

УДК 004.6:004.7:658.51

Р. К. Нурғалиев, А. А. Гайнуллина, Д. А. Рыжов

## УЧЕБНЫЙ ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС «АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ»

*Ключевые слова:* учебная лаборатория АСУТП, MES-система, система управления, Exaquantum, база данных реального времени.

*В данной статье приводится описание интегрированной системы управления предприятием, реализованной на базе учебной лаборатории АСУТП Казанского национального исследовательского технологического университета, предназначенной для обучения бакалавров и магистрантов по направлениям «Управление в технических системах», «Информатика и вычислительная техника», «Автоматизация технологических процессов и производств» принципам и стандартам проектирования и создания систем класса MES.*

*Keywords:* automated process control system laboratory, MES-system, control system, Exaquantum, real-time database.

*This article describes the integrated process control system implemented on the basis of the training laboratory of the ASUTP Kazan National Research Technological University designed for training bachelors and masters in the areas of "Management in technical systems", "Computer science and computer technology", "Automation of technological processes and productions" The principles and standards of design and construction of systems of the MES class.*

### Введение

Согласно ISA 95 [1], пирамида комплексной автоматизации предприятия представляет собой четырехуровневую модель, состоящая из следующих уровней (рис.1):

Уровень 0 – уровень технологических процессов.

Уровень 1 – уровень измерительных преобразователей и исполнительных устройств.

Уровень 2 – уровень систем управления технологическими процессами, программируемые логические контроллеры (PLC), контроллеры распределенной системы управления (DCS), контроллеры системы противоаварийной автоматической защиты.

Уровень 3 – уровень систем управления производственными процессами (MES-уровень (Manufacturing execution system)).

Уровень 4 – уровень планирования и управления ресурсами предприятий, уровень ERP систем (Enterprise Resource Planning).



Рис. 1 – Иерархия систем управления предприятием [1]

Уровни отличаются друг от друга временем сбора и обработки информации, задачами и используемыми инструментами.

Первый и второй уровень реализуют функции автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУТП), где решаются задачи сбора и обработки информации с оборудования

КИП, формирование командных сигналов на исполнительные механизмы, осуществляется мониторинг и контроль технологических процессов.

Третий и четвертый уровень реализуют функции автоматизированной системы управления предприятием (АСУП), где решаются задачи связанные с планированием и управлением ресурсами предприятия, управлением финансами, поставками и продажами. Информация третьего уровня является источником данных для четвертого уровня ERP систем по реальным мощностям производства, выполнению производственных заданий, показателей загрузки оборудования.

Долгое время АСУТП и ERP системы развивались практически независимо и отдельно друг от друга. При этом, процесс передачи информации в/из ERP систем был слабо автоматизирован. Для оптимизации технологических процессов, увеличения производительности, конкурентоспособности предприятий встала необходимость интеграции двух систем. Сложность заключалась в том, что данные, поставляемые из АСУТП в ERP системы, должны быть соответствующе подготовлены и обработаны, в зависимости от производственных требований и решаемой задачи. Сложность, связанная с отсутствием исходных данных, готовых для использования в ERP системах, стала одной из причин появления своеобразного связующего звена в виде MES систем. [2]

Исходя из специфики решаемых задач, на стыке технологических и планово-финансовых структур предприятия, сформировались основные функции MES-систем:

- Повышение качества выпускаемой продукции за счет контроля и управления всей производственной цепочкой.
- Увеличение производительности за счет сокращения простоев оборудования.
- Уменьшение затрат материалов и сырья на единицу выпускаемой продукции за счет оптимизации технологических процессов.
- Представление оперативной информации о нарушениях хода производственного процесса.

– Наглядное представление хода производственного процесса в реальном времени.

К основным компонентам MES систем относятся: база данных реального времени (БДРВ), средства отображения информации, вычислительные комплексы и сети передачи данных, WEB-инструменты.

БДРВ является общезаводской базой данных предприятия, предназначенной для сбора, обработки, агрегирования и архивирования данных о событиях и реакциях на эти события. К числу этих данных относятся различные данные, поступающие по протоколам DDE (Dynamic Data Exchange), OPC (OLE for Process Control), ODBC (Open Database Connectivity), SQL (Structured query language).

Инструменты визуализации позволяют вести объектно-ориентированный контроль на всех этапах технологического процесса на основе мнемосхем с использованием стандартных протоколов обмена DDE, OPC.

Сети передачи данных включают локальную сеть Ethernet (Industrial Ethernet) для связи серверов БДРВ, АРМ операторов и систем верхнего уровня.

WEB-инструменты предоставляют возможность мониторинга оперативных данных технологического процесса через локальную Intranet – сеть предприятия. WEB-сервер является основным связующим звеном в клиент-серверной архитектуре связи по сетям Internet/Intranet. В WEB-сервер входят средства просмотра WEB-страниц, подготовки отчетов на основе данных технологических процессов. [3]

На сегодняшний день рынок систем производственного управления широк и очень разнообразен, среди современных MES систем можно выделить Simatic IT Production Suite (Siemens, Германия), Wonderware MES Software 2012 (Wonderware, США), "Eхаquantum" (Yokogawa, Япония), MES система "ФОБОС" (ИКТИ РАН, Россия), MES система "СПРУТ-ОКП" (СПРУТ-Технология, Россия) и т.д.

### Основная часть

Теоретические основы систем управления производством (АСУП) или MES систем стали разрабатываться еще во второй половине прошлого столетия. Однако, первые практические внедрения их в России приходятся на конец первого, начало второго десятилетия 21-го века. С этим же связана и достаточно небогатая современная педагогическая база подготовки профессиональных кадров для построения подобных систем. Для преодоления данного пробела и более детального и наглядного изучения методов и принципов построения систем класса MES в рамках Казанского национального исследовательского технологического университета был разработан учебный программный комплекс «Автоматизированная система управления предприятием» (УПК АСУП) на базе учебной лаборатории «Автоматизированные системы управления технологическими процессами» (АСУТП). УПК АСУП представляет собой интегрированную систему управления лабораториями на базе системы Eхаquantum.

Рассмотрим состав и назначение лаборатории АСУТП. Лаборатория состоит из четырех учебных классов:

- Учебный класс контрольно-измерительных приборов;
- Учебный класс управляющих вычислительных систем;
- Учебный класс с установками имитирующими узлы учета тепла, жидких и газообразных продуктов;
- Компьютерный класс систем компьютерного моделирования химико-технологических процессов.

Учебный класс контрольно-измерительных приборов состоит из восьми стендов по изучению устройств, принципов действия и порядка проведения метрологического обслуживания контрольно-измерительных приборов.

Класс оснащен современными измерительными приборами и техническими средствами автоматизации. Персональные компьютеры в составе стендов объединены в локальную сеть Ethernet, а измерительная информация с каждого стенда поступает в общую станцию сбора данных (ССД). [4]

Учебный класс управляющих вычислительных систем предназначен для проведения лабораторных и практических занятий с бакалаврами и магистрантами с целью:

- а) приобретения практических знаний по принципам построения, составу, техническому и программному обеспечению, способам функционирования современных программно-технических комплексов (ПТК) для автоматизированных систем управления технологическими процессами отрасли (АСУТП);
- б) глубокого изучения аппаратных и программных интерфейсов и средств коммуникации сосредоточенных и распределенных автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП);
- в) обучения современным технологиям информационного обмена в АСУТП;
- в) обучения способам применения стандартных интерфейсов и промышленных сетей в современных системах автоматизации;
- г) получение навыков конфигурирования и настройки коммуникационных портов устройств АСУ ТП для реализации обмена данными через промышленные сети.

Лабораторный комплекс представляет совокупность программно-технических средств на базе сетевого контроллера STARDOM FCN и шести персональных компьютеров, объединенных посредством локальной сети Ethernet.

Учебный класс с установками имитирующими работу узлов учета тепла, жидких и газообразных продуктов предназначен для изучения состава и принципов построения АСУТП, изучение способов настройки и конфигурирования приборов и их сопряжения с контроллерами управления и защиты, изучение программного и аппаратного обеспечения программируемых логических контроллеров (ПЛК), контроллеров распределенной системы управления (PCU), контроллеров системы противоаварийной автоматической защиты (ПАЗ), изучение человеко-машинного интерфейса для реализации алгоритмов

управления и визуализации технологических процессов, изучения интерфейсов передачи данных. [5-7]

Данные установки представляют собой действующие автономные системы, имитирующие в уменьшенном масштабе конфигурацию и работу автоматизированных учетных узлов соответствующего предназначения и имеют в своем составе функционально полный набор технологического оборудования и самые современные технические средства автоматики и полевого уровня.

Все установки размещены в отдельном помещении и подключены к общей автоматизированной системе обработки измерительной информации и управления, реализованной на базе контроллера распределенной системы Centum VP, контроллера противоаварийной автоматической защиты Prosafe RS, программируемых логических контроллеров Stardom FCN/FCJ. Комплекс технических средств системы управления имеет иерархическую структуру и состоит из трех уровней (рис.2).

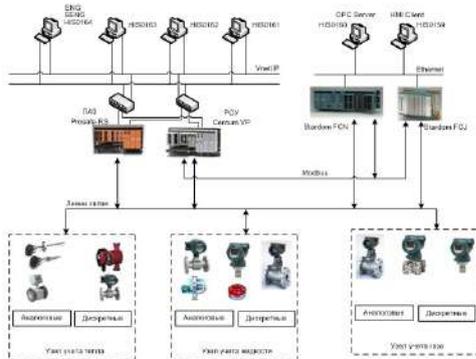


Рис. 2 – Структурная схема лаборатории с установками имитирующими работу узлов учета

Первый уровень КТС включает в себя:

- первичные измерительные преобразователи (датчики);
- местные показывающие приборы и органы управления, размещаемые на технологическом оборудовании.

Второй уровень КТС включает в себя непосредственно контроллеры распределенной системы управления (PCU) и системы противоаварийной автоматической защиты (ПАЗ). Третий уровень включает в себя:

- Автоматизированные рабочие места (АРМ) операторов (учебные места),
- инженерную станцию (рабочее место преподавателя),

АРМ оператора и инженерная станция выполняют следующие функции:

- отображение технологической информации;
- контроль состояния хода процесса;
- контроль состояния технологического оборудования;
- управление технологическим оборудованием;
- ведение информационной базы данных;
- формирование и выдача отчетной документации;
- протоколирование событий.

Следующий учебный класс представляет собой компьютерный класс по моделированию технологических процессов. Одной из функций реализуемой данным классом является компьютерный тренажерный комплекс (КТК). Компьютерный тренажерный комплекс предназначен для обучения студентов основам контроля и ведения технологического процесса, а также разработки и настройки прикладного ПО для управления различными процессами [8].

Программное обеспечение компьютерного тренажера включает в себя динамическую модель технологической установки первичной перегонки нефти ЭЛОУ АТ, автоматизированную систему управления технологическим процессом и его эмуляцию в среде моделирования.

Модель установки включает в себя 3 основных технологических блока:

- Блок первичной подготовки нефти: нагрев, обессоливание и обезвоживание нефти;
- Блок первичной разгонки нефти, включающая в себя колонны отбензинивания и атмосферной разгонки нефти;
- Блок печей.

Для полной имитации АСУТП осуществлена интеграция модели со станцией PCU CENTUM VP. На данную станцию сигналы поступают из математической модели установки, позволяя обучаемому следить за ходом технологического процесса и контролировать регулируемые параметры. Управляющие сигналы, которые задает обучаемый, аналогично через систему управления воздействуют на математическую модель процесса.

Данный тренажерный комплекс позволяет решать следующие задачи в рамках учебного курса:

- Изучение взаимосвязи технологических процессов в рамках нефтехимического производства.
- Изучение причинно-следственных связей химико-технологических процессов.
- Изучение влияния изменения динамических характеристик объектов на качество работы системы управления и ПИД-регуляторов.
- Расчет настроек регуляторов.
- Приобретение практических и теоретических навыков настройки контуров управления.
- Изучение принципов безопасного управления технологическими процессами при различных режимах и аварийных ситуациях.
- Приобретение практических навыков выполнения работ по предупреждению, локализации и ликвидации аварийных ситуаций;
- Изучение программных пакетов для моделирования технологических процессов.

Перед авторами стояла задача разработать интегрированную систему управления данными, осуществляющую сбор данных со всех учебных классов, их обработку, хранение и передачу на автоматизированные рабочие места обучаемых, чтобы они имели возможность контролировать, выдавать сводку и осуществлять анализ данных по всем классам в режиме реального времени.

Данный комплекс позволяет увеличить эффективность использования существующей материально-технической базы лаборатории АСУТП. На базе

комплекса можно проводить занятия не только по изучению основных элементов автоматизированной системы управления технологическими процессами, но и по системе управления производством в целом. Предлагаемое объединение учебных классов лаборатории АСУТП в единый комплекс позволяет обеспечить практическое изучение взаимодействия отдельных элементов систем управления и их влияние на работу системы в целом.

УПК АСУП реализован на базе интегрированной системы управления предприятием Eхаquantum. Он представляет собой заводскую систему управления производственными данными в сочетании с пользовательским интерфейсом. Основными функциями системы является сбор, хранение и агрегирование данных процесса и других производственных данных.

Eхаquantum состоит из трех основных компонентов:

- База данных реального времени – это работающее в реальном времени высокопроизводительное хранилище для заводских данных и данных процесса (технологических данных), которое также обеспечивает возможность гибких, определяемых пользователем вычислений и получения агрегированных значений для различных временных периодов.

- Историческая база данных Historian обеспечивает эффективное хранение в течение длительного времени архивного объема заводских данных и их быстрое извлечение по мере необходимости. Помимо архивации данных программа Historian осуществляет вычисление «агрегированных значений», среднего значения, отслеживание максимально/минимального значения, вычисление среднеквадратичного значения, суммирование значений за определенные пользователем временем.

- Инструментальные средства конфигурации. Предусмотрен комплект простых в использовании инструментальных средств для построения сводок, трендов и технологических графиков. К этим средствам относятся приложения Eхаquantum/Explorer и Eхаquantum/Web.

Eхаquantum/Explorer (Проводник) – это клиентское приложение (клиент) для работы с данными, которое может быть установлено на пользовательском ПК. Эта среда обеспечивающая возможность гибкого анализа и генерации отчетов, с помощью которой производственная информация может быть представлена в виде графических дисплеев и отчетов.

Eхаquantum/Explorer представляет мнемосхемы, аналогичные тем, которые используются в автоматизированных системах управления технологическими процессами (АСУТП), таких как HMI и SCADA. Мнемосхема представляет собой статическое схематическое представление производственного процесса. На мнемосхему налагаются данные в виде гистограмм, обновляемых текстовых значений и т.д., которые отражают текущее состояние процесса.

Eхаquantum/Web позволяет пользователям распространять малофункциональные сетевые клиентские приложения через Интернет/Интранет.

Структурная схема разработанной УПК АСУП на базе системы Eхаquantum представлена на рис. 3.

Разработанная УПК АСУП состоит из четырех уровней. К первому и второму уровню (Level 1, 2) относится весь комплекс технических средств лабораторий, контроллеры систем управления и защиты (PCU Centum VP, ПАЗ Prosafe RS, ПЛК Stardom FCN/FCJ), а также инженерные станции с OPC серверами. На третьем и четвертом уровне соответственно располагаются сервер Eхаquantum, осуществляющий сбор данных с OPC серверов второго уровня и клиенты Eхаquantum, оснащенные пользовательским интерфейсом, функциями генерации отчетов и средствами для разработки визуализации технологических данных.

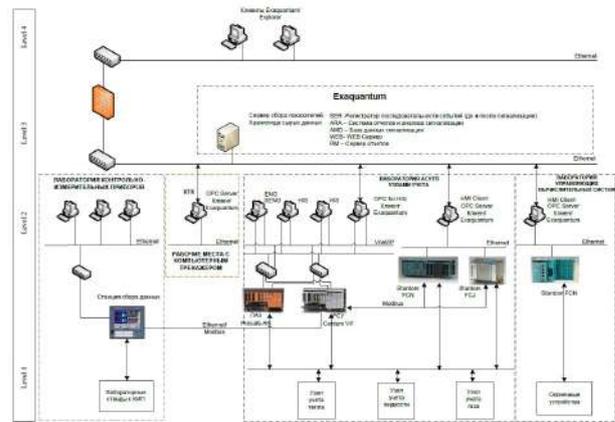


Рис. 3 – Структурная схема УПК АСУП

Данный комплекс выполняет следующие функции:

- Сбор и архивация данных полученных из контроллеров распределенной системы управления (PCU), системы противоаварийной автоматической защиты (ПАЗ), программируемого логического контроллера (ПЛК);
- Представление информации обучаемым;
- Обеспечение обмена данными с другими программными пакетами;
- Выполнение расчетов;
- Представление сводок, трендов и технологических графиков;

Необработанные технологические данные собираются из АСУТП (Level 1,2 рис. 2), через серверы OPC в Базу данных реального времени сервера Eхаquantum. Здесь они комбинируются и участвуют в вычислениях, выполняемых в реальном времени. Результатом данной обработки становится производная информация более высокого уровня.

Полученные данные архивируются (помещаются в историческую базу данных), что обеспечивает возможность доступа к ним через длительное время с помощью Исторической базы данных Historian.

В дополнение к обычной архивации, данная программа осуществляет обработку данных за определенные пользовательские периоды времени (агрегирование данных).

Архивированная и агрегированная информация реального времени передается в АРМ обучаемого через программу Eхаquantum/Explorer.

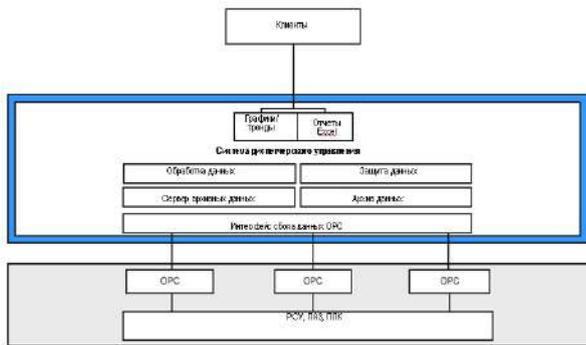


Рис. 4 – Структура приложений Eхаquantum УПК АСУП

На рисунке 7 показаны компоненты системы Eхаquantum УПК АСУП. Система имеет многоуровневую архитектуру с OPC серверами и состоит из следующих уровней:

- Интерфейс сбора данных из РСУ, ПАЗ, ПЛК через OPC-сервера;
- Архивные хранилища данных, управляющие основным хранением производственных данных;
- Архив данных, являющийся расширенным хранилищем данных;
- Уровень обработки информации, содержащий внутренние алгоритмы для обработки получаемых производственных данных, например обработка вычисления агрегирования;
- Защита данных - прикладной модуль, отвечающий за обеспечение клиентских приложений, имеющих доступ к производственным данным в архивном хранилище.
- Модуль диспетчерского управления - модуль, отвечающий за предоставление производственных данных клиентским приложениям.

### Заключение

УПК АСУП охватывает почти все основные уровни пирамиды комплексной автоматизации предприятия, обеспечивая проведение занятий в условиях приближенных к реальным на промышленных предприятиях. Он позволяет наглядно обу-

чать студентов методам и принципам построения автоматизированных систем управления предприятием. Организация учебного процесса на базе данного комплекса позволит студентам получить знания и приобрести практические навыки в области интеграции систем управления предприятием, навыки работы с программными и техническими средствами используемых на различных уровнях автоматизации, и как следствие, обеспечит глубокое понимание сути изучаемых дисциплин.

### Литература

1. Нестерова А., Самойлова Т. MES-системы на российском рынке промышленности: от истоков к будущему: [Электронный ресурс]. URL <http://www.rsoft.ru/press/articles/detail.php?ID=835>.
2. [Электронный ресурс]. URL <http://mc-plc.info/lekcii-rosasu/integraciya-asutp-i-asup.htm>.
3. Харазов В.Г. Интегрированные системы управления технологическими процессами / В.Г. Харазов. – С.-П.: «Профессия», 2009. – 591 с.
4. Герке А.Р. Роль и задачи подготовки студентов в лаборатории измерительных приборов современных технологических производств / А. Р. Герке, А. В. Лира // Вестник Казан. технол. ун-та – 2013. – Т. 16, №2. – с. 276-278.
5. Кузьмин В.В. Лабораторный стенд для изучения приборов теплосчета и автоматизированных систем энергосбережения / В.В. Кузьмин, А.А. Гайнуллина, Р.К. Нургалиев и др. // Вестник Казан. технол. ун-та – 2013. – Т. 16, №1. – с. 74-75.
6. Кузьмин В.В. Лабораторный стенд для изучения систем автоматизации узлов коммерческого учета жидких продуктов / В.В. Кузьмин, А.А. Гайнуллина, Р.К. Нургалиев и др. // Вестник Казан. технол. ун-та – 2013. – Т. 16, №1. – с. 67-69.
7. Кузьмин В.В. Лабораторный стенд для изучения систем автоматизации узлов коммерческого учета газообразных энергоносителей / В.В. Кузьмин, А.А. Гайнуллина, Р.К. Нургалиев и др. // Вестник Казан. технол. ун-та – 2013. – Т. 16, №1. – с. 197-198.
8. Гайнуллина А.А. Компьютерный тренажерный комплекс как инновационное средство обучения в инженерном образовании / А.А. Гайнуллина, Р.К. Нургалиев, Д.А. Рыжов и др. // Вестник технол. ун-та – 2017. – Т. 20, №7. – с. 101-105.

© Р. К. Нургалиев - к.т.н, доц., дир. Института управления, автоматизации и информационных технологий, зав. кафедрой «Систем автоматизации и управления технологическими процессами» КНИТУ, [sautp@yandex.ru](mailto:sautp@yandex.ru); А. А. Гайнуллина - ст.препод. кафедра САУП КНИТУ, ст. препод. каф. высоковязких нефтей и природных битумов К(П)ФУ, [alinagainullina0@yandex.ru](mailto:alinagainullina0@yandex.ru); Д. А. Рыжов - к.т.н., доц. каф. «Системотехника» КНИТУ, [ryzhov.denis@inbox.ru](mailto:ryzhov.denis@inbox.ru).

© R. K. Nurgaliev, Ph.D., associate professor, director of the Institute of Management, Automation and Information Technologies, Head of the Department of «Automation and Process Control Systems», [sautp@yandex.ru](mailto:sautp@yandex.ru); A. A. Gainullina, Assistant professor, Kazan National Research Technological University, Department of Control and Automation, Department of SAUTP. Assistant professor, Kazan Federal University, Institute of Geology and Oil and Gas Technologies, Department of High Viscosity Oil and Natural Bitumen, [alinagainullina0@yandex.ru](mailto:alinagainullina0@yandex.ru); D. A. Ryjov, Ph.D., associate professor, Kazan National Research Technological University, Department of Control and Automation, Department of «Sistemotehnika», [ryzhov.denis@inbox.ru](mailto:ryzhov.denis@inbox.ru).