осуществляется вручную при помощи соответствующих кнопок.

### РЕЖИМ ЗАВЕРШЕНИЯ РАБОТЫ

Режим завершения предназначен для выполнения ряда операций при окончании работы системы перед выключением питания: перемещение крана в позицию его нахождения во время отсутствия работ в камере, отключение питания приводов, выключение света по секциям.

При успешном окончании данного режима пульты оператора автоматически выключаются.

### УНИКАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТА

Уникальность описанной в статье системы управления опытным уни-

версальным стендом-камерой определяется следующими её особенностями:

- система является опытно-конструкторской разработкой;
- система разработана с учётом специфики технологического процесса производства гранулированного МОКС-топлива для реактора БН-800;
- используемые в системе программно-технические средства доработаны специалистами ООО «НПП «АИС» самостоятельно либо совместно с производителями программно-технических средств в соответствии с условиями реализации задачи и требованиями заказчика.

Отдельно следует отметить такую особенность системы, как её высокую эксплуатационную эргономичность. Интерфейс управляющей программы пульта оператора разрабатывался в стремлении сделать его максимально удобным и, по признанию эксплуатирующего персонала, получился достаточно простым и понятным, что снижает вероятность ошибок при работе оператора. ●

E-mail: [shustova-ms@mail.ru](mailto:shustova-ms@mail.ru)



Гарантированная надёжность

**ADVANTECH**  
eAutomation

[www.advantech.ru](http://www.advantech.ru)

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ ADVANTECH

PROSOFT®

Москва  
Телефон: (495) 234-0636 • Факс: (495) 234-0640  
E-mail: [info@prosoft.ru](mailto:info@prosoft.ru) • Web: [www.prosoft.ru](http://www.prosoft.ru)

Сертифицированное оборудование для АСУ ТП электрических подстанций



**UNO-4672**  
Встраиваемый компьютер на базе процессора Intel Pentium M/Celeron M

- 10 COM-портов RS-232/422/485
- 2 порта 10/100/1000Base-T Ethernet
- 4 порта 10/100Base-T Ethernet
- Накопители CF и 2,5" SATA НЖМД
- Слот расширения PC/104+
- Монтаж в 19" стойку



**EKI-4654R**  
Управляемый отказоустойчивый 26-портовый коммутатор Ethernet

- 24 порта 10/100Base-TX (RJ-45)
- 2 порта 1000Base SFP (mini-GBIC)
- Поддержка технологий резервирования X-RING, RSTP/STP, Dual Homing, Couple Ring
- Два входа питания
- Монтаж в 19" стойку



Соответствие  
IEC 61850-3 / IEEE 1613

#119