

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ УЧЕБНО- НАУЧНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В.Е. Попадько

РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина
Россия, 119991, Москва, Ленинский пр., 65
E-mail: pve@gubkin.ru

О.Ю. Першин

Honeywell
Россия, 121059, Москва, Киевская ул., 7
E-mail: oleg.pershin@honeywell.com

В.В. Южанин

РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина
Россия, 119991, Москва, Ленинский пр., 65
E-mail: yuzhanin.v@gubkin.ru

Ключевые слова: APC, усовершенствованное управление, задачи управления, ВСПУ-2014, обучение

Аннотация: В докладе рассматривается опыт применения современных технологий компьютерного моделирования и управления в образовании в области автоматического управления. Описывается структура созданного программно-аппаратного комплекса.

1. Комплекс моделирования и управления технологическими процессами

На современном этапе автоматизация технологических процессов подготовки и переработки углеводородного сырья характеризуется распространением систем управления класса APC (т.н. усовершенствованное управление), которые управляют процессом с учетом его сложной многосвязной природы и оптимизируют рабочий режим процесса по технико-экономическому критерию в реальном времени. Сложность таких систем заметно выше по сравнению с системами предыдущего поколения, основанных на децентрализованном управлении процессами по ПИД-алгоритмам. Не удивительно, что опыт эксплуатации внедренных APC-систем на ряде нефтеперерабатывающих заводов указывает на нехватку обслуживающего персонала требуемой квалификации. Зачастую реально задействованы лишь отдельные элементы APC-системы, и достижение максимальной эффективности от внедрения невозможно.

Вследствие этого возросли требования к знаниям будущих специалистов по теории автоматического управления, технологии нефте-, газопереработки и моделированию процессов, причем требуется целостное понимание технологического процесса и системы управления в их взаимосвязи. Обучение специалиста работе с АРС-системой невозможно без построения базовой системы управления, что предполагает наличие практических знаний по современным распределенным системам управления и промышленным контроллерам. В свою очередь, для построения базовой системы управления в учебном процессе необходима модель технологического объекта, достаточно точно отражающая его динамические свойства.

В РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина совместно с компанией Honeywell создан компьютерный комплекс, обеспечивающий реализацию сквозной единой цепочки моделирования технологического процесса и его управления на базовом уровне (ПИД-регулирования) и уровне АРС (многосвязное регулирование и оптимизация в реальном времени).

В состав комплекса (рис. 1) входят следующие компоненты:

- Среда высокоточного имитационного моделирования технологических процессов UniSim Design Suite [1].
- Распределенная система управления Experion PKS и программируемый логический контроллер С300 [2].
- Программное обеспечение для построения систем усовершенствованного управления Profit Suite [3, 4].

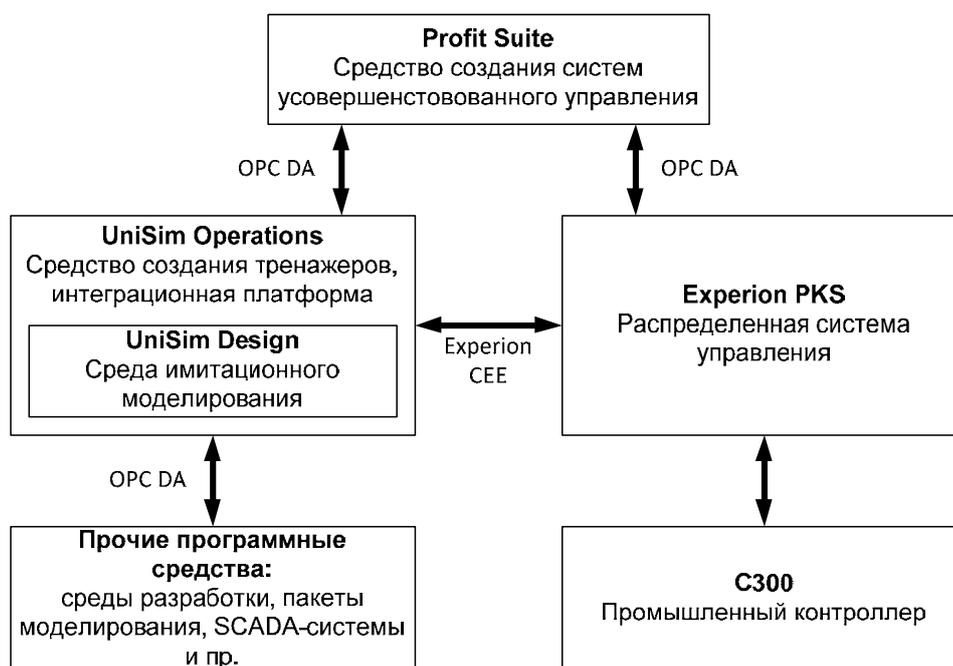


Рис. 1. Структура комплекса моделирования и управления технологических процессом.

Важной особенностью комплекса является применение современных профессиональных программных и аппаратных средств. Студенты могут приобрести практические навыки работы с программным обеспечением уже в университете.

2. Имитационное моделирование технологических процессов в пакете Unisim Design

Пакет Unisim Design Suite фирмы Honeywell позволяет моделировать процессы добычи и промышленной подготовки нефти и газа, процессы нефте-, газопереработки и нефтехимии. Имеется возможность создания статических и динамических моделей технологических объектов. Модель технологического процесса составляется из моделей библиотеки технологических объектов, параметры которых задаются на основе нормативно-справочной информации технологических установок. Кроме технологических объектов возможно моделирование и системы автоматизации. Имеющиеся модели апробированы и широко используются в промышленности отдельно или как составная часть компьютерных тренажеров для моделирования сценариев «что - если» технологического процесса, позволяя в зависимости от различных производственных целей и условий, обосновывать выбор наиболее эффективных режимов работы, оценивать влияние свойств сырья, остановок или изменений режимов работы оборудования в штатных и нештатных ситуациях.

Преподавание основ математического моделирования на уровне дифференциальных уравнений остается необходимым. Однако, в рамках такого подхода создание модели, приближенной к реальности, в условиях обучения затруднительно, т.к. требует построения чрезмерно сложных моделей и времени. Применение профессиональных пакетов моделирования технологических процессов позволяет, во-первых, быстро продемонстрировать нетривиальные аспекты поведения технологических процессов и, во-вторых, ознакомить обучающихся с современными инструментами, используемыми на практике в компаниях мирового уровня. Кроме того, на базе таких пакетов возможно проводить совместные междисциплинарные учебные программы со студентами-технологами.

3. Распределенная система управления технологическим процессом Experion PKS

Программно-аппаратный комплекс Honeywell Experion PKS включает в себя все стандартные компоненты PCY:

- Средства создания и отображения операторского интерфейса HMIWeb
- Промышленный контроллер C300 и средство разработки приложений для контроллера на языке FBD – Control Builder.
- SCADA-сервер Experion

С точки зрения PCY расчетные значения имитационной модели соответствуют измерениям (PV), а входные параметры модели соответствуют управляющим воздействиям (OP). Связь PCY и имитационной модели может осуществляться в двух режимах (рис. 2):

- 1) Прозрачный режим, технически реализуемый с помощью проприетарного интерфейса Experion CEE. Интерфейс Experion CEE позволяет связать входные и выходные данные модели Unisim Design с программными блоками ввода/вывода приложения контроллера. С точки зрения разработчика приложения контроллера это ничем не отличается от работы контроллера на реальном объекте.
- 2) Режим внешних сигналов, реализуемый с помощью стандартного интерфейса OPC. В этом режиме приложение контроллера делится на основную и вспомогательную часть. Вспомогательная часть преобразовывает OPC-сигналы в токовые сигналы

промышленного стандарта 4-20 мА, имитируя сигналы датчиков и исполнительных устройств. Основная часть приложения реализует алгоритмы управления объектом и работает только с токовыми сигналами 4-20 мА, генерируемыми вспомогательной частью приложения. Разработка основной части приложения практически идентична промышленной практике как с точки зрения разработки приложения, так и с точки зрения сигналов.

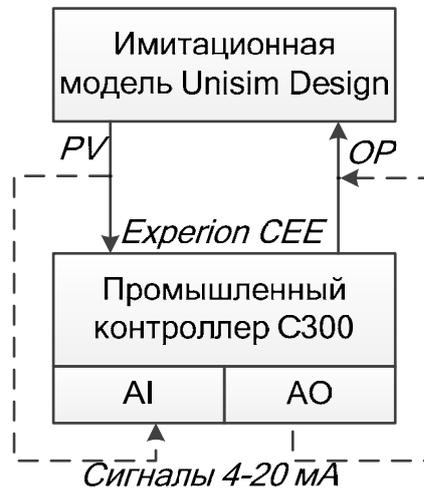


Рис. 2. Взаимодействие имитационной модели технологического процесса и промышленного контроллера.

Работая с моделью технологического процесса, приближенной к реальности, студенты имеют возможность приобретения навыков работы не только с программными, но и аппаратными средствами РСУ.

4. Система усовершенствованного управления на базе пакета Profit Suite

Система Profit Suite реализует следующие алгоритмы усовершенствованного управления:

- Алгоритмы многосвязного регулирования. Этот класс алгоритмов использует технологию многопараметрического управления на основе прогнозирующей модели объекта и является центральным звеном АРС-системы. Многосвязные регуляторы централизованно управляют объектами с учетом взаимовлиянием технологических параметров, значительно повышая качество переходных процессов в системах с сильным взаимовлиянием технологических параметров.
- Алгоритмы инференциальных измерений, реализующие так называемые виртуальные анализаторы (виртуальные датчики). Инференциальные измерения позволяют получать в реальном времени и использовать в управлении данные о трудноизмеримых или неизмеримых технологических параметрах с использованием статистических регрессионных и нейросетевых моделей, отражающих их зависимость от измеряемых относительно легко параметров процесса, таких как температура, давление, уровень. При этом виртуальные анализаторы выполняют функцию обычных измерительных устройств, могут использоваться вместо них, либо вместе с ними. Так как зачастую трудноизмеримый параметр характеризует эффективность работы

всей системы автоматизации и - шире - технологического объекта в целом и может входить в целевую функцию оптимизации или ограничение (например, концентрация определенного компонента в продукте, температура вспышки, температура точки росы, кинематическая вязкость и т.д.), виртуальные анализаторы являются основой для построения системы оптимизации.

- Алгоритмы оптимального управления, позволяющие при заданных ограничениях вырабатывать экстремизирующие заданную целевую функцию значения уставок многосвязных регуляторов, а также входящих в базовую систему управления ПИД-регуляторов.

5. Применение комплекса в учебном процессе

5.1. Разработка системы усовершенствованного управления процессом дебутанизации

Задача решалась в рамках двух магистерских работ в 2011 и 2012 гг.

Выбранный технологический процесс дебутанизации был предварительно проанализирован совместно с магистрантами кафедры Переработки РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина. В результате анализа были обоснованы требования к качеству выходных продуктов процесса и заданы типичные возмущения. С учетом сформулированных требований построена динамическая имитационная модель процесса в пакете Unisim Design.

Для синтеза системы управления (базовой и усовершенствованной) проведен анализ степеней свободы ректификационной колонны путем составления аналитической модели процесса. В результате исследования установлено, что основными регулируемые параметрами являются давление в колонне, уровни в рефлюксной емкости и рибойлере и два показателя качества – содержание нежелательного компонента верха и низа колонны.

Как правило, для показателей качества отсутствуют поточные анализаторы, и в качестве косвенных показателей качества используют температуры на соответствующих (контрольных) тарелках колонны. Для выбора контрольных тарелок был осуществлен анализ статической модели процесса (построенной также в Unisim Design) инвариантным методом.

В результате проведенных исследований реализована децентрализованная система управления на базе ПИД-регуляторов. С помощью построенной имитационной модели получены переходные процессы реакции контуров регулирования верха и низа колонны на возмущения по сырью и смену рабочего режима (рис. 3). Алгоритмы ПИД-регуляторов затем были реализованы в системе Experion PKS, создан операторский интерфейс.

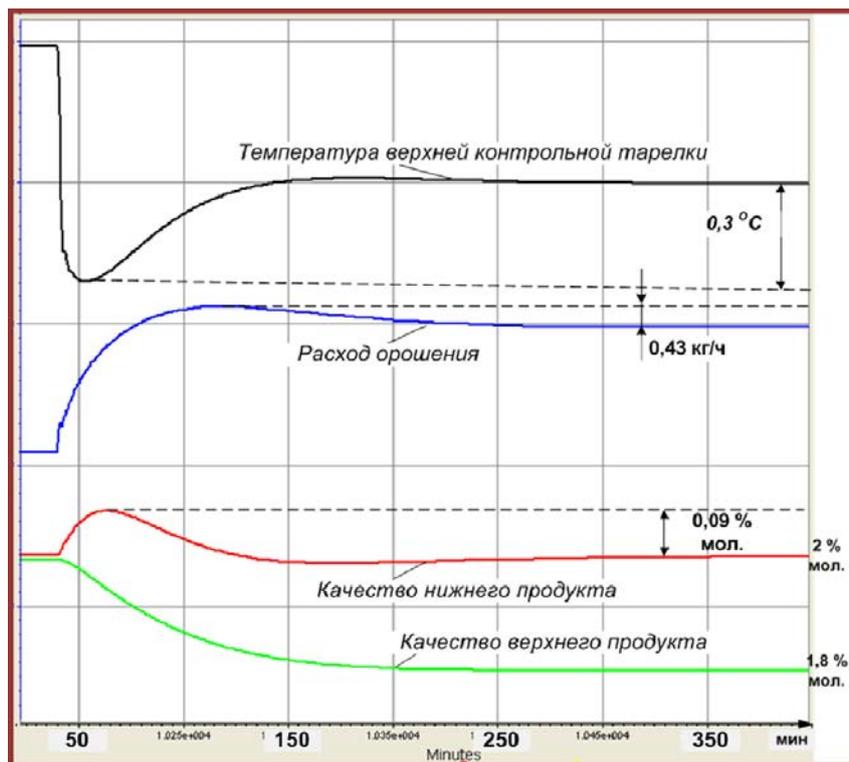


Рис. 3. Переходные процессы установки дебутанизации под управлением базовой системы управления при смене рабочего режима.

Алгоритмы усовершенствованного управления реализовались в части многосвязного регулирования (Profit Controller). Многосвязный регулятор пакета ProfitSuite осуществляет прогнозирование вектора регулируемых параметров по вектору управляющих воздействий и выбирает наилучшее управляющее воздействие в смысле заданного критерия качества управления. Для прогнозирования используется эмпирическая динамическая модель процесса. Построение модели осуществлялось с помощью статистических процедур идентификации, позволяющих по кривым разгона определить порядок моделей и вычислить их параметры (рис. 4). Кривые разгона были получены по построенной имитационной модели процесса в пакете Unisim. Процедуры идентификации моделей реализованы в виде программного модуля пакета Profit Suite.

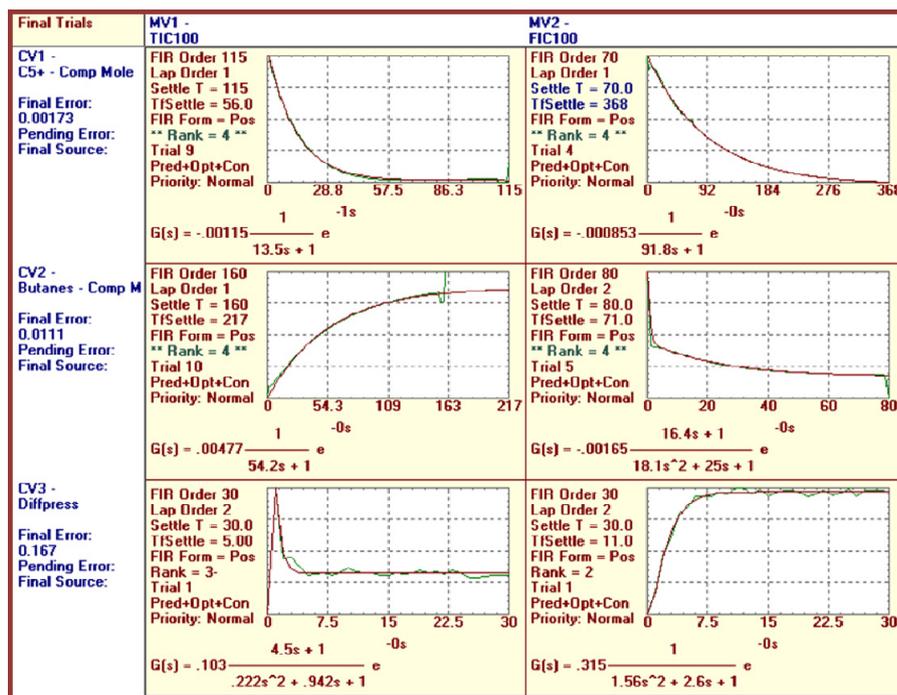


Рис. 4. Матрица передаточных функций эмпирической модели APC-контроллера процесса дебутанизации в интерфейсе пакета Profit Suite

Для сравнения построенной системы усовершенствованного управления с базовой построены переходные процессы при смене рабочего режима установки (рис. 5). Сравнение графиков рис. 3 и рис. 5 подтверждает уменьшение времени регулирования и перерегулирования в усовершенствованной системе управления.

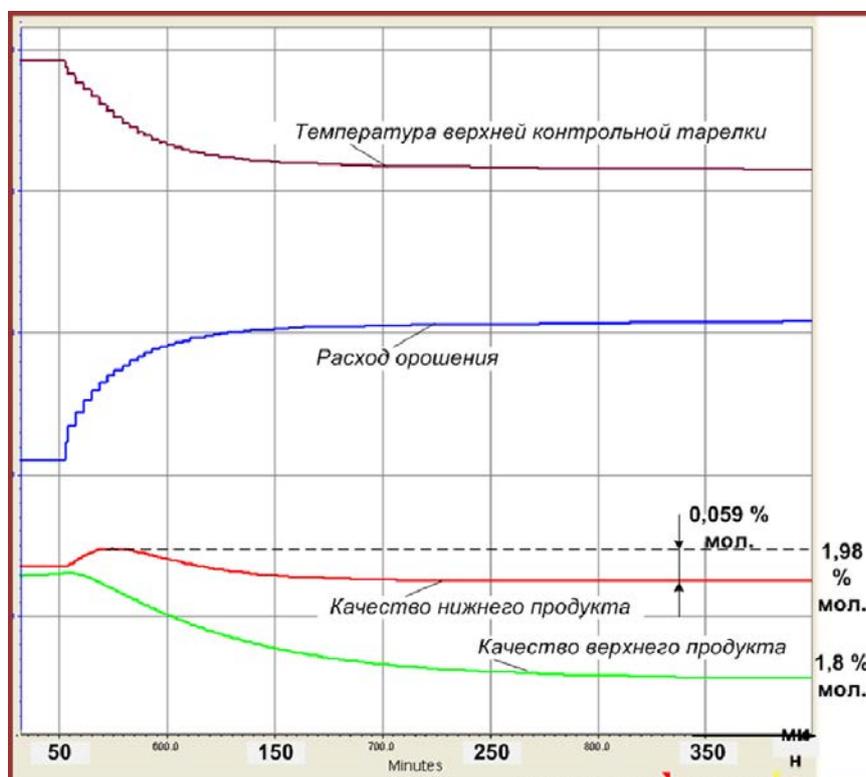


Рис. 5. Переходные процессы установки дебутанизации под управлением усовершенствованной системы управления при смене рабочего режима

5.2. Разработка системы усовершенствованного управления процессом первичной переработки нефти

Задача решалась в рамках магистерской работы 2013 г.

В рамках учебного процесса на представленном комплексе с использованием производственных данных была разработана модель блока атмосферной перегонки нефти по схеме двукратного испарения и двукратной ректификации, состоящая из связанных моделей колонны предварительного отбензинивания, атмосферной колонны с тремя боковыми отпарными колоннами и соответствующим теплообменным и насосным оборудованием, а также технологической печи. Моделирование проходило в два этапа:

- 1) Создание статической модели процесса, использующейся для определения множества рабочих режимов, для расчетов при проектировании технологических процессов, выборе и оптимизации технологических схем, подборе оборудования, для проектирования системы управления (анализ чувствительности ректификационных колонн, определение пар управляемых и управляющих переменных).
- 2) Создание динамической модели процесса с использованием статической модели для задания начальных условий расчета. С помощью динамической модели процесса решается ряд задач: анализ переходных процессов, создание и тестирование алгоритмов управления, выполнение распределенных во времени последовательностей действий (например, пуск / останов агрегата), оценка безопасности протекания технологического процесса.

Для разработанной модели создана система управления, удовлетворяющая основной задаче управления блоком атмосферной перегонки – задаче стабилизации технологических параметров при воздействии характерных возмущений: колебаний расхода и состава сырья, изменении давления подаваемого в атмосферную и отпарные колонны пара. Система управления включает в себя 18 локальных САР на основе П- и ПИ-регуляторов, из них 5 каскадных.

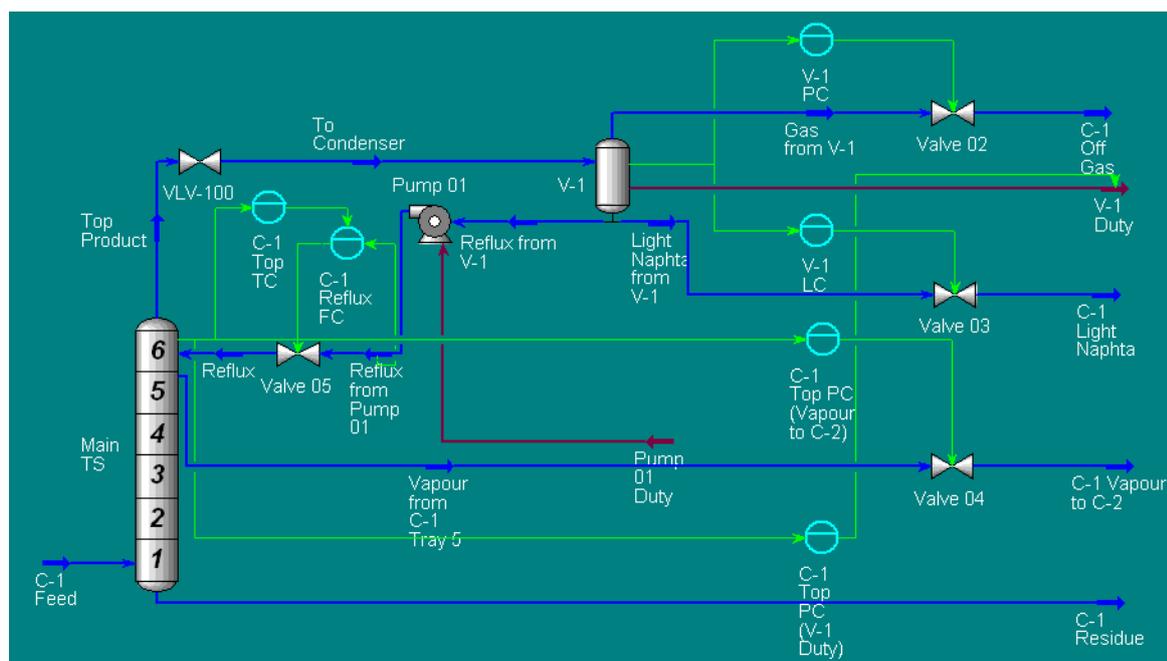


Рис. 6. Внешний вид модели колонны предварительного отбензинивания с системой управления (5 локальных САР, из них 1 каскадная) в интерфейсе программы UniSim Design

Поскольку качество продуктов процесса атмосферной перегонки – топливных фракций - определяется по результатам лабораторных анализов со значительным запаздыванием, для эффективного управления блоком предлагается использовать виртуальные анализаторы, рассчитывающие показатели качества в реальном времени. Их применение поможет повысить общую осведомленность оператора о протекании процесса и послужит основой для создания системы оптимального управления перегонкой.

Разработан виртуальный анализатор конца кипения бензиновой фракции, на основе искусственной нейронной сети – двухслойного персептрона, обучающегося по алгоритму обратного распространения ошибки по статистическим данным работы модели. В качестве входных данных использовались значения рефлюксного числа, температуры и давления верха колонны предварительного отбензинивания.

Список литературы

1. Dozortsev V.M., Kreidlin E.Yu. State-of-the-Art. Automated Process Simulation // *Systems Automation and Remote Control*. 2010. Vol. 71, No. 9. P. 1955-1963.
2. Соркин Л.Р., Подъяпольский С.В., Родионов А.В. Expertion PKS – новая распределенная система управления фирмы Honeywell // *Автоматизация в промышленности*. 2005. № 11. С. 3-9.
3. Дозорцев В.М., Кнеллер Д.В. APC – Усовершенствованное управление технологическими процессами // *Датчики и системы*. 2005. № 10. С. 56-62.
4. Захаркин М.А., Кнеллер Д. В. Применение методов и средств усовершенствованного управления технологическими процессами (APC) // *Датчики и системы*. 2010. № 10. С. 51-57.