

Исполняемый модуль генерируется автоматически в реальном времени на основе С-кода. Таким образом, проектировщик может сосредоточиться на проблемах разработки системы СУПА, не заботясь о деталях реализации. Это позволяет значительно сократить время разработки.

Выводы

1. Разработана подсистема анализа состояния и защиты ТП в предаварийных ситуациях с использованием моделей прогнозирования изменения технологических параметров. Прогнозирование параметров реакции полимеризации этилена проводится на три цикла реакции с погрешностью $\leq 10\%$, что в среднем равно 3 мин. При возникновении предаварийных ситуаций этого времени достаточно для автоматического переключения управления со штатного режима на управление в предаварийных режимах.

2. Исследование работоспособности и эффективности системы обеспечения безопасности, разработка программных приложений по реализации СУПА проведена на основе программного комплекса MATLAB/Simulink с дальнейшей интеграцией программного кода в существующую SCADA-систему на основе пакета MATLAB-to-iFIX, что позволило существенно сократить время разработки.

3. Использование прогнозных моделей дает возможность повысить качество (сортность) выпуска-

емой продукции. При высокой частоте возмущений потенциально можно увеличить выпуск продукции высшего сорта примерно на треть.

Список литературы

1. Ахметов С.А., Ишмияров М.Х., Веревкин А.П., Докучаев Е.С., Малышев Ю.М. Технология, экономика и автоматизация процессов переработки нефти и газа. М.: Химия. 2005. 735 с.
2. Дозорцев В.М., Ицкович Э.Л., Кнеллер Д.В. Усовершенствованное управление технологическими процессами (APC): 10 лет в России. // Автоматизация в промышленности. 2013. № 1. С. 12-19.
3. Terrence Blevins, Willy K. Wojasznis, Mark Nixon. Advanced Control Foundation: Tools, Techniques and Applications. ISA. 2012. 556 p.
4. Веревкин А.П., Калашник Д.В., Хуснияров М.Х. Моделирование оперативного определения индекса расплава для управления процессом производства полиэтилена // Башкирский химический журнал. 2013. Т. 20. № 1. С. 69-74.
5. Веревкин А.П., Калашник Д.В., Хуснияров М.Х. Оперативное управление процессом производства полиэтилена по показателю качества (индексу расплава) // Территория нефтегаз. 2013. № 5. С. 12-16.
6. Thithi, I. Control System Parameter Identification Using the Poulation Based Incremental Learning (PBIL) // Proc. of the International Conference on Control'96: Conference Publication. 1996. № 427. P. 1309 -1314.
7. Mamdani E.H. Application of fuzzy algorithm for simple dynamic plant // Proc. IEEE. 1974. № 12. P. 1585-1588.

Веревкин Александр Павлович — д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой автоматизации технологических процессов и производств Уфимского государственного нефтяного технического университета, Калашник Дмитрий Владимирович — инженер по АСУП ОАО «Уфаоргсинтез». Контактный телефон (917) 494-01-26. E-mail: apverevkin@mail.ru kalash.ufa@mail.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕГРИРОВАННОГО УЧЕБНОГО КОМПЛЕКСА МОДЕЛИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ НЕПРЕРЫВНЫХ ТП В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

О.Д. Антипов (РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина), О.Ю. Першин (Компания Honeywell), В.Е. Попадьюко (РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина), А.Н. Халитова (Компания Honeywell), В.В. Южанин (РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина)

Приводятся примеры проектов, реализованных на базе интегрированного комплекса для компьютерного моделирования и управления ТП, используемого в учебном процессе РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина: системы усовершенствованного управления процессом дебутанизации, а также моделирование и управление процессом первичной переработки нефти.

Ключевые слова: моделирование технологических процессов, усовершенствованное управление, ПИД-алгоритм, обучение, процесс дебутанизации, первичная переработка нефти.

Введение

На современном этапе при автоматизации ТП подготовки и переработки углеводородного сырья используются средства компьютерного моделирования и системы управления класса APC (Advanced Process Control), для которых в русскоязычной литературе обычно используется термин «усовершенствованное управление». Системы APC управляют технологическим объектом с учетом его сложной

многосвязной структуры и оптимизируют его работу по технико-экономическому критерию в реальном времени. Сложность и эффективность таких систем заметно выше по сравнению с системами предыдущего поколения, основанными на децентрализованном управлении процессами по ПИД-алгоритмам. Неудивительно, что опыт эксплуатации внедренных APC-систем на ряде нефтеперерабатывающих заводов указывает на нехватку персонала требуемой



Рис. 1. Структура комплекса моделирования и управления ТП

квалификации. Вследствие этого возросли требования к знаниям будущих технологов и специалистов по автоматизации в области современных средств компьютерного моделирования и управления ТП в нефтегазовой промышленности. Причем требуется целостное понимание ТП и системы управления в их взаимосвязи.

Интегрированный учебный комплекс для моделирования и управления ТП

Для решения указанных проблем в РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина совместно с компанией Honeywell создан компьютерный комплекс, обеспечивающий реализацию сквозной единой цепочки моделирования ТП и управления этим процессом как на базовом уровне (ПИД-регулирование), так и с использованием APC.

Достоинством комплекса является использование в нем самых современных программных и аппаратных средств, что позволяет студентам приобрести практически навыки работы с новейшими профессиональными инструментами уже во время учебы в университете.

В комплекс моделирования входят следующие основные модули (рис. 1):

- распределенная система управления Experion PKS и ПЛК C300 [1]. Модуль Experion CEE выполняет роль интерфейса передачи данных реального времени и синхронизации расчета модели процесса Unisim Design с работой системы управления Experion PKS/C300 (используется, например, при ускорении темпа моделирования при исследовании инерционных объектов);

- ПО для построения систем усовершенствованного управления Profit Suite [2];

- среда имитационного моделирования ТП Unisim Design Suite со средством разработки тренажеров Unisim Operations Suite [3].

Для передачи данных РВ используется стандартный интерфейс OPC DA.

Рассмотрим две учебные работы, выполненные с применением рассматриваемого учебного комплекса.

*Университет - это казна, где хранятся
будущие сокровища нации.*

У. Черчилль

Разработка системы усовершенствованного управления процессом дебутанизации

Изучаемый ТП дебутанизации был предварительно проанализирован совместно с кафедрой «Технологии переработки нефти» РГУ нефти и газа имени И. М. Губкина. В результате анализа были обоснованы требования к качеству выходных продуктов процесса и определены типичные возмущения. С учетом сформулированных требований построена динамическая имитационная модель процесса в пакете Unisim Design.

Для синтеза системы управления (базовой и усовершенствованной с помощью APC) проведен анализ степеней свободы ректификационной колонны. Колонна рассматриваемой установки с полной конденсацией верхнего продукта в рефлюксной емкости, частичным испарением нижнего продукта в рибойлере и без стриппингов имеет пять степеней свободы. Свободные параметры фиксируются за счет замыкания контуров регулирования по доступным измерениям параметрам ТП — давлению верха колонны, уровням в рефлюксной емкости и рибойлере и температурам двух контрольных тарелок. Фракционный состав сырья тарелок колонны зависит от давления и температуры на этих тарелках. При этом давление практически неизменно по длине колонны и легко стабилизируется регулятором. Температура же значительно изменяется по тарелкам колонны и долго стабилизируется. Следовательно для рассматриваемого процесса температура — основной фактор, влияющий на качество выходных продуктов. Несмотря на то, что зачастую предлагается использовать верхнюю и нижнюю тарелки в качестве контрольных, в условиях существенных возмущений по составу сырья это может привести к заметному ухудшению качества продукта. Проблема заключается в том, что при изменении доли легких фракций на входе колонны температура кипения жидкостной смеси верхней тарелки изменяется значительно сильнее, чем температура кипения сырья соседних нижних тарелок, поскольку на этих тарелках всегда более широкий фракционный состав. Аналогичная проблема имеется с нижней тарелкой.

С учетом сказанного для обоснования номеров контрольных тарелок был использован инвариантный метод [4]. С помощью статической модели процесса (построенной также в Unisim Design) рассчитываются стационарные режимы работы колонны, обеспечивающие показатели качества выходных продуктов при возмущениях по расходу, составу и температуре сырья (таблица). Затем находятся тарелки колонны, изменение температуры на которых наименьшее. Из таблицы ясно, что требуемые спецификации качества выдерживаются при минимальном изменении температуры на тарелках 2 и 11. Из рассмотрения исключены тарелки питания (4, 8) и близкие к ним. В случае

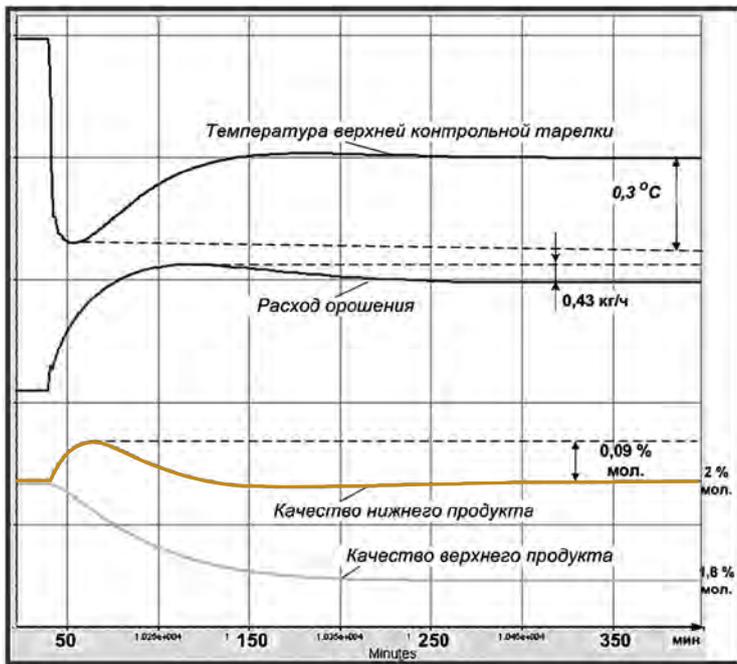


Рис. 2. Переходные процессы установки дебутанизации под управлением базовой системы управления при смене рабочего режима

одинакового СКО выбиралась более далекая от ввода питания тарелка. Температуры контрольных тарелок 2 и 11 регулируются расходом орошения и подачей топливного газа в рибойлер соответственно.

Проведенные исследования позволили построить децентрализованную систему управления на базе ПИД-регуляторов. С помощью построенной имитационной модели получены переходные процессы реакции контуров регулирования верха и низа ко-

лонны на возмущения по сырью и на смену рабочего режима (рис. 2). Алгоритмы ПИД-регуляторов затем были реализованы в системе Experion PKS, создан операторский интерфейс.

Как инструмент реализации технологии APC был использован пакет Profit Controller. Данный многосвязный регулятор, входящий в пакет Profit Suite, осуществляет прогнозирование вектора регулируемых параметров по вектору управляющих воздействий и выбирает наилучшее управляющее воздействие в соответствии с заданным критерием качества управления. Для прогнозирования используется динамическая модель, заданная в виде матрицы передаточных функций. Построение модели осуществляется с помощью статистических процедур идентификации, позволяющих по кривым разгона определить порядок моделей и вычислить их параметры (рис. 3). Кривые разгона были получены по построенной имитационной модели процесса в пакете Unisim.

Для сравнения построенной системы усовершенствованного управления с базовой получены переходные процессы при смене рабочего режима установки (рис. 4). Сравнение графиков рис. 2 и рис. 4 подтверждает уменьшение перерегулирования при использовании многосвязного регулятора Profit Controller.

Моделирование и управление процессом первичной переработки нефти

На описываемом учебном 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 проводилось в два этапа.

1. *Создание статической модели процесса.* Поскольку технологическая схема и требования к режимным показателям процесса переработки нефти в целом и атмосферной перегонки в частности

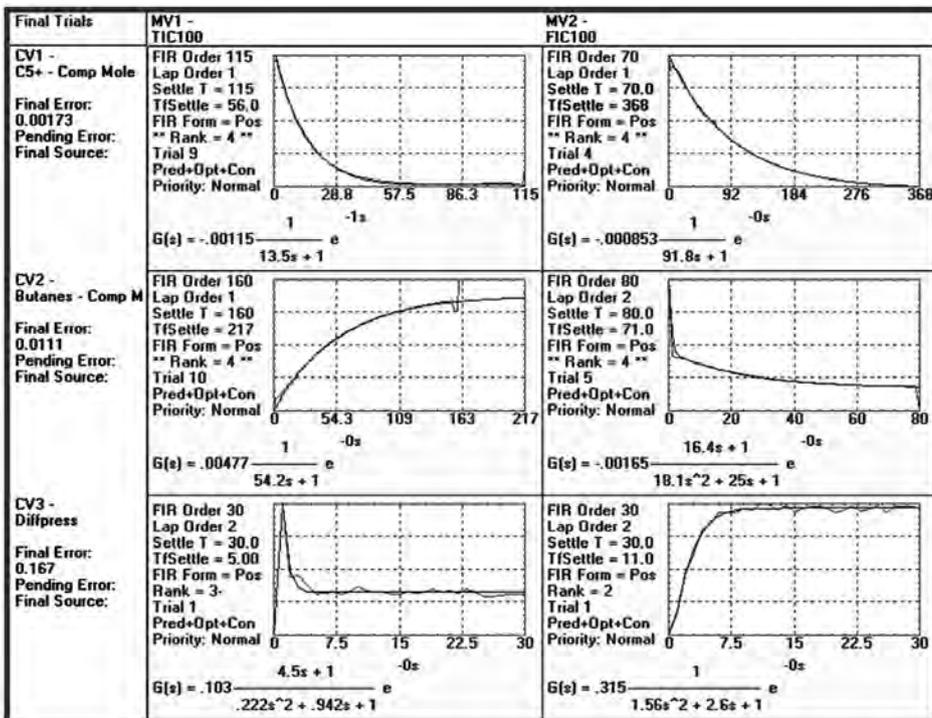


Рис. 3. Матрица передаточных функций прогнозирующей модели APC-контроллера процесса дебутанизации в интерфейсе пакета Profit Suite

Таблица. Профили температуры колонны при возмущениях

№ тарелки*	Профиль температуры при нормальном режиме	Изменение профиля температуры при возмущениях						
		Состав потока 2 (+этан)	Состав потока 1 (+октан)	Температура потока 1	Температура потока 2	Расход потока 1	Расход потока 2	СКО
0	85,36	3,82	0,02	0,01	0,00	0,00	0,01	1,56
1	89,52	0,93	-0,93	0,01	0,00	0,00	0,01	0,59
2	92,15	0,32	-0,31	-0,01	-0,01	0,00	0,00	0,20
3	95,02	0,18	-0,13	-0,05	-0,02	0,00	0,01	0,10
4	98,34	0,14	0,01	-0,13	-0,05	-0,01	0,02	0,09
5	101,76	-0,10	0,48	-0,28	-0,05	-0,04	0,09	0,26
6	105,89	-0,16	0,79	-0,46	-0,05	-0,07	0,16	0,42
7	111,08	-0,19	0,83	-0,67	-0,05	-0,11	0,25	0,50
8	118,96	-0,22	-0,60	-0,94	-0,05	-0,19	0,45	0,47
9	123,38	-0,19	-0,55	-0,79	-0,04	-0,17	0,40	0,42
10	127,75	-0,16	-0,60	-0,64	-0,03	-0,15	0,37	0,38
11	131,83	-0,13	-0,75	-0,49	-0,02	-0,14	0,34	0,38
12	135,51	-0,11	-0,97	-0,37	-0,01	-0,14	0,34	0,44
13	138,92	-0,10	-1,28	-0,28	-0,01	-0,15	0,37	0,55
14	142,65	-0,11	-1,87	-0,20	-0,01	-0,19	0,45	0,80
15	148,28	-0,12	-3,44	-0,10	0,00	-0,26	0,62	1,45
16	159,53	-0,14	-7,45	0,01	0,00	-0,38	0,93	3,11

*Тарелка с номером 0 соответствует рефлюксной емкости, 16 - рибойлеру

определяются в наибольшей степени свойствами поступающего на нефтеперерабатывающий завод сырья, существенное внимание в работе было уделено заданию свойств характеризующих нефтяные фракции псевдокомпонентов. Согласно справочной литературе были заданы характерные для легких западно-сибирских нефтей молекулярный вес, стандартная плотность, кинематическая вязкость при 20 и 50 °С, содержание низкокипящих

углеводородов, кривая истинных температур кипения, характеристики остатков различной глубины отбора (зависимости молекулярного веса, плотности и вязкости от процентного выхода остатка).

В ходе построения статической модели были параметризованы потоки питания и заданы основные конструкционные параметры аппаратов. Наибольшую сложность в процессе статического моделирования представляет выбор активных спецификаций и задание начальных приближений, обеспечивающих сходимость расчета основной атмосферной колонны, так как для съема тепла в ней используются два циркуляционных орошения при том, что вместе с ней рассчитываются три боковых отпарных колонны. Система уравнений модели имеет высокую размерность — необходимо обеспечить выполнение требований большого числа (в данной работе — 11 ед.) спецификаций.

Расчет массообменных аппаратов в пакете Unisim Design осуществляется для теоретических тарелок, поэтому для приближения к производственным данным эмпирическим путем находился коэффициент эффективности используемых в модели тарелок. Наилучшие результаты получены при коэффициенте эффективности 0,65 для тарелок колонны предварительного отбензинивания и 0,45...0,6 для секций основной атмосферной колонны.

Итоговая ошибка статической модели блока по массовому балансу составляет 0%, по тепловому балансу — 5,85%.

2. Создание динамической модели процесса (рис. 5) с использованием статической модели для задания начальных условий расчета. Динамическая модель ТП в среде Unisim Design учитывает геометрию и размеры технологического оборудования. Размеры технологического оборудования, полученные при построении статической модели, были уточнены для максимального приближения переходных процессов в системе к производственным данным. Контактные устройства колонн рассчитаны в подпрограмме Tray Sizing Utility.

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, изменений давления подаваемого в атмосферную и отпарные колонны пара. Выбор струк-

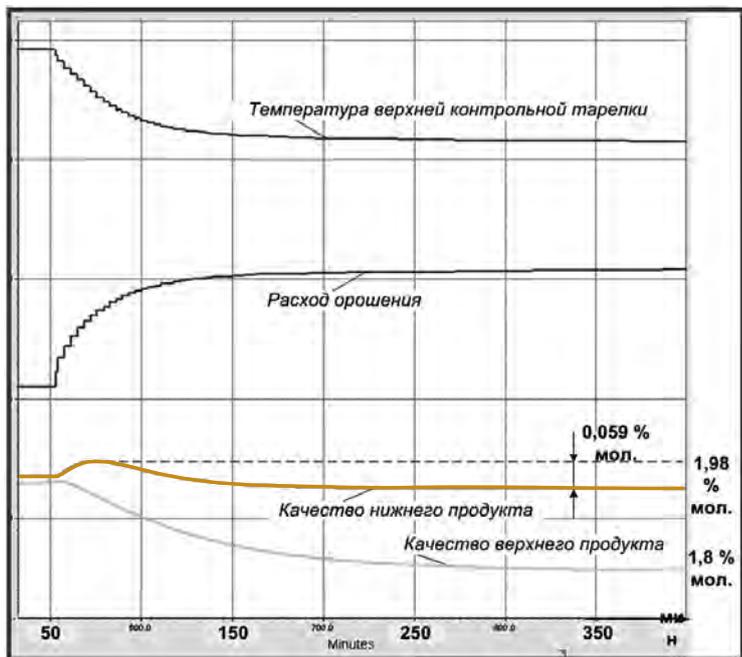


Рис. 4. Переходные процессы установки дебутанизации под управлением усовершенствованной системы управления при смене рабочего режима

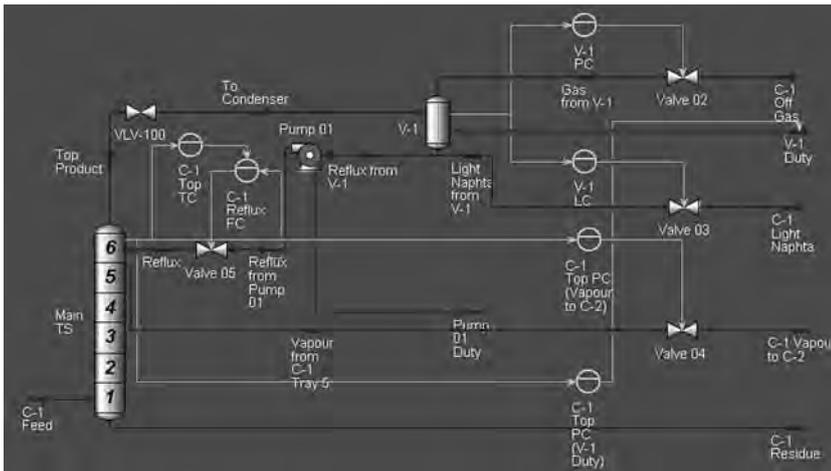


Рис. 5. Внешний вид модели колонны предварительного отбензинивания с системой управления (пять локальных САР, из них одна - каскадная) в интерфейсе программы Unisim Design

туры системы управления производился аналогично установке дебутанизации на основе анализа степеней свободы. Установка в рассмотренной конфигурации имеет 18 степеней свободы. Свободные параметры фиксируются системой управления в составе 18 контуров П-, ПИ-регулирования, причем пять из них каскадные. Настройка коэффициентов регуляторов проведена на основе изучения динамического отклика модели.

Качество продуктов процесса атмосферной перегонки — топливных фракций — характеризуется значениями трудноизмеримых технологических параметров, таких как температуры выкипания определенного процента получаемых в процессе разделения фракций, и определяется на производстве при помощи лабораторных анализаторов либо поточных хроматографов. Поскольку такая информация поступает в систему управления со значительным запаздыванием, предлагается использовать виртуальные анализаторы для получения дополнительной информации о протекании ТП в режиме реального времени.

В ходе работы построен виртуальный анализатор температуры конца кипения легкой бензиновой фракции — одного из наиболее важных показателей качества процесса атмосферной перегонки.

При построении виртуального анализатора стоит задача определения измеряемых параметров процесса, значения которых наиболее существенно влияют на искомый трудноизмеримый параметр. С целью определения таких параметров проведен сбор данных на статической модели объекта, в результате получен набор значений измеряемых параметров для каждого из рассмотренных режимов с соответствующим значением температуры конца кипения бензиновой фракции, рассчитанным подпрограммой Boiling Point Curves пакета Unisim. В наибольшей степени измене-

ние конца кипения бензиновой фракции связано с изменением следующих параметров: температуры и давления верха колонны предварительного отбензинивания, уровня в рефлюксной емкости, поскольку частные производные искомого показателя качества по представленным параметрам имеют наибольшие значения, по остальным переменным — близки к нулю.

Построение виртуального анализатора производилось на основе нейросетевой модели. Проведен эксперимент на динамической модели объекта, заключающийся в поочередном изменении с заданным шагом уставок регуляторов объекта и исследовании поведения рассматриваемого показателя качества. Собранная статистика была разбита на две

выборки — обучающую и экзаменационную в соотношении 70:30. Зависимость между входными/выходными параметрами восстанавливалась с помощью искусственной нейронной сети — двухслойного персептрона с обратным распространением ошибки. В качестве алгоритма обучения был выбран алгоритм Левенберга-Марквардта, обладающий наибольшей эффективностью при обучении сетей с малым числом связей между нейронами. Настройка нейронной сети заключалась в варьировании числа нейронов в скрытом слое с целью достижения минимума ошибки обучения на экзаменационной выборке. Установлено, что наилучшей обобщающей способностью для исследуемых данных обладает нейронная сеть с пятью нейронами в скрытом слое. Отклонение предсказания температуры конца кипения бензиновой фракции от эталонного значения на экзаменационной выборке характеризуется величиной среднеквадратического отклонения 1,28% в рабочем диапазоне.

Список литературы

1. Соркин Л.Р., Подъяпольский С.В., Родионов А.В. Experion PKS — новая распределенная система управления фирмы Honeywell // Автоматизация в промышленности. 2005. №11 С. 3 - 9.
2. Дозорцев В. М., Кнеллер Д.В. APC — усовершенствованное управление технологическими процессами // Датчики и системы. 2005. №10. С. 56 - 62.
3. Захаркин М.А., Кнеллер Д.В. Применение методов и средств усовершенствованного управления технологическими процессами (APC) // Датчики и системы. 2010. №10. С. 51-57.
4. Dozortsev V. M., Kreidlin E. Yu. State-of-the-Art Automated Process Simulation Systems // Automation and Remote Control. V.71 №N 9. September. 2010. p. 1955 -1963.
5. Lueben Willism L. Luyben William Distillation Design and Control Using Aspen Simulation . 2006.-360 Стр.

Антипов Олег Дмитриевич — аспирант, **Попадько Владимир Ефимович** — канд. техн. наук, проф., зав. каф. «Автоматизация технологических процессов»,

Южанин Виктор Владимирович — канд. техн. наук, доцент РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина.

Першин Олег Юрьевич — д-р техн. наук, проф., консультант по стратегии и развитию в нефтегазовом секторе,

Халитова Александра Николаевна — инженер компании Honeywell.

Контактный телефон (499) 135-70-96 (кафедра).

E-mail: oleg.pershin@honeywell.com pve@gubkin.ru