УДК 004.942;66.011

ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРОЦЕССОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНЫХ МОДЕЛИРУЮЩИХ СИСТЕМ

Е.Н. Ивашкина, И.М. Долганов, Э.Д. Иванчина, М.В. Киргина, С.А. Фалеев*, А.В. Кравцов

Томский политехнический университет
*ООО «Киришинефтеоргсинтез», Ленинградская область, г. Кириши
E-mail: IceFlame@sibmail.com

Разработан и программно реализован в среде объектно-ориентированного программирования Delphi 7 интеллектуальный компьютерный комплекс, интегрированный с единой тематической витриной данных нефтеперерабатывающего завода. Программный комплекс позволяет осуществлять непрерывный мониторинг и прогнозировать основные показатели процессов дегидрирования, гидрирования и алкилирования. SQL-запросы технологических параметров процессов и углеводородных составов перерабатываемого сырья осуществляются с использованием заводской базы данных. Система позволяет рассчитывать различные варианты реконструкции существующей установки, а также проводить анализ технико-экономических показателей процесса.

Ключевые слова:
Моделирующая система, дегидрирование, гидрирование, алкилирование, химико-технологическая система.

Key words:
Modeling system, dehydrogenation, hydrogenation, alkylation, chemical-technological system.

Введение

Современный уровень информатизации нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств достаточно высок. Совершенствование и разработка систем автоматизированного управления и контроля для нефтегазовой отрасли на сегодняшний день является одним из наиболее актуальных направлений развития IT-технологий.

Так, создаются автоматизированные системы оперативного учета топливного газа [1]; MES-системы, состоящие из набора программных и аппаратных средств, обеспечивающих функции управления производственной деятельностью от заказа на изготовление партии продукции и до завершения производства [2]; информационно-управляющие системы диспетчерского управления, обеспечивающие сбор и обработку в реальном времени информации о состоянии производства, хранение архивных данных и представление информации специалистам для оперативного управления предприятием и анализа его работы [3].

Приоритетным направлением развития современной нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности является укрупнение промышленных установок единичных мощностей, а также комбинирование различных технологических процессов [4]. Кроме того, одним из направлений модернизации отрасли является интеграция нефтепереработки и нефтехимии. В этой связи исключительно высоки требования к уровню информатизации и интеллектуализации технологических процессов, надежности и безопасности оборудования и технологии, квалификации обслуживающего персонала.

Вместе с тем, рассмотренные системы не позволяют обеспечить оптимизацию технологических параметров эксплуатации промышленных установок переработки углеводородного сырья, а также прогнозирование показателей многокомпонентных каталитических процессов.

Поэтому целью настоящих исследований является создание интеллектуальных программных комплексов на базе кинетических и термодинамических закономерностей процессов и явлений, протекающих внутри аппарата. Это позволит существенно расширить спектр функциональных возможностей программных продуктов, предназначенных для мониторинга объектов нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств.

Интеллектуальные программные комплексы на физико-химической основе

Информационные системы для автоматизированного управления технологическими процессами, как правило, иерархически организованы и выполняет перечисленные ниже функции.

1. Сбор информации о состоянии технологической установки.

Список технологических параметров, формирующих базу данных производства линейных аклилбензолов, выглядит, например, следующим образом:

Дата запроса 30.08.2007

Дата начала цикла 01.02.2007

№ п/п	№ по ini	Значение	Название
1	2	11,98	Температура входа в реактор R301A, °C
2	3	482,86	Температура входа в реактор R301B, °C
3	4	192,16	Температура входа в реактор R1401, °C
4	5	102,50	Давление в реакторе R301A, кПа
5	6	181,61	Давление в реакторе R301B, кПа
6	7	1481,30	Давление в реакторе R1401, кПа
7	8	11,28	Температура выхода из реактора R301A, °C
8	9	464,74	Температура выхода из реактора R301B, °C
9	10	192,52	Температура выхода из реактора R1401, °C

№ п/п	№ по ini	Значение	Название
10	11	75,11	Расход парафинов в Е301, м³/час
11	12	11,09	Конверсия (модель)
12	13	57856,86	Расход газа с компрессора, нм³/час
13	14	46,18	Расход водородсодержащего газа в смеситель, SM-1401 м³/ч
14	15	76,13	Расход углеводородов в смеситель, SM-1401 м³/ч
15	16	9,76	SC-4 Содержание н-олефинов (модель), %
16	17	87,23	SC-4 Содержание н-алканов, %
17	18	7,5	SC-4 Содержание н-олефинов, %
18	19	0,48	SC-4 Содержание диолефинов, %
19	20	88,21	SC-14 Содержание н-алканов, %
20	21	7,27	SC-14 Содержание н-олефинов, %
21	22	0,1	SC-14 Содержание диолефинов, %
22	23	88,16	SC-6 Содержание н-алканов, %
23	24	7,38	SC-6 Содержание олефинов, %
24	25	9,89	SC-6 Бромное число потока углеводородов, г/см³

2. Поддержание технологических параметров на заданных значениях по показаниям датчиков, рис. 1.

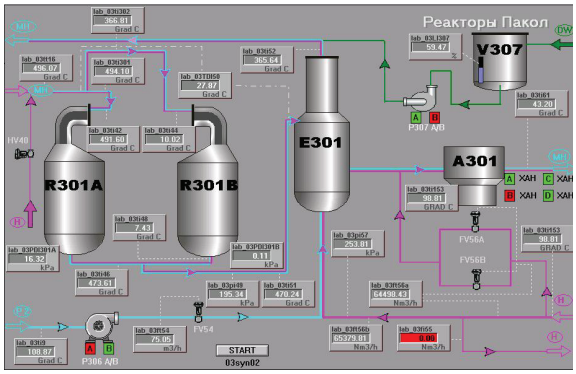

Рис. 1. *Фрагмент мнемосхемы управления технологическими параметрами цеха*

3. Контроль над технологическими параметрами, для которых не выполняется мониторинг. Сигнализация о параметрах, значения которых выходят за рамки допустимых.
4. Защита информации от ошибок, являющихся результатом ошибочных действий технологического персонала.
5. Прогнозирование возникновения аварийных ситуаций.

Перечисленные функции, как правило, выполняются подсистемами нижнего уровня. Подсистемами второго и третьего уровней выполняются такие функции, как:

- архивирование событий;
- проверка и сведение материальных и энергетических балансов для аппаратов, установок, цехов;
- выработка концепций для предотвращения развития аварийных ситуаций;
- вычисление по моделям (косвенное измерение) технологических параметров, показателей качества продукции, отдельных технико-экономических показателей, измерение которых не производится.

Перечисленные задачи относятся к приоритетным и выполняют их SCADA-системы (Supervisor Control And Data Acvisition).

Вместе с тем, моделирование показателей качества выполняется такими системами по статическим законам, применимым лишь в случае стационарного ведения промышленного процесса. Но в действительности подавляющее большинство промышленных процессов нефтепереработки и нефтехимии являются **нестационарными**.

Во-первых, непостоянным является состав перерабатываемого углеводородного сырья. *Во-вторых*, большинство процессов нефтепереработки и нефтехимии являются каталитическими, а катализатор, как известно, имеет свойство терять активность с течением времени под воздействием каталитических ядов, повышенной влажности, высоких температур, закоксовывания и т. д.

Кроме того, к неизмеряемым технологическим параметрам можно отнести активность катализатора, эксплуатируемого в данном процессе, степень его дезактивации и т. д. Данные параметры не поддаются вычислению с применением статических моделей. Именно поэтому подсистемы второго и третьего уровней не позволяют решать задачи прогнозирования работы промышленных установок на длительное время.

В этой связи востребованным является направление создания интеллектуальных программных комплексов, в основе которых лежат физико-химические модели многокомпонентных каталитических процессов.

Подобные интеллектуальные комплексы уже разработаны нами для ряда промышленных процессов нефтепереработки и нефтехимии:

- каталитический риформинг бензинов («Система контроля работы Pt-катализаторов риформинга», «Компьютерное моделирование каталитического риформинга (АКТIV+С)»);
- изомеризация петан-гексановой фракции углеводородов («Isomer»);
- дегидрирование высших алканов («Программа расчета процесса дегидрирования высших парафинов с визуализацией концентраций компонентов»), рис. 2;
- гидрирование высших алкадиенов («Программа расчета технологических показателей и оптимального режима подачи серы в процессе гидрирования высших алкадиенов»);
- алкилирование бензола алкенами с получением линейных алкилбензолов (ЛАБ) («Компьютерный тренажер для обучения инженерно-технического персонала действиям при аварийных ситуациях на производстве алкилбензолов»), рис. 3.

Интеграция разработанных интеллектуальных программных комплексов с единой тематической витриной данных (ЕТВД) нефтеперерабатываю-

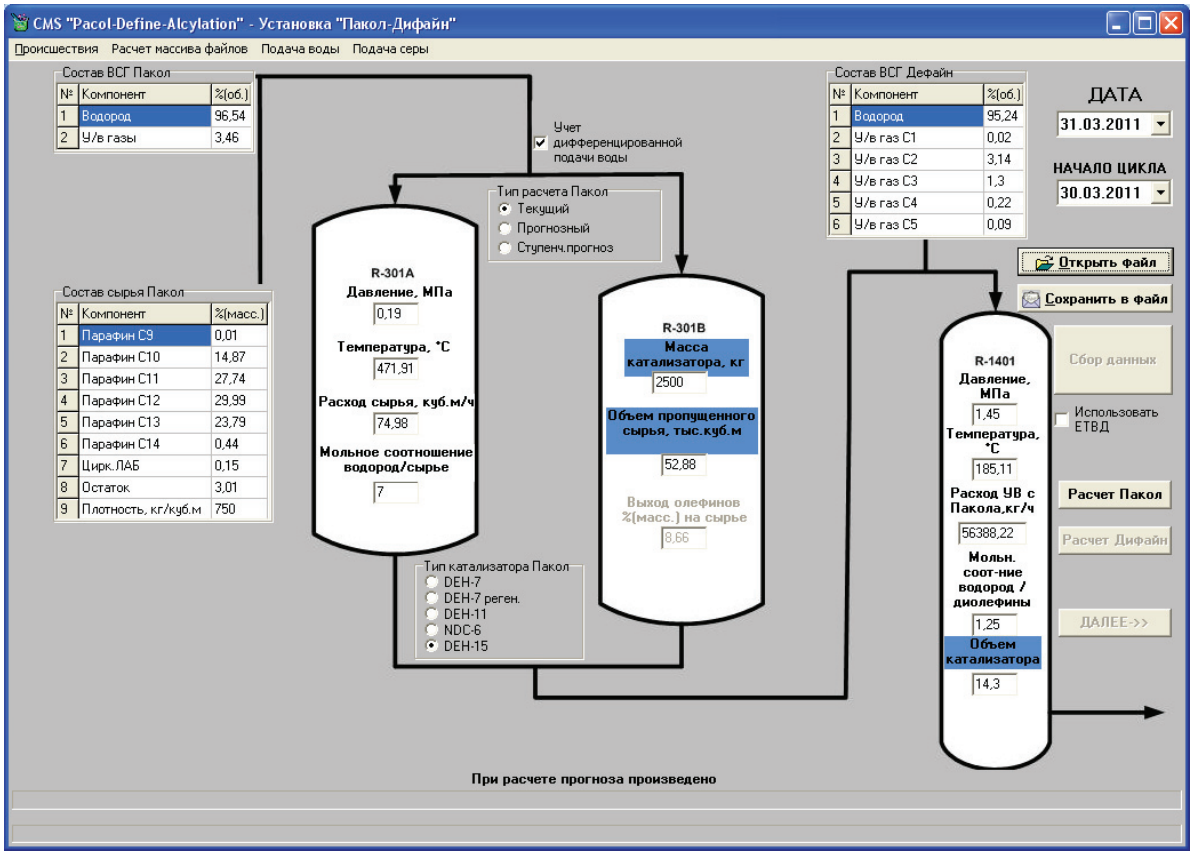

Рис. 2. *Главное диалоговое окно «Программы расчета процесса дегидрирования высших парафинов с визуализацией концентраций компонентов»*

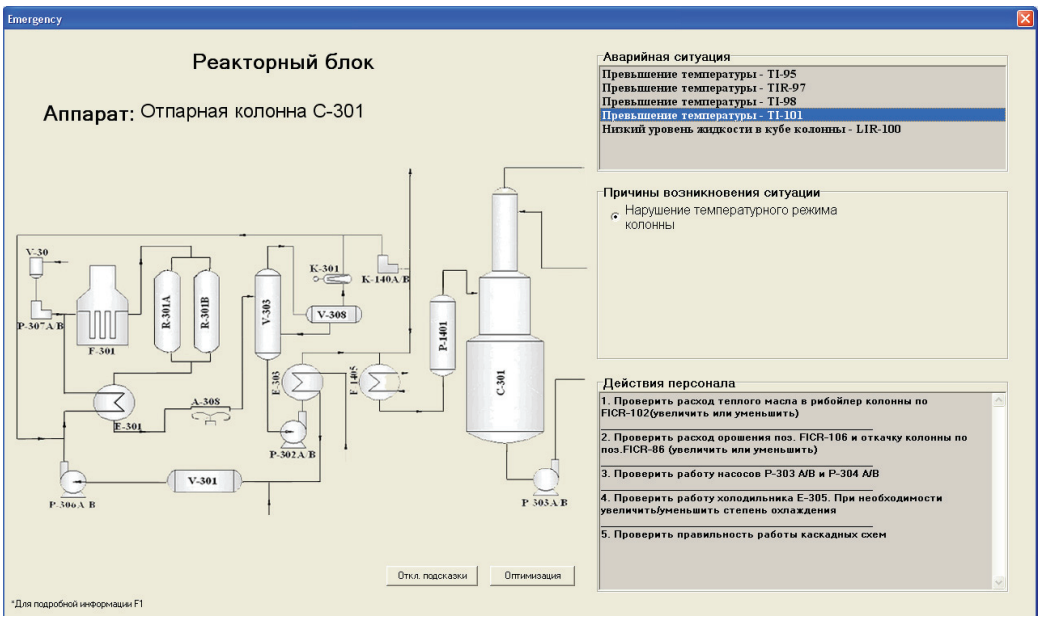

Рис. 3. *Модуль программы по обучению инженерно-технического персонала действиям при аварийных ситуациях на производстве алкилбензолов*

щих заводов осуществляется через модуль связи с общезаводской базой данных. Схема внутренней архитектуры системы контроля катализатора представлена на рис. 4.

Создание информационных порталов Web-поддержки для инженерно-технического персонала промышленных объектов является следующим этапом развития программных комплексов и ин-

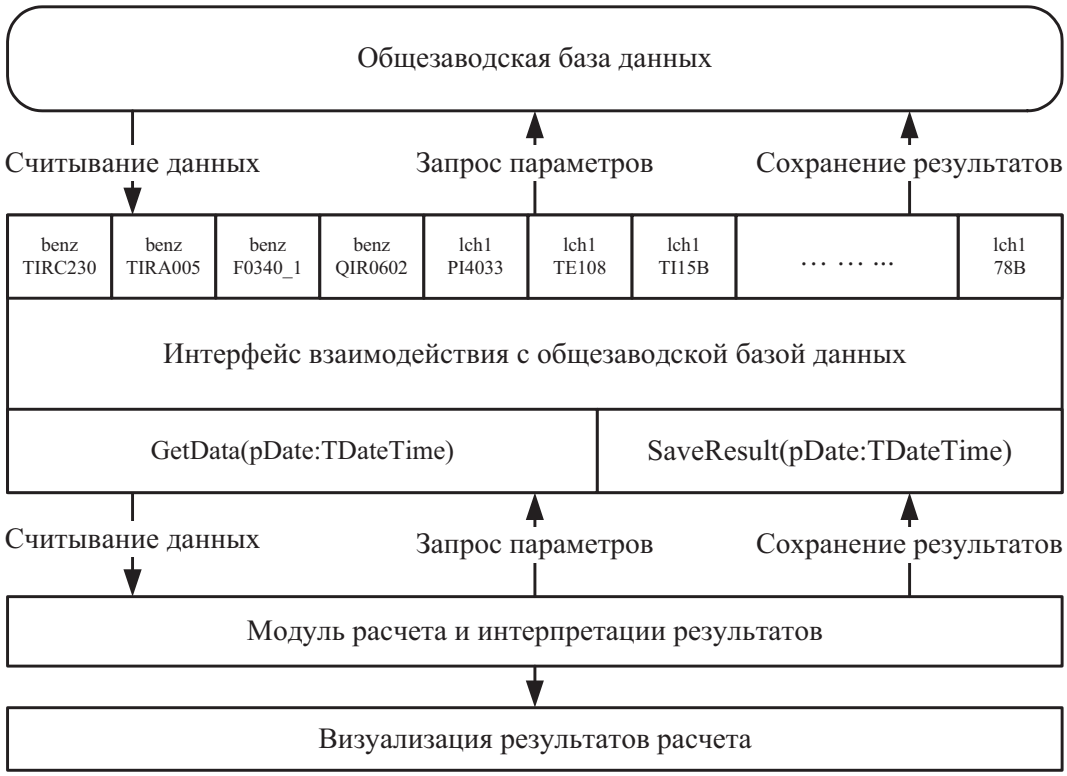

Рис. 4. *Схема внутренней архитектуры единой тематической витрины данных, где benz_TIRC230, benz_TIRA005, benz_F0340_1, benz_QIR0602, lch1_PI4033, lch1_TE108, lch1_TI15B, lch1_78B – имена датчиков по температуре, расходу, давлению, концентрации и т. д. общезаводской базы данных для разных установок производства*

теллектуализации нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств.

Недостаточно оперативное внедрение описанных выше программных комплексов в решение инженерных задач, как в нефтяной промышленности, так и в инжиниринговых фирмах является, по нашему мнению, следствием медленной подготовки и переподготовки технических специалистов новой формации.

Информационные технологии и Web-программирование online позволяют преодолеть трудности практической реализации инновационного подхода. Интеллектуальная Web-система на сервере с открытым входом через интернет позволяет оперативно получить рекомендации для работы установки в оптимальном режиме. Web-система содержит Базу данных и Базу знаний по установкам на различных НПЗ, что позволяет получать рекомендации в реальном масштабе времени, а также прогнозировать все возможные варианты технологических режимов, что обеспечивает значительный экономический эффект.

Практическое применение разработанных программных комплексов

Разработанные на кафедре химической технологии топлива и химической кибернетики интеллектуальные компьютерные комплексы позволяют в режиме *on-line* проводить оптимизационные и прогнозирующие расчеты технико-экономических показателей промышленных процессов по непрерывно поступающим данным из ЕТВД.

Для производства линейных алкилбензолов была программно реализована и внедрена в ЕТВД методика оптимальной динамики подачи воды в реактор дегидрирования, которая обеспечила количественный расчет расхода воды, зависящий от состава сырья, технологических условий и степени дезактивации катализатора. Технолог имеет возможность с использованием интеллектуального программного комплекса в режиме *on-line* определять, какой объем подачи воды необходим в данный период времени.

Сравнительный анализ двух циклов работы катализатора дегидрирования за период (октябрь 2008 – июль 2009 гг. и март 2010 – февраль 2011 гг.) показал высокую эффективность внедренной методики, таблица.

Сравнение различных режимов работы катализатора дегидрирования (при постоянной и увеличивающейся подаче воды) позволяет сделать следующие выводы: длительность цикла увеличилась на 55 дней, что в процентном выражении составляет 20,75 %, рис. 5. Повысилась также среднесуточная выработка линейного алкилбензола с 177,5 до 178,7 т/ сут., что в пересчете на весь цикл позволило получить на 10151,75 т больше этого продукта.

Сравнение вышеописанных показателей качества работы установки при различных режимах обводнения катализатора дегидрирования позволяет

сделать вывод о положительном влиянии подачи воды увеличивающимися порциями (согласно внедренной методике).

Таблица. *Сравнение технологических показателей режима установки дегидрирования за разные периоды ее эксплуатации*

Показатель	Октябрь 2008 – июль 2009 г. (постоянная подача воды)	Март 2010 – февраль 2011 г. (увеличивающаяся подача воды)
Длительность цикла, дней	265	320
Среднесуточная выработка ЛАБ, т.	177,45	178,68
Средняя выработка ЛАБ за цикл, т.	47024,25	57176
Селективность, средняя концентрация парафинов/средняя концентрация олефинов	15,23	16,27
Средняя концентрация, мас. % олефинов диолефинов	 9,401 0,617	 9,361 0,575

Другим примером успешного внедрения данных программных комплексов является их применение для решения задач оптимизации структуры химико-технологической системы. В данном случае использование программного продукта является удобным инструментом для совершенствования промышленной технологии, так как применение моделирующих систем позволяет рассмотреть и сравнить множество различных вариантов реконструкции установки без необходимости воплощения их в металл. Проведя экономический анализ всех вариантов, можно выбрать наиболее предпочтительный.

Перспективными направлениями совершенствования промышленной технологии получения линейных алкилбензолов является применение схем с использованием параллельной работы реакторов в процессе дегидрирования высших парафинов, а также внедрение рециркулирующих потоков непрореагировавших алканов.

Для решения поставленных задач разработанный программный комплекс был дополнен модулями расчета рециркуляции, теплообменного и печного оборудования.

Объединенная моделирующая система позволяет:

1) проводить мониторинг работы установки и определять показатели стадий производства линейных алкилбензолов, среди которых выходы продуктов, температуры, характеристики работы катализатора;
2) рассчитывать различные варианты реконструкции как отдельных аппаратов, так и всей технологической схемы в целом с учетом изменения состава перерабатываемого сырья, технологических параметров и активности катализатора.

С помощью разработанного программного комплекса было установлено, что возвращение на рецикл уже 30 % непрореагировавших алканов позволяет увеличить выход целевого продукта – олефинов на 45 %, при этом выход побочных продуктов – диолефинов увеличивается лишь на 0,5 кг на тонну свежего сырья, рис. 6.

Выполненные с помощью разработанного программного продукта исследования показали, что использование двухреакторной схемы эксплуатации установки с увеличенным расходом сырья позволяет получить на 70 % больше линейных алкилбензолов, рис 7.

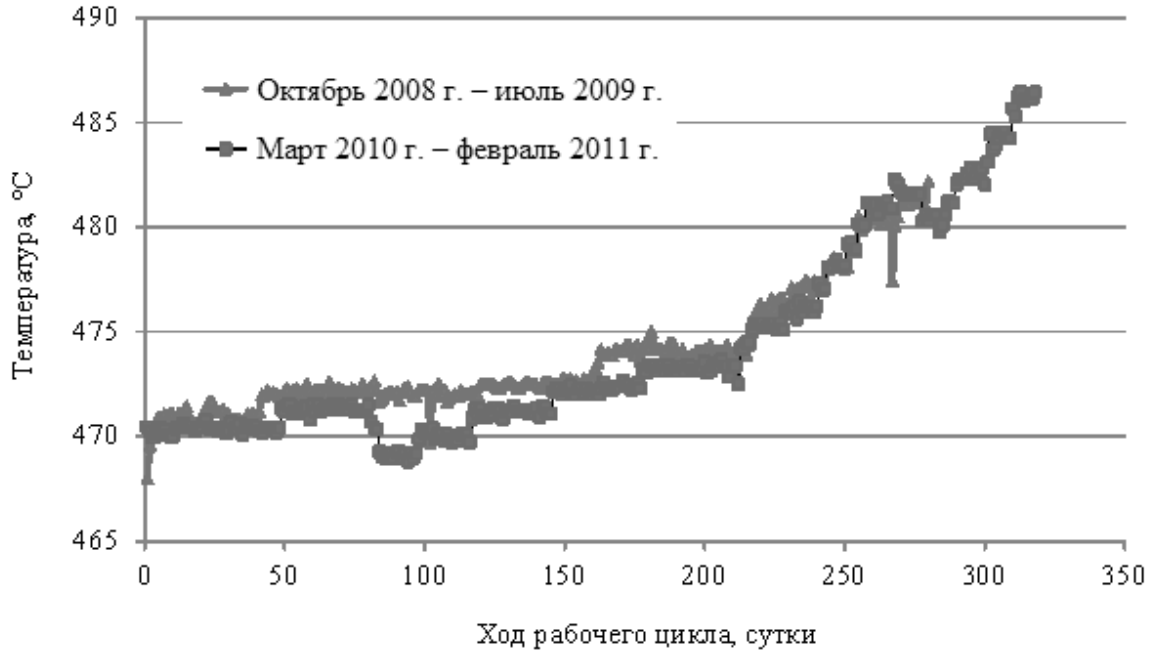

Рис. 5. *Сравнения темпов подъема температуры в реакторе дегидрирования за разные циклы работы катализатора*

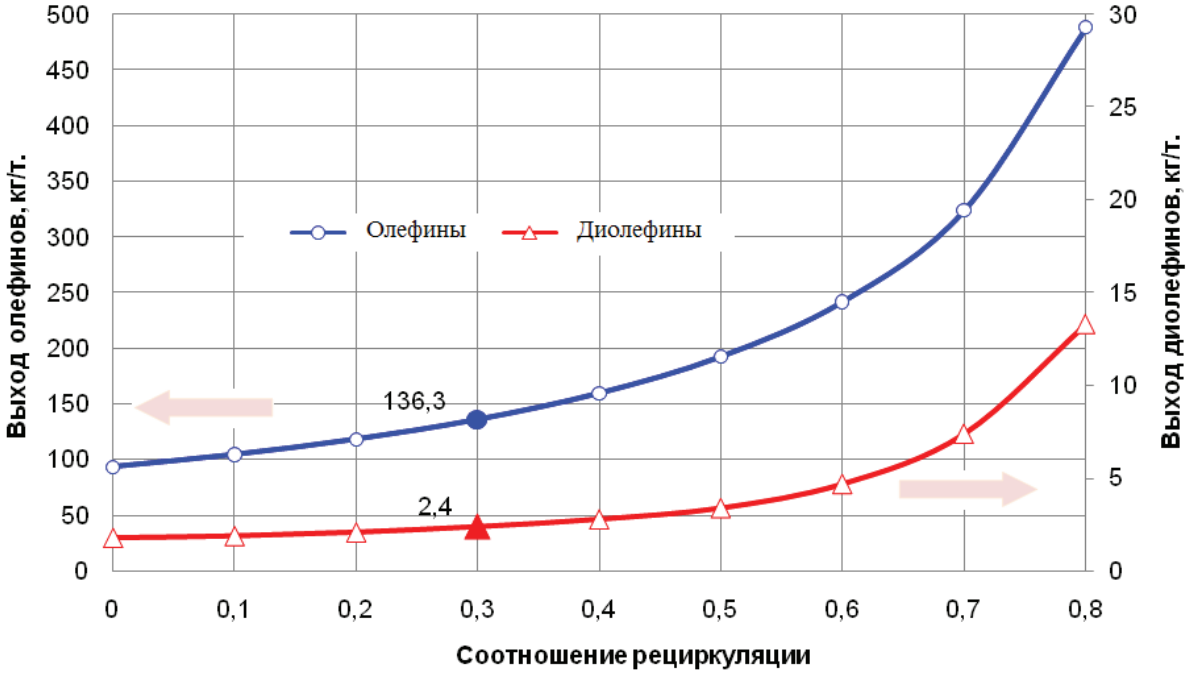

Рис. 6. *Зависимость выхода олефинов и диолефинов на тонну свежего сырья от соотношения потоков*

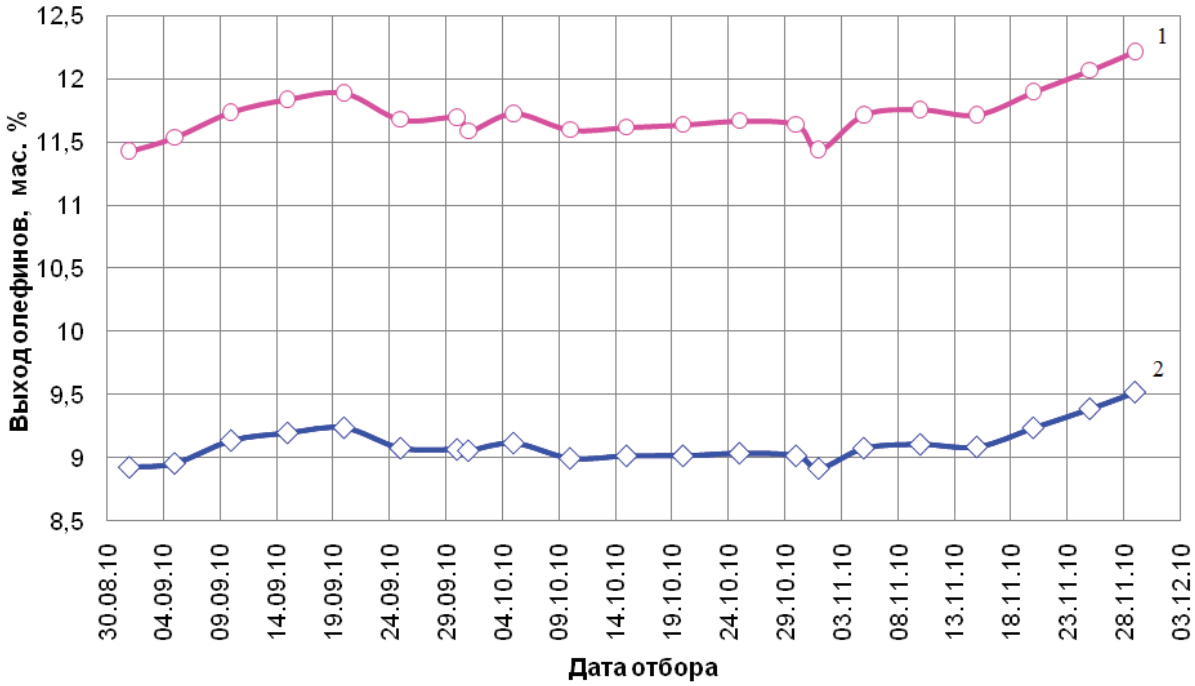

Рис. 7. *Зависимость выхода олефинов от расхода сырья для: 1) двухреакторной и 2) однореакторной схемы*

С помощью объединенной моделирующей системы, становится возможным решение задач, связанных с увеличением тепловой нагрузки на сырьевой поток, а также с эффективным распределением этой нагрузки между рекуперативным теплообменником и печью, посредством которых осуществляется нагрев сырья. Определение нагрузок на теплообменник и печь с помощью математической модели позволяет оценить и выбрать тип теплообменника, что также приводит к повышению эффективности производства. Например, если имеется возможность нагрева сырьевого потока до 420...425 °С (на данный момент температура сырья на выходе из теплообменника 355 °С), то можно рекомендовать конструирование пластинчатого теплообменника, который имеет больше преимуществ по сравнению с теплообменником кожухотрубчатым ввиду его малых габаритных размеров.

Выводы

1. Разработан и программно реализован в среде объектно-ориентированного программирования Delphi 7 интеллектуальный компьютерный комплекс производства линейных алкилбензолов, интегрированный с единой тематической витриной данных нефтеперерабатывающего завода, который позволяет осуществлять непрерывный мониторинг работы установок.
2. В основе интеллектуального компьютерного комплекса лежат физико-химические модели каталитических процессов дегидрирования, гидрирования и алкилирования, что позволяет проводить прогнозные расчеты их основных показателей.
3. Выработаны рекомендации по реконструкции промышленной установки получения линейных алкилбензолов и оптимизации подачи воды в реактор дегидрирования с целью повышения ресурсоэффективности переработки углеводородного сырья.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (11-07-98001-р-сибирь-а, Региональный конкурс СИБИРЬ).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Демин С.И., Ионов А.В., Алимов Е.А. Автоматизированная система оперативного учета топливного газа // Автоматизация и IT в нефтегазовой отрасли. – 2010. – № 1. – С. 21–24.
2. Безручко О.А., Куцевич Н.А. Эффективная MES-система в структуре управления Киришского НПЗ // Автоматизация и IT в нефтегазовой отрасли. – 2010. – № 1. – С. 24–28.
3. Информационно-управляющая система диспетчерского управления (ИУС ДУ) ООО «Газпром добыча Ямбург» // Автоматизация и IT в нефтегазовой отрасли. – 2010. – № 2. – С. 53–57.
4. Ахметов С.А. Технология глубокой переработки нефти и газа. – Уфа: Гилем, 2002. – 671 с.
5. Долганов И.М., Франция Е.В., Афанасьева Ю.И., Иванчина Э.Д., Кравцов А.В. Моделирование промышленных нефтехимических процессов с использованием объектно-ориентированного языка Delphi // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 317. – № 5. – С. 53–57.
6. Кравцов А.В., Шнидорова И.О., Ивашкина Е.Н., Фетисова В.А., Иванчина Э.Д. Разработка компьютерной моделирующей системы как инструмента для повышения эффективности процесса производства линейных алкилбензолов // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. – 2009. – № 9–10. – С. 39–45.
7. Кравцов А.В., Зуев В.А., Козлов И.А., Милишников А.В., Ивашкина Е.Н., Иванчина Э.Д., Юрьев Е.М., Фетисова В.А., Франция Е.В., Шнидорова И.О. Повышение эффективности производства линейных алкилбензолов путем сочетания заводского и вычислительного экспериментов // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. – 2009. – № 10. – С. 24–31.
8. Гершберг А.Ф. Безручко О.А. Автоматизация шаг за шагом // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. – 2006. – № 2. – С. 45–48.

Поступила 15.05.2011 г.