

На правах рукописи



ФАН ФУ

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПРИГОТОВЛЕНИЯ
АВТОМОБИЛЬНЫХ БЕНЗИНОВ НА ОСНОВЕ УЧЕТА
УГЛЕВОДОРОДНОГО СОСТАВА ПАРАФИНИСТЫХ НЕФТЕЙ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ ВЬЕТНАМА**

05.17.08 – «Процессы и аппараты химических технологий»

АВТОРЕФЕРАТ

Диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Томск – 2013

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

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Иванчина Эмилия Дмитриевна

Официальные оппоненты: **Коробочкин Валерий Васильевич,**
доктор технических наук, профессор,
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Заведующий кафедрой ОХТ
Фетисова Вероника Александровна,
кандидат технических наук, инженер отдела
концептуального проектирования и технико-
экономического анализа проектов (ОКПи
ТЭАП) ОАО «ТомскНИПИнефть»

Ведущая организация: Алтайский государственный технический университет И.М. Ползунова, г. Бийск.

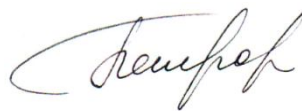
Защита диссертации состоится «23» декабря 2013г. в 14-00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.269.08 при Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

По адресу: 634050, Томск, пр. Ленина, 43, корпус 2, 117 ауд.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Автореферат разослан «21» ноября 2013 г.

Ученый секретарь
диссертационного
совета Д 212.269.08



Петровская Т.С.

Общая характеристика работы

Актуальность работы

Одной из основной задач, стоящих перед промышленными процессами нефтепереработки на современном этапе её развития является повышение эффективности переработки нефти и качества выпускаемых нефтепродуктов. В решении этой задачи большая роль отводится оптимизация процесса приготовления автомобильных бензинов, который является завершающим и наиболее ответственным в формировании качественных и количественных показателей товарной продукции.

Современные автомобильные бензины представляют собой смеси компонентов, получаемых различными технологическими процессами. Физико-химические и товарные свойства автомобильных бензинов зависят от углеводородного состава сырья и технологии их получения. Актуальным сегодня является определение оптимальных рецептур смешения компонентов и аппаратного оформления процессов, которые зависят от углеводородного состава перерабатываемого сырья, а также структуры потребления отдельных нефтепродуктов.

В процессе компаундирования высокооктановых автомобильных бензинов вовлекается большое число компонентов углеводородные потоки (рифформат, изомеризат, бензин каталитического крекинга, бутан-бутиленовая фракция (углеводороды C_4), метил-трет-бутиловый эфир (МТБЭ)). Наличие такого большого числа компонентов приводят к сложностям оптимизации состава потоков и конструкции аппаратов. Решение этой многоплановой задачи возможно с использованием метода математического моделирования, который в настоящее время является актуальным научным направлением для оптимизации схемы эксплуатации промышленных заводов, как эффективного способа решения многофакторных и многокритериальных задач.

Требования, предъявляемые сегодня к высокооктановым автомобильным бензинам, предусматривают выпуск только неэтилированных бензинов, а также ограничение на содержание ароматических углеводородов, бензола, олефинов и непредельных углеводородов.

Дальнейшее совершенствование процесса приготовления автомобильных бензинов возможно оптимизацией рецептур смешения и схемы переработки, которая зависит от углеводородного состава нефти. При переработке парафинистых нефтей повышается значимость процесса

депарафинизации дизельных фракций и изомеризации прямогонных бензинов.

Ранее, на кафедре Химической технологии топлива и химической кибернетики Национального исследовательского Томского политехнического университета была разработана компьютерная моделирующая система, позволяющая рассчитать октановые числа на основе учета межмолекулярных взаимодействий между углеводородами бензиновой смеси. Дальнейшие исследования показали, что для оптимизации процесса приготовления товарных бензинов необходимо учитывать комплексные характеристики бензинов, такие как плотности, вязкости, давление насыщенных паров, содержание бензола и ароматических углеводородов. Возникла необходимость создания новых компьютерных систем, которые позволяют рассчитывать все физико-химические свойства компонент смесей, а также оптимизировать структурную схему процессов приготовления товарных бензинов.

Данная работа выполнена в соответствии с Программой развития ГОУ ВПО НИ ТПУ, в рамках научного направления Томского политехнического университета «Разработка научных основ математического моделирования и оптимизация технологий подготовки и переработки горючих ископаемых и получения энергетических топлив».

Цель и задачи работы

Целью работы является оптимизация процесса приготовления автомобильных бензинов с использованием метода математического моделирования на основе учета углеводородного состава парафинистых нефтей месторождений Вьетнама.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- Исследование физико-химических свойств нефтяных углеводородных систем, используемых в процессах производства бензинов.
- Создание банка данных по математическим моделям расчета физико-химических свойств компонентов топливной смеси для приготовления бензинов.
- Определение оптимального компонентного состава потоков смешения с установок риформинга и изомеризации для приготовления низкооктановых бензинов, которые по содержанию ароматических углеводородов, олефинов, плотности, вязкости и давлению насыщенных паров соответствуют стандартам Вьетнама.
- Расчет различных вариантов структуры потоков в аппаратах приготовления товарных бензинов.

Научная новизна

1. Установленные закономерности процесса приготовления автомобильных бензинов из парафинистых нефтей месторождений Вьетнама обеспечили создание и применение системы моделирования, что позволило увеличить глубину превращения сырья на 2–3 %.
2. Установлено, что для оптимизации процесса приготовления товарных бензинов при переработке высокопарафинистых нефтей, необходимо увеличить глубину переработки пентан-гексановой фракции за счет изменения структуры реакторного блока. Установлен интервал изменения доли рециркулята в расходе (19,0–25,4 % мас.) при изменении содержания алканов в исходном потоке (от 27,23–28,93 % мас.)
3. Установлено, что низкооктановые бензины MOGAS 90, MOGAS 92, MOGAS 95 по содержанию бензола, ароматических углеводородов, олефинов, плотности, вязкости и давлению насыщенных паров соответствуют стандартам Вьетнама. Для производства бензинов Премиум-95 (Евро 4), Супер-98 (Евро 5) необходимо вовлечение в процесс смешения метил-трет-бутиловый эфир в количестве от 3 до 11 % в зависимости от углеводородного состава перерабатываемого сырья и технологических режимов процессов каталитического крекинга, рифоминга и изомеризации.

Практическая ценность.

1. Разработана и внедрена на предприятиях ПетроВьетнам Компании Вьетнама компьютерная моделирующая система для расчета основных показателей компаундируемых потоков, таких как плотность, вязкость, давление насыщенных паров, а также их расходов при приготовлении бензинов требуемых марок. Разработанная система позволяет выполнять прогноз технологических параметров для изучения физико-химических характеристик и для оценки их влияния на процессы переработки, что позволяет предусмотреть необходимые меры по предотвращению технических и экологических проблем.
2. Технологическая моделирующая система, учитывающая индивидуальный углеводородный состав, позволяет оценить эффективность переработки бензиновых фракций в процессах изомеризации и компаундирования. Концентрации индивидуальных углеводородов фракции н.к–62 °С используется в качестве входных параметров в программе расчета процесса каталитической изомеризации, продуктом которой является высокооктановые изокомпоненты, применяемые для приготовления бензина.
3. Показано, что система моделирования адекватно описывает функциональные зависимости свойств углеводородов от технологических

условий. Программная реализация алгоритма осуществлена в среде Delphi 7.0, с использованием которой проведена оценка физико-химических свойств и товарных свойств нефтепродуктов. Погрешность расчетов не превышает 4 – 5 %, что сопоставимо с погрешностью хроматографического анализа.

4. Программный продукт реализует способ обработки экспериментальных данных, позволяющий оперативно проводить расчеты физико-химических свойств нефти. Модульный принцип построения компьютерной моделирующей системы обеспечивает возможность накопления и систематизации информации. Результаты внедрены на предприятиях ПетроВьетнам и «ЗунгКуат НПЗ» Вьетнама, получен акт о внедрении.

5. Разработанная компьютерная моделирующая система реализована также на кафедре Химической технологии топлива и химической кибернетики Национального исследовательского Томского политехнического университета и внедрена в учебный процесс для проведения лабораторных работ по дисциплине «Компьютерные моделирующие системы», курсового и дипломного проектирования для специальности «Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов».

На защиту выносятся

- Компьютерная моделирующая система для расчета физико-химических свойств реагентов в процессах превращение нефтяных углеводородных систем и процесса компаундирования для расчета оптимальной рецептуры приготовления автомобильных бензинов на заводе «ЗунгКуат НПЗ» Вьетнама.
- Компонентный состав потоков смешения для производства бензинов Премиум-95 (Евро 4), Супер-98 (Евро 5).
- Результаты оптимизации расходов потоков смешения в зависимости от углеводородного состава перерабатываемого сырья. Октановое число продукта может увеличиться на 2-3 пункта при изменении расхода рециркулята в зависимости от углеводородного состава перерабатываемого сырья.
- Оптимальные расходы рециркулята процесса изомеризации пентан-гексановой фракции при переработке парафинистых нефтей.

Апробация работы

Основные результаты работы докладывались и обсуждались на:

Всероссийской научно-практической конференции студентов и аспирантов «Химия и химическая технология в XXI веке» (г. Томск, 2010), XV и XVII Международных научных симпозиуме имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых «Проблемы геологии и освоения недр» (г.

Томск, 2011, 2013), II и III Всероссийских научно-практических конференциях «Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов российских вузов» (г. Томск, 2009, 2010), I Международной Российско-Казахстанской конференции по химии и химической технологии (г. Томск, 2011).

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 12 работ, в том числе 3 статьи в журналах из списка ВАК, материалы 9 докладов в трудах международных и российских конференций, получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, № 2009614377, имеется акт о внедрении.

Личный вклад. Разработка способа оптимизации процесса приготовления бензинов, который заключается в создании и применении моделирующей системы для расчета комплексного влияния состава смешиваемого бензина на его показатели, программная реализация и проведение расчетов различных вариантов состава бензина и структуры потоков химической схемы.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, выводов, списка литературы и приложения. Диссертация изложена на 133 страницах машинописного текста, содержит 22 рисунка, 29 таблицы, библиография включает 109 наименований.

Основное содержание работы

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы цель и основные задачи исследования, раскрыта научная новизна и практическая значимость работы, описана структура диссертации.

В первой главе приведен краткий обзор литературы по методам расчета физико-химических свойств реагентов в процессах превращения нефтяных углеводородных систем и приготовления товарного бензина, а также обзор методов исследования химического состава нефтяных фракций.

Теоретическую основу исследования составили научные труды отечественных и зарубежных авторов: Смышляева Ю.А., Корниенко А.В., Ахметов С. А., Соловьев А. С., Емельянов В.Е., Коханов С.И., Яковлев А.А., Карманова Т.В., Нгуенг В.Т., Абдуллахи Х.М., Азев В.С., Туровский Ф.В., Сайфуллин Н.Р., Киладзе Т.К., Буй Ч.Х., Сусарев С.В. и др.

Выполнен анализ современного состояния методов анализа физико-химических свойств (ФХС) углеводородных систем. Применительно к

нефтехимической технологии предложены и находят достаточно широкие применение приближенные модели для расчета ФХС - плотности, вязкости и давления насыщенных паров нефтяного сырья и продуктов переработки. Рассмотрены различные способы и математические методы обработки информации.

Давление насыщенных паров нефти и нефтепродуктов характеризует их испаряемость, наличие в них легких компонентов, и растворенных газов. Оно резко увеличивается с повышением температуры.

Ужесточение требования к бензинам в последние годы направлено на ограничения содержания в бензинах бензола, олефинов и ароматических углеводородов, а также на улучшение детонационных свойств.

Проблема оптимизации процесса приготовления автомобильных бензинов как многофакторной системы сводится к отсутствию надежных систем моделирования, позволяющих с высокой точностью рассчитывать компонентный состав смесового бензина требуемой марки.

Во второй главе представлены результаты сравнительного анализа математических моделей для расчета физико-химических свойств углеводородных смесей в процессе приготовления автомобильных бензинов.

Товарные качества нефти и нефтяных фракций характеризуются фракционным и химическим составом, а также другими показателями их физико-химических свойств, которые входят в ГОСТы на товарные нефтепродукты и непосредственно характеризуют их эксплуатационные свойства. Знание показателей физико-химических свойств нефти и её фракций необходимы для проектирования нефтезаводской аппаратуры, лабораторного контроля и автоматического регулирования технологических процессов нефтепереработки.

Стремление заменить экспериментальное изучение свойств соединений математическими моделями объясняется тем, что количественный расчет позволяет обойти технические трудности, возникающие при экспериментальном изучении процессов приготовления товарных бензинов. Наличие надежных расчетных методов и построенных на основе их использования систем моделирования позволяет решить одну из главных задач химической технологии – получение продуктов с требуемым набором физико-химических характеристик. С нарастанием системной сложности химических технологий становится объективно необходимым развитие методов автоматизированного управления технологическими процессами и предприятием в целом.

Расчет плотности нефтяных углеводородных систем является важным этапом оценки показателей качества нефтей. Плотность зависит от фракционного и углеводородного состава нефти.

Определение плотности нефтяного сырья можно проводить при любой температуре (ρ_4^t), а затем вычислить значение (ρ_4^{20}), при этом используются различные алгоритмы определения плотности. В работе показано, что с удовлетворительной степенью точности расчет плотности смеси углеводородов можно выполнять по правилу аддитивности, так как требуемый интервал по этой характеристики превышает погрешность расчета:

$$\rho_{\text{ср}} = \frac{\rho_1 \cdot V_1 + \rho_2 \cdot V_2 + \dots + \rho_n \cdot V_n}{V_1 + V_2 + \dots + V_n} \quad (1)$$

где ρ_1, ρ_2, ρ_n – плотность каждого компонента при постоянных условиях;
 V_1, V_2, V_n – объемная доля каждого компонента.

Дальнейшие исследования показали, что для создания моделирующей системы процесса приготовления бензинов необходимо наличие банка моделей для расчета физико-химических свойств смесей. Выполнен анализ применения формулы Менделеева Д.И. для расчета свойств товарных бензинов и жидких нефтепродуктов. Показано, что эта формула применима в сравнительно узком интервале температур от 0 до 50 °С и для фракций, содержащих относительно небольшие количества парафинов и ароматических углеводородов. В связи с этим для расчета относительной плотности жидкофазных углеводородов рекомендовано использовать высокоадекватную модель Матиаса.

Таблица 1 – Сравнение экспериментальных и расчетных значений плотности углеводородов

Углеводороды	Плотность при 20 °С, кг/м^3	Температура кипения, °С	Плотность, кг/м^3 Эксперимент	Плотность, кг/м^3 Расчет	
				По формуле Менделеева	По формуле Матиаса
Пентан	626,3	36,45	609,7	609,7	609,3
Гексан	659,5	68,75	612,7	612,7	611,9
Гептан	683,7	98,25	611,1	611,2	609,8
Октан	702,8	125,65	607,5	607,6	605,1
Нонан	718,0	150,85	602,7	602,8	598,4

Продолжение таблицы 1

Декан	730,0	173,95	596,8	596,9	589,9
Ундекан	740,0	195,85	590,2	590,4	580,2
Додекан	750,0	216,05	585,6	585,8	572,3
Тридекан	756,8	235,25	578,2	578,4	560,9
Тетрадекан	762,0	253,35	570,0	570,2	548,0
Пентадекан	768,9	270,45	565,1	565,4	538,8
Изобутан	557,2	-11,65	591,6	591,6	594,3
Изопентан	619,7	27,85	611,6	611,6	611,4
2,2-диметилбутан	649,2	49,75	620,2	620,2	619,9
2,3-диметилбутан	661,6	58,05	625,13	625,17	625,04
2-метилпентан	653,2	60,35	614,09	614,13	613,49
3-метилпентан	664,4	63,35	623,0	623,1	622,8
2- метилгексан	678,6	89,9	613,3	613,4	612,3
2,3-диметилпентан	695,1	89,63	631,6	631,6	631,9
3-метилгексан	687,1	91,7	620,9	621,0	620,5
Бензол	878,9	80,25	838,6	838,6	848,6
Толуол	865,5	109,91	803,8	803,8	815,3
Этилбензол	880,0	136,19	802,5	802,6	815,4
Метаксилол	864,2	138,95	782,4	782,5	794,0
Параксилол	861,0	138,25	779,1	779,2	790,5
Ортоксилол	880,2	144,25	797,3	797,4	810,1
Циклопентан	771,9	49,35	748,0	748,0	751,5
Циклогексан	779,0	80,75	730,3	730,3	735,9
Метилциклопентан	748,6	71,95	704,84	704,89	708,77
Метилциклогексан	769,4	100,93	703,53	703,61	708,78
Этилциклопентан	766,4	103,47	698,13	698,22	703,12

Погрешность расчета при использовании данных методик составляет 3– 4 %.

Давление насыщенных паров (ДНП) – является важным свойством бензина, характеризует физико-химическую сущность фазовых переходов и энергетику межмолекулярного взаимодействия углеводородов. Этот показатель определяет также эксплуатационные свойства нефтепродуктов.

С повышением температуры ДНП возрастает и при критической температуре принимает максимальное значение. При этом наблюдается равновесие между жидкой и паровой фазами. ДНП нефтяных фракций зависит от температур кипения углеводородов и плотности. Для узких фракций нефти можно с известной степенью приближения считать $P_T=f(T, T_{\text{кип}})$. На этом базируются различные формулы (Антуана, Кокса, Максвелла, Билла, ЮОП и др.). Выполненные исследования показали, что методика Ашворта позволяет с достаточной степенью точности определять ДНП товарных бензинов.

Для разработки более адекватной термической модели ДНП в качестве исходной математической функции принято выражение Антуана при известных константах (A , B , C), зависящих от природы вещества и от температуры кипения:

$$\lg P_T = A - B / (T - 273,15 + C) \quad (2)$$

где T – температура, °C; A , B , C – константы, зависящие от природы вещества и от температуры.

В ходе работы для определения ДНП углеводородных систем поведено сравнение моделей Антуана и Ашворта (табл. 2). Показано, что для расчета физико-химических свойств потоков ДНП может быть использовано правило аддитивности:

$$\text{ДНП}_i = \sum_{i=1}^n \text{ДНП}_i \cdot C_i. \quad (3)$$

Исследования показали, что вязкость является важным свойством смесового бензина.

Таблица 2 – Результаты расчета вязкости и давления насыщенных паров индивидуальных углеводородов

Углеводороды	Плотность при 20 °C, кг/м^3	Температура кипения, °C	Вязкость, П.с	Давления насыщенных паров, кПа	
				По формуле Антуана	По формуле Ашворта
Этан	545,9	-88,63	0,311	13,216	12,872
Пропан	501,1	-42,05	0,473	12,890	10,242
Бутан	578,9	-0,95	0,757	3,554	2,121
Пентан	626,3	36,45	0,876	1,079	3,321
Гексан	659,5	68,75	1,480	0,343	1,232
Гептан	683,7	98,25	3,867	0,113	1,231
Октан	702,8	125,65	5,995	0,039	0,101
Изобутан	557,2	-11,65	1,453	4,969	5,450
Изопентан	619,7	27,85	1,364	1,436	1,232
2,2-диметил бутан	649,2	49,75	0,219	0,682	0,837
2,3-диметил бутан	661,6	58,05	42,33	0,513	1,109
2-метил пентан	653,2	60,35	0,485	0,468	0,234

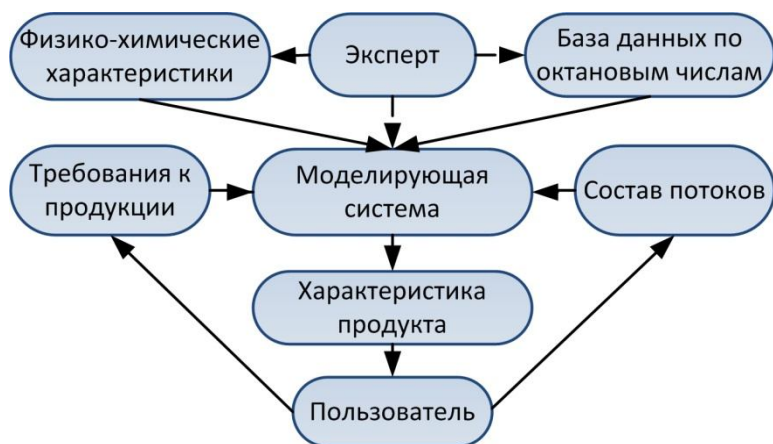
Полученные результаты имеют удовлетворительную сходимость с экспериментальными значениями. Наибольшая точность была достигнута при использовании формулы Антуана.

В третьей главе с использованием разработанной моделирующей системы рассмотрены вопросы повышения ресурсоэффективности процесса приготовления автомобильных бензинов. Приведен сравнительный анализ существующих Российских и Вьетнамских моделирующих систем.

Структура созданной моделирующей системы – это взаимосвязанные между собой блоки. В структуру моделирующей системы входит база данных по октановым числам и физико-химическим характеристикам нефтяных фракций (рисунок 1).

Эксперт имеет возможность корректировать базу данных и моделирующую систему. В зависимости от состава смешиваемых потоков и требований к продукции моделирующая система проводит расчет свойств смесового бензина. Пользователь для корректирования результатов может выбирать требования к получаемым автомобильным бензинам и изменять состав потоков смешения.

Активное окно для входа в программу содержит основные характеристики процесса приготовления автомобильных бензинов: состав сырья, данные по октановым числам, температуры кипения углеводородов и т.д. Они позволяют осуществлять расчет детонационной стойкости, значения давления насыщенных паров, плотности и вязкости, как отдельных потоков, так и их смеси с присадками и добавками. Также разработанный программный продукт позволяет рассчитывать оптимальную рецептуру смешения компонентов для получения товарного бензина требуемой марки.



Выходное активное окно программы содержит состав и расход выходного потоков, показали свойств – октановое число, давления насыщенных паров, плотность, вязкость каждого компонента.

Рисунок 1. Структура моделирующей системы.

Сравнение экспериментальных и расчетных значений физико-химических свойств потоков смешения (плотности, вязкости, давления насыщенных паров и октановых чисел) имеют удовлетворительную сходимость с экспериментальными значениями, следовательно, данную

моделирующую систему возможно использовать для расчета компонентного состава и свойств автомобильных бензинов (табл. 3, 4).

Таблица 3 – Сравнение экспериментальных и расчетных значений плотности для Российских НПЗ

Показатель	Стабильный изомеризат	Фр. Нк.-80 °С	Стабильный катализат
Плотность при 15°C, кг/м^3 , ASTM 4052			
Эксперимент	653,5	664,1	783,2
Расчет	623,8	632,2	730,2
Погрешность, %	4,76	5,05	7,25

Таблица 4 – Сравнение экспериментальных и расчетных значений октановых чисел для Российских НПЗ

Октановое число	Стабильный катализат установка 35/11-300 ОАО «Новокуйбышевский НПЗ»	Стабильный катализат установка ЛЧ-35/11-600 ОАО «Сызранский НПЗ»	Стабильный катализат ОАО «Куйбышевский НПЗ»
Эксперимент	94,5	95,5	96
Расчет	93,95	96,78	95,54
Погрешность, %	0,58	1,34	0,48

В работе выполнен расчет состава и свойств бензинов с учетом требований современных стандартов, предъявляемых к физико-химическим свойствам бензинов, достигнуты удовлетворительные результаты. Выполнена также корректировка компонентных составов и характеристик бензинов, производимых на ОАО «Сызранский НПЗ» (табл. 5). Все бензины соответствуют требованиям регламента.

Таблица 5 – Состав и свойства бензинов ОАО «Сызранский НПЗ» (расчет на модели)

Наименование			Регуляр-92	Премиум-95	Супер-98
Потоки	Бензин КАС	% мас.	15	15	11
	Катализат		49	49	49
	Фракция 35-70 °С		21	13	10
	Н-бутан		5	5	10
	Изобутан		5	10	5
	МТБЭ		5	8	15
Состав	Ароматические углеводороды		34	21	24
	Бензол		3	1	1
	Олефины		4	11	13

Свойства	ДНП, $\kappa\text{Па}$	64,48	63,90	70,78
	Плотность, $\kappa\text{г/м}^3$	690	700	723
	Вязкость, Па.с	4,0	3,56	4,0
	ИОЧ	92	95	98
	МОЧ	83	85	88

Во Вьетнаме имеются два основных нефтяных месторождения Белый Тигр и Черный Лев, нефть которых поступает на переработку на заводе «ЗунгКуатНПЗ» Вьетнама. Особенность нефти, которую добывают во Вьетнаме, заключается в высоком значении плотности, небольшом содержании сернистых соединений, а также в высоком содержании парафиновых углеводородов. Для получения автомобильных бензинов на заводе «ЗунгКуат НПЗ» Вьетнама проводится компаундирование четырех потоков смешения: Риформат, изомеризат, бензин каталитического крекинга и бутан-бутиленовая фракция.

Основные характеристики данных потоков приведены в таблице 6. Вариант 2 от варианта 1 отличается вовлечением в переработку нефти месторождения «Черный Лев».

Таблица 6 – Состав и свойства потоков, вовлекаемых в производство бензинов на заводе «ЗунгКуат НПЗ» Вьетнама

Наименование		Углеводороды C_4	Изомеризат		Риформат		Крекинг-бензин	
			Вариант 1	Вариант 2	Вариант 1	Вариант 2	ВН	МХ
Свойства	ИОЧ	97,14	86,52	88,08	102,48	102,55	91,9	92,1
	МОЧ	85,46	84,92	85,77	88,82	89,07	78,69	78,94
	ДНП, $\kappa\text{Па}$	355,4	165,7	165,7	12,78	14,56	37,41	42,52
Состав, % мас.	Ароматические углеводороды	0	0	0	76,77	76,39	26	26
	Бензол	0	0	0	0,73	4,27	1	1
	Олефины	58	0	0	1,25	1,43	35	34

В таблице 7 приведены составы и свойства потоков, которые используются для производства бензинов разных марок, соответствующих стандартам Вьетнама. С применением разработанной моделирующей системы возможен расчет различных вариантов смешения.

Таблица 7 – Состав и свойства потоков, используемых для производства бензинов на заводе «ЗунгКуат НПЗ» Вьетнама

Наименование			MOGAS 95	MOGAS 90	MOGAS 92	MOGAS 90
По то ки	Углеводороды C_4	% мас.	2	3	3	4
	Изомеризат		17	4	13	0

Продолжение таблицы 7

Состав	Риформат		46	11	28	13
	Крекинг		35	82	57	83
	Ароматические углеводороды		41	29	34	31
	Бензол		1	1	1	1
	Олефины		14	29	21	30
ДНП, кПа			57	57	57	57

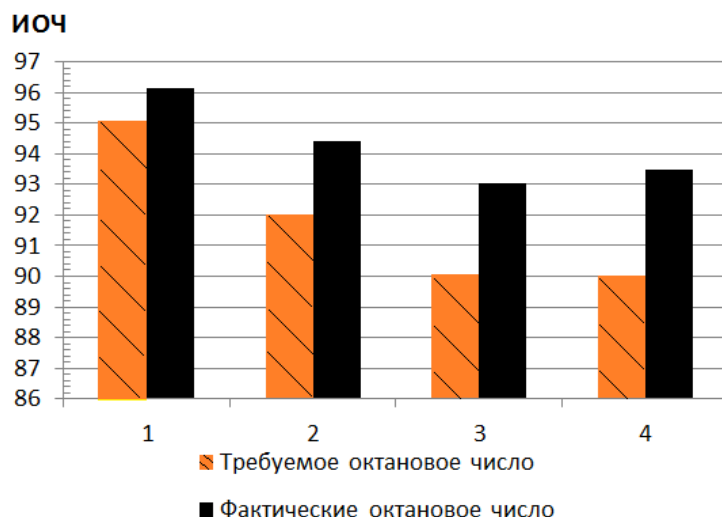


Рисунок 2. Значение октановых чисел требуемое и фактические

Как видно из таблицы 7 и рисунка 2, по всем маркам бензина идет октаноперепроизводство, т.е. октановое число смешения бензина превышает требуемое, при этом отклонения составляют 1–3,5 пункта. Связано это с тем, что на заводе не применяются октаноповышающие добавки

и у производителя нет инструмента для корректировки характеристик некондиционных партий бензина. В связи с чем, делается запас по октановому числу при разработке рецептур (табл. 8). То есть существующие рецептуры не являются оптимальными и нуждаются в корректировке (табл. 9).

Таблица 8 – Результаты расчета состава и свойств бензина на заводе «ЗунгКуат НПЗ» Вьетнама

Наименование			MOGAS 95	MOGAS 90	MOGAS 92	MOGAS 90	
Потоки	Углеводороды C ₄	% мас.	2	3	3	4	
	Изомеризат		17	4	13	0	
	Риформат		46	11	28	13	
	Крекинг		35	82	57	83	
Состав	Ароматические углеводороды		44,41	29,76	35,96	31,56	
	Бензол		0,69	0,90	0,77	0,92	
	Олефины		13,99	30,58	21,82	31,53	
Свойства	ДНП, кПа		54,26	49,38	56,55	46,93	
	ИОЧ		96,13	93,04	94,4	93,49	
	МОЧ		84.72	80.3	82.61	80.29	

Таблица 9 – Результаты оптимизации состава и свойств потоков смешения для приготовления автомобильных бензинов

Наименование			MOGAS 95			MOGAS 90	MOGAS 92			
Потоки	Углеводороды C ₄	% мас.	9	0	5	0	5	0	0	
	Изомеризат		0	20	5	17	0	0	18	
	Риформат		28	40	30	0	0	10	10	
	Крекинг		63	40	60	83	95	90	72	
Состав	Ароматические углеводороды		37,88	41,11	38,63	21,58	24,70	31,08	26,40	
	Бензол		0,83	0,69	0,82	0,83	0,95	0,97	0,79	
	Олефины		27,62	14,50	24,28	29,05	36,15	31,63	25,33	
Свойства	ДНП, кПа		59,14	53,23	52,34	59,23	53,31	34,95	58,05	
	ИОЧ		95,4	95,21	95,11	91,11	92,25	92,9	92,1	
	МОЧ		82,2	84,14	82,43	79,87	79,12	79,65	80,93	

Выполненные расчеты составов и свойств показали, что вариант с наименьшим октановым числом при условии выполнения всех остальных требований, предъявляемых к автомобильным бензинам, больше 90 ед. Из чего можно сделать вывод, что производить бензин марки MOGAS 90 нецелесообразно с точки зрения ресурсоэффективности. Необходимо вовлекать низкооктановые потоки.

В четвертой главе исследования посвящены перспективному процессу производства автомобильных бензинов с улучшенными экологическими свойствами в условиях Вьетнама с использованием разработанной и программной реализованной математической модели. Кроме того, перспективным направлением деятельности завода является выработка бензинов, удовлетворяющих требованиям ЕВРО-стандарта.

Как видно из таблицы 10, переход с производства бензинов по Вьетнамским стандартам на производство по ЕВРО-стандартам в значительной степени изменит их компонентный состав, это связано с более жесткими требованиями ЕВРО-стандартов к содержанию в бензинах бензола, ароматических углеводородов и олефинов. Однако выработка ЕВРО-бензинов невозможна без вовлечения в производство высокооктановых добавок, наиболее эффективной из которых является МТБЭ. Без вовлечения МТБЭ возможно производство бензина с максимальным октановым числом по исследовательскому методу 93,8 ед. Также возможно производство бензина марки Премиум-95 с завышенным значением давления насыщенных паров. Для производства бензина марки Супер-98 необходимо использовать около 11 % МТБЭ.

Таблица 10 – Состав и свойства потоков смесового бензина

Наименование			Премиум-95 (Евро 4)				Супер-98 (Евро 5)		
Потоки	Углеводороды C ₄	% мас.	10	0	0	2	10	0	2
	Изомеризат		22	22	18	20	15	11	12
	Риформат		30	28	28	28	30	28	28
	Крекинг		28	50	50	47	28	50	47
	МТБЭ		0	0	4	3	7	11	11
Состав	Ароматические углеводороды		33,68	34,50	34,50	33,72	33,68	34,50	33,72
	Бензол		0,55	0,70	0,70	0,67	0,55	0,70	0,67
	Олефины		17,75	17,85	17,85	17,96	17,75	17,85	17,96
Свойства	ДНП, кПа		95,91	58,75	52,13	61,43	83,03	40,53	48,18
	ИОЧ		95,09	93,83	95,36	95,08	98,08	98,04	98,14
	МОЧ		84,74	83,02	84,04	84,04	86,68	85,78	86,03

Нефть, которая подвергается переработка на заводе «ЗунгКуат НПЗ» Вьетнама, отличается высоким содержанием парафинов. Поэтому для увеличения глубины переработки применяются схемы с рециклом непревращенных углеводородов. Установка изомеризации оборудована линией (рисунок 3) рецикла по непревращенному гексану (22–25% мас.), что позволяет получать продукт с октановым числом 85–86 пунктов.

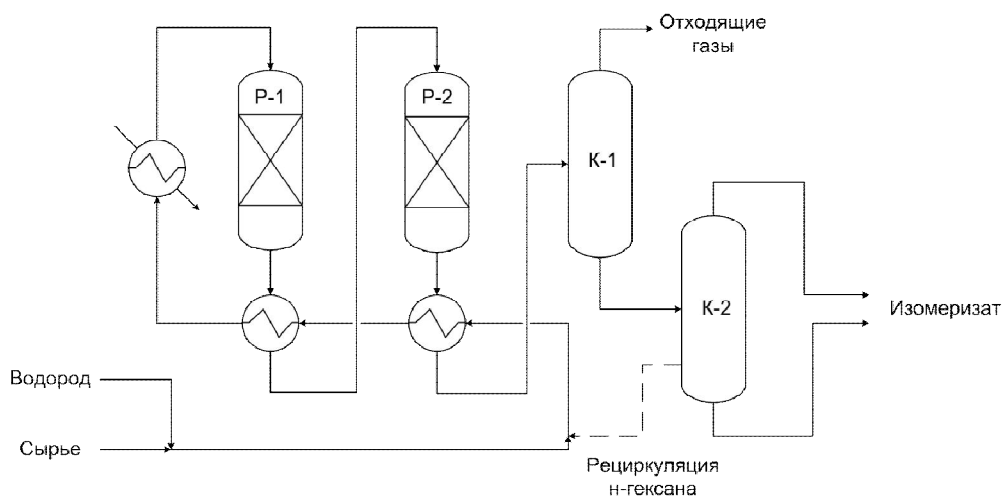


Рисунок 3. Технологическая схема установки изомеризации с рециклом н-гексана (P-1, P-2 – реактора изомеризации; K-1, K-2 – колонны стабилизации)

Выполненные исследования показали, что в продукте также остается непрореагировавший пентан в количестве 19–24 % мас. Сделано предположение, что необходимо изменить структуру потоков в аппаратном оформлении завода и дополнить технологическую схему рециклом по н-пентану.

На рисунке 4 приведена предлагаемая схема процесса изомеризации с рециклом непревращенных н-пентана и н-гексана.

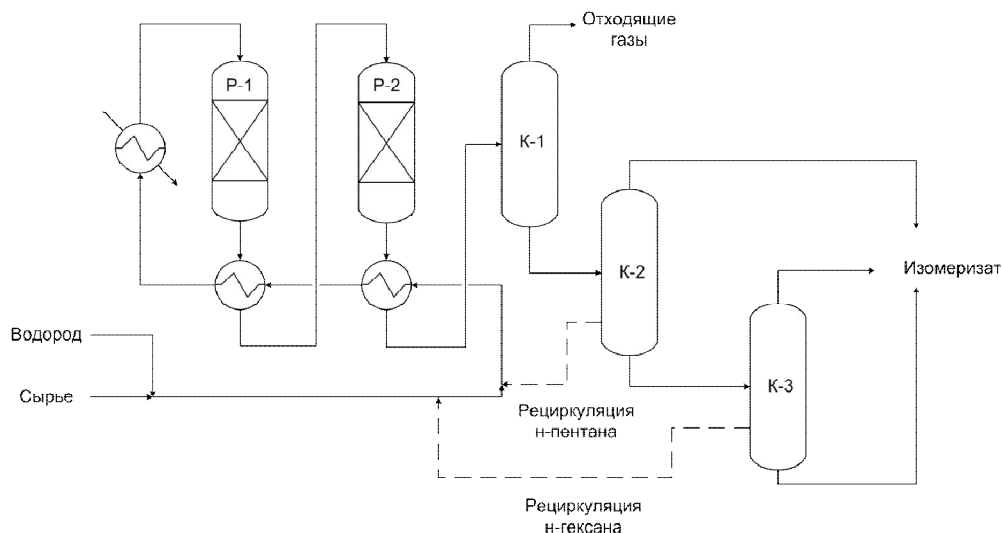


Рисунок 4. Оптимизация структуры потоков (P-1, P-2 – реактора изомеризации; K-1, K-2, K-3 – колонны стабилизации)

В таблице 11 показаны значения прироста октанового числа при наличии рецикла в зависимости от состава сырья. Как видно, прирост октанового числа при добавлении рецикла по н-пентану составляет от 2 до 3 пунктов. При этом объём получаемых бензинов возрастает на 210–280 литров в день в зависимости от состава перерабатываемого сырья. В таблице 12 представлены результаты расчетов вариантов составов и свойств потоков смешения бензинов при рецикле н-пентана и н-гексана для бензинов Вьетнама.

Таблица 11 – Увеличение октанового числа изомеризата при добавлении рецикла по н-пентану

Базовое ИОЧ	Непревращенный н-пентан, % мас.	Итоговое ИОЧ	Прирост ИОЧ
86,01	19,00	88,10	2,09
85,89	19,32	87,79	1,90
86,09	22,02	88,38	2,29
86,02	20,03	88,00	1,98
86,84	19,83	89,00	2,16
86,14	25,40	89,31	3,17

Таблица 12 – Состав и свойства потоков смешения бензинов при рецикле н-пентана и н-гексана для «ЗунгКуат НПЗ», Вьетнама

Наименование			MOGAS 90		MOGAS 92		MOGAS 95		
			I	II	I	II	I	II	III
Потоки	Углеводороды C ₄	% мас.	1	1	10	8	11	0	5
	Изомеризат 2		44	39	15	17	9	15	15
	Риформат		0	0	3	5	20	30	30
	Крекинг		55	60	72	70	60	55	50
Состав	Ароматические углеводороды		14	16	21	22	31	37	36
	Бензол		1	1	1	1	1	2	2
	Олефины		21,04	22,9	32,63	30,75	28,99	20,91	21,95
Свойства	ДНП, кПа		84,32	76,93	53,2	53,46	45,06	40,22	45,7
	Плотность, кг/м ³		630	648	669	670	686	696	691
	ИОЧ		90,5	90,69	92,44	92,46	94,54	94,72	95,04
	МОЧ		82,1	81,74	81,01	81,22	82,43	83,07	83,46

Проведенные исследования по влиянию доли катализата риформинга в бензине на октановое число и давление насыщенных паров показали, что детонационная стойкость в наибольшей степени зависит от состава риформата. Доля этого компонента достигает 20–30 % мас. в зависимости от марки бензина (рисунок 5).

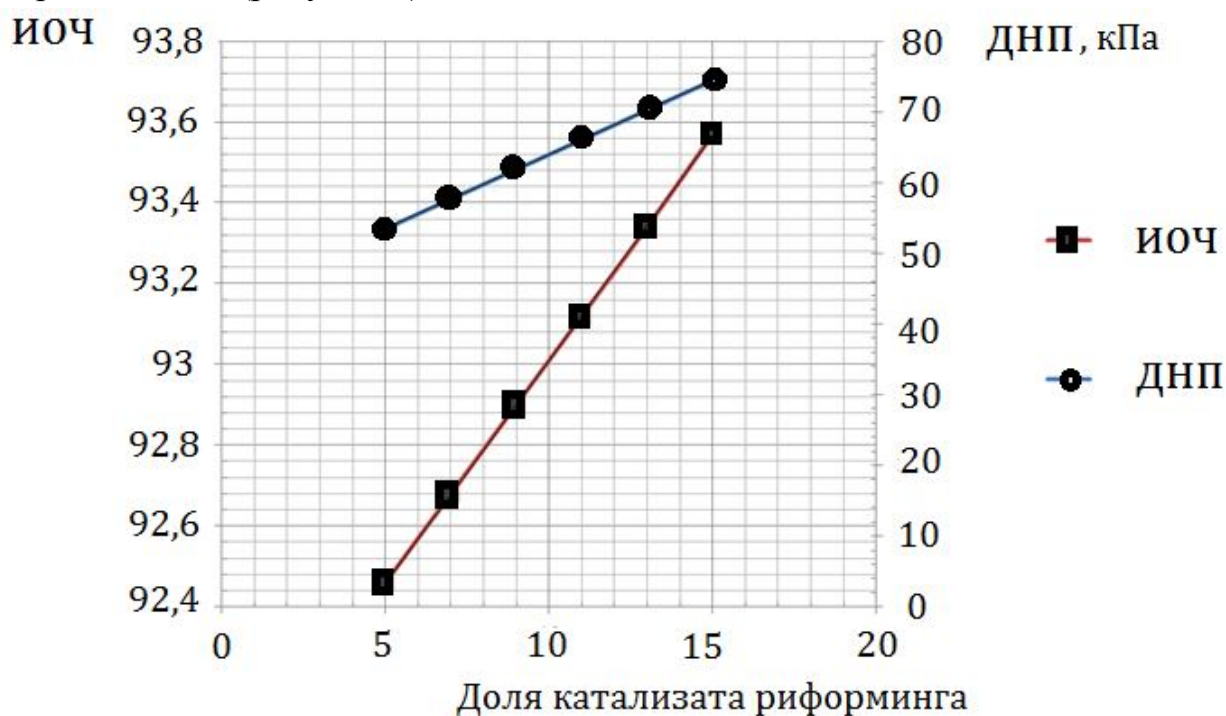


Рисунок 5. Зависимость октанового числа смесового бензина и давления насыщенных паров от доли катализата риформинга в нем

Выводы:

1. Структуры потоков и технологические режимы в аппаратах определяют ресурсоэффективность процессов переработки парафинистых нефтей в

автомобильные бензины. При этом отклонение от нормы физико-химических свойств (плотности, вязкости, давления насыщенных паров, детонационной стойкости) приводит к производству некачественного бензина по причине отсутствия инструмента для корректировки характеристик смесового бензина Вьетнама.

2. Оптимизация расхода потоков зависит от многих факторов: плотности, вязкости, давления насыщенных паров, детонационной стойкости, расхода смешиваемых потоков. Эта многофакторная задача наиболее эффективно решается методом математического моделирования с учетом реакционной способности углеводородов бензиновой фракции и технологических условий процессов приготовления товарных бензинов.

3. Оптимизацию процесса приготовления автомобильных бензинов обеспечивает вовлечение сопряженных процессов химического превращения углеводородных смесей в высокооктановые компоненты за счёт увеличения степени превращения *n*-алканов в изопарафины.

4. Завышенные показатели по октановому числу при производстве всех марок выпускаемого во Вьетнаме бензина (MOGAS 95 – 1 пункт, MOGAS 92 – 4,5 пункта, MOGAS 90 – 3 пункта) снижают ресурсоэффективность. Октановое число смешения бензина превышает требуемое по причине отсутствия инструмента для корректировки характеристик некондиционных партий бензина. Существующий компонентный состав не является оптимальными и нуждаются в корректировке.

5. Компонентный состав смешения для производства бензинов Премиум-95 (Евро 4), Супер-98 (Евро 5) должен включать добавки метил-трет-бутилового эфира в количестве (3–11% мас.). Повышение эффективности процесса приготовления автомобильных бензинов обеспечивает оптимизация направления потоков в реакторном блоке установки изомеризации за счет рециркуляции непревращенного *n*-пентана при переработке парафинистых нефтей.

6. Рециркуляция непревращенного *n*-пентана позволят повысить октановое число смеси на 2–3 пункта в зависимости от состава перерабатываемого сырья. При этом доля рециркулята в расходе может изменяться в интервале 20–30 % мас. в зависимости от содержания *n*-пентана в сырье.

7. Разработанная моделирующая система позволят провести расчет свойств (вязкость, плотность, ДНП, октановое число, содержание ароматических углеводородов) смесового бензина при изменении состава смешиваемых потоков и требований к продукции.

Основные содержание диссертации изложено в следующих работах:

1. **Фан Фу**, Иванчина Э.Д., Чеканцев Н.В., Кравцов А.В. Моделирование и методы расчета физико-химических свойств углеводородных систем // Известия Томского политехнического университета, 2010. – т.316 – № 3: Химия. – с. 58–62
2. **Фан Фу**, Смышляева Ю.А., Иванчина Э.Д., Кравцов А.В., Зыонг Ч.Т. Разработка базы данных по октановым числам для математической модели процесса компаундирования товарных бензинов // Известия Томского политехнического университета, 2011. – т.318 – № 3: Химия. – с. 75–80
3. **Фан Фу**, Смышляева Ю.А., Иванчина Э.Д., Киргина М.В., Долганов И.В., Кравцов А.В., Моделирование процесса приготовления товарных бензинов на основе учёта реакционного взаимодействия углеводородов сырья с высокооктановыми добавками // Нефтепереработка и нефтехимия. – М., 2012. – № 4. – с. 3–8
4. **Фан Фу**, Ливак Е.И., Чеканцев Н.В. Математическая модель процесса изомеризации пентан-гексановой фракции с предварительной деизопентанизацией сырья и рециркуляцией нормальных парафинов // XVМеждународный научный симпозиум студентов и молодых ученых имени академика М.А. Усова. – Томск. – 2011. – с.181–183
5. **Фан Фу**, Иванчина Э.Д. Разработка компьютерной моделирующей системы для расчета физико-химических свойств реагентов в процессах превращения нефтяных углеводородных систем // XVII Международный научный симпозиум студентов и молодых ученых имени академика М.А. Усова. – Томск. – 2013. – с. 150 – 152
6. **Фан Фу**, Иванчина Э.Д., Чеканцев Н.В. Интеллектуальная система прогнозирования физико-химических свойств углеводородных нефтяных фракций // Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XI Всероссийской научно-практической конференции студентов и аспирантов – Томск, ТПУ, 12–14 мая 2010. – Томск: Изд. ТПУ, 2010. – с. 30–31
7. **Фан Фу**, Иванчина Э.Д. Система моделирование физико-химических свойств Томской области // II Всероссийской научно-практической конференции «Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов российских вузов» – Томск, ТПУ, 21–22 мая 2009. – Томск: Изд. ТПУ, – 2009. – с. 167–169
8. **Фан Фу**, Иванчина Э.Д. Разработка компьютерной моделирующей системы для расчета физико-химических свойств углеводородов // III Всероссийской научно-практической конференции «Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов российских вузов» – Томск, ТПУ, 19–21 мая 2010. – Томск: Изд. ТПУ, – 2010. – с. 194–196

9. **Фан Фу**, Иванчина Э.Д. Компьютерная моделирующая система для расчета давления насыщенных паров в зависимости от физико-химических свойств углеводородов // XV Международный научный симпозиум студентов и молодых ученых имени академика М.А. Усова. – Томск, 4–8 апреля 2011 – Томск. –2011. – с. 142 – 145

10. **Фан Фу**, Иванчина Э.Д., Смышляева Ю.А. Разработка компьютерных моделирующих систем для расчета давления насыщенных паров в процессах компаундирования товарных бензинов // I-ая Международная Российско-Казахстанская конференция по химии и химической технологии – Томск, 26–29 апреля 2011 – Томск.–2011. с. 819–822

11. **Фан Фу**, Иванчина Э.Д. Влияние физико-химических закономерностей на давление насыщенных паров товарных бензинов // V Научно-практическая конференция иностранных студентов, магистрантов и аспирантов ТПУ «Коммуникация иностранных студентов, магистрантов и аспирантов в учебно-профессиональной и научной сферах» – Томск, ТПУ, 18–22 апреля 2010. – с. 135 – 137

12. **Фан Фу**, Иванчина Э.Д. Система моделирования физико-химических свойств нефти Томской области // III Университетская научно-практическая конференция иностранных студентов, магистрантов и аспирантов НИ ТПУ «Коммуникация иностранных студентов, магистрантов и аспирантов в учебно-профессиональной и научной сферах» - Томск, ТПУ, 13-17 апреля 2009. – с. 112 – 113