

На правах рукописи



Абрамин Андрей Леонидович

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРОЦЕССОВ
РИФОРМИНГА БЕНЗИНОВ С ДВИЖУЩИМСЯ СЛОЕМ КАТАЛИЗАТОРА
МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

05.17.08 - Процессы и аппараты химических технологий

02.00.13 - Нефтехимия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Томск- 2010

Работа выполнена в Томском политехническом университете

Научные руководители:

Заслуженный деятель науки РФ,
доктор технических наук, профессор
доктор технических наук,
профессор

Кравцов А.В.

Иванчина Э.Д.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор
кандидат технических наук

Коробочкин В.В.

Сгибнев А.В.

Ведущая организация: ООО «НИОСТ»

г. Томск

Защита диссертации состоится 30 марта . в 14 часов 00 мин.

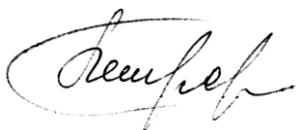
на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д212.269.08
при Томском политехническом университете по адресу: 634050, Томск, пр. Ленина, 43,
корпус 2, 117 ауд.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Томского политехнического
университета

Автореферат разослан 25 февраля 2010 г.

Ученый секретарь совета по защите докторских и кандидатских диссертаций

Доцент, к.т.н.



Петровская Т.С.

Общая характеристика работы

Актуальность работы.

В настоящее время в связи с ростом спроса на нефтепродукты более высокого качества и увеличение производственных мощностей от промышленности требуется внедрения новых процессов переработки углеводородов, а также модернизации существующих установок получения высокооктановых топлив. В связи с этим возникает сложная задача выбора из многообразия различных разработанных в мире вариантов модернизации процессов переработки углеводородов наиболее эффективного. В связи с чем, перевод установок риформинга, предназначенных первоначально для работы с периодической регенерацией катализатора на процессы риформинга с непрерывной его регенерацией, является актуальной задачей.

В условиях многофакторности этой проблемы наиболее эффективно решать эту сложную задачу возможно с использованием метода математического моделирования. Обзор литературных источников показал, что созданные до настоящего времени моделирующие системы процессов нефтепереработки и нефтехимии не позволяют с требуемой точностью решать задачи по расчету вариантов реконструкции действующих установок процесса каталитического риформинга, повышения эффективности и прогнозирования реакторных процессов, исходя из условий используемого нефтяного или газоконденсатного сырья и технологических регламентов. С позиций ресурсосбережения становится объективно необходимым проведение мониторинга работы промышленных процессов, прогнозировать показатели эффективности эксплуатации дорогостоящих катализаторов на длительный период, в том числе и при реконструкции промышленных реакторов риформинга бензинов под процесс с непрерывной регенерацией катализатора. Работа выполнена в рамках основного направления научных исследований кафедры химической технологии топлива и химической кибернетики, входящего в число основных направлений научной деятельности Томского политехнического университета: «Научные основы, моделирование и оптимизация технологий переработки горючих ископаемых» (№14).

Цель работы Совершенствование промышленных процессов каталитического риформинга бензинов с движущимся слоем катализатора методом математического моделирования

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Составление схемы превращения углеводородов в процессе риформинга бензинов с движущимся слоем катализатора
2. Создание кинетической модели процесса каталитического риформинга бензинов и определение констант скоростей основных и побочных реакций, энергий активаций и предэкспоненциальных множителей.
3. Составление математической модели реакторного блока процесса каталитического риформинга бензинов с движущимся слоем катализатора
4. Программная реализация математической модели в виде компьютерной моделирующей системы «АКТИV+С»
5. Оценка целесообразности реконструкции установок каталитического риформинга бензинов со стационарным слоем катализатора под процессы с непрерывной его регенерацией.

6. Расчет на математической модели вариантов реконструкции действующих установок ЛЧ-35-11/1000 и Л-35-11/300 для повышения эффективности их работы.
7. Проведение прогнозных расчетов работы установки каталитического риформинга бензинов с непрерывной регенерацией катализатора.

Научная новизна

1. Впервые предложен новый способ совершенствования процесса каталитического риформинга бензинов с движущимся слоем катализатора методом математического моделирования.
2. Установлено, что новый способ позволяет количественно определить температурный режим в реакторах для достижения требуемой селективности в условиях постоянно изменяющегося углеводородного состава перерабатываемого нефтяного сырья
3. Установлено, что в зависимости от содержания циклопарафинов в сырье глубина переработки будет зависеть от выбора процесса в реакторном блоке с движущимся слоем и непрерывной регенерацией катализатора.

Практическая ценность

На основе математической модели разработана компьютерная моделирующая система (КМС) «АКТИV+С» для расчета, прогнозирования и повышения эффективности промышленного процесса каталитического риформинга бензинов. С использованием этой Системы даны рекомендации для перехода на процесс с непрерывной регенерацией катализатора. Данная КМС позволяет сравнивать возможные варианты реконструкции установок риформинга под процесс с непрерывной регенерацией катализатора, определять их эффективность. Имеется акт о внедрении КМС «АКТИV+С» и Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2007612041, № 2008611369 и 20066111575

На защиту выносятся:

1. Формализованная схема превращения веществ в процессе непрерывного риформинга бензинов на поверхности Pt-катализатора.
2. Кинетические закономерности и физико-химическая модель процесса каталитического риформинга бензинов с непрерывной регенерацией катализатора, константы скоростей целевых и дезактивирующих реакций.
3. Основные этапы построения и функциональное применение математической модели. Формирование компьютерной моделирующей системы на физико-химической основе для процесса с непрерывной регенерацией катализатора.
4. Математическое моделирование вариантов повышения эффективности реакторного блока каталитического риформинга бензинов путем реконструкции на различные технологические решения (переход реакторного блока на работу с непрерывной регенерацией катализатора).

Апробация работы. Основные результаты работы доложены и обсуждены на XVIII International Conference on Chemical Reactors «CHEMREACTOR-18», Malta, 2008, September 29 - October 3, на Международной научно-практической конференции в рамках VII конгресса нефтегазопромышленников России - Уфа, 22-25 мая 2007 г. - Уфа: Институт нефтехимпереработки, на Международной конференции студентов и молодых ученых - Томск, ТПУ, 15-18 мая 2007 г Перспективы развития фундаментальных наук, на Химия нефти и газа: VI международной конференции - Томск, 5-9 сентября 2006. - Томск: Институт оптики атмосферы СО РАН, 2006., на Химия, химическая технология и биотехнология на рубеже тысячелетий: Международной научной конференции: - Томск, ТПУ, 11-16 сентября 2006, на Всероссийской научной конференции Переработка углеводородного сырья. Комплексные решения (Левинтеровские чтения) - Самара, 23-26 октября 2006., на Всероссийской научной молодёжной школе – конференции Химия под знаком [Сигма] - Омск, ИППУ СО РАН, 19-23 мая 2008.

Имеется 1 акт о внедрении.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 29 работ, поданы заявки и получено 3 свидетельства об официальной регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, выводов, списка литературы и приложения. Диссертация изложена на 147 страницах машинописного текста, содержит 46 рисунков, 34 таблицы, библиография включает 110 наименований.

Содержание работы

Во введении сформулированы цели и задачи работы, обоснована теоретическая и практическая важность разработки физико-химических основ моделирования процесса получения моторных топлив и индивидуальных ароматических углеводородов на установках каталитического риформинга бензинов.

В первой главе содержится аналитический обзор современного состояния процессов получения высокооктановых моторных топлив, приведен глубокий анализ литературных данных, в том числе современных процессов и моделирующих программ для нефте- и газопереработки, содержится обзор публикаций, касающихся значения каталитического риформинга в химической промышленности.

Показано, что для повышения эффективности промышленного процесса методом математического моделирования необходимо выполнение следующих основных этапов:

- Построение физико-химической модели каталитического процесса риформинга бензинов;
- оценка кинетических и гидродинамических параметров модели;
- анализ факторов и разработка кинетической модели дезактивации Pt-катализаторов процесса каталитического риформинга для учета нестационарности протекания промышленного процесса переработки углеводородного сырья;
- построение обобщенных моделей аппаратов и всей химико-технологической системы в целом;
- решение важных технологических задач с использованием разработанной математической модели: оценка оптимальных режимов процессов для данного

Таблица 1

Значения модуля Тиле для промышленных катализаторов

№п/п	1	2	3	4	Реакция
1	0,01	0,05	0,34	0,5	$n-C_5H_{12} \rightarrow \text{изо-}C_5H_{12}$
2	0,11	0,02	0,11	0,15	$n-C_5H_{12} \rightarrow \text{МЦП}+H_2$
3	0,24	0,07	0,48	0,57	$n-C_6H_{14} \rightarrow 2\text{-МП}$
4	0	0,02	0,09	0,19	$n-C_6H_{14} \rightarrow \text{ЦГС} + H_2$
5	0,01	0,04	0,55	0,49	$n-C_6H_{14} + H_2 \rightarrow C_2H_6 + n-C_4H_{10}$
6	0,13	0,1	1,77	0,67	$n-C_7H_{16} \rightarrow 2\text{-МГ}$
7	0,13	0,07	1,77	0,67	$n-C_7H_{16} \rightarrow 3,3\text{-ДМП}$
8	0,13	0,05	1,77	0,67	$n-C_7H_{16} \rightarrow 2,3\text{-ДМП}$
9	0,17	0,08	0,67	0,67	$n-C_7H_{16} + H_2 \rightarrow CH_4 + n-C_6H_{14}$
10	0,01	0,03	0,46	0,48	$2,3\text{-ДМБ} + H_2 \rightarrow 2 C_3H_8$
11	0,01	0,03	0,46	0,48	$2,3\text{-ДМБ} + H_2 \rightarrow CH_4 + \text{изо-}C_5H_{12}$
12	0,01	0,04	0,55	0,61	$2\text{-МГ} + H_2 \rightarrow C_3H_8 + \text{изо-}C_4H_{10}$
13	0,02	0,28	4,1	4,29	$\text{ЦГ} \rightarrow \text{Ар} + 3H_2$
14	0,02	0,05	1,29	1,35	$\text{МЦП} \rightarrow \text{МЦГ}$

Таблица 2

Степень использования внутренней поверхности зерен катализатора

№п/п	1	2	3	4	Реакция
1	1	1	0,99	0,98	$n-C_5H_{12} \rightarrow \text{изо-}C_5H_{12}$
2	1	1	1	1	$n-C_5H_{12} \rightarrow \text{МЦП}+H_2$
3	1	1	0,98	0,98	$n-C_6H_{14} \rightarrow 2\text{-МП}$
4	0,99	1	1	1	$n-C_6H_{14} \rightarrow \text{ЦГС} + H_2$
5	1	1	0,98	0,98	$n-C_6H_{14} + H_2 \rightarrow C_2H_6 + n-C_4H_{10}$
6	1	1	0,98	0,98	$n-C_7H_{16} \rightarrow 2\text{-МГ}$
7	1	1	0,84	0,97	$n-C_7H_{16} \rightarrow 3,3\text{-ДМП}$
8	1	1	0,84	0,97	$n-C_7H_{16} \rightarrow 2,3\text{-ДМП}$
9	1	1	0,84	0,97	$n-C_7H_{16} + H_2 \rightarrow CH_4 + n-C_6H_{14}$
10	1	1	0,97	0,97	$2,3\text{-ДМБ} + H_2 \rightarrow 2 C_3H_8$
11	1	1	0,99	0,99	$2,3\text{-ДМБ} + H_2 \rightarrow CH_4 + \text{изо-}C_5H_{12}$
12	1	1	0,98	0,98	$2\text{-МГ} + H_2 \rightarrow C_3H_8 + \text{изо-}C_4H_{10}$
13	1	0,99	0,55	0,54	$\text{ЦГ} \rightarrow \text{Ар} + 3H_2$
14	1	1	0,9	0,9	$\text{МЦП} \rightarrow \text{МЦГ}$

Определены константы скоростей реакций процесса каталитического риформинга бензинов с непрерывной регенерацией катализатора (Таблица 3). Обратная кинетическая задача решалась поиском минимума функционала рассогласования рассчитанных и экспериментальных данных перебором значений констант скоростей реакций с использованием метода декомпозиции.

Показано, что для полунепрерывного процесса, благодаря более низким температурам в первых трех по ходу реакторах, значительно увеличатся скорости реакций изомеризации парафиновых и нафтеновых углеводородов, а также снижаются скорости гидрокрекинга парафиновых углеводородов. Высокие температуры в

последнем по ходу реакторе с непрерывной регенерацией катализатора обеспечивают высокие значения октанового числа и степени превращения сырья в продукт. Это способствует также протеканию реакции дегидроциклизации парафинов по сравнению с процессом каталитического риформинга со стационарным слоем катализатора.

Таблица 3

Относительные константы скоростей химических реакций*

Химические реакции	Относительные константы скоростей реакций процесса
Гидрокрекинг парафиновых углеводородов	0,645
Изомеризация парафиновых углеводородов	3,222
Дегидроциклизация парафиновых углеводородов C ₆	1,5
Гидрокрекинг изопарафиновых углеводородов	0,541
Дегидроциклизация изопарафиновых углеводородов C ₆	1,303
Дегидроциклизация парафиновых углеводородов C ₅	1,256
Дегидроциклизация изопарафиновых углеводородов C ₅	1,741

* за единицу приняты константы скоростей реакций процесса каталитического риформинга бензинов со стационарным слоем катализатора

Выполненные исследования позволили обосновать выбор модели идеального вытеснения при записи гидродинамической составляющей модели реактора расчетом критерия Пекле ($Pe > 200$).

На основе полученных кинетических закономерностей и составленной схемы превращений предложена методика расчета реактора риформинга с непрерывной регенерацией катализатора и движущимся слоем. Исходные данные были получены с установки каталитического риформинга бензинов с непрерывной регенерацией Л-35-11/1000.

При построении математической модели процесса каталитического риформинга бензинов приняты следующие допущения:

- гидродинамический режим - идеального вытеснения;
- тепловой режим в реакторе – адиабатический;
- формализованный механизм превращения углеводородов;
- углеводороды объединяем в реакционные серии (группы) по числу атомов углерода, по принадлежности к гомологической группе и по числу заместителей в молекуле изоалканов (группа монозамещенных изоалканов, группа дизамещенных изоалканов группа ароматических углеводородов C₉, группа ароматических углеводородов C₁₀).

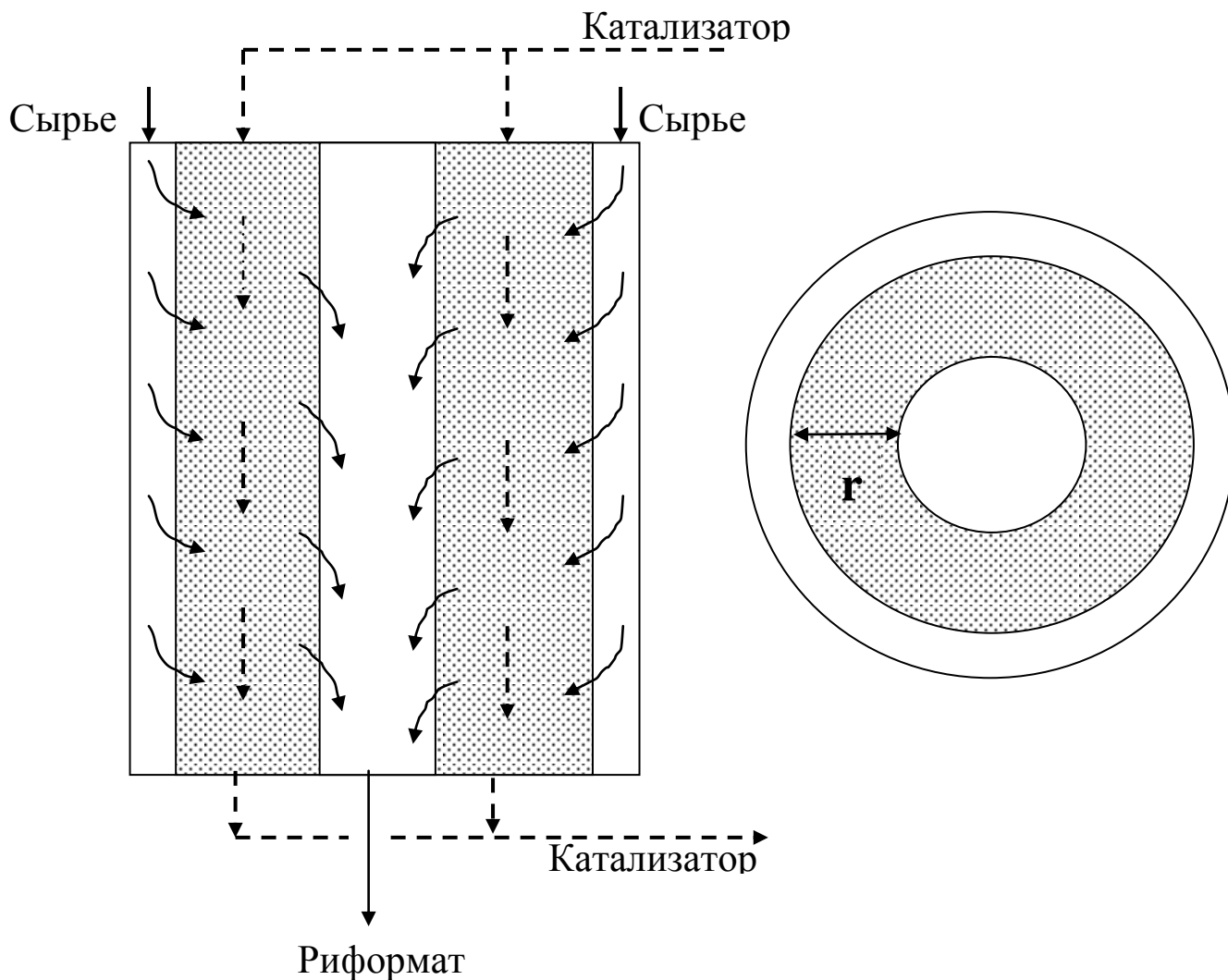


Рис2. Схема потоков через реактор риформинга с движущимся слоем катализатора

Следует отметить, что в реакторах риформинга со стационарным слоем катализатора активность и селективность изменяется по радиусу слоя катализатора (при радиальном вводе сырья) и во времени. В реакторах с движущимся слоем катализатора – по радиусу и высоте слоя катализатора

В процессе каталитического риформинга со стационарным слоем катализатора изменение активности катализатора во времени компенсируют увеличением температуры на входе в реакторы. Межрегенерационный цикл ограничен максимальной температурой процесса. В процессе с движущимся слоем катализатора оптимальная активность, которая соответствует максимальному выходу продуктов с заданным октановым числом, поддерживается кратностью циркуляции катализатора. Если принять во внимание, что объем катализатора зависит от радиуса (при радиальном вводе сырья), то поток движется по конусу, причем активность катализатора изменяется как по радиусу, так и по высоте слоя.

Дезактивация катализатора по радиусу определяется протеканием реакций коксообразования, а изменение активности по высоте кратностью циркуляции.

При совместном учете изменений активности катализатора в двух направлениях получены численные значения показателей процесса решением системы уравнений материального и теплового балансов.

$$G \cdot \frac{\partial C_i}{\partial z} = -u \cdot \frac{\partial C_i}{\partial r} - g \cdot \frac{\partial C_i}{\partial l} + W$$

$$\rho \cdot C_p^{cm} \cdot G \cdot \frac{\partial T}{\partial z} = -u \cdot C_p^{cm} \cdot \rho \cdot \frac{\partial T}{\partial r} - g \cdot C_p^k \cdot \rho \cdot \frac{\partial T}{\partial l} + \sum Q_j \cdot W_j$$

Начальные условия:

при $y=0$ $C_i=0$; при $l=0$ $C_i=C_0$ (на входе в реактор);

при $r=0$ $C_i=C_0$;

при $t=0$ $T=0$; при $r=0$ $T=T_{вх}$; при $l=0$ $T=T_{вх}$

Система уравнений в частных производных материального и теплового баланса для каждого компонента (углеводорода) решалась разностным методом (метод сеток).

Проверка модели на адекватность реальному процессу проводилась с использованием данных с установки Л-35-11/1000. (Рис. 3, 4)

Сопоставление рассчитанных на модели и экспериментальных значений концентраций ароматических углеводородов и октановых чисел с экспериментом подтвердили адекватность разработанной модели реальному процессу. (в данном случае погрешность расчета не должна превышать погрешности метода хроматографического анализа, который использован для обработки экспериментальных данных).

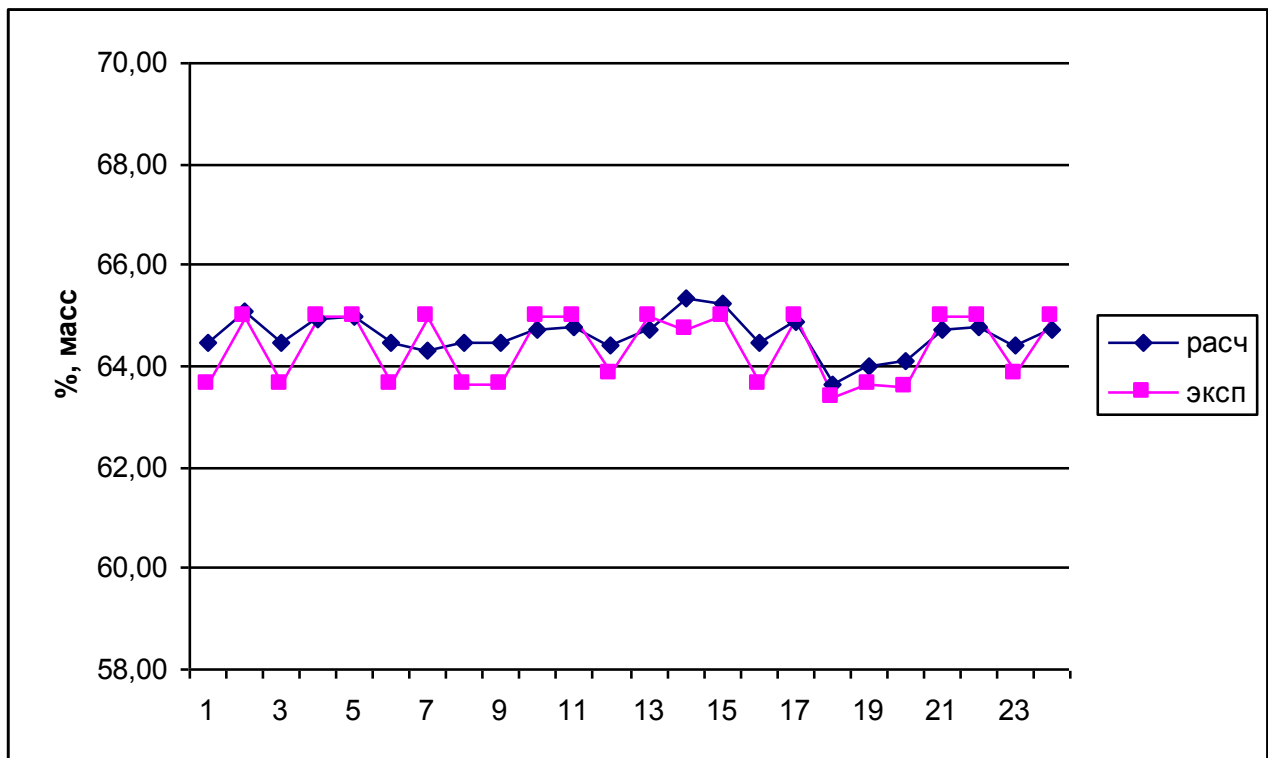


Рис.3 Содержание ароматических углеводородов в продукте(расчетные и экспериментальные значения)

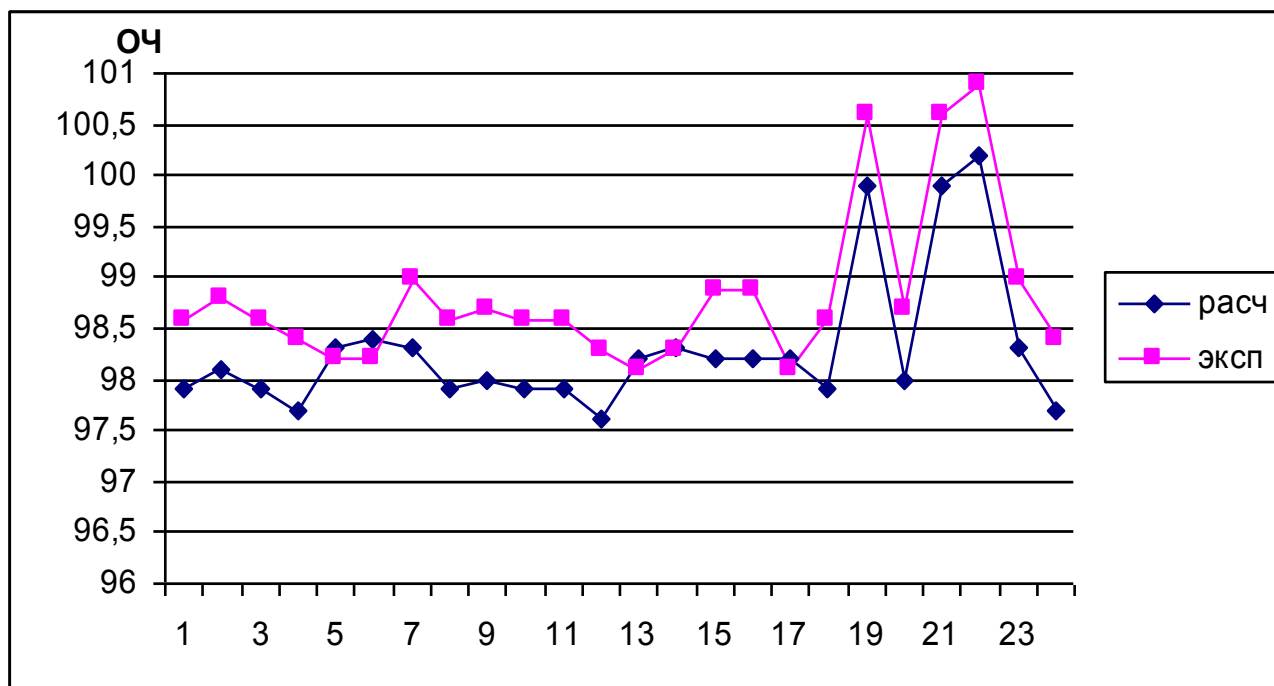


Рис.4 Показатель детонационной стойкости (октановое число, расчетное и экспериментально измеренное значения)

На основании полученных результатов математическую модель процесса каталитического риформинга бензинов следует считать адекватной реальному процессу и она может быть основой для построения системы моделирования (КМС).

В третьей главе представлены этапы разработки компьютерной моделирующей системы на основе построенного математического описания процесса каталитического риформинга

С использованием разработанной моделирующей системы стало возможным:

- проводить прогнозные расчеты параметров процесса с учетом специфики перерабатываемого сырья и технологических условий, а также типа загруженного катализатора;
- исследовать влияние режимов работы установки на селективность процесса и коксонакопление;
- тестировать Pt-катализаторы в условиях конкретной технологии и заданного углеводородного состава сырья;
- в режиме реального времени определять оптимальные технологические параметры проведения процесса на действующем производстве и тем самым увеличить объем основной товарной продукции (при требуемом качестве);
- рассчитывать различные варианты реконструкции действующих установок с целью повышения эффективности их работы.

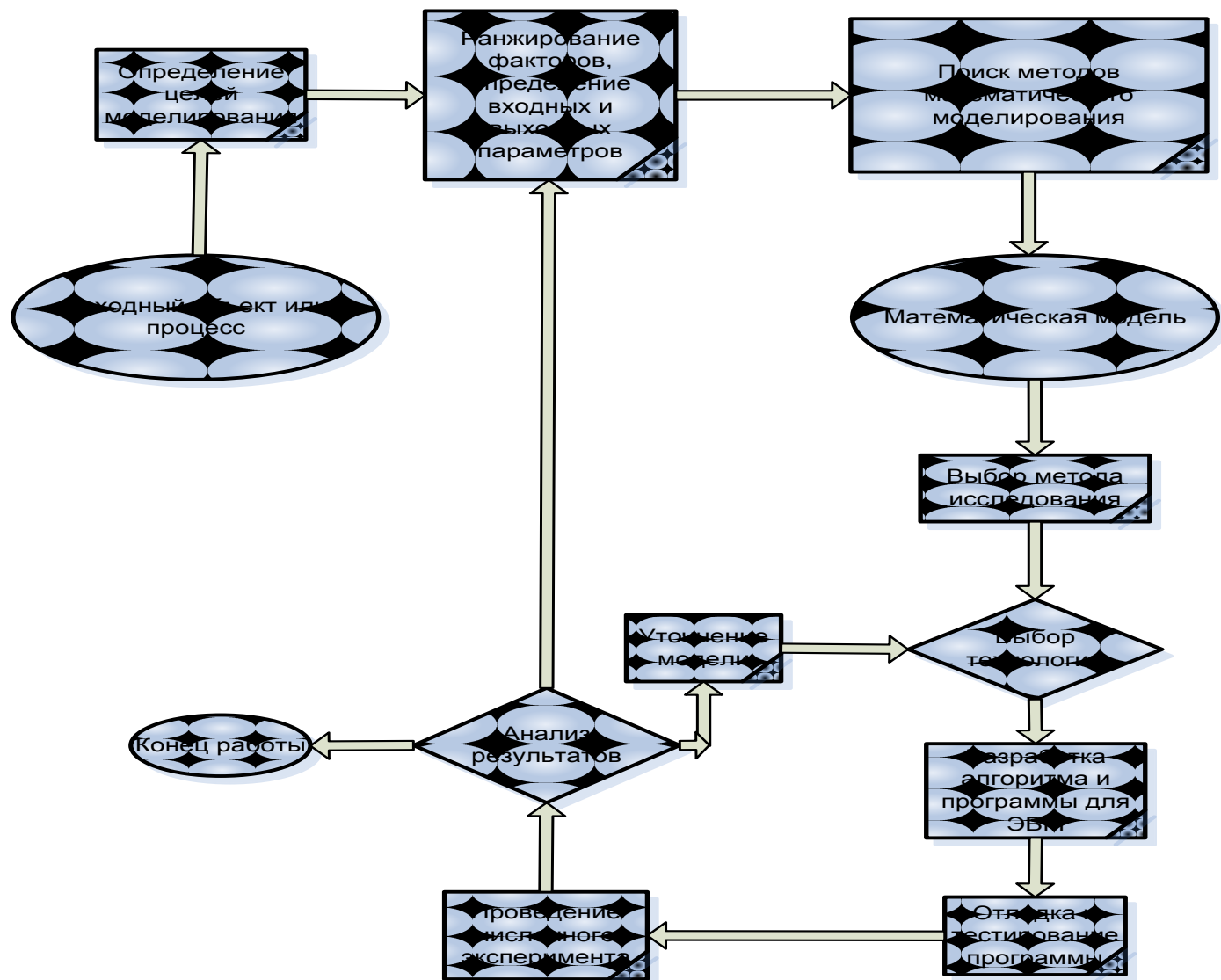


Рис. 5. Основные этапы построения моделирующей системы каталитического риформинга бензинов с непрерывной регенерацией катализатора

В четвертой главе С использованием программы «АКТИВ+С» рассмотрен вариант реконструкции установки каталитического риформинга ЛЧ-35-11/1000 со стационарным слоем катализатора под процесс с полунепрерывной схемой работы (дуалформинг). Также проведены расчеты влияния температуры и давления на выход и октановое число катализата для установка каталитического риформига с непрерывной регенерацией катализатора Л-35-11/1000 для определения оптимальных условий ведения процесса.

Был проведен сравнительный анализ качества бензинов, получаемых по традиционной схеме и по схеме полунепрерывного процесса с использованием компьютерной моделирующей системы «АКТИВ+С». Результаты исследования работы установки ЛЧ-35-11/1000 до и после реконструкции представлены на рисунках 6-10.

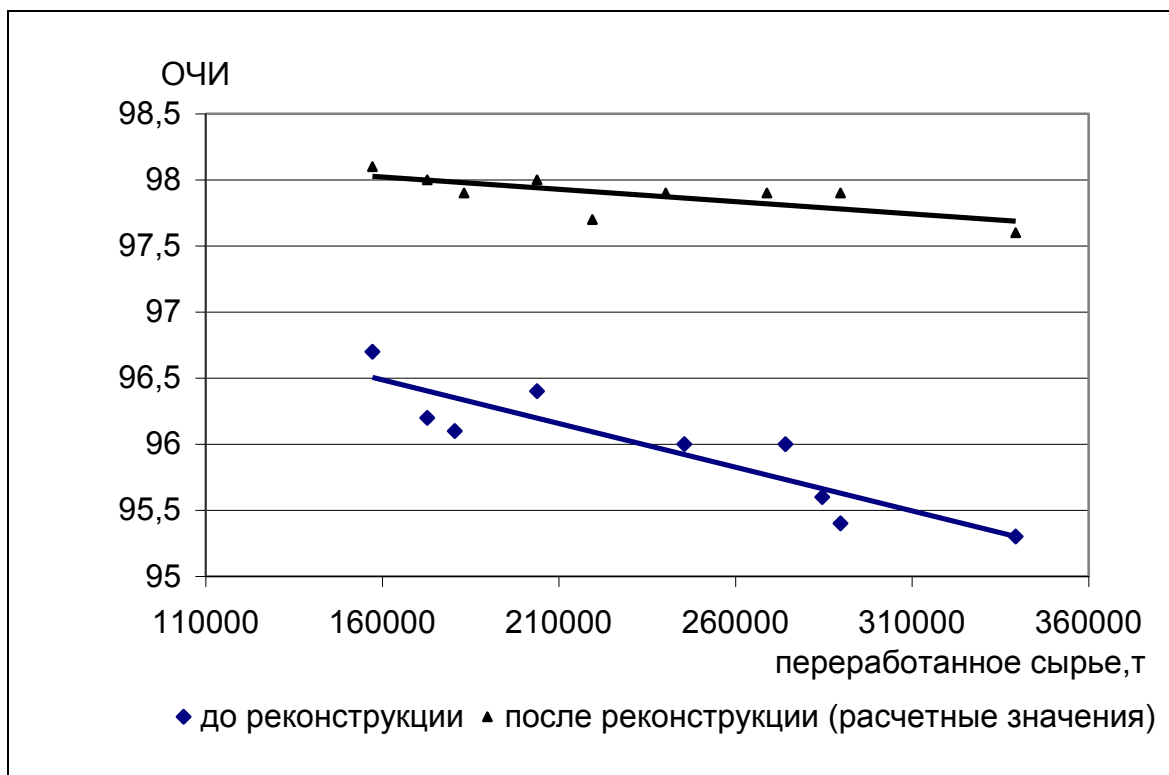


Рис.6 Зависимость октанового числа продукта от объема переработанного сырья

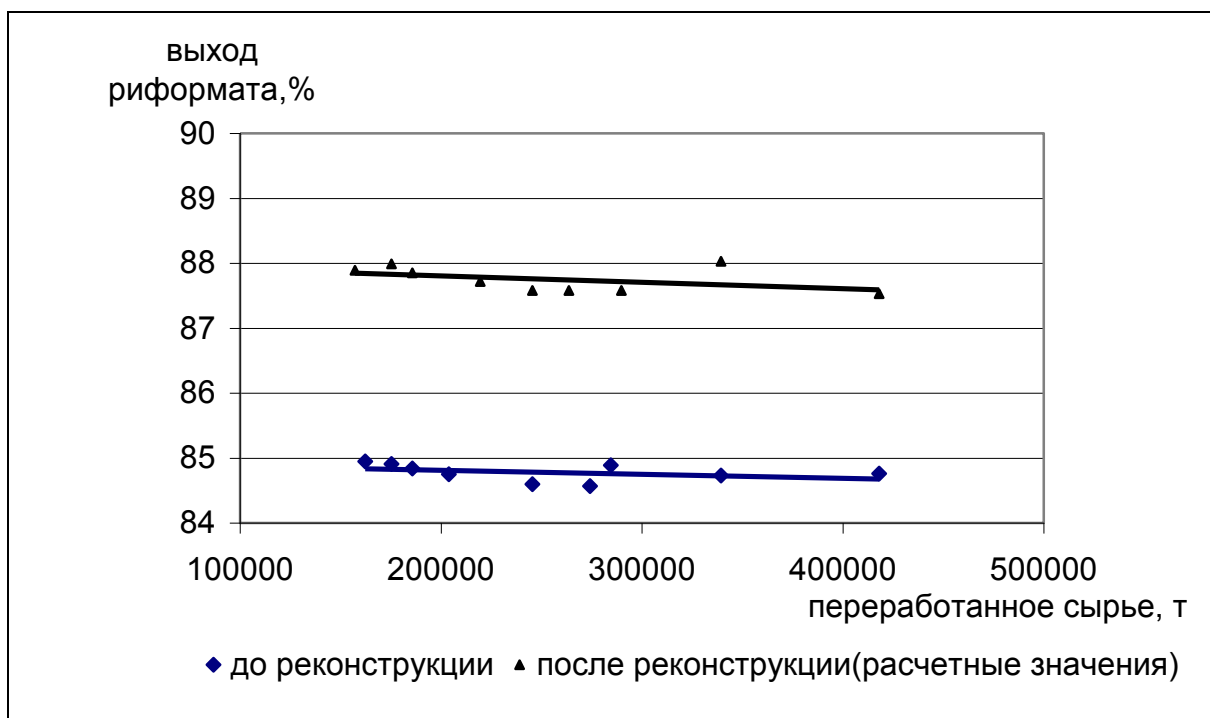


Рис.7 Зависимость выхода риформата от объема переработанного сырья

В соответствии с результатами расчета варианта реконструкции установки каталитического риформинга, представленными на рис. 6, после реконструкции октановое число риформата увеличится в среднем на 2 пункта.

В результате снижения рабочего давления выход риформата с высоким октановым числом возрастет в среднем на 2,5%.

В целом оценить эффективность работы установки после реконструкции можно по интегральному показателю октано-тонн/100 тонн переработанного сырья.

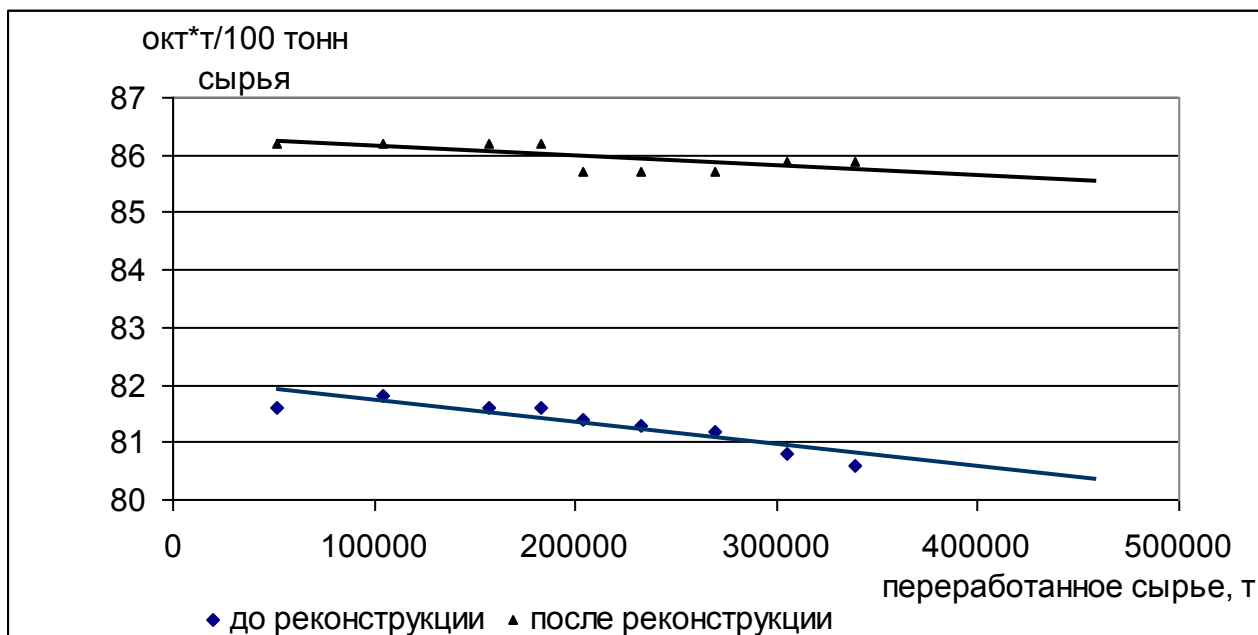


Рис.8. Зависимость значения октано-тонн/100 тонн сырья от объема переработанного сырья

Этот показатель увеличится в среднем на 4 пункта, что подтверждает высокую эффективность полунепрерывного риформинга в сравнении с традиционной схемой каталитического риформинга со стационарным слоем катализатора.

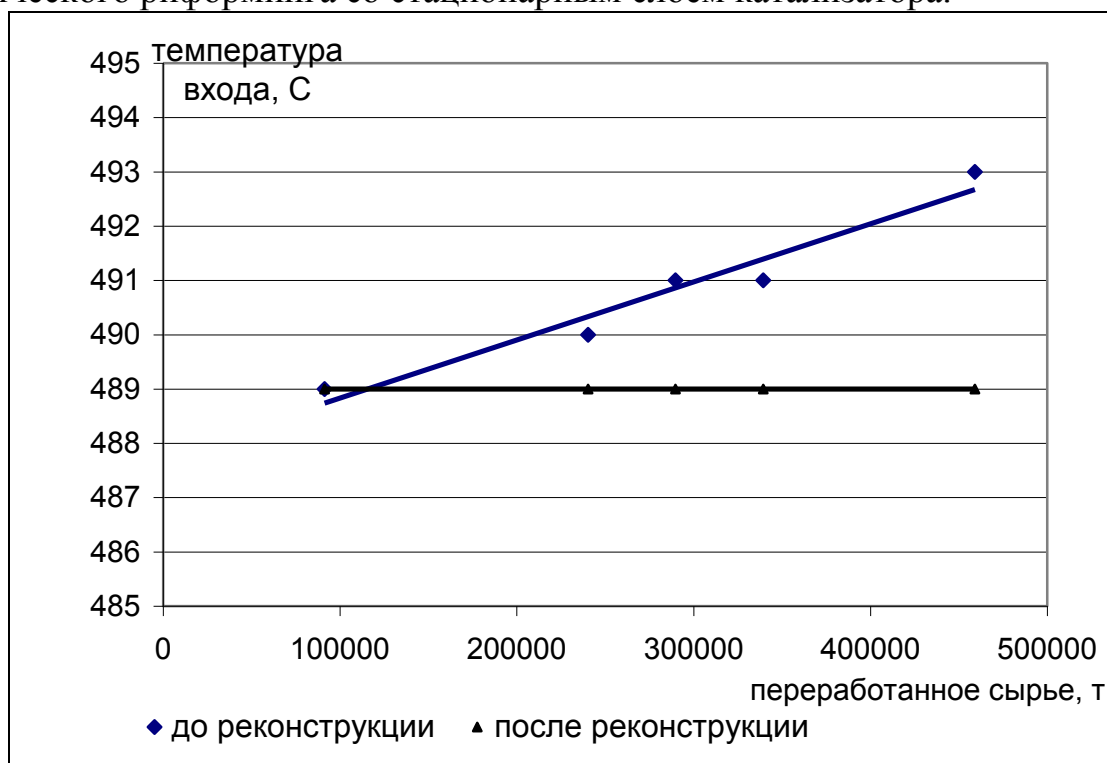


Рис. 9 Зависимость температуры на входе в реактор от объема переработанного сырья

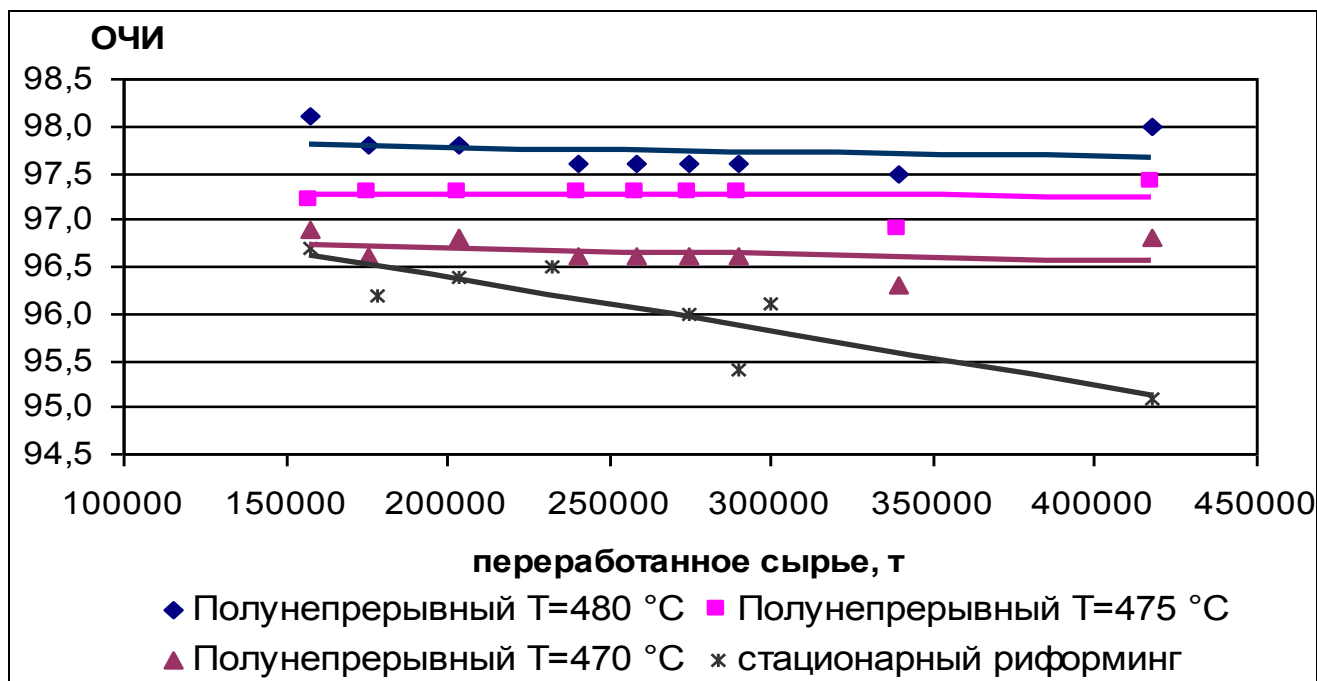


Рис.10 Зависимость октанового числа катализатора от объема переработанного сырья для различных температурных режимов

Следует отметить, что наиболее распространенным критерием оценки стабильности катализатора является изменение температуры, обеспечивающей компенсацию дезактивации катализатора. До реконструкции установки по мере снижения активности катализатора риформинга температуру процесса необходимо было повышать для того, чтобы сохранять на заданном уровне октановое число и выход риформата, но при этом увеличивалось количество кокса на катализаторе. После реконструкции температуру на входе в первый реактор возможно будет поддерживать постоянной на уровне 489 °C (за счет поддержания более жесткого режима в последнем реакторе), что свидетельствует о возможности увеличения межрегенерационного цикла и, соответственно, приводит к снижению себестоимости продукции.

Высокие температуры в последнем реакторе с движущимся слоем катализатора обеспечивают возможность поддерживать температуру в первых трех реакторах со стационарным слоем катализатора в интервале 465-490 °C. На рис. 9 показано влияние температуры, заданной на входе в реакторы со стационарным слоем катализатора, на октановое число риформата.

Очевидно, что с увеличением температуры в реакторах со стационарным слоем катализатора получается риформат с более высокой детонационной стойкостью.

С использованием компьютерной моделирующей системы АКТИВ+С можно также для данного типа сырья сравнить эффективность работы различных установок каталитического риформинга бензинов и выбрать наиболее подходящий вариант оптимизации процесса. Расчеты были проведены для действующей установки каталитического риформинга бензинов со стационарным слоем катализатора Л-35-11/300. Для расчёта были взяты исходные данные по компонентному составу гидроочищенного сырья и стабильного катализатора, полученные методом хроматографического анализа.

Результаты расчёты приведены на рис. 10-12

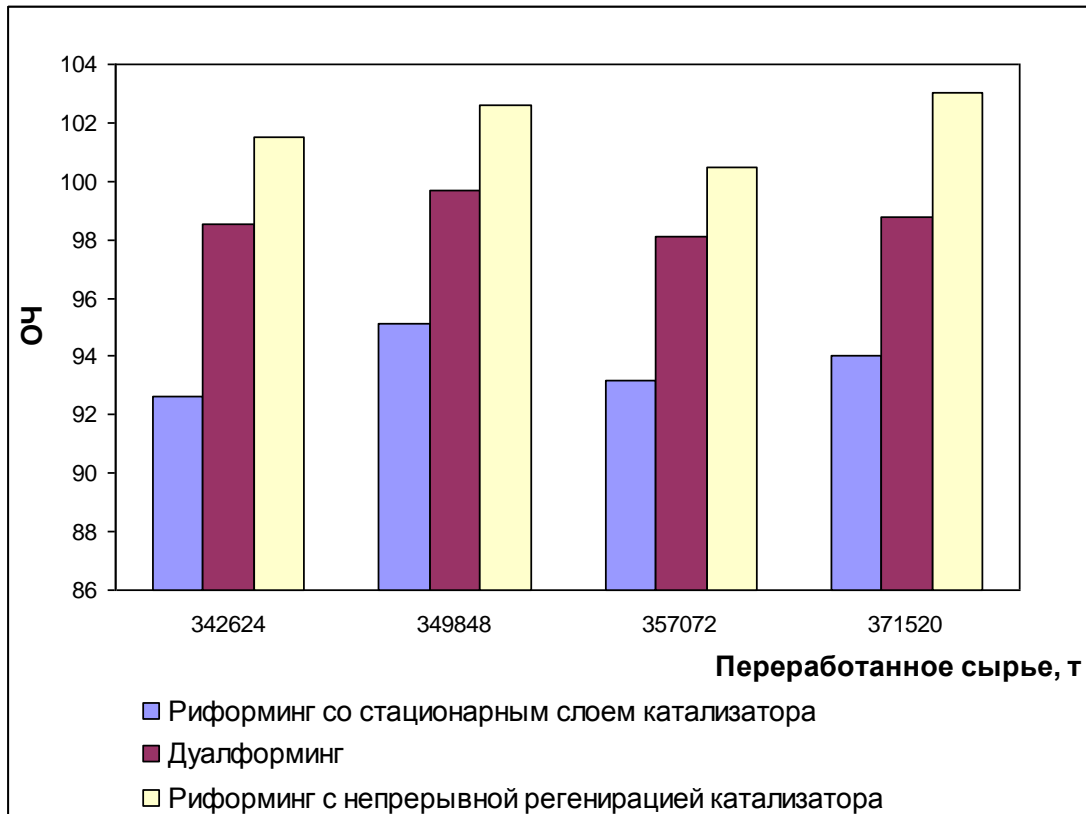


Рис.10 Сравнение значений октановых чисел риформата для различных процессов каталитического риформинга

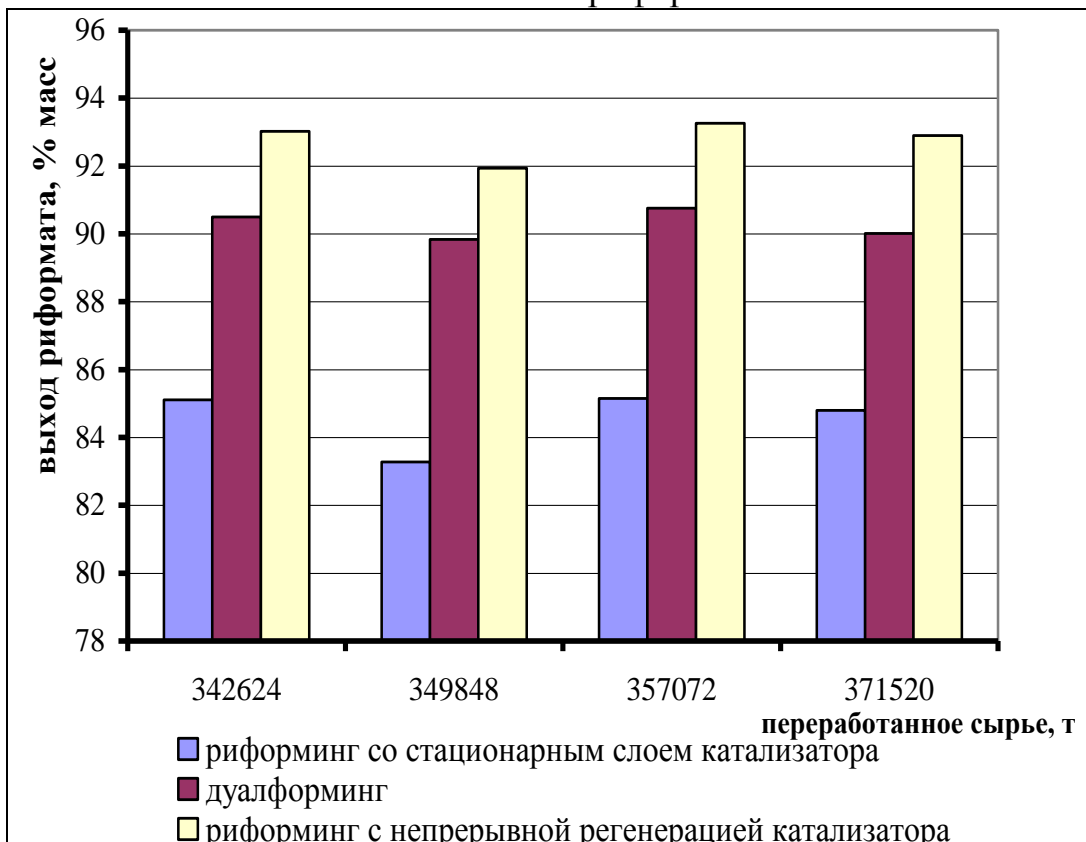


Рис.11 Сравнение значений выхода риформата для различных процессов каталитического риформинга

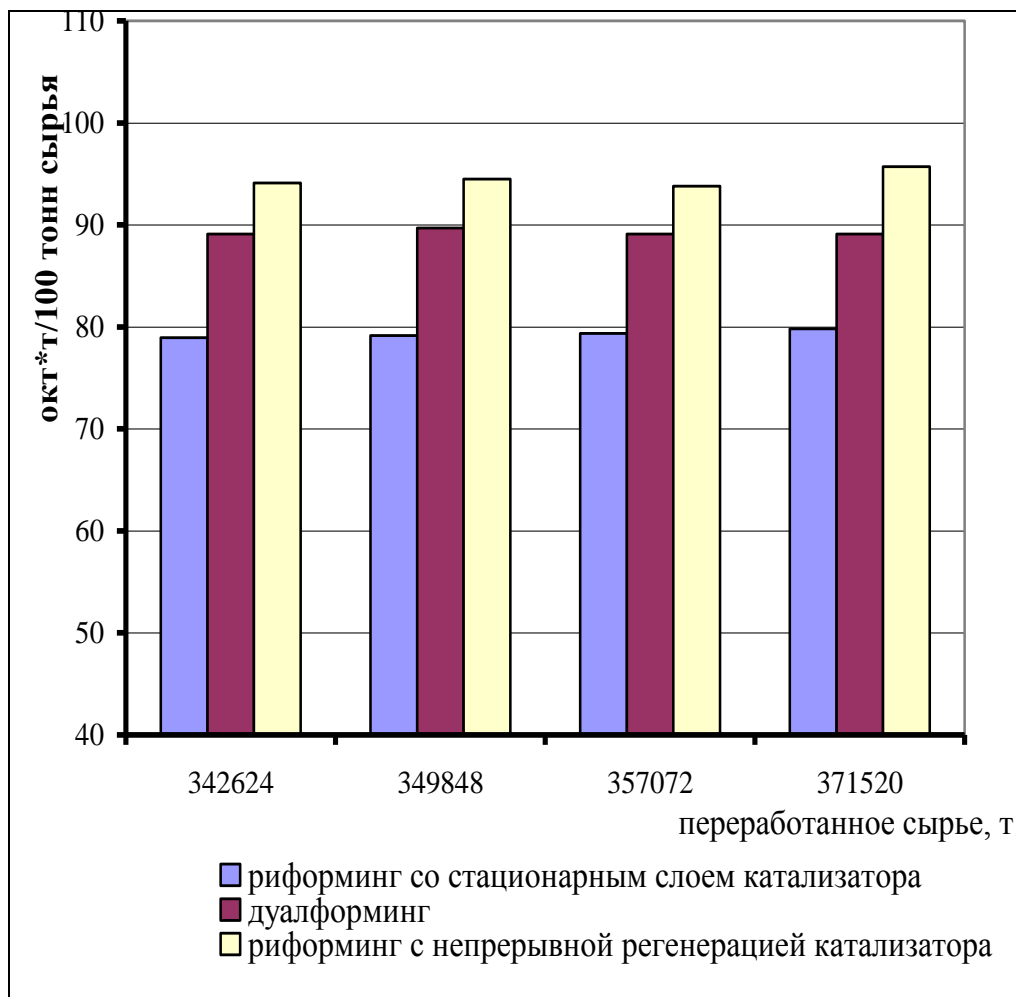


Рис.12 Сравнение значений октано-тонн для различных процессов каталитического риформинга

Анализ приведенных диаграмм позволил сделать вывод о преимуществах процессов с непрерывной регенерацией катализатора (более высокое октановое число и выход продукта, высокий интегральный показатель октано-тонн). Целесообразность того или иного варианта реконструкции определяется исходя из ее стоимости, имеющегося на данный момент оборудования и размеров площадки, на которой расположена технологическая установка. Для определения оптимальных условий ведения процесса каталитического риформинга бензинов с непрерывной регенерацией катализатора для установки Л-35-11/1000 были проведены расчеты влияния температуры и давления на выход и октановое число продукта с использованием компьютерной моделирующей системы АКТИВ+С. Результаты расчетов представлены на рис. 13, 14.

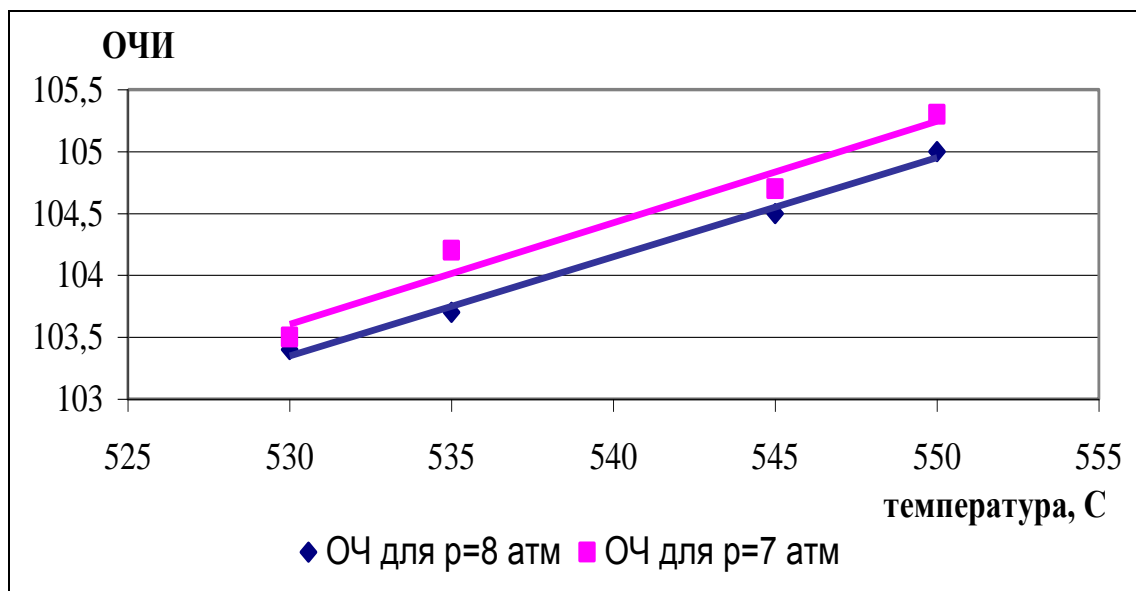


Рис. 13 Зависимость октанового числа процесса риформинга с движущимся слоем катализатора при разных давлениях числа катализата от температуры

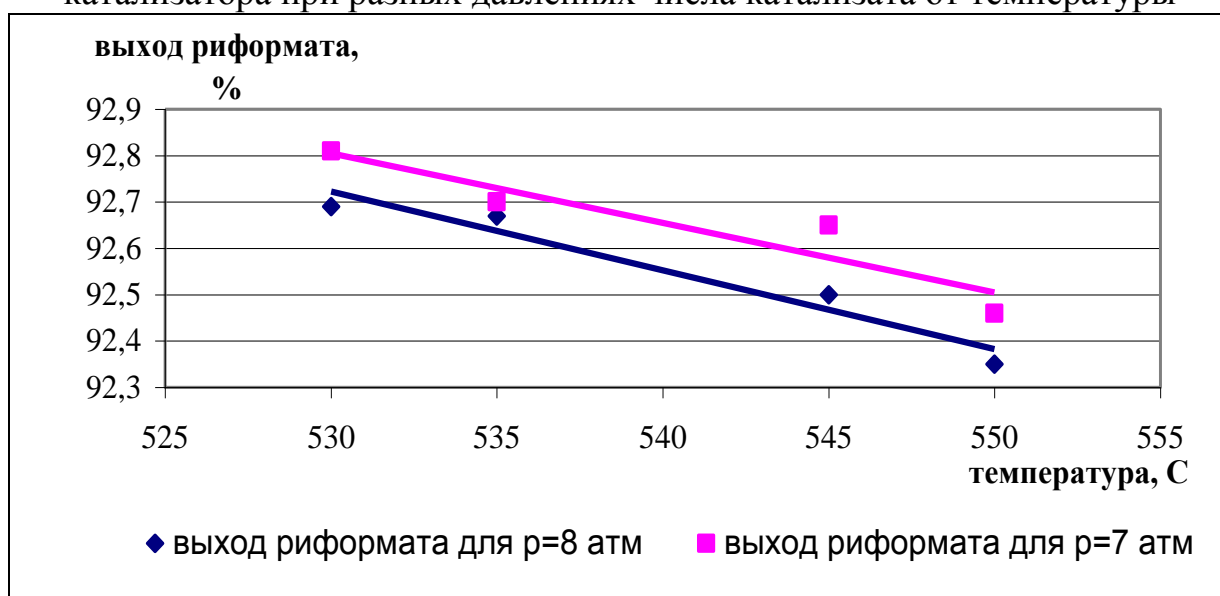


Рис. 14 Зависимость выхода риформата от температуры процесса риформинга с движущимся слоем катализатора при разных давлениях

С повышением температуры и понижением давления происходит рост октанового числа риформата, но вместе с тем снижается выход продукта. Снижение выхода можно объяснить увеличением скорости побочных реакций при ужесточении условий процесса. Оптимальные условия необходимо выбирать, соизмеряя выигрыш в октановом числе и падение выхода продукта при ужесточении условий процесса (увеличение температуры и снижение давления).

Описанные ранее закономерности сохраняются для сырья различного состава (рис. 15, 16).

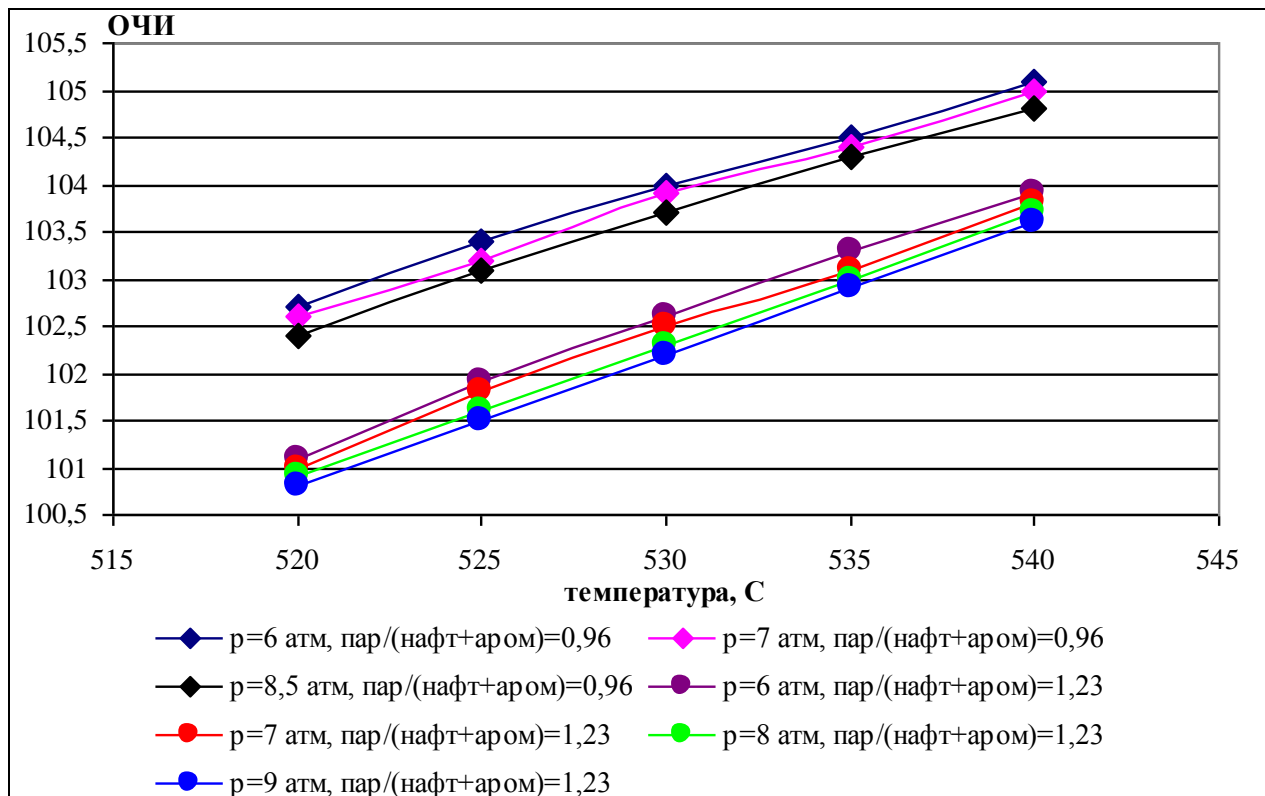


Рис. 15 Зависимость октанового числа катализатора от температуры процесса риформинга с движущимся слоем катализатора при разных давлениях для сырья различного состава

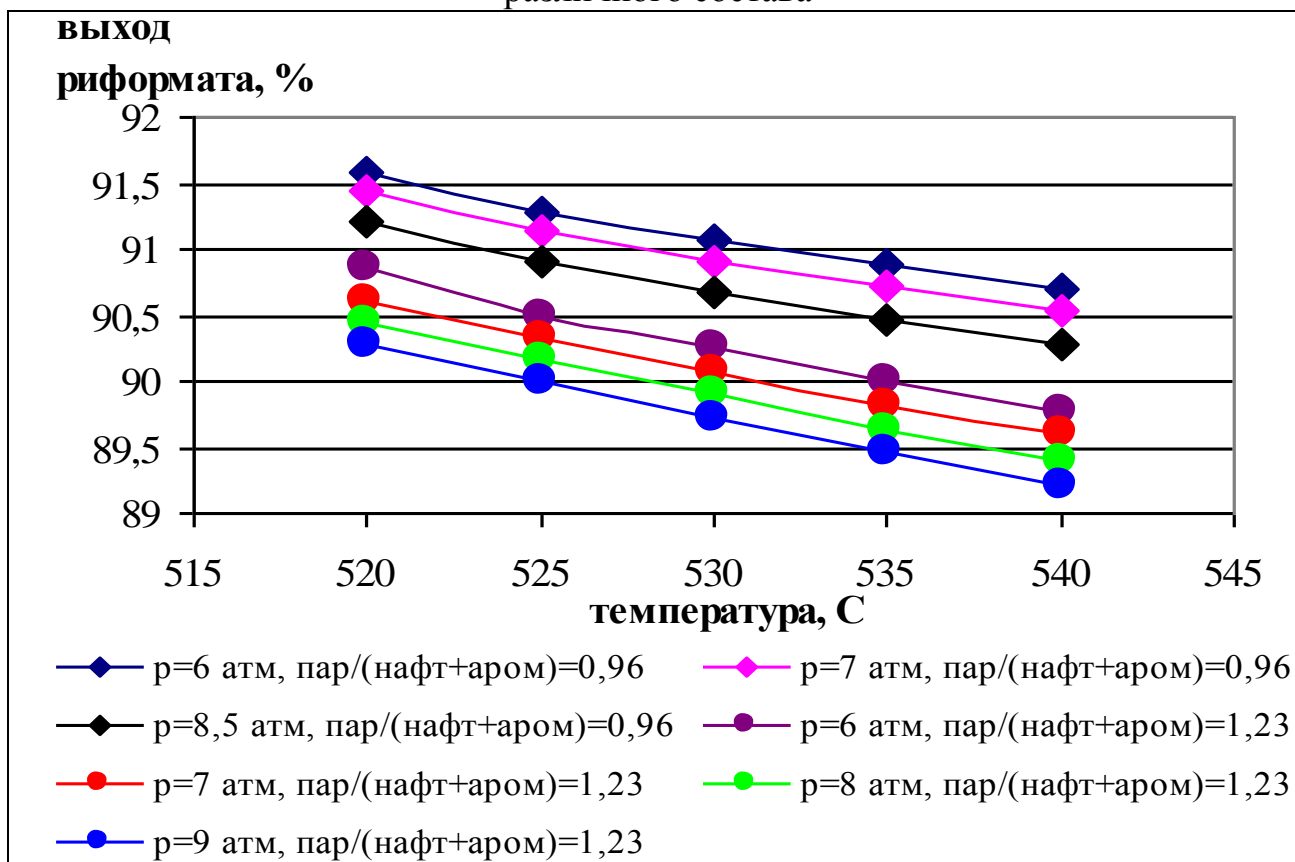


Рис.16 Зависимость выхода риформата от температуры процесса риформинга с движущимся слоем катализатора при разных давлениях для сырья различного состава

Использование сырья с более высоким содержанием нафтенов и парафинов позволяет получить риформат с значительно большей детонационной стойкостью и высоким выходом. В данном случае предпочтительнее использование сырья с отношением парафинов к нафтенам и ароматике 0,96, чем с отношением парафинов к нафтенам и ароматике 1,23. Но даже при большом содержании неразветвленных алканов в исходном сырье процесс каталитического риформинга с непрерывной регенерацией катализатора позволяет получить риформат с высоким октановым числом и выходом на сырье в сравнении с полунепрерывным процессом риформинга.

Следовательно, программно реализованная методика (компьютерная моделирующая система) позволяет надежно и оперативно рассчитывать показатели технологического режима и существенно повысить эффективность действующего производства.

Выводы

1. Составление формализованной схемы протекания реакций в процессе каталитического риформинга бензинов в реакторах с движущимся слоем катализатора на основе псевдокомпонентов, объединенных по реакционной способности углеводородов, определило ее адекватность в широком диапазоне изменения покомпонентного состава нефтяного сырья и технологических параметров процесса.
2. Уровень детализации псевдокомпонентов определяет чувствительность модели к изменению состава углеводородного сырья и информативность относительно продуктов его переработки.
3. Разработанная кинетическая модель процесса каталитического риформинга в реакторах с движущимся слоем катализатора позволяет количественно оценить скорости превращения углеводородов в зависимости от времени реакции, состава исходной смеси, температуры, давления в системе, а также кратности циркуляции катализатора.
4. Решением обратной кинетической задачи установлены количественные закономерности протекания реакций в реакторах радиального типа с движущимся слоем катализатора; определены кинетические параметры целевых и дезактивирующих реакций для Pt-катализаторов.
5. Методика расчета реактора радиального типа на основе кинетических закономерностей превращения углеводородов на поверхности Pt-катализатора и критериального анализа позволяет обосновать гидродинамический режим протекания процесса в промышленном реакторе с движущимся слоем катализатора.
6. Компьютерная моделирующая система «АКТИВ+С» процесса каталитического риформинга бензинов с движущимся слоем катализатора позволяет проводить исследования и по результатам давать рекомендации для выбора варианта реконструкции установок, оптимально подходящего для заданных условий ведения процесса, а также прогнозные расчеты параметров процесса с учетом специфики перерабатываемого сырья и технологических условий, исследовать влияние режимов работы установки на селективность процесса и коксонакопление на поверхности Pt-контакта.

7. Показано, что эффективным вариантом реконструкции действующей установки по производству высокооктановых бензинов является переход на схему работы с непрерывной регенерацией катализатора. С учетом экономической целесообразности самым оптимальным вариантом для реконструкции установок риформинга является процесс с полунепрерывной технологической схемой. При этом выход целевого продукта увеличится на 6-7%, показатель детонационной стойкости октановое число увеличится в среднем 3-4 пункта.

Основные результаты опубликованы в работах:

1. Костенко А.В., Молотов К.В., Абрамин А.Л. Иванчина Э.Д., Кравцов А.В., Фалеев С.А. Разработка и применение технологических критериев оценки активности и стабильности Pt-катализаторов риформинга бензинов методом математического моделирования. Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт, 2007, - № 6. - с. 18-22
2. , А.В. Костенко, А.В. Кравцов, Э.Д. Иванчина, А.Л. Абрамин //Использование нестационарной кинетической модели для оценки и прогнозирования активности и стабильности платиновых катализаторов в промышленном процессе риформинга бензинов. // Известия Томского политехнического университета.- № 5. 2004- Том 307.- С . 103 – 106.
3. Абрамин А.Л., Кравцов А.В., Иванчина Э.Д., Гынгазова М.С., Смышляева Ю.А. Математическое моделирование процессов каталитического риформинга бензинов с движущимся слоем катализатора //Деп. в ВИНТИ 25.04.07, № 469-В 2007. - М., 2007. - с. 1-10
4. Abramini A.L., Gyngazova M.S., Kravtsov A.V., Ivanchina E.D. Computer modeling of catalytic reforming process in moving-bed reactor with continuous catalyst regeneration. XVIII International Conference on Chemical Reactors «CHEMREACTOR-18», Malta, 2008, September 29 - October 3
5. Абрамин А.Л. Кравцов А.В., Иванчина Э.Д., Гынгазова М.С. КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАТАЛИТИЧЕСКОГО РИФОРМИНГА С НЕПРЕРЫВНОЙ РЕГЕНЕРАЦИЕЙ КАТАЛИЗАТОРА. Нефтегазопереработка и нефтехимия-2007: Материалы Международной научно-практической конференции в рамках VII конгресса нефтегазопромышленников России - Уфа, 22-25 мая 2007 г.. - Уфа: Институт нефтехимпереработки РБ, 2007. - с. 349-351
6. Абрамин А.Л., Гынгазова М.С. Математическое моделирование нефтехимических процессов в реакторах с движущимся слоем катализатора //Перспективы развития фундаментальных наук: Труды IV Международной конференции студентов и молодых ученых - Томск, ТПУ, 15-18 мая 2007 г.. - Томск: Изд. ТПУ, 2007. - с. 150-151
7. Абрамин А.Л.,Кравцов А.В.,Иванчина Э.Д. Компьютерное моделирование процессов получения высокооктановых моторных топлив //Химия нефти и газа:Материалы VI международной конференции - Томск, 5-9 сентября 2006. - Томск: Институт оптики атмосферы СО РАН, 2006. - с. 507-508
8. Абрамин А.Л., Гынгазова М.С., Иванчина Э.Д. КОМПЬЮТЕРНЫЙ РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВАРИАНТОВ РЕКОНСТРУКЦИИ УСТАНОВКИ ЛЧ-35-11/1000 ПРОЦЕССА КАТАЛИТИЧЕСКОГО РИФОРМИНГА БЕНЗИНОВ

- //Переработка углеводородного сырья. Комплексные решения (Левинтеровские чтения): Всероссийская научная конференция - Самара, 23-26 октября 2006. - Самара: СевКавГТУ, 2006. - с. 104-105
9. Абрамин А.Л., Кравцов А.В., Иванчина Э.Д., Гынгазова М.С., Смышляева Ю.А. КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕАКТОРНОГО БЛОКА КАТАЛИТИЧЕСКОГО РИФОРМИНГА БЕНЗИНА С ДВИЖУЩИМСЯ СЛОЕМ КАТАЛИЗАТОРА //ПОД ЗНАКОМ СИГМА: Тезисы докладов IV Всероссийской научной конференции - Омск, 29 – 31 мая 2007 г.. - Омск: Институт проблем переработки углеводородов СО РАН, 2007. - с. 74-75
 10. Абрамин А.Л., Ивашкина Е.Н., Юрьев Е.М., Кравцов А.В., Иванчина Э.Д., Ясюкевич О.М., Чеканцев Н.В. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛИРУЮЩИХ СИСТЕМ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ И НЕФТЕХИМИИ //Информационно-вычислительные системы в химической промышленности: Тезисы научно-практической конференции - Украина, г. Северодонецк, 25-27 июня 2007 г.. - г. Северодонецк: НИПИ Химтехнология, 2007. - с. 4-12
 11. Абрамин А.Л., Арестова Е.С. , Математическое моделирование процесса дуалформинг Французского Института Нефти на установке ЛЧ-35-11/1000 КИНЕФ //Материалы Всероссийской студенческой конференции «Научный потенциал студенчества – будущему России» - Ставрополь, 19-20 апреля 2006. - Ставрополь: СевКавГТУ, 2006. - с. 55-56
 12. Абрамин А.Л., Костенко А.В., Кравцов А.В., Иванчина Э.Д. Математическое моделирование режимов эксплуатации и регенерации катализаторов для нефтегазохимической промышленности //Химия и химическая технология на рубеже тысячелетий :Материалы III Всероссийской научно-практической конференции - Томск, 2-4 сентября 2004. - Томск: Изд. ТПУ, 2004. - с. 279-280
 13. Абрамин А.Л., Иванчина Э.Д., Галушин С.А. Анализ эффективности эксплуатации установки Л4-35-11/1000 «КИНЕФ» //Химия и химическая
 14. технология в XXI веке. Тезисы V Всероссийской студенческой научно-практической конференции - Томск, 11-12 мая 2004. - Томск: Изд. ТПУ, 2004. - с. 113-114
 15. Абрамин А.Л., Кравцов А.В., Иванчина Э.Д. Компьютерное моделирование каталитического риформинга бензинов «АКТИV+С». Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. №2007612041 18 мая 2007г
 16. Абрамин А.Л., Кравцов А.В., Иванчина Э.Д. Программа расчета текущих показателей процесса каталитического риформинга бензинов с движущимся слоем катализатора. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. №2006611575 12 мая 2006г
 17. Абрамин А.Л., Кравцов А.В., Иванчина Э.Д., Гынгазова М.С. Программа расчета показателей процесса риформинга бензинов с движущимся и стационарным слоем катализатора. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. №2008611369 19 марта 2008г.