

На правах рукописи

**КОСТЮЧЕНКО ВАЛЕРИЙ ПЕТРОВИЧ**

**РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ  
СТАБИЛИЗАЦИИ И РАЗДЕЛЕНИЯ БЕНЗИНОВ  
В ПЕРЕКРЕСТНОТОЧНЫХ НАСАДОЧНЫХ КОЛОННАХ**

Специальности:

05.17.07-“Химия и технология топлив и специальных продуктов”;

05.17.08- “Процессы и аппараты химических технологий”

**АВТОРЕФЕРАТ**

**диссертации на соискание учёной степени**

**кандидата технических наук**

**Уфа – 2005**

Работа выполнена в Уфимском государственном нефтяном техническом университете и ОАО “Орскнефтеоргсинтез”.

Научные руководители: доктор технических наук, профессор  
Богатых Константин Фёдорович;  
кандидат технических наук  
Чуракова Светлана Константиновна.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
Ахметов Сафа Ахметович;  
кандидат технических наук  
Прокопюк Святослав Григорьевич.

Ведущая организация ГУП “Башгипронефтехим”

Защита состоится « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2005 года в \_\_\_\_ на заседании диссертационного совета Д 212.289.03 при Уфимском государственном нефтяном техническом университете по адресу: 450062, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Уфимского государственного нефтяного технического университета.

Автореферат разослан « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2005 года.

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Абдульминев К.Г.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Физическая стабилизация и чёткая ректификация широких бензиновых фракций с целью выработки сырья вторичных процессов являются весьма энергоёмкими процессами. Расход тепла на осуществление этих процессов составляет около 30% от тепла, затрачиваемого на стадию первичной перегонки нефти, на долю которой, в свою очередь, приходится до 62% от общего расхода топлива и 46% электроэнергии на НПЗ. Высокая энергоёмкость процессов физической стабилизации и вторичной перегонки широкой бензиновой фракции обусловлена тем, что в зависимости от качества сырья и узости получаемых фракций, разделение осуществляется в системе, состоящей из нескольких колонн, в связи с чем весьма актуальны вопросы оптимизации схемных решений. В этой связи разработка ресурсо- и энергосберегающих технологий физической стабилизации и чёткой ректификации широких бензиновых фракций имеет большое значение.

Современный уровень разработки ресурсосберегающих технологий предполагает минимизацию энергозатрат на разделение при заданной глубине отбора и качества узких бензиновых фракций, что достигается на действующих установках модернизацией существующего массообменного оборудования. Одним из важнейших путей снижения энергоёмкости процессов ректификации является использование высокоэффективных контактных устройств, обладающих минимальным перепадом давления. Такими характеристиками обладают регулярные насадки. Однако в литературе мало данных о применении насадочных контактных устройств в процессах физической стабилизации и чёткой ректификации бензинов. Поскольку эти процессы проводятся при повышенных давлениях, то перепад давления по колонне ранее не считался одним из основных критериев выбора контактных устройств. Представляет интерес сравнительная оценка технико-экономических показателей работы колонн при использовании различных контактных устройств.

**Цель работы** заключается в разработке ресурсо- и энергосберегающих технологий стабилизации и чёткой ректификации широких бензиновых фракций в перекрестноточных насадочных колоннах.

### **Основные задачи исследования**

1. Провести сопоставительный анализ технологических схем, режимов и конструктивного оформления процессов стабилизации и разделения широких бензиновых фракций с точки зрения снижения капитальных и эксплуатационных затрат.
2. На основе посекционного математического моделирования ректификационных колонн разработать энергосберегающие технологии стабилизации и разделения широких бензиновых фракций в перекрёстноточных насадочных колоннах.
3. Реализовать в промышленности процессы физической стабилизации прямогонного бензина и гидроочищенного бензина для установок каталитического риформинга в перекрестноточных насадочных аппаратах и дать оценку эффективности ректификационных контактных устройств в условиях процессов стабилизации под повышенным давлением.
4. Провести сопоставительный технико-экономический анализ результатов реализации в промышленности процессов физической стабилизации бензинов в ректификационных колоннах.

### **Научная новизна**

1. Разработана и реализована в промышленности энерго-ресурсосберегающая технология физической стабилизации бензиновых фракций с перекрёстно-противоточным контактом и секционированием фаз в объёме регулярной насадки, позволяющая, при характерных для процесса стабилизации диспропорциональных нагрузках по пару и жидкости, значительно повысить разделительную способность колонн и расширить диапазон устойчивой работы в 1,5-3 раза.
2. Для интенсификации работы типовых установок чёткой ректификации широких бензиновых фракций (22-4) предложена технологическая схема с частично-взаимосвязанными потоками, а также гибкая технология полу-

чения узких бензиновых фракций, обеспечивающая расширение ассортимента за счёт выработки изопентановой фракции и сырья изомеризации.

3. Промышленным экспериментом и последующим сравнительным технико-экономическим анализом результатов внедрения технологий стабилизации, базирующихся на перекрёстноточных насадках и современных клапанных тарелках ведущих зарубежных фирм, показано, что при использовании насадок высокая эффективность и стабильность работы обеспечивается при значительно меньших удельных затратах тепла.
4. Предложен и обоснован путём математического моделирования комплексный конструктивно-технологический подход, предполагающий одновременную оптимизацию технологических и конструктивных параметров за счёт варьирования независимых сечений для прохода пара и жидкости в перекрёстноточных насадочных колоннах, позволяющий минимизировать энергозатраты на процесс разделения при заданной глубине отбора и качества узких бензиновых фракций.

**Практическая ценность.** Предложены технические решения, позволяющие повысить фракционирующую способность ректификационных колонн, работающих под повышенным давлением, за счёт замены тарелок на перекрестноточную насадку.

Разработаны новые типы перекрестноточных насадочных модулей, с учётом диспропорциональных паровых и жидкостных нагрузок, которые характерны для процессов физической стабилизации бензинов.

Обследованием действующих промышленных объектов доказана меньшая энергоёмкость процессов стабилизации бензиновой фракции в насадочных колоннах по сравнению с тарельчатыми. Обоснована технико-экономическая целесообразность использования перекрёстноточных насадок в колоннах, работающих под повышенным давлением.

**Реализация работы в промышленности.** На базе высокопроизводительных по жидкости перекрестноточных насадочных модулей разработаны и реализованы на двух промышленных объектах процессы стабилизации

прямогонного бензина и гидроочищенного бензина для установок каталитического риформинга.

Реализация технологии физической стабилизации прямогонного бензина в колонне К-5 установки 22-4 ОАО «Орскнефтеоргсинтез», базирующейся на использовании новых перекрёстно-противоточных насадочных контактных устройств позволила: увеличить разделительную способность колонн в 1,6 раза; повысить выход стабильного бензина на 7-8%; снизить энергозатраты; обеспечить устойчивую и эффективную работу колонн при изменении производительности установки по сырью в диапазоне 0,7 - 1,8 от номинала.

На установке каталитического риформинга Л-35-11-300/95 ОАО «Орскнефтеоргсинтез» реализована ресурсо-энергосберегающая технология стабилизации гидроочищенного бензина в перекрестноточной насадочной колонне, которая обеспечила повышение разделительной способности аппарата в 3,9 раза (с 4,0 до 15,6 т.т.) и позволила при снижении энергозатрат на 20% увеличить отбор стабильного гидрогенизата на 8%.

Суммарный годовой экономический эффект от этих двух внедрений составил 37,74 млн. р. Реализация предложенных технических и конструктивных решений в промышленности подтверждена двумя актами внедрений.

**Апробация работы.** Основные положения и результаты работы докладывались на: V Международной научной конференции «Методы кибернетики химико-технологических процессов (г. Уфа, 1999); 6-й Международной научно-практической конференции «Нефть и газ Украины-2000» (г. Ивано-Франковск, 2000); II Международной конференции «Теория и практика массообменных процессов химической технологии» (г. Уфа, 2001); VI Международной конференции по интенсификации нефтехимических процессов «Нефтехимия-2002» (г. Нижнекамск, 2002); научно-практических конференциях «Нефтепереработка и нефтехимия-2002» (г.Уфа, 2002) и «Современное состояние процессов переработки нефти» (г.Уфа, 2004), I Международных научных Надировских чтениях «Научно-технологическое развитие нефтегазового комплекса» (г. Алматы-Атырау, 2003), на Международной научно-

технической конференции «Актуальные проблемы технических, естественных и гуманитарных наук» (г.Уфа, 2005).

**Публикации.** Основные положения диссертации опубликованы в четырёх статьях и тезисах семи докладов.

**Структура и объём работы.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов, списка литературы и приложений. Общий объём работы включает 170 с., в том числе 37 рисунков и 39 таблиц. Список литературы включает 164 наименования.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обосновывается актуальность выбранной темы, формулируется цель и задачи исследования.

**В первой главе** рассмотрены варианты промышленной реализации технологий физической стабилизации и чёткой ректификации широкой бензиновой фракции. Исходя из анализа литературных источников, сформулированы требования к технологии и массообменному оборудованию с точки зрения ресурсо-энергосбережения, а также получения экологически чистых автомобильных бензинов. В связи с повышением эксплуатационно-экологических свойств интересны предложения по замене МТБЭ изопентановой и бутановой фракциями. Сделано обоснование, что для выполнения общего комплекса современных требований к товарным автобензинам, необходим пересмотр всей схемы топливного производства, предусматривающий как модернизацию существующих процессов, повышающих октановые числа бензинов, так и внедрение новых процессов производства высокооктановых компонентов. Соответственно должна быть изменена и схема работы установок подготовки сырья для этих процессов - установок чёткой ректификации широкой бензиновой фракции.

Для разработки принципиальных основ ресурсо-энергосберегающих технологий проведен анализ существующих технологических схем и режимов стабилизации и последующего разделения широкой бензиновой фракции, а также сравнительный анализ современных конструкций массообмен-

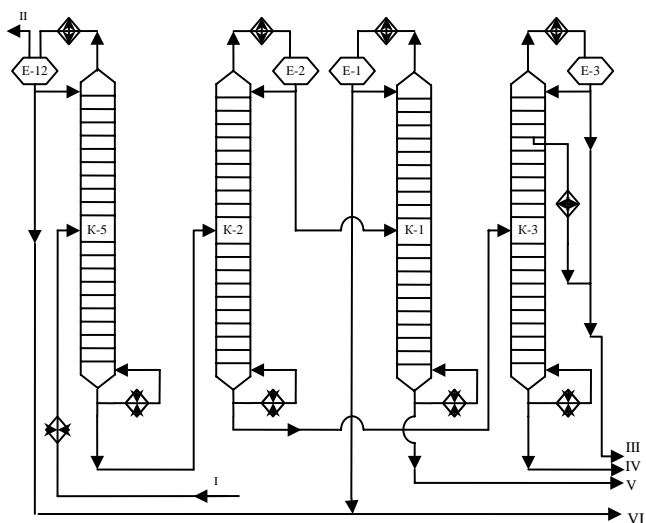
ных контактных устройств, работающих в условиях этих процессов. Показано, что, поскольку особенностями процессов стабилизации являются очень высокие жидкостные и низкие паровые нагрузки в отгонных секциях колонн, то интенсификация этих процессов на основе противоточных тарельчатых и насадочных контактных устройств является нецелесообразной. Конструктивное оформление стабилизационных колонн должно выбираться с учётом складывающихся диспропорциональных нагрузок. В этой связи перекрёстноточные насадки, позволяющие независимо варьировать сечение для прохода пара и жидкости, имеют явное преимущество. Однако литературных данных о результатах применения насадочных контактных устройств в процессах стабилизации и вторичной перегонки бензиновых фракций очень мало.

В связи с чем, на наш взгляд, представляет интерес разработка, внедрение и опытно-промышленное обследование технологий стабилизации и вторичной перегонки, базирующихся на использовании перекрёстноточных насадочных контактных устройств и предусматривающих возможность получения дополнительных высокооктановых компонентов товарных бензинов.

**Во второй главе** выполнен расчётный анализ технологических возможностей действующих промышленных установок, разделения широкой бензиновой фракции, рассмотрены различные варианты интенсификации их работы. Предложен вариант расширения технологических возможностей этих установок за счёт выработки изопентановой фракции – высокооктанового компонента товарных автомобильных бензинов.

Анализ технологических возможностей ректификационных колонн был проведён методом математического моделирования на примере установки 22-4 ОАО «Орскнефтеоргсинтез», технологическая схема которой приведена на рис. 1. Техническая характеристика ректификационных колонн установки приведена в табл.1. В результате двух опытно-промышленных обследований установки 22-4 и математического моделирования работы колонн установлено следующее: не оптимальны технологическая схема и режимы фракционирования в колоннах; плохо осуществляется регенерации тепла для подогрева сырья установки; отгонная часть колонны К-5 значительно перегружена по

жидкости. Соответственно низка эффективность ректификационных тарелок: 20-35% (К-5); 25-30% (К-1); 25-40% (К-2); 10-30% (К-3). В связи с этим для получения фракции н.к. – 62°С используются три ректификационные колонны: К-5, К-2 и К-1; низок отбор от потенциала целевых фракций н.к.- 62 °С, 85-180 °С, углеводородный газ, выводимый из колонн К-1 и К-5, содержит значительное количество ценных углеводородов  $C_5$ - $C_6$ . Это приводит к повышению энергозатрат в процессе разделения и потерям бензиновых фракций с газом, сжигаемым в качестве топлива в технологических печах.



**Рис.1. Принципиальная фактическая технологическая схема установки 22-4**

*Потоки: I – сырье (широкая бензиновая фракция); II – газ; III – фр. 85-180 °С; IV – фр. 180-220 °С; V – фр. 62-85 °С; VI – фр. н.к. – 62 °С.*

Для разработки на базе типовой установки 22-4 более гибкой энергосберегающей технологии разделения широкой бензиновой фракции, обеспечивающей устойчивую работу колонн при переработке от 80 до 250 т/ч сырья, необходимо: заменить существующие тарельчатые контактные устройства, снизить количество единиц задействованного массообменного оборудования и оптимизировать режим фракционирования. Комплексное решение этих задач позволит при меньших удельных энергозатратах повысить отбор и качество вырабатываемых бензиновых фракций. На первом этапе исследований решалась задача интенсификации работы существующего оборудования в широких пределах изменения производительности по сырью 80-250 т/ч (60-200% от проектной).

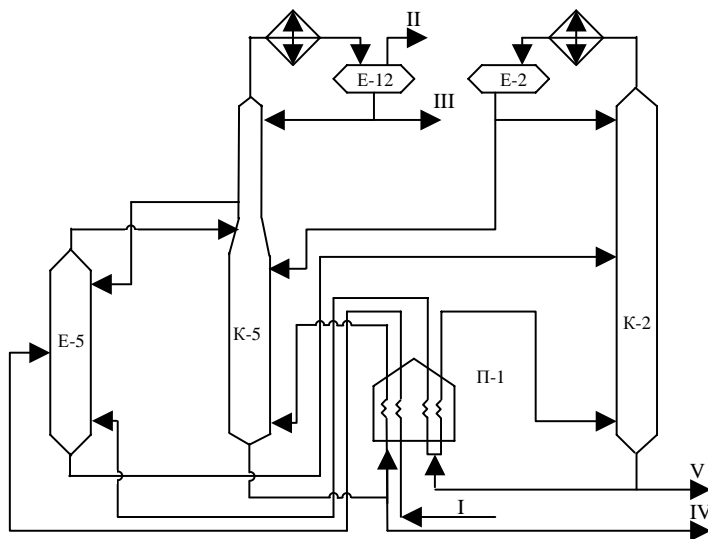
Была предложена технология разделения широкой бензиновой фракции в системе колонн с частично-связанными потоками, базирующаяся на схемном решении – дооборудовании установки новым аппаратом – колонной E-5 (диаметром 2,4 м) и возврате фракции н.к.-85°С последующей колонны К-2 в

Для разработки на базе типовой установки 22-4 более гибкой энергосберегающей технологии разделения широкой бензиновой фракции, обеспечивающей устойчивую работу колонн при переработке от 80 до 250 т/ч сырья, необходимо: заменить существующие тарельчатые контактные устройства, снизить количество единиц задействованного массообменного оборудования и оптимизировать режим фракционирования. Комплексное решение этих задач позволит при меньших удельных энергозатратах повысить отбор и качество вырабатываемых бензиновых фракций. На первом этапе исследований решалась задача интенсификации работы существующего оборудования в широких пределах изменения производительности по сырью 80-250 т/ч (60-200% от проектной).

середины секции для отпарки лёгких фракций из фр.62-85°С предыдущей сложной колонны К-5 (рис.2.) при исключении из работы колонны К-1.

**Таблица 1.Техническая характеристика ректификационных колонн установки 22-4 ОАО “Орскнефтеоргсинтез”**

Показатели	Ректификационные колонны			
	К-5	К-2	К-1	К-3
<i>Диаметр, м:</i>				
- укрепляющей части	1,8	3,8	2,4	3,8
- отгонной части	2,0	3,8	2,4	3,8
<i>Количество ректификационных тарелок в том числе:</i>				
- в укрепляющей части	20 Клап. прямот.	34 Клап. прямот.	34 желобчатых	34 желобчатых
- в отгонной части	20 Клап. прямот.	14 кл. прямот. 12 желобч.	26 желобчатых	26 желобчатых



**Рис. 2. Рекомендуемая схема взаимосвязанной работы ректификационных колонн К-5 и К-2 установки 22-4**

*Потоки: I - сырьё; II - газ; III - фр. н.к.-62°С;  
IV- фр. 62-85°С; V - фр. 85°С-к.к.*

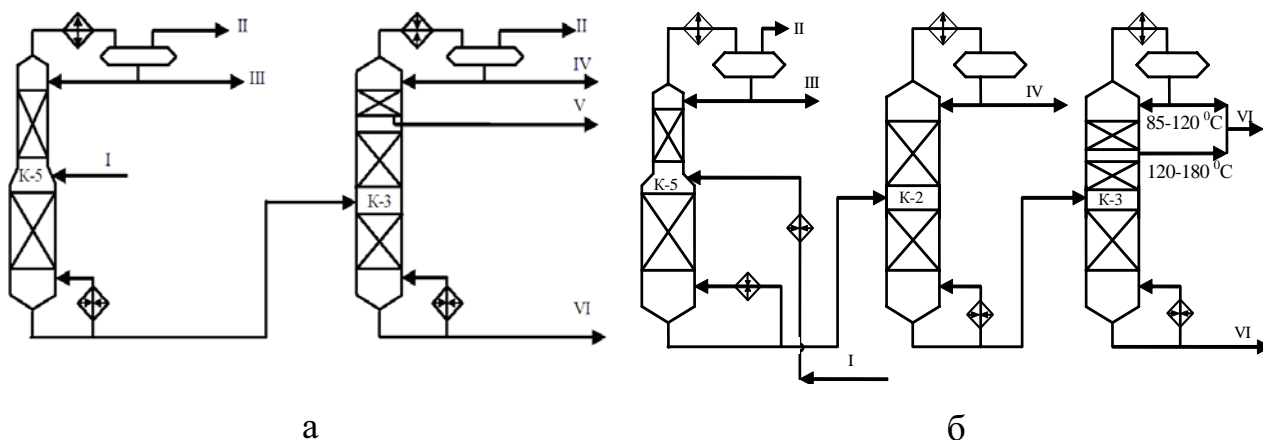
Разделение фракции 85°С-к.к. предусматривалось в колонне К-3.

При таком подходе повышение производительности установки по сырью достигалось за счёт новой колонны, а более чёткое фракционирование обеспечивалось за счёт замены тарелок в колоннах К-5 и К-2 на перекрёстноточную на-

садку. Однако в связи с необходимостью дооборудования установки новым аппаратом, изменением технологической схемы и системы автоматического регулирования взаимосвязанных колонн, данная технология не была принята к внедрению в ОАО «Орскнефтеоргсинтез».

На втором этапе исследований была предложена ресурсо-, энергосберегающая технология разделения широкой бензиновой фракции, основанная на использовании в колонне К-5 принципиально новых перекрёстноточных контактных устройств. Технология предусматривала обеспе-

чение стабильной работы установки при изменении производительности по сырью в три раза (80-250 т/ч) и снижении задействованного колонного оборудования в 1,5 или 2 раза (исключение из работы колонны К-1 и К-2, либо исключение из работы только колонны К-1 (рис.3).



**Рис. 3** Двух (а) и трехколонный (б) варианты работы установки 22-4

Потоки: I – сырьё; II – газ; III – фр. н.к. – 62 °С; IV – фр. 62-85 °С; V – фр. 85-180 °С; VI – фр. 180 °С – к.к.

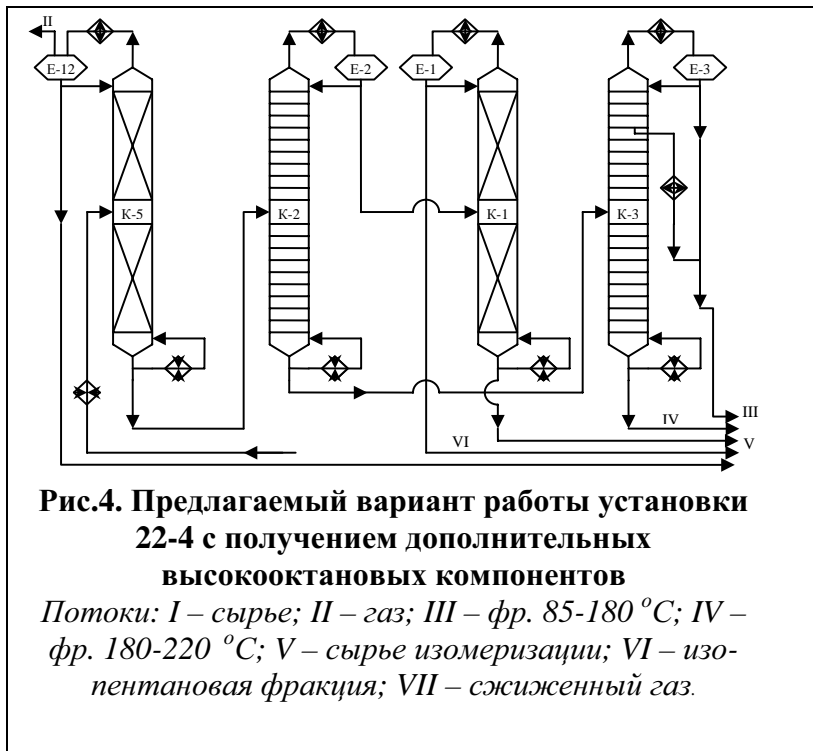
На третьем этапе исследований рассматривалось расширение технологических возможностей установки 22-4 за счёт выработки дополнительных высокооктановых компонентов товарного автобензина в колонне К-1. Дистиллятом колонны К-1 предложено получать бутан-изопентановую фракцию (с октановым числом 85 (ИМ)), остатком – пентан-гексановую фракцию – сырьё установки изомеризации.

В итоге предложена ресурсо-, энергосберегающая технология разделения широкой бензиновой фракции на действующей установке 22-4, базирующаяся на конструктивно-технологическом подходе при интенсификации работы массообменного оборудования и обеспечивающая выработку высокооктанового компонента экологически чистых автобензинов (рис. 4).

**Третья глава** посвящена разработке и промышленной реализации технологии физической стабилизации прямогонного бензина на основе оптимизации конструктивного оформления процесса.

Эти исследования проведены на примере ректификационной колонны К-5 типовой установки 22-4 ОАО «Орскнефтеоргсинтез». Сложность разработки технологии стабилизации заключалась в необходимости обеспечения

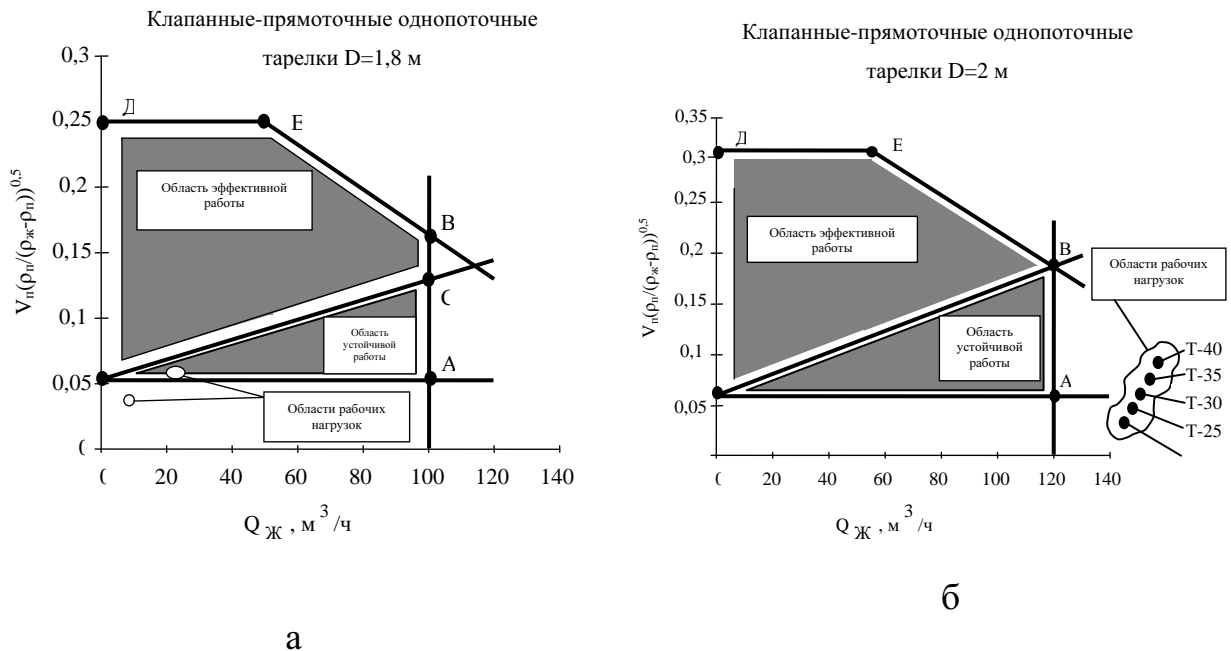
широкого диапазона эффективной и устойчивой работы колонны небольшого диаметра (1,8/2,0м) при загрузке по сырью 80-250т/ч (65-200% от проектной).



Обследование фактической работы колонны К-5, проведенное при минимальной производительности установки по сырью 80 т/ч (65% от проектной) показало, что в этих условиях КПД (относительно теоретической тарелки) клапанных прямооточных тарелок составляют: для укрепляю-

щей части - 35%, а в отгонной части - 20%. Для выяснения причин столь низких КПД, паровые и жидкостные нагрузки, полученные по ходу расчёта были нанесены на область эффективной и устойчивой работы клапанных прямооточных тарелок (рис.5). Как следует из рис.5, даже при минимальной загрузке установки по сырью клапанные прямооточные тарелки в укрепляющей части находятся за пределами области эффективной работы и на границе области устойчивой работы из-за минимальных паровых нагрузок и низких жидкостных нагрузок. Рабочие же нагрузки тарелок отгонной секции находятся за пределами областей эффективной и устойчивой работы из-за чрезмерно высоких жидкостных и низких паровых нагрузок (рис.5).

На втором этапе произведён технологический расчёт процесса стабилизации в колонне К-5 с целью определения пределов изменения технологических параметров и внутренних нагрузок при столь значительных изменениях производительности. В результате получены следующие значения паровых и жидкостных нагрузок: фактор паровой нагрузки (F-фактор)  $0,5-1,2 \text{ Па}^{0,5}$ ; плотность орошения (в расчёте на сечение колонны)  $140-250 \text{ м}^3/\text{м}^2\text{ч}$ .



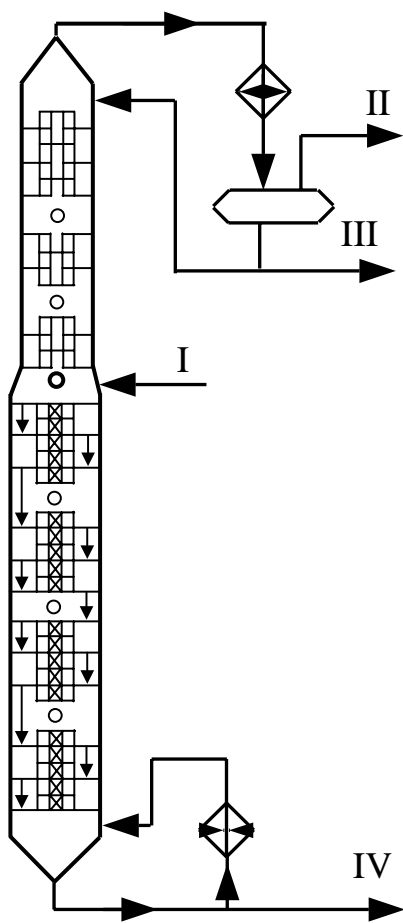
**Рис. 5** Области нагрузок клапанных прямоточных ректификационных тарелок укрепляющей (а) и отгонной (б) секций колонны К-5

- - области рабочих нагрузок тарелок укрепляющей части колонны №№ 1-20;
- - области рабочих нагрузок тарелок отгонной части колонны №№ 21, 25, 30, 35, 40.

Ректификационные тарелки при таких жидкостных нагрузках не работоспособны. Противоточные насадки, как было показано в первой главе, тоже не гарантируют высокую эффективность в сложившемся диапазоне нагрузок. Применяемые ранее конструкции перекрёстноточных насадочных модулей не смогут обеспечить эффективную и устойчивую работу в данном диапазоне. Для обеспечения эффективной работы при максимальных жидкостных и низких паровых нагрузках необходимы принципиально новые контактные устройства.

В ходе дальнейших исследований была впервые разработана конструкция аппарата, в котором предусмотрена возможность секционирования по жидкости при повышении нагрузок. При этом в модулях насадки, расположенных по квадрату, обеспечивается перекрёстноточное контактирование, а внутри квадрата - противоточное контактирование паровой и жидкой фаз. Для этого типа насадочных модулей разработана конструкция распределителей жидкости, обеспечивающая работоспособность при изменении жидкостных нагрузок в 1-3 раза. Общий вид колонны стабилизации прямогонного бензина с перекрёстноточными насадочными модулями в укрепляющей час-

ти и перекрестно-противоточными модулями в отгонной части представлен на рис. 6.



**Рис. 6. Технологическая схема насадочной колонны К-5**

*Потоки: I – широкая бензиновая фракция; II – газ; III – фракция н.к.-62 °С; IV – стабильная бензиновая фракция.*

Технология стабилизации прямогонного бензина в перекрестноточной насадочной колонне К-5 была реализована на установке 22-4 ОАО «Орскнефтеоргсинтез» в марте 2000г. В течение нескольких дней установка была выведена на нормальный технологический режим, обеспечивая переработку широкой бензиновой фракции в диапазоне от 100 до 180 т/ч. На более высокой нагрузке установка не эксплуатировалась в связи с изменением планов по переработке нефти и газового конденсата на заводе.

После реконструкции колонны К-5 были проведены два промышленных обследования работы установки 15.01.01г. и 15.05.01.г., которые показали значительное улучшение качества дистиллята и остатка колонны К-5. В дистилляте колонны К-5 (фр. н.к.-62), практически не осталось угле-

водородов  $C_6$ , содержание которых до реконструкции составляло около 50%. Содержание сероводорода в стабильном бензине стало ниже порога чувствительности при испытании на медную пластинку. Снижение содержания газообразных углеводородов в остатке колонны К-5 обеспечило понижение нагрузки на конденсационные системы колонн К-1 и К-2, что позволило улучшить условия конденсации в этих колоннах и регулирование давления в них. В колонне К-1 резко сократился отбор дистиллята (фр. н.к.-62 °С), что свидетельствует о сокращении энергозатрат на выделение этой фракции, а так же о возможности исключения колонны К-1 из схемы установки. Математическое

моделирование работы колонны К-5 после реконструкции, выполненное по результатам двух проведённых обследований показало, что:

- в укрепляющей секции колонны К-5 при изменении F-фактора в пределах 0,6-0,7 Па<sup>0,5</sup> и плотности орошения от 28 до 36 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>ч) тепломассообменный КПД перекрестноточных насадочных блоков 0,65-0,70;
- в отгонной секции колонны К-5 при изменении F-фактора в пределах 1,2-1,5 Па<sup>0,5</sup> и плотности орошения от 110 до 193 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>ч) тепломассообменный КПД перекрестноточных насадочных блоков колонны К-5 0,50.

Таким образом, в широком диапазоне изменения паровых нагрузок (F-фактор от 0,6 до 1,5 Па<sup>0,5</sup> и жидкостных нагрузок (плотность орошения от 28 до 190 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>ч)) для насадочных модулей колонны К-5 получены значения эффективности (КПД) перекрестноточной и перекрестно-противоточной насадки на уровне 0,5-0,7, что подтверждает широкий диапазон устойчивой и эффективной работы контактных устройств данного типа.

Сравнительный анализ эффективности контактных устройств колонны К-5 до реконструкции, по разработанному проекту и после реконструкции подтверждает увеличение разделительной способности колонны К-5 в результате реконструкции в перекрестноточный насадочный аппарат в 1,6 раза с 11 до 17,7 т.т. (табл.2). Максимальное повышение эффективности зафиксировано в отгонной части колонны, её разделительная способность повышена с 4 до 10 т.т.

**Таблица 2. Сравнительный анализ эффективности контактных устройств колонны К-5 до и после реконструкции**

Секции колонны К-5	до реконструкции			по проекту			после реконструкции		
	кол-во реальн. ступ.	эффек- тивн, %	кол-во теорет. тар.	кол-во реальн. ступ.	эффек- тивн. %	кол-во теорет. тар.	по ре- альн. ступ.	эффек- тивн., %	кол-во теорет. тар.
Укрепляющая секция	20	35	7	11	60	7	11	70	7,7
Отгонная секция	20	20	4	20	50	10	20	50	10
Итого по колонне К-5	40		11	31		17	31		17,7

Основные результаты фактической работы перекрестноточной насадочной колонны К-5, полученные по ходу двух опытно-промышленных об-

следований и математического моделирования технологического режима ее работы показывают, что основная цель внедрения перекрестноточных насадок – повышение производительности колонны по сырью и обеспечение стабильности ее работы в широком диапазоне нагрузок – достигнута в соответствии с проектом.

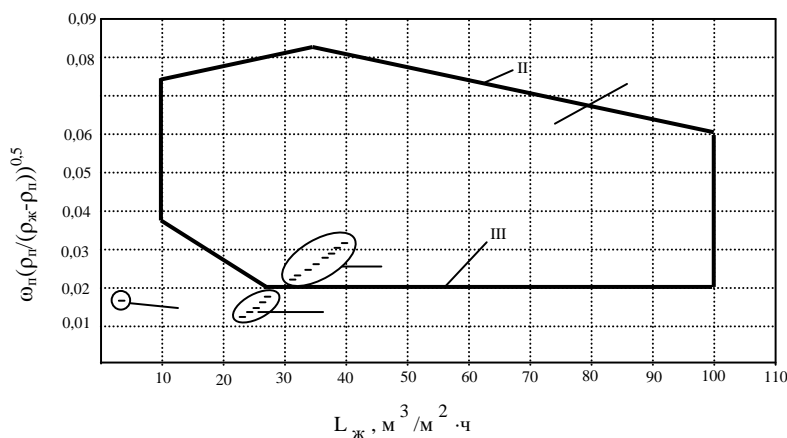
**Четвертая глава** посвящена разработке ресурсо- и энергосберегающей технологии физической стабилизации гидроочищенных бензинов на установках каталитического риформинга с обоснованием применения насадок в процессах под повышенным давлением.

Результаты проведенных нами опытно-промышленных обследований работы установок каталитического риформинга типа Л-35-11/300 показали необходимость повышения разделительной способности колонн физической стабилизации гидроочищенных бензинов. Поскольку их разделительная способность непосредственно определяет количество и качество высокооктановых компонентов для приготовления товарных автобензинов. В процессе стабилизации прямогонных бензинов разница температур кипения компонентов, определяющих границу деления на дистиллят и остаток составляет 28°С, а в процессах стабилизации гидроочищенных бензинов - не более 5°С. Соответственно разделительная способность колонн для стабилизации гидроочищенных бензинов должна быть значительно выше.

Целью проведенных нами исследований по совершенствованию технологии стабилизации гидрогенизата было увеличение фракционирующей способности стабилизационной колонны и изменение материального баланса на этой основе. Сокращение потерь целевых фракций с дистиллятом колонны (фр. н.к.-85°С) позволит увеличить выход стабильного гидрогенизата и в конечном итоге увеличить выход риформата.

На основе результатов обследования и математического моделирования типовой установки ЛГ-35-11/300-95 ОАО «Орскнефтеоргсинтез» определена разделительная способность колонны стабилизации гидроочищенного бензина К-1, оборудованной 30-ю S-образными тарелками (7 в укрепляющей части и 23 в отгонной), которая составила всего 5 т.т. по аппарату. Это связа-

но с тем, что действующие нагрузки для тарелок находятся либо на границе, либо за пределами области эффективной и устойчивой работы S-образных тарелок (рис.7). Для тарелок укрепляющей части (обл. 1) и 7 верхних тарелок отгонной части (обл. 2) – КПД составил 0,10-0,12; для нижних 16 тарелок отгонной части (обл. 3) – 0,20.



**Рис 7. Область эффективной и устойчивой работы S-образных тарелок**

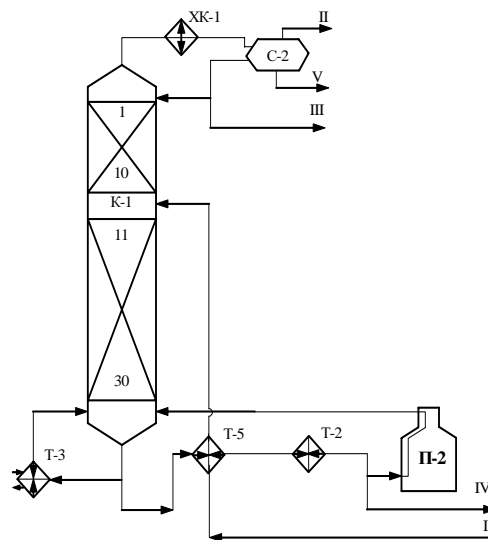
*I-область эффективной и устойчивой работы тарелок; II-верхняя граница области; III-нижняя граница области; 1-область рабочих нагрузок тарелок в укрепляющей части колонны; 2- область рабочих нагрузок 7-ми верхних тарелок отгонной части; 3- область рабочих нагрузок 16-ти нижних тарелок отгонной части.*

Как известно, только в отгонной секции колонны стабилизации необходимо иметь не менее 8 т.т. Поэтому разделительную способность колонны предложено повысить, за счёт соответствующего выбора конструктивного оформления насадочных модулей в складывающемся диапазоне паровых и жидкостных нагрузок и оптимизации технологических параметров. Анализ влияния уровня ввода сырья на качество продуктов разделения колонны К-1, показал целесообразность увеличения количества ступеней разделения в укрепляющей части колонны с 7 до 10, рис.8. При оценке энергозатрат на процесс разделения была выявлена возможность сокращения суммарного теплоподвода, на 3-5%. Расчёты показали, что при повышении фракционирующей способности стабилизатора в 2,5-3 раза увеличение отбора стабильного гидрогенизата составит 6-8% на сырьё установки. Кроме того, из трёх существующих способов создания парового орошения в колонне К-1 целесообразно оставить два: теплоподвод в рибойлере и «горячую струю», исключив подачу водородсодержащего газа (ВСГ). Создание парового потока за счёт ВСГ вызывает резкое снижение температуры жидкости на тарелках отгонной секции и требует увеличения теплоподвода с горячей струей. Для улучшения условий рекупе-

рации тепла было предложено изменение схемы теплообмена. Основные технологические параметры рекомендуемой по проекту технологии стабилизации приведены в табл. 3. По значениям паровых и жидкостных нагрузок выбрана конструкция перекрестноточных насадочных модулей. В итоге проведённых исследований предложена схема технологии стабилизации, которая приведена на рис.9.



**Рис. 8.** Влияние уровня ввода сырья на качество продуктов разделения колонны К-1



**Рис.9.** Принципиальная схема блока стабилизации гидрогенизата  
Потоки: I-жидкая фаза гидрогенизата из С-1; II-у/в газ; III-жидкая фаза; IV-стаб. гидрогенизат; V-вода.

**В пятой главе** приведены результаты модернизации колонн стабилизации гидроочищенных бензинов на установках каталитического риформинга на основе насадочных и тарельчатых контактных устройств, дан сравнительный анализ технико-экономических показателей их работы.

Промышленная реализация технологии стабилизации гидроочищенного бензина в перекрёстноточной насадочной колонне была осуществлена на ОАО «Орскнефтеоргсинтез» во время текущего ремонта установки риформинга Л-35-11/300-95 в сентябре 2003г. Математическое моделирование, проведённое по данным обследования работы насадочной колонны, показало, что её разделительная способность повысилась с 5 до 15,6 т.т., т.е. в 3,1 раза. В укрепляющей части колонны К-1 при низкой паровой нагрузке

(F-фактор 0,36-0,39 Па<sup>0,5</sup>) и очень низкой жидкостной нагрузке (плотность орошения 0,7 -1,1 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>ч) эффективность перекрестноточных насадочных модулей составила 0,8. В отгонной части колонны К-1 в пределах изменения F-фактора 0,23-1,43 Па<sup>0,5</sup> и плотностей орошения 41,9 - 67,5 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>ч, эффективность составила 0,55.

Представляет интерес сравнение фактической работы перекрёстноточной насадочной колонны с результатами модернизации аналогичной колонны, проведённой фирмой «Глитч» с использованием клапанных тарелок. В 1999г. на аналогичной по производительности установке Л-35-11/300 ОАО «Орскнефтеоргсинтез» была осуществлена замена S – образных тарелок на клапанные тарелки фирмы «Глитч». Изменение технологии стабилизации проектом не предусматривалось. Математическое моделирование, проведённое нами на базе данных обследования в 2001г. показало, что разделительная способность колонны увеличилась в 2,8 раза и составила 14 т.т. В пределах изменения паровых нагрузок (F-фактора) от 0,153 до 0,524 Па<sup>0,5</sup> КПД клапанных тарелок укрепляющей части составил 0,52, отгонной части - 0,45. Это обеспечило повышение отбора стабильного гидрогенизата на 6-8% за счёт сокращения потерь бензиновых фракций с газом.

Сопоставление результатов моделирования работы перекрестноточной насадочной колонны установки ЛГ-35-11/300-95 с данными, полученными для колонны с клапанными тарелками фирмы «Глитч» (Л-35-11/300), приведено в табл.3. В этой же таблице приведены показатели работы колонн до реконструкции – с S-образными тарелками и проектные данные для насадочного варианта модернизации. Загрузка установок риформинга в период проведения обследований колонн была на уровне проектной. На рис. 10 приведены данные по отбору и качеству стабильного гидрогенизата, полученного в колоннах с различными типами контактных устройств, а так же по выходу и качеству жидкой части дистиллята фр. (н.к.-85°С) при стабилизации гидроочищенного бензина. После реконструкции обоих колонн выход стабильного гидрогенизата повысился на 8%. Однако более высокая разделительная способность перекрестноточной насадочной колонны позволяет, в то же время,

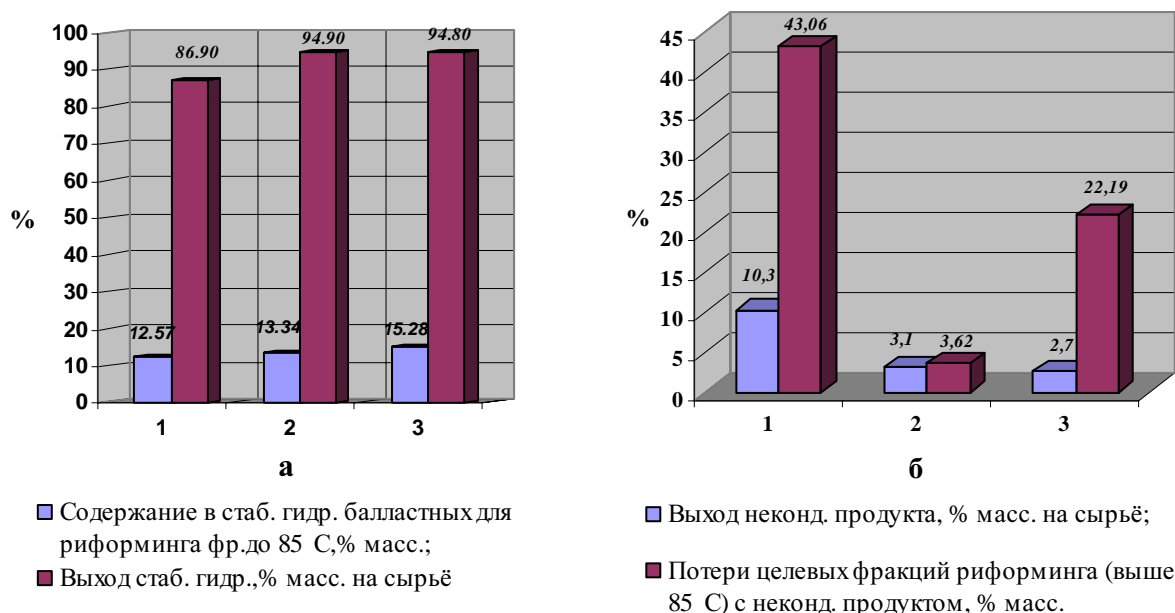
значительно сократить потери целевых фракций риформинга с дистиллятом (3,6 и 22,2 % масс., соответственно, рис.10).

**Таблица 3. Показатели работы тарельчатых и насадочных колонн физической стабилизации гидрогенизата на установках риформинга**

Параметры	Колонна с S-образн. тарелками	Проект насадочн. колонны (ПТНК)	Фактич. показ. работы (ПТНК)	Колонна с клапанн. тар. Ф. «Глитч»
<b><u>Избыточное давление, МПа:</u></b>	<b><i>ЛГ-35-11/300-95</i></b>			<b><i>Л-35-11/300</i></b>
верха колонны	0,88	0,95	0,87	1,0
в сепараторе С-2	0,83	0,9	0,76	0,9
<b><u>Температура, °С:</u></b>				
сырья на входе в колонну	110	115	115	118
верха колонны К-1	126	122	103	115
низа колонны К-1	184	200	204,5	217
острого орошения	42	40	31	35
горячей струи на входе в К-1	230	225	228	225
<b><u>Расход, % на сырьё</u></b>				
сырьевого потока в К-1	100	100	100	100
острого орошения	10,0	20,3	1,7	13,5
горячей струи	29,4	24,5	24,5	40,4
ВСГ	2,3	---	---	1,7
<b><u>Суммарный удельный теплоподвод, Гкал/(ч*т)</u></b>	<b>0,159</b>	<b>0,159</b>	<b>0,126</b>	<b>0,151</b>
<b><u>Общее паровое число, кг/кг</u></b>	<b>0,87</b>	<b>1,12</b>	<b>0,74</b>	<b>1,05</b>
<b><u>Флегмовое число</u></b>	0,79	2,99	0,40	3,24
Доля отгона сырья	0,069	0,074	0,011	0,076
<b><u>Отбор, % на сырьё</u></b>				
газа из С-2( без ВСГ)	2,8	2,8	2,0	2,5
жидкой фазы из С-2	10,3	4,0	3,1	2,7
стабильного гидрогенизата	86,9	93,2	94,9	94,8

Данные промышленно-экспериментальных исследований процесса разделения в этих аппаратах показывают следующее:

- в результате промышленной реализации технологии стабилизации в перекрестноточном насадочной аппарате достигнуты более высокие показатели работы колонны по сравнению с проектными данными;
- и в насадочной и в тарельчатой колонне реализована ресурсосберегающая технология разделения, поскольку за счёт повышения разделительной способности обеспечено увеличение отбора стабильного гидрогенизата на 8%;



**Рис10. Выход и качество стабильного гидрогенизата (а) и дистиллята (фр. н.к.-85°С) (б) при стабилизации гидроочищенного бензина в колоннах с различными типами контактных устройств**

1-S-образные тарелки; 2-перекрестноточная насадка; 3-клапанные тарелки фирмы Глитч.

- разработанная технология стабилизации в насадочном аппарате является энергосберегающей по сравнению с колонной, оборудованной клапанными тарелками, поскольку высокая эффективность и стабильность работы обеспечивается при значительно меньших удельных затратах тепла (на 16,5%) и затратах на перекачку острого орошения и горячей струи;
- при близких отборах стабильного гидрогенизата доказана более высокая эффективность перекрестноточной насадки по сравнению с клапанными тарелками фирмы «Глитч», поскольку для достижения той же разделительной способности в колонне с тарелками требуются более высокие паровые (в 1,4 раза) и флегмовые числа (в 8 раз).

Таким образом, для реализации ресурсо-энергосберегающих технологий доказана целесообразность реконструкции ректификационных колонн, работающих под высоким давлением на насадочный вариант работы.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Разработана технология физической стабилизации и последующего чёткого разделения широких бензиновых фракций в системе ректификацион-

- ных колонн с частично связанными потоками, позволяющая существенно увеличить производительность установок.
2. Для расширения диапазона устойчивой и эффективной работы колонн в условиях высоких жидкостных нагрузок предложена конструкция насадочных модулей с перекрёстно-противоточным контактом и секционированием фаз в объёме регулярной насадки. На базе этих модулей разработана энергосберегающая технология стабилизации широкой бензиновой фракции с её последующим разделением на узкие фракции в системе из двух или трёх насадочных колонн, обеспечивающая увеличение ассортимента за счёт получения изопентановой фракции и сырья процесса изомеризации.
  3. Технология стабилизации реализована в 2000 г. на установке четкой ректификации 22-4 ОАО «Орскнефтеоргсинтез». В отгонной секции колонны впервые смонтированы секционированные по жидкости перекрёстно-противоточные насадочные модули. Внедрение данной технологии позволило расширить диапазон устойчивой работы колонны стабилизации в 1,5-3 раза, повысить её фракционирующую способность в 1,6 раза и сократить потери бензиновых фракций с газом на 1,4 %. Экономический эффект от внедрения составил 35,54 млн. руб. по ценам 2004г.
  4. По данным промышленных испытаний определена тепло-массообменная эффективность модулей перекрёстноточной и перекрёстно-противоточной насадки в условиях процессов стабилизации прямогонных бензиновых фракций. КПД перекрёстноточных насадочных модулей в укрепляющей части колонны составил 0,7. КПД перекрёстно - противоточных модулей в условиях диспропорциональных нагрузок (высоких жидкостных и низких паровых), свойственных отгонной секции колонны, составил 0,5.
  5. На основе использования конструктивно-технологического подхода, предполагающего одновременную оптимизацию технологических и конструктивных параметров, разработана и внедрена в 2003 г. на установке ЛГ-35-11/300-95 ОАО «Орскнефтеоргсинтез» ресурсо - энергосберегающая технология стабилизации гидроочищенного бензина

каталитического риформинга, базирующаяся на применении перекрестноточных насадок. Внедрение данной технологии обеспечило повышение выхода катализата риформинга на 4,3% масс. в расчёте на сырьё установки. Экономический эффект от внедрения в ценах 2004 года составил 2,2 млн. рублей.

6. Промышленным обследованием и последующим технико-экономическим анализом результатов внедрения колонн стабилизации гидроочищенного бензина на установках каталитического риформинга показано, что по сравнению с клапанными тарелками фирмы «Глитч», высокая эффективность и стабильность работы перекрёстноточной насадочной колонны обеспечивается при значительно меньших удельных затратах тепла (на 16,5%).

#### **Публикации по теме диссертации:**

1. Богатых К.Ф., Костюченко В.П., Чуракова С.К. и др. Моделирование и оптимизация технологии фракционирования отбензиненной нефти в насадочной колонне К-2 установки АВТ по результатам обследования. // В кн.: Методы кибернетики химико-технологических процессов. Тез. докл. V Междун. научн. конф. -Т.2, кн. 1.- Уфа, 1999.- с.54-56.
2. Богатых К.Ф., Костюченко В.П., Нестеров И.Д. и др. Увеличение выработки светлых нефтепродуктов на установках первичной переработки нефти. Издание п.-1. - с.110.
3. Боков А.Б., Богатых К.Ф., Костюченко В.П. и др. Проектирование ректификационных колонн с учетом их динамических характеристик. В сб. научн. работ// Материалы 6 Междун. научно-практ. конференции «Нефть и газ Украины – 2000».- т.3.- Ивано-Франковск, 2000.- с.282-283.
4. Боков А.Б., Пилюгин В.В., Богатых К.Ф., Костюченко В.П. Исследование влияния технологических параметров работы колонны К-1 на работу колонны К-2 на основе динамической модели работы установок АТ и АВТ // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2000.- № 11. – С. 10-17.
5. Чуракова С.К., Костюченко В.П., Богатых К.Ф. и др. Совершенствование технологии четкой ректификации широкой бензиновой фракции на базе интенсификации работы колонного оборудования установки 22-4 ОАО «Орскнефтеоргсинтез» // В кн.: Матер. II междунар. конф. «Теория и практика массообменных процессов химической технологии» (Марушкинские чтения), Уфа, 2001. – с.8-17.
6. Чуракова С.К., Нестеров И.Д., Костюченко В.П. и др. Технология стабилизации дизельного топлива в перекрестноточной насадочной колонне на установке ЛЧ-24-2000 ОАО «Орскнефтеоргсинтез». Изд.–п.5.- с.17-21.
7. Чуракова С.К., Костюченко В.П., Нестеров И.Д. и др. Оценка эффективности работы секционированных по жидкости перекрестноточных насадоч-

- ных контактных модулей в процессе стабилизации бензина. // В кн.: Матер. VI междунар. конф. по интенсиф. нефтехим. процессов «Нефтехимия – 2002».- Нижнекамск, 2002.- с.62-64.
8. Чуракова С.К., Костюченко В.П., Нестеров И.Д. и др. Технология стабилизации гидроочищенной бензиновой фракции в перекрестноточной насадочной колонне на установке ЛГ-35-11/300 ОАО «Орскнефтеоргсинтез» // В кн.: Матер. Научно-практической конф. «Нефтепереработка и нефтехимия -2002».- Уфа: Изд-во ИНХП, 2002.- с. 119-120.
  9. Костюченко В.П., Чуракова С.К., Баев А.В. и др. Получение изопентановой фракции и сырья изомеризации в насадочной колонне на установке четкой ректификации бензина // В кн.: Докл. первых межд. научн. Надировских чтений «Научно-технол. развитие нефтегаз. комплекса».- Алматы-Атырау: Изд-во Минобраз. и науки респ. Казахстан, 2003.- с. 180-185.
  10. Костюченко В.П., Чуракова С.К. Обоснование необходимости реконструкции колонны стабилизации гидроочищенного бензина на насадочный вариант работы//В кн.: Матер. научно-практ. конф. «Современное состояние проц. переработки нефти».-Уфа:Изд-во ГУП ИНХП, 2004.- с.145-147.
  11. Костюченко В.П. Результаты реконструкции колонны стабилизации гидроочищенного бензина на установке каталитического риформинга. Издание - п.10.- с.148-149.
  12. Богатых К.Ф., Чуракова С.К., Костюченко В.П. Конструктивно-технологический подход к выбору контактных устройств для реализации ресурсо-энергосберегающих технологий // Материалы международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы технических, естественных и гуманитарных наук».- УГНТУ. - Уфа.-2005.-с.65-68.