

На правах рукописи



Молотов Константин Владимирович

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ РЕАКТОРОВ РИФОРМИНГА
БОЛЬШОЙ ЕДИНИЧНОЙ МОЩНОСТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ
ИНФОРМАЦИОННО-МОДЕЛИРУЮЩИХ КОМПЛЕКСОВ**

05.17.08 – Процессы и аппараты химических технологий

АВТОРЕФЕРАТ

диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Томск – 2012

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Научный руководитель:

Заслуженный деятель науки РФ,
доктор технических наук, профессор,
Национальный исследовательский
Томский политехнический
университет, профессор кафедры ХТТ

Кравцов Анатолий Васильевич

Официальные оппоненты:

Сваровский Александр Яковлевич

доктор технических наук, профессор,
Северский технологический институт
национального исследовательского ядерного
университета «МИФИ», профессор кафедры
МАХП

Лактионова Елена Александровна

кандидат технических наук, доцент,
Томский сельскохозяйственный институт
филиала федерального государственного
образовательного учреждения высшего
профессионального образования
«Новороссийский государственный
аграрный университет»; доцент кафедры
химии

Ведущая организация

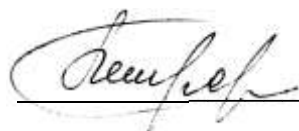
Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Институт химии нефти
Сибирского отделения Российской академии
наук, г. Томск

Защита диссертации состоится « 3 » апреля 2012 г. в 14-00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.269.08 при Национальном исследовательском Томском политехническом университете по адресу: 634050, Томск, пр. Ленина, 43 , корпус 2, 117 ауд.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Автореферат разослан «2» марта 2012 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
доцент, к.т.н.



Петровская Т.С.

Общая характеристика работы

Актуальность работы

Процесс каталитического риформинга для большинства нефтеперерабатывающих производств России – базовый вариант производства высокооктановых компонентов автомобильных бензинов и ароматических углеводородов. На некоторых производствах мощности по риформированию достигают 17 – 24% от мощности первичной переработки, в среднем по России это значение составляет около 11 %.

При этом непрерывно осуществляется поиск способов интенсификации уже действующих производственных установок, а также проектирование и строительство установок большой единичной мощности. При этом наибольшую актуальность приобретает оптимизация работы реакторов большой единичной мощности. Принципиально важным для реакторов на этих производствах является сохранение равномерной гидродинамики по сечению и высоте слоя катализатора, что обеспечивается равномерной его загрузкой и проницаемостью реакционной среды. Если для реакторов небольшой мощности эта задача решается достаточно надёжно, то для реакторов мощностью по сырью 1 млн. т. в год, имеющих большой диаметр, эта гидродинамическая неравномерность подачи сырья по сечению может достигать 5 - 15%. При этом, при существующих методах загрузки, определяющей становится задача обеспечения максимальной эффективности работы этого реактора при сохранении кинетического режима, но реальной гидродинамической неоднородности сырьевого потока по слою катализатора, приводящей к возникновению локальных перегревов и образованию избытка аморфного и графитообразного кокса, а значит и к быстрому падению активности Pt-контакта. Добиться эффективности протекания промышленного процесса в этом случае возможно как непрерывным мониторингом технологического режима и обеспечением протекания химических реакций в области допустимого коксообразования по всему объёму работающего катализатора, так и реконструкцией технологической схемы реакторного блока. Оба эти варианта являются многофакторной задачей, решить которую наиболее эффективно в условиях действующего производства большой единичной мощности возможно практически только с применением метода математического моделирования.

Работа выполнена в рамках одного из основных направлений Томского политехнического университета «Разработка научных основ математического моделирования и оптимизация технологий подготовки и переработки горючих ископаемых и получения энергетических топлив», госбюджетной НИР №1.29.09 «Изучение химических процессов, фазообразования и модифицирования в системах с участием наноразмерных дискретных и пленочных структур».

Цель и задачи работы

Повышение эффективности работы промышленных реакторов большой единичной мощности процесса риформинга бензинов с применением информационно - моделирующих комплексов на физико-химической основе.

Из цели вытекают основные задачи исследования:

1. Разработка информационно-моделирующего комплекса (ИМК) на основе компьютерной системы контроля работы катализатора и единой тематической заводской базы данных.
2. Прогнозирование и расчёт с использованием ИМК эффективных режимов работы реактора риформинга при наличии гидродинамических осложнений.
3. Создание и программная реализация методики дополнительной подачи хлорорганических соединений в реактор для восстановления отравленных активных центров и повышения селективности протекания реакции изомеризации циклопентанов в циклогексаны и снижение образования кокса из алкилциклопентадиенов.
4. Установление интервала расхода хлорорганических соединений в зависимости от степени отравления при содержании сероводорода в сырье от 3,9 до 4,9 мг/кг.
5. Разработка критерия восстановления эксплуатационных свойств катализатора, который, по существу, отражает его работоспособность.
6. Техничко-экономическая оценка перевода установки ЛЧ-35-11/1000 на непрерывную регенерацию катализатора в условиях заданных режимов работы.

Научная новизна

1. Установлено, что при существующих технологиях рукавной и пневмозагрузки катализатора в промышленные реакторы процесса каталитического риформинга бензинов большой единичной мощности (~1млн.т/год) гидродинамическая неравномерность подачи сырья по сечению аппарата может достигать от 5 до 15%, что объективно приводит к возникновению локальных перегревов и образованию избытка кокса на поверхности Pt-контакта и к быстрому падению его активности.
2. Установлено, что решение многофакторной задачи оптимизации режимных параметров эксплуатации процесса с гидродинамической неравномерностью структуры потока в реакторе, а также непрерывного мониторинга работы всей установки риформинга возможно только с применением информационно-моделирующего комплекса на основе учёта реакционной способности углеводородов и активности катализатора.
3. Установлено, что подаваемые в реактор хлорорганические соединения, превращаясь в хлористый водород, способствуют десорбции сероводорода с поверхности активных центров катализатора и, тем самым, повышают активность, селективность и стабильность Pt-контакта. При этом установлен интервал дополнительного расхода хлорорганических соединений ($1,3 \div 1,8 \text{ ppm}$) в зависимости от степени отравления его серой.

Практическая ценность

Результаты исследования, выполненные с применением ИМК нашли практическое подтверждение в условиях эксплуатации промышленного реактора мощностью 1 млн.т/год Киришского НПЗ.

Разработана, программно реализована и внедрена в производство методика дополнительной подачи хлорорганических соединений в реактор для восстановления отравленных активных центров, что обеспечивает повышение

селективности протекания реакции изомеризации циклопентанов в циклогексаны и снижение образования кокса из алкилциклопентадиенов.

Информационно-моделирующий комплекс на основе единой тематической заводской базы данных и компьютерной системы контроля работы катализатора используется в ООО «КИНЕФ» для проведения непрерывного мониторинга работы реакторов большой мощности, что позволило увеличить длительность работы установки в 1,5 раза от проектной.

Вместе с тем, расчетами с применением моделирующего комплекса установлено, что перевод установок большой единичной мощности в условиях действующего предприятия на работу с непрерывной регенерацией катализатора с учетом их удельного объема в общезаводской прибыли неэффективен.

На защиту выносятся:

Новый способ ведения процесса в оптимальном режиме в условиях работы установки большой единичной мощности, который заключается в применении информационно-моделирующего комплекса (ИМК) на основе единой технологической базы данных и компьютерной системы контроля работы катализатора на физико-химической основе

- Методологические аспекты разработки и применения информационно-моделирующего комплекса для повышения эффективности промышленных реакторов большой единичной мощности;
- модель процесса риформинга бензинов, построенную с учетом физико-химических закономерностей превращения углеводородов на Pt-катализаторах и сопряженная с базой данных.
- программно-реализованная методика дополнительной подачи хлорорганических соединений в реактор для восстановления отравленных активных центров катализатора;
- результаты расчета критерия восстановления эксплуатационных свойств катализатора, который рассчитывается с использованием разработанного информационно-моделирующего комплекса;
- результаты технико - экономической оценки эффективности перевода установки Л-35-11/1000 на процесс с непрерывной регенерацией катализатора;
- результаты непрерывного мониторинга установки ЛЧ-35-11/1000 с применением компьютерной системы контроля работы катализатора, в которой, в качестве начальных данных, используются технологические параметры ведения процесса и покомпонентный состав сырья и катализата.

Апробация работы

Основные результаты работы докладывались и обсуждались на: Петербургском Международном Форуме ТЭК (г. Санкт-Петербург, 2010, 2009, 2008, 2007), Международной научно-практической конференции Нефтегазопереработка (г. Уфа 2008, 2007), Всероссийской молодежной школе-конференции Химия под знаком СИГМА: исследования, инновации, технологии (г.Омск, 2007), Всероссийской научно-практической конференции студентов и аспирантов Химия и

химическая технология в XXI веке (г. Томск, 2007), IV Международной конференции – Переработка углеводородного сырья. Комплексные решения: - г. Самара, 22-25 октября. - Самар. гос. техн. ун-т, 2009, на IV Международной конференции студентов и молодых ученых - Перспективы развития фундаментальных наук. - Томск, 15-18 мая 2007. - Томск, 2007.

Публикации

По теме диссертации опубликована 21 работа, в том числе 7 в журналах из списка ВАК, получено свидетельства об официальной регистрации программы для ЭВМ, имеется акт о внедрении.

Структура и объем работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, выводов, списка литературы и приложения. Диссертация изложена на 137 страницах машинописного текста, содержит 69 рисунков, 28 таблиц, библиография включает 146 наименований.

Содержание работы

Каталитический риформинг является одним из наиболее экономически эффективных процессов производства высокооктанового компонента моторного топлива. Постоянно ведется поиск наиболее эффективных вариантов его аппаратного оформления и способов интенсификации работы промышленных реакторов большой единичной мощности. Нами создана и внедрена система мониторинга и прогнозирования работы установки ЛЧ-35-11/1000 с использованием единой тематической витрины технологических данных и системы контроля работы катализатора, построенной на физико-химической основе процесса превращения углеводородов на платинорениевых контактах.

Проведенные исследования направлены на оптимизацию ресурсо-энергопотребления действующих производственных мощностей процесса риформинга ООО КИНЕФ и оценку эффективности вновь проектируемых. Выделены следующие 3 направления (Рис.1).



Рисунок 1 – Направления повышения ресурсоэффективности производства

- Интеграция моделирующей системы в единую тематическую витрину данных ООО «КИНЕФ»

- Мониторинг работы реакторных блоков процесса риформинга бензинов с применением моделирующей системы.
- Практическое применение моделирующей системы для реконструкции действующей установки риформинга ЛЧ-35-11/1000 ООО «КИНЕФ» и для оценки эффективности вновь создаваемых производственных мощностей

В основе процесса каталитического риформинга лежат химические реакции дегидрирования и изомеризации нафтеновых, дегидроциклизации и изомеризации парафиновых углеводородов. Протекают также побочные реакции гидрокрекинга парафинов, гидрогенолиза нафтен и коксообразования. При работе катализатора в оптимальном режиме образуется кокс рыхлой структуры с большим содержанием водорода. За пределами термодинамического равновесия образования и гидрирования промежуточных продуктов уплотнения (полиаренов) направление реакции сдвигается в сторону образования графитообразного кокса (Рис. 2).

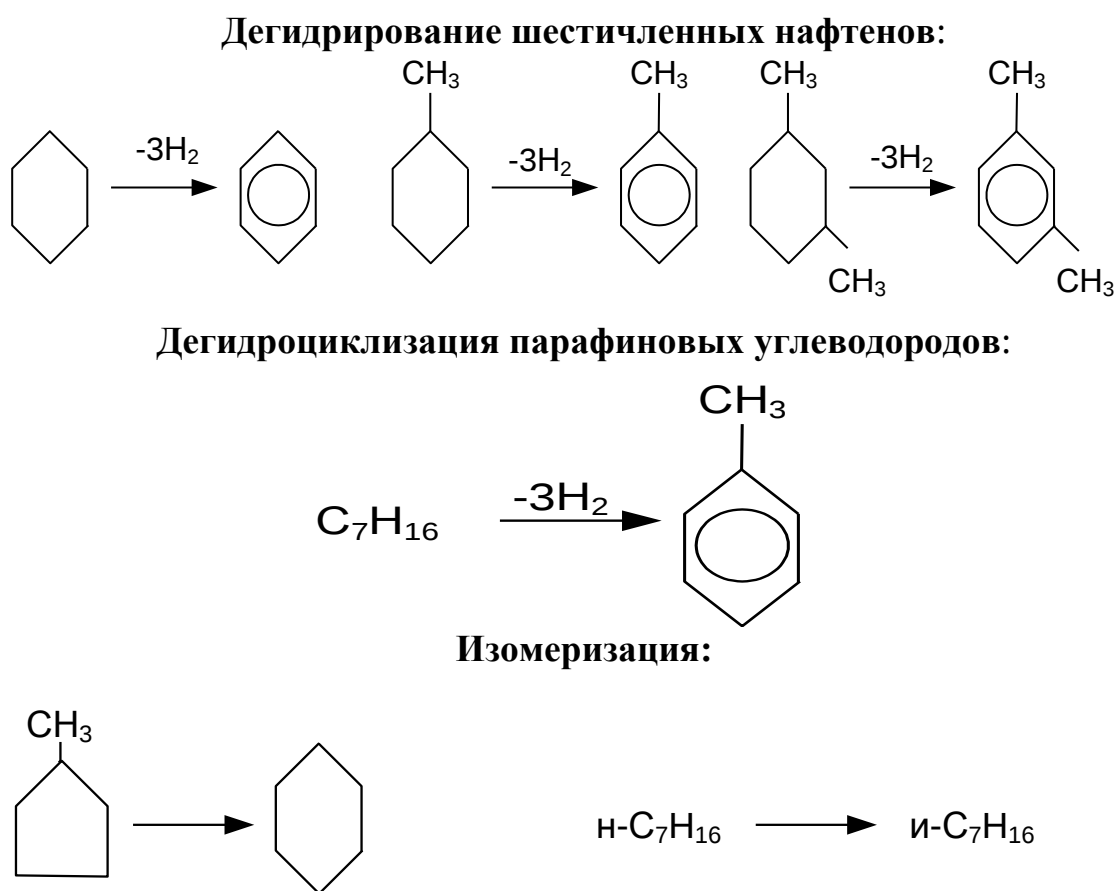


Рисунок 2 – Целевые реакции риформинга

В ходе выполнения работы установлено, что определяющую роль в ресурсо-эффективности протекания процесса в реакторах большой единичной мощности играет обратимость реакции коксообразования. В условиях, близких к равновесию этой реакции, образуется кокс рыхлой (аморфной) структуры, который затем может обратимо гидрироваться до углеводородов и, тем самым, увеличивается срок службы Pt-катализатора. (Рис. 3).

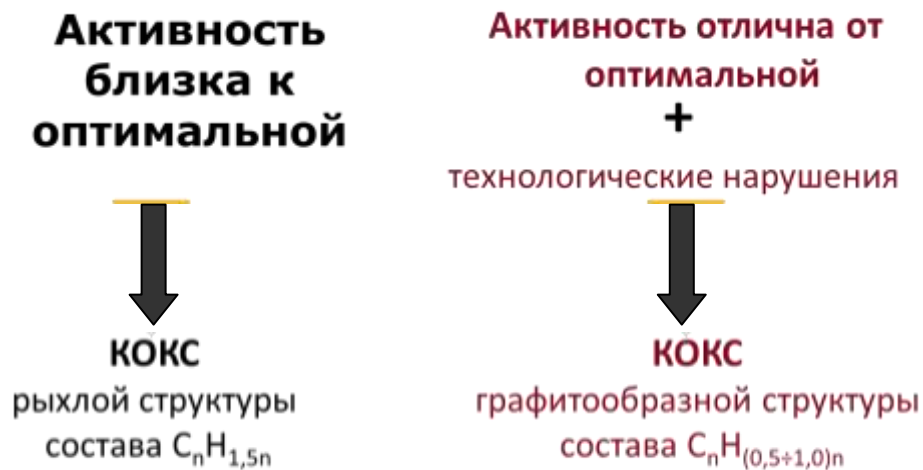


Рисунок 3 – Влияние технологического режима на структуру кокса

Оптимальная активность – есть активность катализатора в условии равновесия реакций образования коксогенных структур и их гидрирования. Следовательно, для долгосрочной работы катализатора в будущем, необходимо поддерживать уровень текущей активности максимально близкий к уровню оптимальной активности. Эта задача существенно упрощается при использовании компьютерной моделирующей системы, которая не только позволяет определять уровень текущей и оптимальной активности, но составлять рекомендации, которые позволят вносить коррективы в технологический режим с целью оптимизации процесса. Таким образом, на производстве постоянно требуется поддерживать технологический режим на уровне обеспечивающим равенство текущей и оптимальной активности катализатора. На рисунке 3 приведено графическое сравнение текущей и оптимальной активностей.

Реакторный блок установки каталитического риформинга большой единичной мощности ЛЧ-35-11/1000 состоит из трех последовательно соединенных аппаратов (Рис. 4).

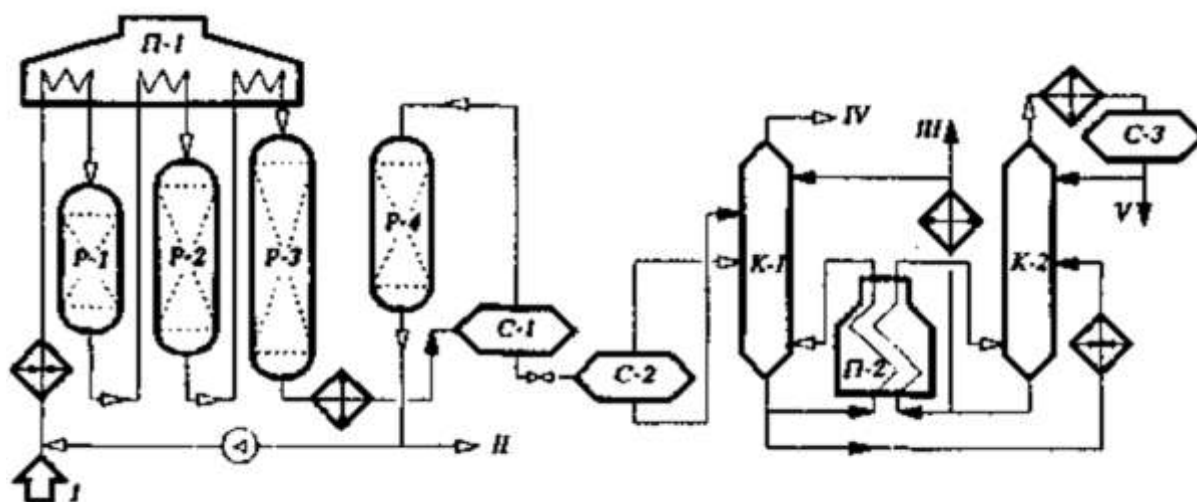


Рисунок 4 – Принципиальная технологическая схема блока риформинга

Внедрение моделирующего комплекса в информационную систему завода (Единую тематическую витрину данных (ЕТВД)) позволило выполнить проведение системного контроля как работы катализатора, так и всего реакторного узла в целом.

Схема внутренней архитектуры данной системы контроля катализатора представлена на Рис. 5.

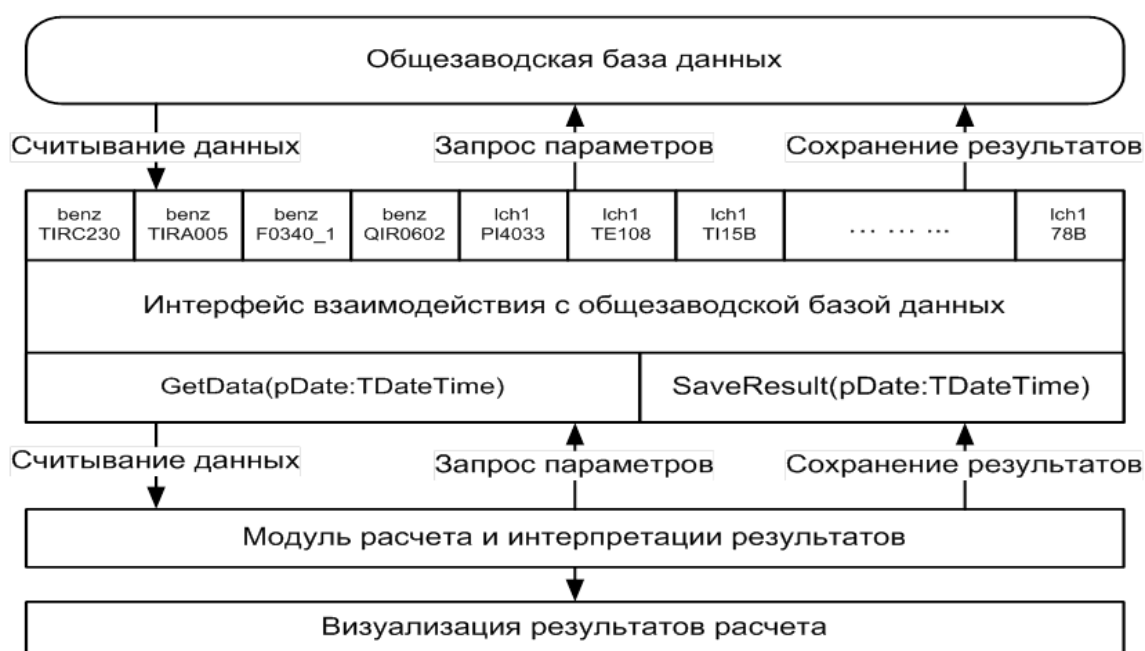


Рисунок 5 – Схема внутренней архитектуры ЕТВД

Окна ЕТВД организованы так, чтобы возможна была взаимосвязь информации и информационно – моделирующего комплекса. Таким образом, рассматривается нестационарная кинетическая модель процесса каталитического риформинга углеводородного сырья в тесном взаимодействии с базой данных как единый информационно-вычислительный блок.

Катализатор риформинга RG-492,582 фирмы Аксенси был загружен в реакторы большой единичной мощности на установке ЛЧ-35-11/1000 ООО «КИНЕФ» в реактора 1999г. К настоящему времени проведено 8 регенераций, переработано более 8 млн. тонн. сырья. Катализатор отработал 11 лет. (Хотя расчетный Срок службы катализатора составляет 7лет). Проводимый с момента загрузки мониторинг позволил существенно продлить срок службы катализатора, который в настоящее время в полтора раз превысил расчетный.

В октябре 2010 года на данной установке была проведена регенерация катализатора, и начался очередной сырьевой цикл. Мониторинг показал, что изменение активности катализатора в разных сырьевых циклах даже в пределах одной и той же установки, имеет различный характер (Табл.1).

Таблица 1 – Мониторинг работы промышленной установки каталитического риформинга ЛЧ-35-11/1000

№ цикла	1	2	3	4	5	6	7	8
Активность, отн. ед.	0,9	1,05	0,96	1,08	1,03	0,92	1,02	0,95
Пар/(Нафт+Аром)	1,36	1,25	1,27	1,17	1,22	1,26	1,27	1,36
н-Пар/и-Пар сырьё	1,01	1,14	1,02	1,14	0,97	0,99	1,1	1,07
Кокс, % масс.	0,27	0,12	0,91	0,93	0,96	0,03	0,62	0,19
О.Ч.И.	95,2	96	96,8	98	97,4	97,8	96,2	96,5
Выход риформата, % масс.	86,14	84,67	84,14	83,67	85,85	85,18	85,92	84,92

Систематический контроль изменения активности в рамках текущего цикла позволяет определить серьезные отклонения от оптимального режима эксплуатации катализатора. Данная возможность появляется при использовании компьютерной системы контроля работы катализатора.

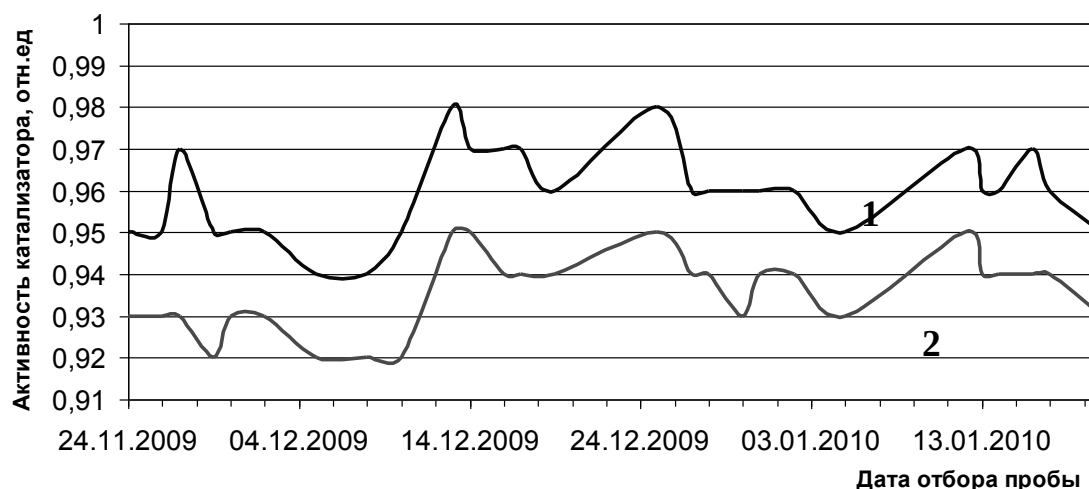


Рис. 7 – Сравнение текущей (1) и оптимальной (2) активности

На данном рисунке видно, что технологический режим, заданный на установке в начале нового сырьевого цикла, обеспечивал уровень текущей активности близкий по значению к уровню оптимальной активности.

Прогнозирование каталитической активности реакторного блока риформинга и режимов работы катализатора является очень важной задачей. Процесс прогнозирования осложняется, прежде всего, нестационарностью процесса каталитического риформинга – изменение состава сырья, загрузки установки сырьем и т.д. Причем влияние внешних возмущающих параметров часто невозможно спрогнозировать вообще – аварийные ситуации, спрос на продукцию, перебои поставок сырья и т.д.

Для оценки потенциала работающего катализатора проведено прогнозирование его работы. Параметры прогнозирования приведены в таблице 2, прогноз проводился в период с 20.01.10 по 17.11.10, т.е. до того момента как прошел 1 год после регенерации катализатора.

Таблица 2 – Параметры прогнозирования работы реактора установки ЛЧ-35-11/1000

Параметры прогнозирования режима реактора	
Начальная температура ввода сырья, °С	483
Расход сырья, м ³ /час	155
Октановое число (О.Ч.И.)	96
н-Пар/и-Пар сырье	1,07
Пар/(Нафт + Аром) сырье	1,36
°С Перепад температур в реакторе ,	66,5
Кратность циркуляции газа, м ³ /м ³	1435
Водород в циркулирующем газе, % об.	86,7

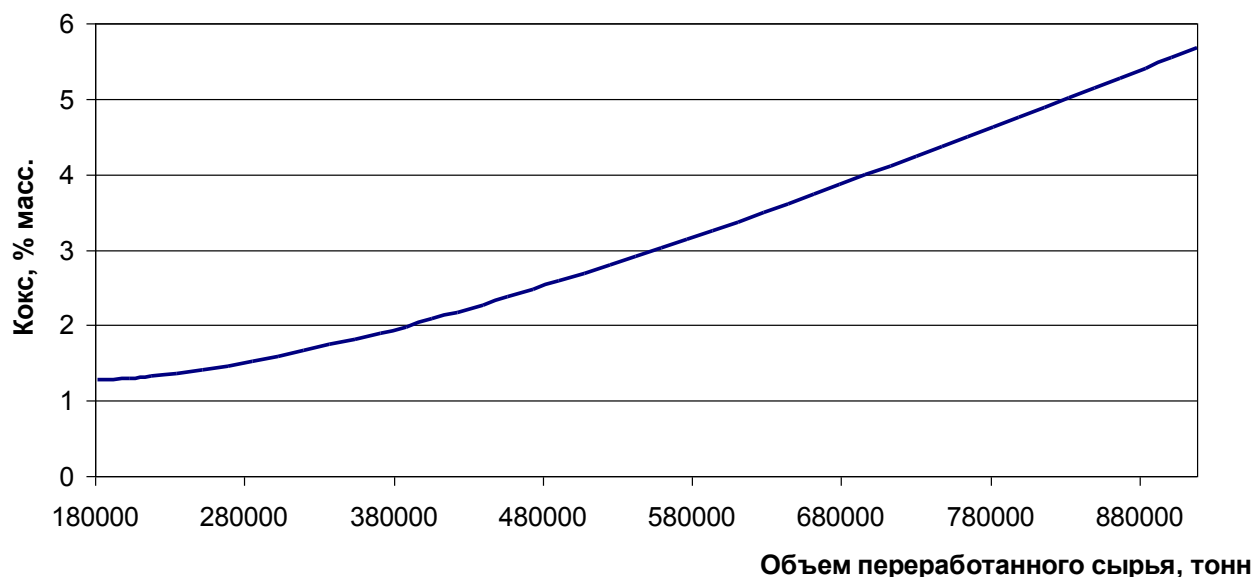


Рисунок 8 – Прогнозирование отложений кокса на катализаторе

Работа установки на оптимальном режиме позволяет продлить срок службы катализатора до регенерации и получить высокооктановый компонент моторного топлива с высоким октановым числом. Мониторинг работы установки Л-35-11/600 с использованием программно-реализованного метода компьютерного прогнозирования показал, что после 10 месяцев работы активность катализатора составила 0,8 отн. ед., средний выход риформата за цикл – 82,5 октанотонны; правильный подбор технологических параметров обеспечил протекание процесса на уровне максимально близком к оптимальному, в связи с чем регенерация катализатора, работающего с ноября 2010 года, на данный момент не требуется. Применение моделирующих компьютерных систем в химической технологии в настоящее время относится к прогрессивным направлениям развития химической промышленности. Данные модели обладают прогнозирующей способностью, что также является их неоспоримым преимуществом. Прогнозирование активности катализатора является значимым, т.к. это способствует оптимальному ведению процесса с получением максимального выхода продуктов риформинга, что позволяет обеспечить ресурсоэффективность процесса, улучшить технико-экономические показатели, как установки, так и производства в целом.



Из рисунка 8 видно, что согласно прогнозу количество кокса на катализаторе к 17.11.10 составит 5,7%. Проведенный прогноз работы установки в новом сырьевом цикле показал, что при сохранении стационарного режима ее работы, катализатор обладает относительно высоким потенциалом – 0,84 отн.ед. и прогнозные температуры ввода сырья позволяют продолжать сырьевой цикл после 1 года работы установки без регенерации катализатора. Также, в случае стационарности протекаемого процесса, прогнозный расчет позволяет сделать вывод о том, что установка работает не на полной мощности, т.к. количество сырья, переработанного за год составит 918470 тонн, а номинальная мощность установки – 1000 тыс. тонн в год. Мониторинг работы установки ЛЧ-35-11/1000 ООО «КИНЕФ» позволяет проследить тенденцию снижения активности катализатора в начальный период, который может быть обусловлен проскоком серы со стабильным гидрогенизатором, вследствие ряда причин, например, неисправностью теплообменного оборудования блока стабилизации гидрогенизата, определяющего байпас исходного сырья. В результате чего происходит попадание части нестабильного гидрогенизата в сырьевой поток реакторного блока каталитического риформинга бензинов. Например, падение активности катализатора в январе 2009 года произошло из-за присутствия относительно больших количеств сероводорода в стабильном гидрогенизате, который является каталитическим ядом для металлов, используемых в промышленных катализаторах риформинга бензинов. Для восстановления активности катализатора был увеличен расход трихлорэтилена в зону реакции согласно проведенных расчетов (Рис.9).

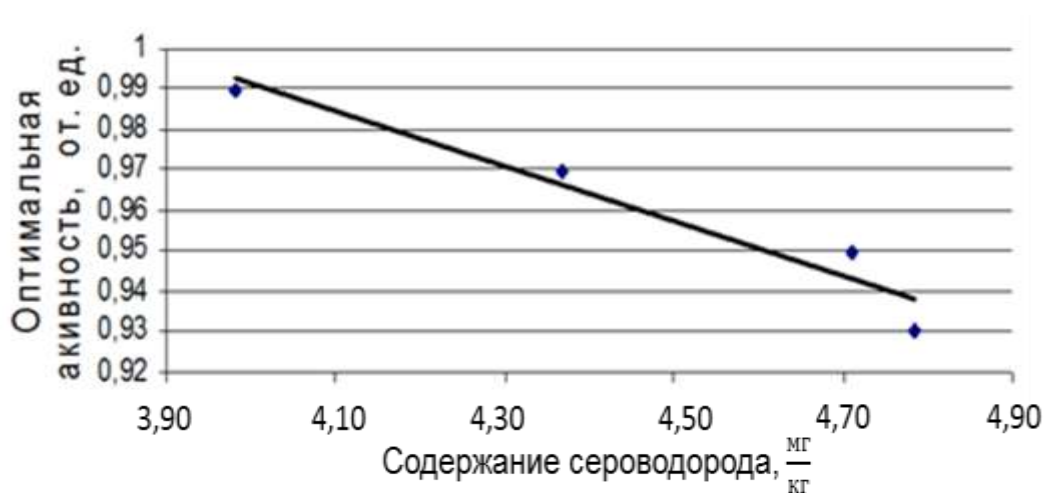


Рисунок 7 – Влияние содержания сероводорода в гидрогенизате на активность катализатора

Выполненные исследования показали, что хлор-органика превращаясь в HCl , способствует десорбции сероводорода с поверхности активных центров катализатора и тем самым повышает активность, что соответственно приводит к увеличению октанового числа.

При этом было установлено, что активация катализатора хлорорганическими соединениями носит пиковый характер (Рис. 9).



Рисунок 9 – Влияние содержания хлорорганических соединений на активность катализатора в присутствии сероводорода

Подача хлорорганики должна осуществляться в строго дозированных количествах, так как в результате попадания избыточного количества хлора на катализатор происходит повышение кислотности, вследствие чего существенным образом увеличивается скорость реакций гидрокрекинга, гидрогенолиза и, как следствие, снижение октановых характеристик и выхода целевого продукта.

Из рисунка 9 видно, что в результате попадания сероводорода в реакторный блок активность катализатора стала снижаться и к началу февраля 2009 года, путем выхода на расчетное количество подачи ТХЭ, упала практически до 0,8. Однако к концу февраля ее удалось поднять до необходимого уровня без последующего снижения активности, т.к. хлорорганические соединения, превращаясь в хлористый водород способствуют десорбции сероводорода с поверхности активных центров катализатора и тем самым повышают активность, что соответственно приводит к увеличению октанового числа катализата.

Установлен интервал расхода хлорорганических соединений в зависимости о степени отравления (1,3-1,8 ppm) при содержании сероводорода от 400 до 490мВ. Критерием восстановления эксплуатационных свойств является рассчитываемая на модели относительная активность катализатора (рис. 9).

Значения оптимальной активности, как показали выполненные исследования, симбатны таким важным показателям как концентрация кокса на катализаторе, концентрация водорода, перепад температуры, концентрация олефинов и циклопентанов в катализате.

Следующим важнейшим этапом исследований с использованием разработанного информационно- моделирующего комплекса явилась технико-экономическая оценка возможности перевода реакторного блока большой единичной мощности установки ЛЧ-35-11/1000 ООО «КИНЕФ» на процесс с непрерывной регенерацией катализатора. Поставленная задача была направлена на повышение технико-экономических показателей работы реакторного блока действующей установки и, что не менее важно, на увеличение межрегенерационного периода работы катализатора до 3 лет (а в дальнейшем и на 4 года).

Для полной технико-экономической оценки перевода установки ЛЧ-35-11/1000 ООО «КИНЕФ» на непрерывную регенерацию катализатора, рассматривались три основных, на сегодняшний день, варианта реконструкции реакторных блоков большой единичной мощности установок риформинга:

1. Дооборудование технологической схемы четвертым реактором и регенератором и переводом установки на комбинированный принцип работы реакторного блока -дуалформинг; (Рис. 10).

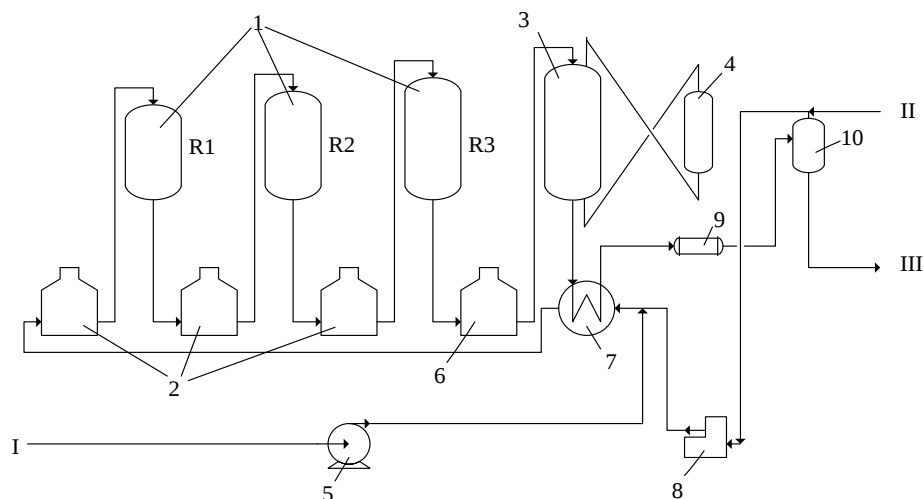


Рис. 10 – Принципиальная технологическая схема процесса дуалформинг

1 – действующие реакторы; 2 – действующие печи, 3 – новый реактор;
 4 – регенератор; 5 – сырьевой насос; 6 – новая печь; 7 – новый теплообменник сырье/продукт; 8 – рециркуляционный компрессор; 9 – воздушный холодильник;
 10 – сепаратор. Линии: I – сырье; II – водородсодержащий газ;
 III – нестабилизированный катализат

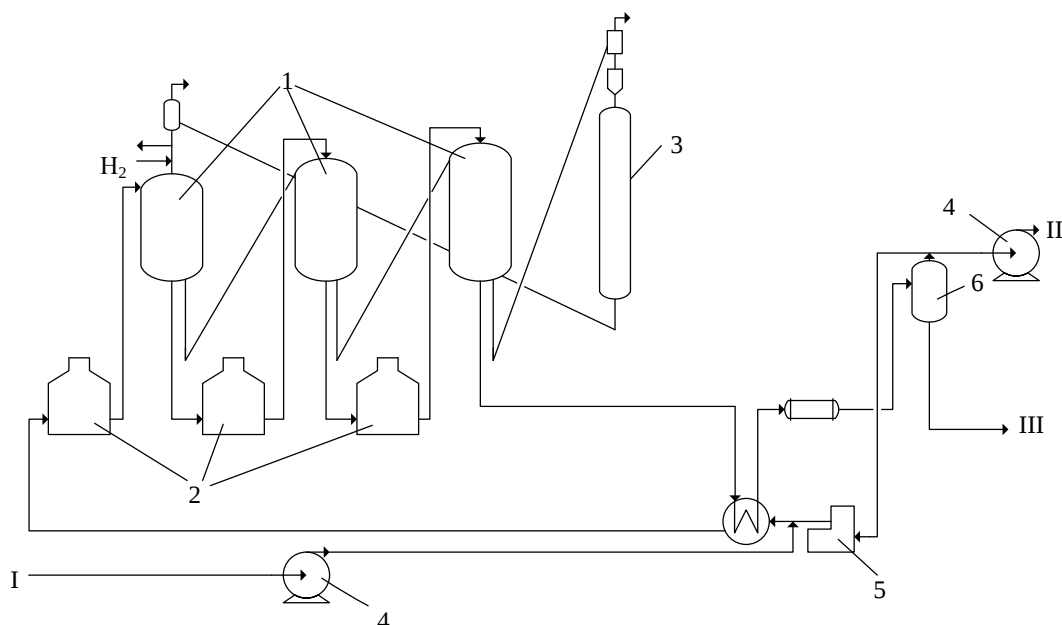


Рисунок 11 – Принципиальная технологическая схема процесса октанайзинг

1 - новые реакторы; 2 - новые печи; 3 - новый регенератор; 4 - сырьевой насос;
 5 - рециркуляционный компрессор; 6 - сепаратор.
 Линии: I - сырье; II - водородсодержащий газ; III – нестабильный катализат

Замена реактора, добавление регенератора и перевод установки на режим непрерывной регенерации катализатора - октанайзинг; (Рис. 11).

2. Проведение глубокой реконструкции установки с переводом на непрерывную регенерацию катализатора платформинга - CCR. (Рис. 12).

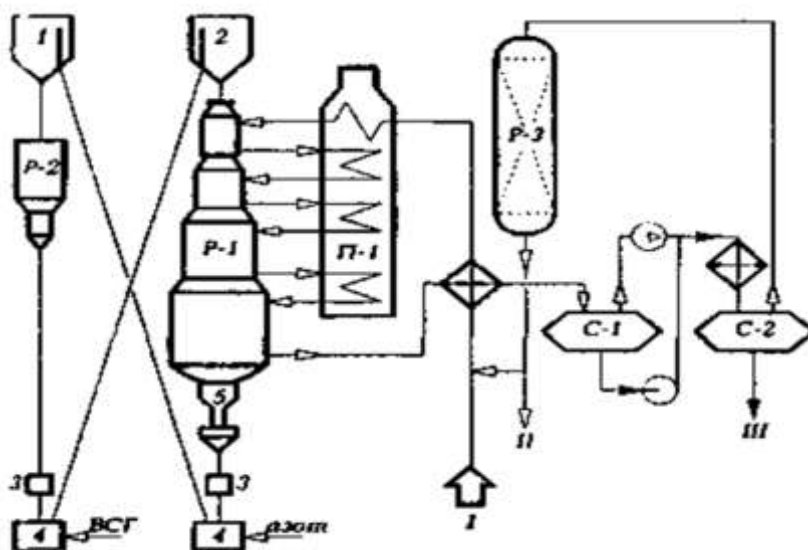


Рисунок 12 – Принципиальная технологическая схема процесса платформинг CCR
1 – бункер закоксованного катализатора; 2 – бункер регенерированного катализатора;
3 – шлюз; 4 – дозатор; 5 – разгрузочное устройство;

Линии: I – гидроочищенное сырье; II – ВСТ; III – нестабильный катализат

В результате проведенных исследований можно сделать следующие заключения - установлено, что Информационно-моделирующий комплекс на основе системы контроля работы катализатора и единой тематической витрины данных, позволяет проводить непрерывный мониторинг работы реакторов большой единичной мощности, повысить ресурсоэффективность производства путем оптимизации технологического режима установки большой единичной мощности, а также внедрить разработанную методику хлорирования катализатора риформинга в условиях проскока серы.

Выполнен мониторинг установки ЛЧ-35-11/1000 с применением компьютерной системы контроля работы катализатора, используя в качестве начальных данных технологические параметры ведения процесса и покомпонентный состав сырья и катализата.

Выполнены технико-экономические оценки перевода установки ЛЧ-35-11/1000 на непрерывную регенерацию катализатора в условиях заданных режимов работы (загрузка по сырью – 160м³/час, О.Ч.И.М. – 98-102п.п., давление от 0,35 до 2,2МПа) (Таблица 3).

Таблица 3 – Количество октанотонн, при годовой выработке катализатора:

Вариант реконструкции	О.Ч.И.М., п.	Октанотонн	Себестоимость одной октанотонны, руб
Дуалформинг	98	82 154 380	118,05
Октанайзинг	100	83 831 000	115,68
CCR	102	85 507 620	113,42

При этом расчеты показали преимущество варианта реконструкции под процесс CCR. Техничко-экономические показатели работы установки риформинга ЛЧ-35-11/1000 с применением технологии непрерывной регенерации катализатора выше, чем с применением традиционной схемы с периодической регенерацией. Однако, при отсутствии на предприятии эквивалентного резерва мощностей по процессу риформинга, делает эти инвестиционные проекты реконструкции неэффективными (Рис. 13).

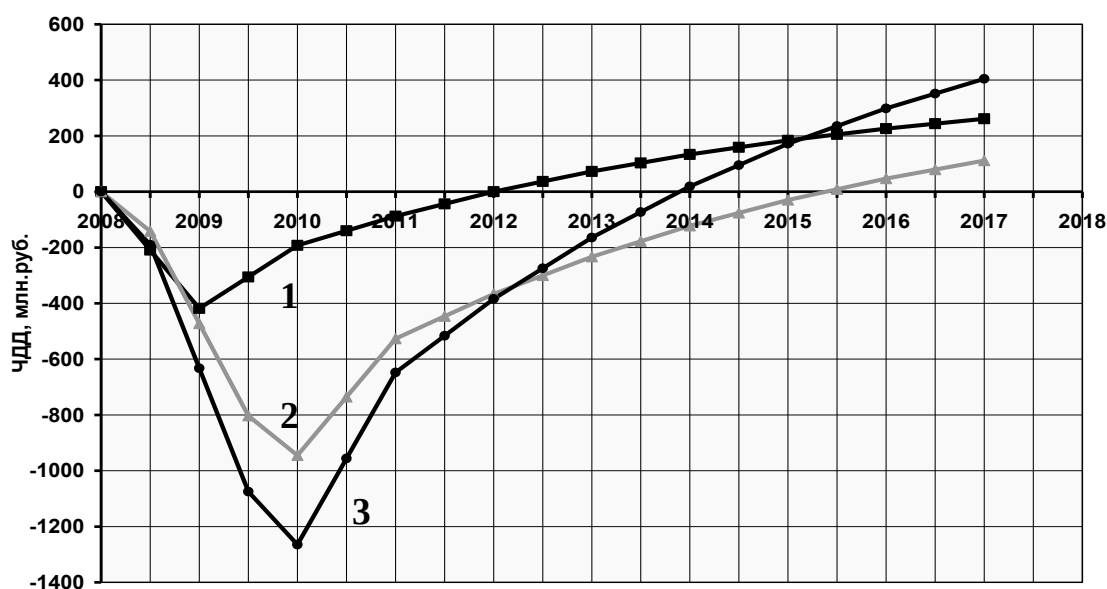


Рисунок 13 - График окупаемости инвестиционных проектов без учета простоя установки
(1 – дуалформинг, 2 – октанайзинг, 3 – платформинг)

По результатам расчетов рекомендовано выполнить замену катализатора. Строительство новых мощностей риформинга следует осуществлять по схеме с технологией непрерывной регенерации катализатора по варианту платформинга CCR.

Основные выводы:

1. Информационно-моделирующий комплекс на основе компьютерной системы контроля работы катализатора и единой тематической заводской базы данных, позволяет проводить непрерывный мониторинг работы реакторов, повысить ресурсоэффективность производства путем оптимизации условий работы реактора и технологической схемы установки большой единичной мощности, а также применить разработанную методику дополнительной подачи хлорорганических соединений в реактор риформинга в условиях отравления серой.

2. Хлорорганические соединения, превращаясь в хлористый водород способствуют десорбции сероводорода с поверхности активных центров катализатора и, тем самым, повышают активность, селективность и стабильность катализатора, что соответственно приводит к увеличению октанового числа катализата на %.

3. Разработанная и программно реализованная методика дополнительной подачи хлорорганических соединений в реактор и восстановление отравленных активных центров обеспечивает повышение селективности протекания реакции изомеризации цикlopентанов в циклогексаны на % и снижение образования кокса из алкициклопентадиенов на %.

4. Показано, что интервал расхода хлорорганических соединений составляет 1,3-1,8 ppm в зависимости от степени отравления при содержании сероводорода в сырье от 3,9 до 4,9 мг/кг..

5. Критерием восстановления эксплуатационных свойств, в случае отравления серой, является рассчитываемая, с использованием разработанного ИМК, относительная активность катализатора, которая может изменяться в интервале $0,5 \div 1,0$ в зависимости от углеводородного состава перерабатываемого сырья и технологического режима работы реактора (температура, давление, скорость подачи сырья).

6. Непрерывный мониторинг установки ЛЧ-35-11/1000 с применением компьютерной системы контроля работы катализатора в качестве начальных данных используют технологические параметры ведения процесса и покомпонентный состав сырья и катализата, предоставляемые информационной системой.

7. Техничко-экономическая оценка перевода установки ЛЧ-35-11/1000 на непрерывную регенерацию катализатора в условиях заданных режимов работы (загрузка по сырью – 160 м³/час, О.Ч.И.М. – 98-102 п.п., давление от 0,35 до 2,2 МПа) показала преимущество варианта реконструкции под процесс CCR. Техничко-экономические показатели работы установки риформинга ЛЧ-35-11/1000 с применением технологии непрерывной регенерации катализатора выше, чем с применением традиционной схемы с периодической регенерацией. Вместе с тем, при отсутствии на предприятии эквивалентного резерва мощностей по процессу риформинга эти инвестиционные проекты реконструкции становятся неэффективными.

8. Расчёт технико-экономических показателей позволил обосновать целесообразность строительства новой установки Л-35-11/1000 с технологией непрерывной регенерации катализатора.

Основные результаты опубликованы в работах:

1. **Молотов К.В.**, Коронатов Н.Н., Иванчина Э. Д. , Кравцов А. В. Ресурсоэффективность применения моделирующих систем на физико-химической основе в нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности // Нефтепереработка и нефтехимия. - 2011 - №. 2 - С. 3-6
2. **Молотов К.В.**, Фалеев С.А., Кравцов А.В., Иванчина Э.Д., Дементьев А.Ю. Повышение технико-экономической эффективности работы промышленной установки ЛЧ-35-11/1000 методом математического моделирования //Нефтепереработка и нефтехимия.-2009. - № 12. - с. 3-5
3. Мелехин В.В., **Молотов К.В.**, Кравцов А.В., Иванчина Э.Д., Чеканцев Н.В., Занин И.К. Повышение эффективности стадии оксихлорирования Pt-Re-катализаторов риформинга методом математического моделирования //Нефтепереработка и нефтехимия. - 2009. - № 12. - с. 10-13.
4. Кравцов А.В., **Молотов К.В.**, Иванчина Э.Д., Фалеев С.А., Ивашкина Е.Н. Оценка стабильности работы катализаторов риформинга методом математического моделирования с использованием единой тематической витрины данных //Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний, 2007. - № 8. - с. 22-24 (36306590)
5. Костенко А.В., **Молотов К.В.**, Иванчина Э.Д., Кравцов А.В., Фалеев С.А. Разработка и применение технологических критериев оценки стабильности и активности Pt-катализаторов риформинга методом математического моделирования //Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт, 2007. - т. - № 6. - с. 18-22
6. **Молотов К.В.**, Кравцов А.В., Иванчина Э.Д., Ясюкевич О.М. Мониторинг установки ЛЧ-35-11/1000 с использованием компьютерной системы контроля работы катализаторов риформинга //Нефтепереработка и нефтехимия.- 2007. - № №4. - с. 13-16
7. Литвак Е.И., **Молотов К.В.**, Чеканцев Н.В., Горда Е.О. Мониторинг и прогнозирование работы катализатора изомеризации пентан-гексановой фракции //Труды 10-го Петербургского Международного Форума ТЭК - Санкт-Петербург, 24-26 марта 2010. - Санкт-Петербург: ХИМИЗДАТ, 2010. - с. 124-126
4. **Молотов К.В.**, Нгуен Тиен Тхак, Короленко М.В., Калинин О.Ю., Уваркина Д.Д. Оценка эффективности вариантов модернизации установок каталитического риформинга бензинов методом математического моделирования //Труды 10-го Петербургского Международного Форума ТЭК - Санкт-Петербург, - Санкт-Петербург: ХИМИЗДАТ, 2010. - с. 55-58 (1952285)
8. Зуев В.А., Коронатов Н.Н., Козлов И.А., **Молотов К.В.**, Иванчина Э.Д., Кравцов А.В. Ресурсоэффективность применения моделирующих систем на физико-химической основе в нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности //Труды 10-го Петербургского Международного Форума ТЭК - Санкт-Петербург, 2010. - Санкт-Петербург: ХИМИЗДАТ, 2010. - с. 73-78

9. Чеканцев Н.В., Попова М.М., Иванчина Э.Д., Кравцов А.В., **Молотов К.В.** Проектирование и оптимизации реакторов процесса изомеризации с использованием методов математического моделирования // Нефтегазопереработка - 2009: Международная научно-практическая конференция - Уфа, 27 мая 2009. - Уфа: ГУП ИНХП РБ, 2009. - с. 290-291
10. **Молотов К.В.**, Фалеев С.А. Повышение эффективности реакционных процессов нефтепереработки методом математического моделирования // 9-ый Петербургский Международный Форум ТЭК - Санкт-Петербург, 25-27 марта 2009 г. - Санкт-Петербург: ВО РЕСТЭК, 2009. - с. 157-161 (46959722)
11. **Молотов К.В.**, Фалеев С.А., Кравцов А.В., Иванчина Э.Д., Дементьев А.Ю. Техничко-экономическая оптимизация работы промышленной установки ЛЧ-35-11/1000 с применением системы компьютерного моделирования // Переработка углеводородного сырья. Комплексные решения: тезисы докладов - г. Самара, 22-25 октября. - г. Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2009. - с. 131-132
12. Чеканцев Н.В., Кравцов А.В., Иванчина Э.Д., Занин И.К., Мелехин В.В., **Молотов К.В.** Совершенствование процесса оксихлорирования Pt-Re-катализаторов риформинга методом математического моделирования // Переработка углеводородного сырья. Комплексные решения: тезисы докладов - г. Самара, 22-25 октября. - г. Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2009. - с. 104-105
13. Гынгазова М.С., Кравцов А.В., Иванчина Э.Д., **Молотов К.В.** Математическое моделирование многокомпонентного процесса риформинга бензинов в реакторах с движущимся слоем катализатора // Нефтепереработка - 2008 : Материалы Международной научно-практической конференции - Уфа, ИНХП РБ, 21 мая 2008. - Уфа: ИНХП РБ, 2008. - с. 271-272 (66936392)
14. **Кравцов А.В.**, Иванчина Э.Д., Костенко А.В., Полубоярцев Д.С., Шарова Е.С., Молотов К. В. Выбор и оценка эффективности pt-катализаторов процесса риформинга бензинов с применением моделирующей системы // Труды 8-го Петербургского Международного Форума ТЭК - Санкт-Петербург, 8-10 апреля 2008. - Санкт-Петербург: РЕСТЭК, 2008. - с. 186-189 (13625945)
15. Костенко А.В., Кравцов А.В., **Молотов К.В.**, Иванчина Э.Д., Фалеев С.А. Оценка стабильности катализаторов риформинга с использованием единой тематической витрины данных // Топливо-энергетический комплекс России: Сборник материалов 7-го Международного Форума - Санкт-Петербург, 10-12 апр. 2007 г. - Санкт-Петербург: ХИМИЗДАТ, 2007. - с. 143-145 (28055850)
16. **Молотов К.В.**, Кравцов А.В., Иванчина Э.Д., Фалеев С.А. Разработка и применение технологических критериев оценки активности и стабильности Pt-катализаторов риформинга бензинов методом математического моделирования // Деп. в ВИНТИ 25.04.07, № 467-В 2007, 2007. - т. - № . - с. 1-12 (58425224)
17. Молотов К.В., Кравцов А.В., Иванчина Э.Д. Мониторинг установки ЛЧ-35-11/1000 с использованием компьютерной системы контроля работы катализаторов риформинга // Деп. в ВИНТИ 25.04.07, № 468-В 2007, 2007. - т. - № . - с. 1-10 (65628543)
18. **Молотов К.В.**, Кравцов А.В., Иванчина Э.Д., Фалеев С.А. Разработка компьютерной системы для автоматизированного контроля работы катализаторов риформинга // ПОД ЗНАКОМ СИГМА: Тез. Докл. IV Всерос. Научн. Конф. - Омск,

29 – 31 мая 2007 г.. - Омск: Институт проблем переработки углеводородов СО РАН, 2007. - с. 203-204

19. Кравцов А.В., **Молотов К.В.**, Фалеев С.А., Николайчук С.Н. Системный анализ и оптимизация процесса каталитического риформинга бензинов //Нефтегазопереработка и нефтехимия-2007: Материалы Международной научно-практической конференции в рамках VII конгресса нефтегазопромышленников России - Уфа, 22-25 мая. - Уфа: Институт нефтехимпереработки РБ, 2007. - с. 39-40

20. **Молотов К.В.**, Фалеев С.А. Формирование структуры технологической моделирующей системы контроля работы катализаторов нефтехимических процессов //Перспективы развития фундаментальных наук: Труды IV Международной конференции студентов и молодых ученых - Томск, 15-18 мая 2007. - Томск: Изд. ТПУ, 2007. - с. 195-197

Подписано в печать 27.02.2012 г.
Формат А4/2. Ризография
Печ. л. 0,9. Тираж 100 экз. Заказ № 60
Отпечатано в ООО «Позитив-НБ»
634050 г. Томск, пр. Ленина 34а

