

На правах рукописи



Кудряцеев Михаил Александрович

**Разработка новых технологических решений
по переработке высокопарафинистого
газового конденсата**

Специальность 05.17.07 – Химия и технология топлив и
специальных продуктов

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Москва - 2004

Из фондов Российской национальной библиотеки

На правах рукописи



Кудрявцев Михаил Александрович

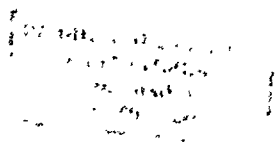
**Разработка новых технологических решений
по переработке высокопарафинистого
газового конденсата**

Специальность 05.17.07 – Химия и технология топлив и
специальных продуктов

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Москва - 2004



816 588

Работа выполнена на Сосногорском газоперерабатывающем заводе и в Обществе с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий - ВНИИГАЗ».

Научный руководитель: доктор технических наук,
Шурупов С.В.

Официальные оппоненты: доктор химических наук,
Арутюнов В.С.;
кандидат химических наук,
Абрамова А.В.

Ведущая организация: Институт высоких температур РАН
(ИВТАН), г. Москва

Защита состоится «__» апреля 2004 г. в 13 час 30 мин на заседании диссертационного совета Д 511.001 01 при ООО «ВНИИГАЗ» по адресу: 142717, Московская обл Ленинский район, пос. Развилка, ВНИИГАЗ.

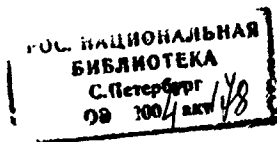
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ООО «ВНИИГАЗ».

Автореферат разослан «__» марта 2004 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
Д. Г - м н.



Н.Н. Соловьев



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

В углеводородном сырье, поступающем на газоперерабатывающие заводы (ГПЗ) в последние годы, возрастает доля высокопарафинистых газовых конденсатов. Существующее на некоторых ГПЗ упрощенные схемы переработки конденсата не обеспечивают требуемого качества товарной продукции, и, как правило, направлены на производство продукции узкого ассортимента (сжиженный газ, стабильный конденсат). В связи с этим, возникает необходимость в изменении существующих схем переработки и в разработке новых технологических решений по глубокой переработке высокопарафинистого конденсата и его остаточных дистиллятных фракций, что и определяет актуальность темы диссертации.

Цель работы

Разработка новых технологических решений по комплексной переработке высокопарафинистого газового конденсата в рентабельную продукцию топливного и газохимического назначения на примере Сосногорского ГПЗ с учетом существующей на заводе производственной инфраструктуры.

Основные задачи

- на основании физико-химических исследований образцов газового конденсата, поступающего на Сосногорский ГПЗ в настоящее время, и образцов конденсата, моделирующего сырье, которое будет поступать на завод в период 20-25 лет, научно обосновать комплексную схему глубокой переработки высокопарафинистого газового конденсата с производством продукции газохимического и топливного назначения;
- научно обосновать решения по утилизации высокопарафинистых остатков газового конденсата в качестве сырья для производства низкодисперсного техуглерода;
- научно обосновать технологические решения переработке отходящих газов печного производства техуглерода в смесь жидких углеводородов.

Научная новизна

На основании физико-химических исследований образцов газового конденсата, поступающего на Сосногорский ГПЗ в настоящее время, и образцов конденсата, моделирующего сырье, которое будет поступать на завод в период до 2030 г. автором предложена и научно обоснована комплексная схема глубокой переработки высокопарафинистого газового конденсата с производством экологически чистой продукции газохимического и топливного назначения; показана низкая тенденция к сажеобразованию высокопарафинистых остатков газового конденсата и разработанная технология производства техуглерода П701(N772 по классификации ASTM) из газообразного сырья (смесь природного газа и высокопарафинистых остаточных фракций газового конденсата); дано научное обоснование технологии переработки отходящих газов печного производства техуглерода П701(N772) в широкую фракцию углеводородов (ШФУ) с использованием железосодержащих катализаторов с добавками цеолита.

Основные положения, представляемые к защите

- 1 Научное обоснование комплексной схемы переработки высокопарафинистого газового конденсата в продукцию газохимического и топливного назначения (бензиновая фракция, дизельное топливо, печной тегуллерод, ШФУ);
- 2 Технологический регламент на производство тегуллерода П701 (N772) из газо-жидкостного сырья, разработанный на основании результатов анализа зависимости тенденции к сажеобразованию высокопарафинистых дистиллятов газового конденсата от температуры пиролиза,
- 3 Научное обоснование способа получения ШФУ из отходящих газов производства печного тегуллерода

Практическая ценность

- 1 Выполнены технико-экономическое обоснование и бизнес-план по предложенной автором комплексной схеме переработки высокопарафинистого газо-конденсатного сырья в продукцию газохимического и топливного назначения. Обоснована экономическая эффективность проекта,
- 2 Под руководством автора был внедрен в промышленную эксплуатацию один из реакторов производства печного тегуллерода П701(N772) из газо-жидкостного сырья на Сосногорском ГПЗ;
- 3 Получен патент и разработана технологическая схема получения ШФУ из отходящих газов процесса производства печного тегуллерода П701(N772)

Апробация работы

Результаты работы докладывались на научно-технических конференциях по малотоннажной переработке нефти и газа в республике Саха (г Якутск, 2001 г), по переработке природного газа (г Орландо, США, 2002 г.), а также на научно-техническом совете ОАО «Газпром» (г Сургут, 2002 г)

Публикации

Основные результаты диссертации опубликованы в 12 научных работах

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, выводов, заключения, литературы и приложения. Диссертация изложена на 172 страницах машинописного текста, содержит 18 рисунков и 57 таблиц. Библиографический список включает 90 наименований.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во **Введении** обоснована актуальность изменения существующей схемы переработки высокопарафинистого газового конденсата на Сосногорском ГПЗ, обусловленная изменением в области переработки углеводородного сырья, изменением сырьевой базы, в частности, вовлечением в переработку нефтегазоконденсатного сырья (НГКС) и экономическими факторами – желанием расширить ассортимент высокорентабельной продукции.

Глава 1. Особенности химической переработки углеводородного сырья

Первичная переработка НГКС происходит на установках стабилизации, где образуются газы стабилизации и товарные продукты - сжиженный газ и стабильный конденсат. Из стабильного конденсата извлекают бензиновую и дизельную фракции (дизельное топливо). Часть бензиновой фракции перерабатывают в автобензин по процессам риформинга (Сургутский ЗСК, Астраханский ГПЗ) и цеоформинга (Сосногорский ГПЗ). Принципиальным отличием процесса цеоформинга от риформинга является отсутствие установок капитальнейших производств водорода.

Существующие на некоторых заводах упрощенные схемы переработки НГКС не обеспечивают требуемого качества товарной продукции. Поэтому разработка новых технологических решений по глубокой переработке газового конденсата, содержащего высокопарафинистые фракции, в экологически чистую продукцию топливного и газохимического назначения представляет важную научную и прикладную задачу.

На Сосногорском ГПЗ из углеводородного сырья производят теуглерод различных марок, который применяется в лакокрасочных и резинотехнических изделиях и пользуется экспортным спросом. Основным способом получения теуглерода является печной процесс, при котором дисперсный углерод образуется при неполном горении углеводородного сырья. Широко известны работы российских ученых П.А. Теснера, Т.Г. Гильмисаряна, В.Ф. Сузовикина, в которых показано, что технологические условия и углеводородный состав сырья определяют основные показатели качества дисперсного продукта (дисперсность и структурность) и влияют на экономические показатели процесса, в частности, на удельный выход продукта и расход топливного газа. Создание теуглерода, отвечающего требованиям потребителей, наряду с повышением удельного выхода продукта, являются важными исследовательскими и прикладными задачами.

В настоящее время многие нефтегазовые компании ведут работы по созданию конкурентоспособных процессов превращения углеводородного сырья, в частности, природного газа в синтетические жидкие топлива (СЖТ). Актуальность таких работ определяет рост цен на нефть и, соответственно, моторные топлива.

Следует отметить, что исходным строительным кирпичиком, из которого складывается здание химии метана, является синтез-газ (смесь H_2 и CO), получаемый в процессах парового риформинга или неполного окисления метана. Из синтез-газа можно получать продукты органического синтеза (метанол, формальдегид, водород) и экологически чистые СЖТ, в том числе диметиловый эфир (ДМЭ). Основными достоинствами СЖТ являются экологическая чистота (отсутствие сернистых компонентов, полиароматических углеводородов), высокое цетановое число (≥ 65), что очень важно для работы дизельного двигателя. Обеспечение потребности России в экологически чистых моторных топливах в перспективе окажется невозможным без компаундирования нефтепродуктов продуктами газохимии.

Научные достижения по совершенствованию отдельных стадий процесса Фишера-Тропша ассоциируются с именами российских ученых, таких как А.Л. Лапидус, Е.В. Сливинский, А.Я. Розовский, Д.Н. Каган.

Прогресс в процессе Фишера-Тропша связан с совершенствованием каталитической стадии синтеза углеводородов, в частности с улучшением теплообмена в реакторе синтеза углеводородов в слое катализатора, что можно обеспечить разбавлением синтез-газа инертным компонентом - азотом.

В отходящем газе с установок производства техуглерода, образующегося при неполном горении природного газа, кроме инертных компонентов, присутствуют H_2 и CO . Этот газ классифицируется как разбавленный синтез-газ и может рассматриваться в качестве промежуточного продукта переработки природного газа в СЖТ по процессу Фишера-Тропша. Применение разбавленного синтез-газа, например, полученного воздушной конверсией метана, и активных каталитических систем для синтеза углеводородов, должно повысить рентабельность производства СЖТ. В связи с этим, актуальным направлением исследований является разработка технологии каталитической переработки разбавленного синтез-газа в смесь углеводородов (ШФУ, содержащую топливные фракции).

Глава 2. Схема переработки нефтегазоконденсатного сырья

Существующая схема переработки газового конденсата

Сосногорский ГПЗ, введенный в эксплуатацию более 60 лет назад, предназначался для стабилизации газового конденсата, подготовки природного газа к транспорту, а также производства техуглерода различных марок. Кроме указанных продуктов на заводе вырабатывается смесь пропан-бутана (СПБТ) и автобензин А-76 (нормаль-80).

Существующая блок-схема переработки нестабильного газового конденсата представлена на рисунке 1 и включает структурные единицы:

- установку стабилизации газового конденсата УСК-1;
- установку производства автобензина А-76 (нормаль-80);
- цех производства техуглерода П701 (N772);
- цех производства техуглерода Т900 (N990).

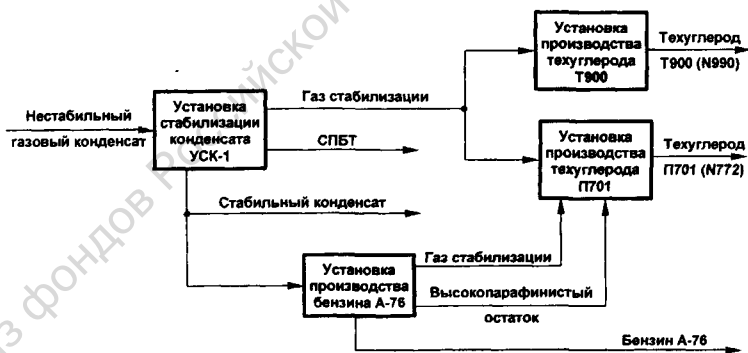


Рисунок 1 – Блок-схема переработки нестабильного газового конденсата на Сосногорском ГПЗ

В настоящее время в сырьевую базу Сосногорского ГПЗ вовлекаются газо-конденсатные месторождения, содержащие не только конденсат, но и нефть нефтяных оторочек. Доля нефти в сырье в период 1995-2003 гг. возросла с 4 до 13 масс. %. Прогнозируется, что в ближайшие 15-20 лет содержание нефти в сырье, поступаю-

щем на переработку, может достигнуть 35 масс % (рисунок 2) С увеличением доли нефти изменяются физико-химические свойства перерабатываемого сырья, повышается температура застывания стабильного конденсата, наблюдается парафиноотложение в оборудовании.

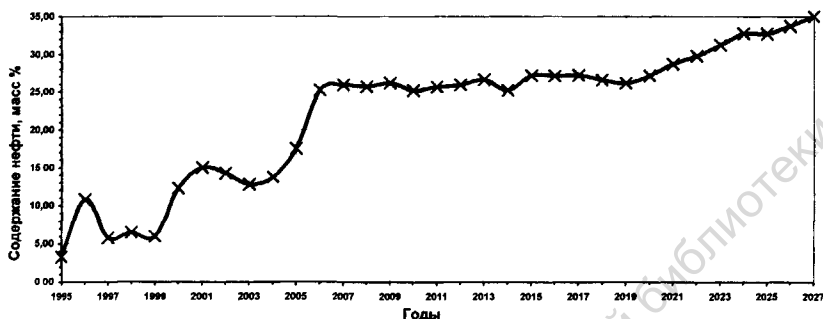


Рисунок 2 – Динамика изменения содержания нефти в НГКС

Обеспечение эффективной переработки такого сырья не возможно без изменения технологической схемы, в частности, без научного обоснования технологии переработки высокопарафинистых остаточных фракций НГКС.

Физико-химические свойства углеводородного сырья

Углеводородным сырьем, поступающим на УСК-1 на стабилизацию, является НГКС с месторождений Тимано-Печорской провинции (республика Коми) Компонентный состав и физико-химические характеристики НГКС, поступающей на переработку в настоящее время и «перспективного» сырья, которое может содержать в своем составе до 35 масс % нефти, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Компонентный состав НГКС

Сырье	Содержание, масс. %										Молекулярная масса	Плотность кг/м ³	Газовый фактор м ³ /т
	CO ₂	N ₂	C ₁	C ₂	C ₃	iC ₄	nC ₄	iC ₅	nC ₅	ΣC ₆			
Текущее сырье	0,03	0,01	1,84	3,98	10,24	4,40	10,39	6,57	7,67	54,9	65,5	611	268
Перспективное сырье	0,03	0,03	1,31	3,72	10,05	4,02	10,05	5,53	6,53	58,73	79,8	665	226

Разработка технологической схемы переработки высокопарафинистой НГКС невозможна без проведения комплексного физико-химического исследования перспективного сырья.

Физико-химический анализ образцов стабильного конденсата (текущее и перспективное сырье) проводили по существующим Российским и Международным стандартам в ООО «ВНИИГАЗ» и его филиалом «СеверНИПИГАЗ» (г. Ухта, Коми) Образцы стабильного конденсата были подвергнуты ректификации на узкие 10-ти

градусные фракции на установке «Autodest 800» фирмы FISCHER (Германия) На основе этих фракций были приготовлены модельные композиции дизельных и бензиновых фракций, которые далее были подробно проанализированы и в которых были определены оптимальные композиции бензиновых и дизельных фракций, соответствующие требованиям стандартов Физико-химические показатели стабильного конденсата (текущее и перспективное сырье) приведены в таблице 2

Таблица 2 – Физико-химические показатели стабильного конденсата

Показатель	Текущее сырье	Перспективное сырье
1 Плотность при 20 °С, кг/м ³	715	744
2 Молекулярная масса	105	135
3 Фракционный состав, °С		
НК	32	35
10%	48	56
50%	89	114
90%	285	360
КК	360	415
4 Вязкость кинематическая, мм ² /с, при 20 °С	0,84	1,67
5 Содержание воды, % об	0,01	0,02
6 Содержание хлористых солей, мг/л	5,7	7,8
7 Массовая доля серы, %	0,03	0,05
8 Содержание парафинов, масс %	0,76	5,5
9 Температура застывания, °С	<-60	+4
10 Давление насыщенных паров, мм. рт. ст	486	380

Таким образом, стабильный конденсат (существующий и перспективный), характеризуется незначительным содержанием общей серы, пластовой воды, а также хлористых солей, что предопределяет высокое качество товарных продуктов

Высокое содержание тугоплавких парафинов и положительная температура застывания перспективного стабильного конденсата являются основными причинами разработки новой технологической схемы переработки НГКС

Предлагаемая схема и материальный баланс переработки НГКС

С целью более глубокого разделения НГКС в существующую схему УСК-1 (колонны К-1 и К-2) было предложено ввести колонну предварительного отбензинивания К-3, где будут отбираться фракция НК-65 °С, и колонну К-4 для отбора бензиновой фракции 65–150 °С и дизельного топлива (фракция 150–300 °С) Схема модернизированного производства представлена на рисунке 3

Таким образом, в результате модернизации УСК-1 будет производиться дополнительная продукция, в частности:

- фракция НК-65 °С - компонент автомобильного бензина;
- бензиновая фракция (65-150 °С) - сырье для нефтехимии, компонент автомобильного бензина, сырье для процесса цеоформинг,
- дизельное топливо (150-300 °С).

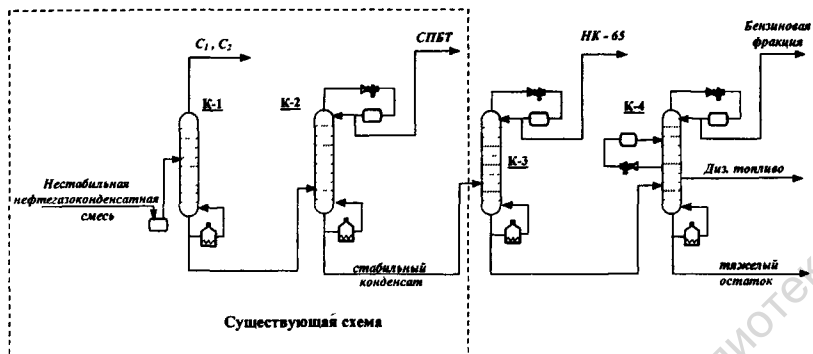


Рисунок 3 – Схема переработки НГКС на Сосногорском ГПЗ

Производительность УСК-1 с блоком ректификационного выделения тяжелого остатка была принята равной 350 тыс.т/год. Материальный баланс переработки НГКС, содержащей, соответственно, нефть 6 масс % (нижний предел содержания нефти) и 35 масс % (перспективное сырье) при годовом фонде рабочего времени 8000 ч., приведен в таблице 3.

Таблица 3 – Материальный баланс УСК-1 после реконструкции

Материальные потоки	Производительность, тыс т/год	
	Доля нефти в сырье 6 масс. %	Доля нефти в сырье 35 масс. %
Сырье	328,8	328,8
Газ стабилизации, в т.ч.	19,7	15,8
• газ сепарации	4,1	1,8
• газ дезанизации из К-1	15,6	14,0
СПБТ	93,2	80,0
Бензиновая фракция, в т.ч.	168,8	131,6
• НК-65 °С	73,8	52,8
• 65-150 °С	95,0	78,8
Дизельное топливо	25,2	34,0
Тяжелый остаток	18,0	59,4
Потери	8,0	8,0

Высокопарафинистые тяжелые остатки газового конденсата имеют температуру кипения ≥ 300 °С и положительную температуру застывания. Реализация таких остатков в качестве товарных продуктов затруднена, особенно в регионах с неразвитой транспортной и потребительской инфраструктурой. Аналогичная ситуация возникла на Сосногорском ГПЗ.

Остаточные дистиллятные фракции переработки газового конденсата, имеющиеся в данное время или те, которые появятся на заводе после реконструк-

ции УСК-1, рекомендовано использовать в качестве сырья для производства техуглерода П701(N772).

Глава 3. Утилизация остаточных фракций переработки НГКС

Высокопарафинистые остатки - сырье для получения техуглерода

В таблице 4 представлены свойства дистиллятов газового конденсата, которые могут быть использованы для производства низкодисперсного техуглерода П701 (N772) Таковыми фракциями являются

- остаток, образующийся при однократном испарении стабильного конденсата при подготовке сырья для получения бензина по процессу цеоформинг, (сырье №1);
- дистиллят газового конденсата 165-КК (360 °С), (сырье №2);
- дистиллят газового конденсата 300-КК (360 °С), перерабатываемого на заводе в настоящее время (сырье №3),
- дистиллят газового конденсата 300-КК (360 °С) перспективного сырья (сырье №4)

Таблица 4 – Свойства дистиллятов газового конденсата

Показатель	Сырье 1	Сырье 2	Сырье 3	Сырье 4	Метан
1 Плотность при 20 °С, кг/м ³ , при 50 °С, кг/м ³	745-760	820	816	821	-
2 Вязкость кинематическая при 20 °С, мм ² /с	2,87	5,00	-	-	-
3 Интервалы выкипания, °С	60-360	165-360	300-360	300-360	-
4 Молекулярная масса	150-170	220-240	360-380	390-410	16
5 Содержание серы, масс %	0,05	0,07	0,1	0,2	-
6 Зольность, масс %	0,015	0,021	0,034	0,066	-
7 Температура застывания, °С	0...+5	+12.. +17	+45...+55	+50.. +65	-
8 Групповой состав, % масс					
Парафины	60...70	65...75	70...80	75...85	100
Ароматические у/в	15...10	15...10	15...10	12...7	-
Нафтены	25...20	20...15	15...10	13...8	-
9 Содержание углерода, масс %	86,0	85,0	85,2	85,3	75,0
10 Тенденция к сажеобразованию при 1300 °С, N _б , г ⁻¹	1,2×10 ¹⁴	1,2×10 ¹⁴	1,1×10 ¹⁴	1,0×10 ¹⁴	2,1×10 ¹⁴

Так как в настоящее время на заводе отсутствует предполагаемый к переработке дистиллят конденсата с температурой начала кипения ≥ 300 °С, научно-техническое обоснование предложений по утилизации остатка в качестве сырья для производства техуглерода П701(N772) было сделано на основании физико-химического исследования модельных образцов высокопарафинистых фракций, приготовленных методом компаундирования узких фракций

Результаты, представленные в таблице 3, показывают, что количество остаточных фракций, подлежащих утилизации, составит 18 и 59,4 тыс т/год, соответственно, на текущее и перспективное сырье.

Способность газоконденсатных дистиллятов к сажеобразованию

Способность газоконденсатных дистиллятов к сажеобразованию оценивали по методике, разработанной в ООО «ВНИИГАЗ». Методика основана на пиролизе углеводородсодержащих образцов в проточном лабораторном реакторе в изотермических условиях. На основе прямого измерения выхода сажи и ее удельной поверхности проводился расчет числа частиц (N_0) в 1 г сажи. Чем больше число частиц в 1 г сажи при одинаковом выходе продукта, тем выше способность к сажеобразованию углеводородного сырья.

На рисунке 4 приведена зависимость удельной поверхности сажи, образующейся при пиролизе дистиллятов НГКС и метана, моделирующего природный газ, в координатах Аррениуса при выходе сажи 60 масс %

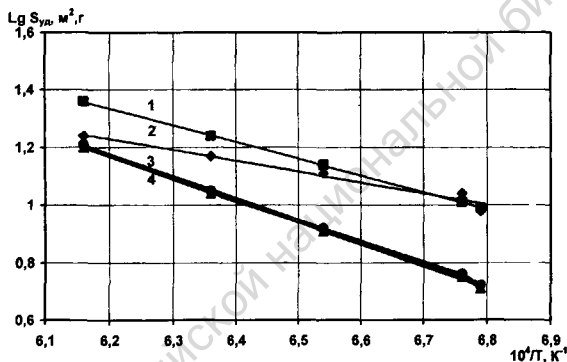


Рисунок 4 – Удельная поверхность сажи в координатах Аррениуса

- 1 – метан, 2 – фракция НГКС (165-360 °С),
3 – фракция НГКС (300-360 °С) [текущее сырье] 4 – фракция НГКС (300-360 °С) [перспективное сырье]

Зависимость удельной поверхности сажи, образующейся при пиролизе фракции НГКС (165-360 °С) от температуры аппроксимируется уравнением:

$$S_{уд} = 3,5 \times 10^3 \exp(-17000/RT) \quad (1)$$

Где, T – температура пиролиза, К;

R – универсальная газовая постоянная, $R = 1,985$ кал/(моль×град);

$S_{уд}$ – удельная поверхность сажи при выходе сажи 60 масс.%, m^2/g

Способность к сажеобразованию у дистиллятов НГКС (таблица 4) ниже, чем у метана примерно в 2 раза. Удельная поверхность сажи, образующейся при пиролизе дистиллятов НГКС, представленная в координатах Аррениуса на рисунке 4, иллюстрирует этот вывод. Следовательно, получить тегулерод П701(N772) только из высокопарафинистых остатков на существующем заводском оборудовании невоз-

можно Использование остатка в качестве сырья для техуглерода П701(N772) возможно только в смеси с природным газом.

Результаты промышленных испытаний

Промышленные испытания по производству печного техуглерода П701 (N772) из газожидкостного сырья были проведены на одном из модернизированных реакторов на Сосногорском ГПЗ В качестве жидкого углеводородного сырья использовали высокопарафинистый остаток с установки цеоформинг (сырье №1), который характеризуется высоким содержанием парафинов (до 70 масс %), невысоким содержанием ароматических углеводородов и очень близок к составу модельного остатка, испытанного в лаборатории. В таблице 5 представлен материальный баланс производства техуглерода П701(N772) из газожидкостного сырья.

Таблица 5 –Производство техуглерода П701 (N772) из газожидкостного сырья

Наименование потока	Показатель	Расход		
		нм ³ /ч	кг/ч	
1 Природный газ		1600	1243	
• содержание углерода, кг/м ³	0,566		905	
• содержание водорода, кг/м ³	0,178		285	
• содержание азота, кг/м ³	0,033	47	53	
2 Жидкое сырье (сырье №1)			400	
• содержание углерода, масс %	86		344	
• содержание водорода, масс. %	14		56	
3 Воздух		9000	10729	
• влагосодержание, об. %	1,5	135	101	
• содержание O ₂ , об. %	20,7	1863	2478	
• содержание N ₂ , об %	77,8	7002	8150	
4 Техуглерод			420	
5 Дымовые газы, об. %	Сухой газ	Влажный газ		
N ₂	67,0	56,5	7049	8203
H ₂	18,0	15,1	1894	157
CO	9,5	8,0	999	1163
CO ₂	4,6	3,8	484	885
CH ₄	0,7	0,6	73	49
ΣC ₂	0,2	0,2	21	23
H ₂ O	-	15,8	1967	1472
Σ	100,0	100,0	12487	11952

Выход техуглерода, рассчитанный на потенциальное содержание углерода в сырье, составляет ~35 масс %, т е на 40% выше, чем на действующем производстве при неполном горении природного газа Качество образующегося при этом техуглерода П701(N772) полностью соответствует требованиям ГОСТ 7885-86 (ASTM).

Испытание образцов техуглерода из газожидкостного сырья в эластомерах проводили в ГУП "Научно-исследовательский институт шинной промышленности" в соответствии со стандартами ISO В таблице 6 представлены результаты испытаний типовых эластомеров с образцами техуглерода из газожидкостного сырья и природ-

ного газа, которые свидетельствуют о том, что образцы теугллера по усиливающей способности в каучуках похожи

Таблица 6 – Испытание эластомера с теугллерадом П701(Н772)

Показатель	Газовое сырье	Газожиждко- стное сырье
Условное напряжение при удлинении 300%, МПа, 20°С	10,8	11,2
Условная прочность при растяжении, МПа, 20°С	22,4	21,9
Относительное удлинение при разрыве, % 20 °С	340	320
Сопротивление раздиру, кН/м, 200 °С	61,4	62,5
Твердость по Шору А, усл ед	63	62
Множкратное растяжение, 70 °С, 60%, тыс ц	750	842

Таким образом, существуют все научно-технические предпосылки варианту переработки высокопарафинистых остатков в качестве сырья для производства теугллера П701 (Н772), при котором наблюдается увеличение продукта на 40% в сравнении с базовым вариантом (неполное горение природного газа)

Глава 4. Разработка технологии утилизации отходящих газов производства печного теугллера

При производстве 20 тыс т/год теугллера П701, образующегося при неполном горении природного газа, ежегодно расходуется от 140 до 145 млн м³ природного газа Энергоаудит показал, что потенциальная энергия (тепловая и химическая), содержащаяся в отходящих газах, эквивалентна ~80 млн м³ природного газа в год Около 60 % этой энергии приходится на содержащуюся в отходящем газе смесь Н₂ и СО, дожигаемую в настоящее время перед выбросом в атмосферу Такой подход является расточительным и экологически неоправданным Утилизации отходящих газов печного производства теугллера по химическому варианту с выработкой дополнительной продукции (ШФУ) представляется интересным способом решения проблемы

Существующие промышленные катализаторы процесса Фишера-Тропша не обеспечивают высокой степени превращения сильно разбавленного азотом синтез-газа в ШФУ. Поэтому основной акцент при разработке технологии химической утилизации отходящих газов был сделан выбор более активных каталитических систем Научно-исследовательская работа проводилась совместно со специалистами Института нефтехимического синтеза им А В Топчиева (г Москва) и включала стадии синтеза образцов бинарных железосодержащих катализаторов с добавкой цеолита для проведения процесса Фишера-Тропша и исследования активности катализатора Основным критерием при тестировании катализаторов была максимальная конверсия СО и выход жидких углеводородов, в частности фракций С₅-С₂₀

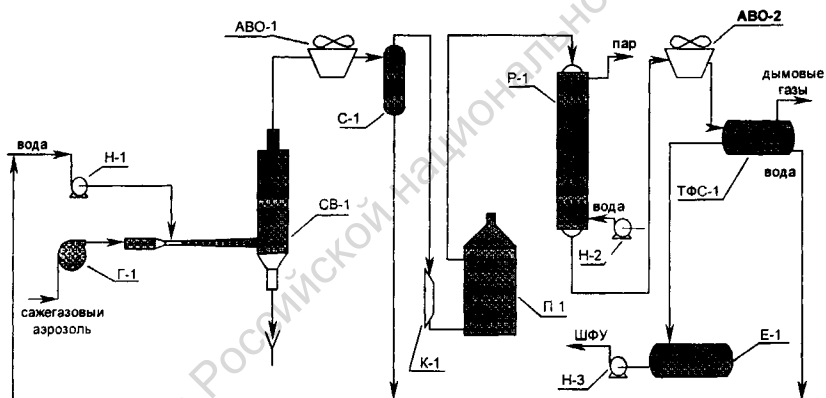
Испытание активности катализаторов проводили на проточной установке под давлением 3 МПа на газе, моделирующим состав отходящего газа производства теугллера П701 (таблица 5), содержащего, соответственно, % об · N₂-61, СО-10, Н₂-24, СО₂-5 Максимальный выход жидких углеводородов С₅-С₂₀ был достигнут на плавном железосодержащем катализаторе ПЖК-1, промотированным К₂О, СаО и АL₂О₃ в сочетании с цеолитным компонентом. Усредненные значения выхода продуктов синтеза на данном катализаторе приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Активность катализатора ПЖК-1

Показатель	Значение
1 Средняя конверсия СО при 290 °С, масс %	97,4
2 Выход углеводородов на разбавленный синтез-газ, г/нм ³	33,3
3 Состав углеводородов, масс. %	
СН ₄	20,22
С ₂ -С ₄	31,56
С ₅ -С ₁₀	35,11
С ₁₁ -С ₂₀	11,00
С ₂₁	2,11
Σ	100,0

Переработка отходящих газов производства печного техуглерода

На основании проведенных исследований по каталитическому превращению разбавленного азотом синтез-газа был получен патент на способ получения дистиллятных фракций из отходящих газов процесса производства печного техуглерода



Г-1-газодувка; Н-1, Н-2, Н-3 – насосы; СВ-1 – скруббер Вентури; АВО-1, АВО-2 – воздушные холодильники; С-1 – сепаратор; К-1 – компрессор; П-1 – печь; Р-1 – реактор; ТФС-1 – трехфазный фильтр-сепаратор; Е-1 – емкость.

Рисунок 5 - Схема утилизации отходящих газов в ЩФУ

Схема утилизации отходящих газов (рисунок 5) включает стадии очистки синтез-газа компримирования, синтеза углеводородов и разделения продуктов реакции. Основным аппаратом установки является реактор с адиабатическими секциями и межсекционным охлаждением. Охлаждение продуктов реакции осуществляется вследствие испарения перегретого водяного конденсата. Условия синтеза на катализаторе ПЖК-1: температура на входе в каждую из секций реактора - 270 °С, давление газа - 3МПа, объемная скорость процесса - 2800 ч⁻¹, линейная скорость газа - 14,2 м/с

На основании данных по активности катализатора ПЖК-1 в реакциях превращения синтез-газа, сильно разбавленного азотом, выполнен расчет материального баланса установки переработки отходящих газов печного производства теухглерода П701 (N772) в ШФУ, для следующих условий

- Состав перерабатываемого отходящего газа (таблица 5),
- Для производства теухглерода предполагается использовать газожидкостное сырье В соответствии с данными таблицы 5 для производства 20 тыс т/год теухглерода из газожидкостного сырья необходимо 6 технологических линий,
- Количество отходящих газов с 6 технологических линий производства теухглерода из газожидкостного сырья в соответствии с данными таблицы 5 составляет $6 \times 12487 = 74922 \text{ нм}^3/\text{час}$.

С учетом результатов по фракционному составу углеводородов, синтезированных по процессу Фишера-Тропша, на лучшем образце железосодержащего катализатора (ПЖК-1) получены следующие материальные потоки (таблица 8)

Таблица 8 – Материальный баланс установки производства ШФУ

Поток	Показатель	Расход		
		нм ³ /ч	кг/ч	тыс т/год
1. Отходящие газы, об %		74922	71712	-
2 ШФУ, масс %				
C ₂	3,2		50	0,4
C ₃ – C ₄ ,	30,4		477	3,8
C ₅ – C ₁₀ ,	48,3		757	6,0
C ₁₁ – C ₂₀ ,	15,1		236	1,9
C ₂₁₊ ,	3,0		47	0,4
Σ	100,0		1567	12,5
3 Водяной конденсат			4780	38,2
4. Дымовые газы, об. %				
N ₂ ,	86,47	42294	49218	
H ₂ ,	3,95	1933	172	
CO,	1,04	510	638	
CO ₂ ,	6,65	3254	6391	
C ₁ ,	1,24	608	434	
C ₂ ,	0,24	111	148	
H ₂ O,	0,41	200	161	
Σ	100	48910	57162	

Таким образом, при каталитической переработке отходящих газов с 6 технологических линий печного производства теухглерода на Сосногорском ГПЗ можно получить 12,5 тыс т/год ШФУ, в которой содержится 63,2 масс % фракции C₅-C₂₀

Экологический эффект от утилизации отходящих газов производства печного теухглерода заключается в снижении выбросов CO₂ за счет уменьшения содержания горючих веществ в дымовых газах Их количество сократится на 118,1 млн м³/год, что снизит выбросы CO₂ на 8 тыс. т в год.

В России нет промышленно реализованных технологий производства синтетических жидких углеводородов из природного газа, включая стадию каталитического синтеза жидких углеводородов из синтез-газа, поэтому разработка технологии переработки отходящих газов на Сосногорском ГПЗ представляет интерес не только с производственной, но и с научной точки зрения.

Глава 5. Экономическая эффективность предлагаемых решений

Оценка экономического эффекта от внедрения мероприятий заключалась в сопоставлении затрат на проведение реконструкции с приростом выручки и прибыли, достигаемой в результате реконструкции УСК-1 с целью производства бензиновой фракции, дизельного топлива и внедрением технологии производства теухглерода П701 (N772) из газожидкостного сырья

Интегральные показатели экономической эффективности (денежный поток, внутренняя норма рентабельности, срок окупаемости), обусловленные реализацией проекта за расчетный период эксплуатации 20 лет, в сравнении с базовым вариантом (без проведения реконструкции) представлены в таблице 9

Таблица 9 – Показатели экономической эффективности проекта

Показатель	Базовый вариант	Проектный вариант	Сравнение вариантов
Сырье на переработку тыс т	7212,2	7212,2	0,0
Выпуск продукции, тыс т			
- газ стабилизации, тыс т	526,4	526,4	0,0
- СПБТ, тыс т	2185,5	2185,5	0,0
- бензиновая фракция, тыс т		3297,8	3297,8
- стабильный конденсат, тыс т	4472,8	0	-4472,8
- топливо дизельное Л, тыс т	0	214,8	214,8
- топливо дизельное З тыс т	0	164,0	164,0
- теухглерод П701 (N772), тыс т	410,0	615,0	205,0
- мазут М-100 тыс т	0	72,4	72,4
- мазут М-40 тыс т	0	108,6	108,6
Выручка от реализации, млн руб	19313,1	20915,0	1602,0
Капитальные затраты, млн руб	127,7	290,5	162,8
Эксплуатационные затраты млн руб	11956,7	12359,4	402,7
Амортизационные отчисления, млн руб	152,5	315,3	162,8
Чистая прибыль, млн руб	5455,1	6229,5	774,3
Чистый доход (ЧД), млн руб	5479,9	6254,3	774,3
Дисконтированный ЧД (k=10%), млн руб	2210,6	2398,0	187,4
ВНД, %			24,8%
Срок окупаемости, год			5,8
Дисконтируемый срок окупаемости, год			6,7

Результаты экономической оценки позволяют сделать выводы:

- переработка НГКС по проектируемой технологии обеспечит максимальное значение накопленного потока денежной наличности (6254,3 млн руб против 5479,9 млн руб по базовому варианту);
- в результате реконструкции производства переработки НГКС за счет изменения номенклатуры выпускаемой продукции выручка от реализации увеличится на 1602 млн руб, при этом эксплуатационные затраты возрастут только на 402,7 млн. руб,

- реализация инвестиционного проекта при капитальных вложениях 290,5 млн руб. обеспечит по сравнению с базовым вариантом увеличение денежного потока на 774,3 млн руб. Срок окупаемости проекта - 5,8 лет, внутренняя норма доходности - 24,8%

ВЫВОДЫ

- 1 Проведен комплексный физико-химический анализ образцов стабильного конденсата, получаемого на Сосногорском ГПЗ в настоящее время, и перспективного образца сырья, содержащего ~35 масс.% нефти. Определены оптимальные композиции бензиновых и дизельных фракций, содержащихся в стабильном конденсате, соответствующие требованиям действующих стандартов
 - фракция 65-150 °С – компонент автобензина по ТУ 51-275-86, сырье установки цеоформинг, нефтехимическое сырье по ОСТ 51 65-80;
 - фракция 150-300 °С (290 °С – для перспективного сырья) – дизельное топливо по ГОСТ 305-82
- 2 Дано научное обоснование комплексной схемы реконструкции установки стабилизации НГКС на Сосногорском ГПЗ с производством дополнительной продукции – бензиновой фракции, дизельного топлива и высокопарафинистого остатка, который предложен в качестве сырья для производства печного техуглерода.
- 3 Дано научно-техническое обоснование варианта использования высокопарафинистого остатка газового конденсата в качестве сырьевой добавки к природному газу при производстве печного техуглерода:
 - промышленные испытания, проведенные на установке производства печного техуглерода из газожидкостного сырья, показали, что качество продукта соответствует требованиям ГОСТ 7885-86 на техуглерод П701 (N772 по классификации ASTM),
 - выход техуглерода в расчете на потенциал углерода в газожидкостном сырье оказался на 40% выше, чем на существующем производстве при неполном горении природного газа;
 - испытания в эластомерах опытной партии образцов техуглерода, полученного при неполном горении газожидкостного сырья и природного газа, показали их одинаковую усиливающую способность.
- 4 Определена активность железосодержащих катализаторов с добавками цеолита при синтезе углеводородов из разбавленного азотом синтез-газа и разработана технология переработки отходящих газов производства техуглерода П701 (N772) в ШФУ. Максимально достигнутый выход ШФУ и углеводородов (C₅-C₂₀) при переработке синтез-газа состава (об % N₂-61; CO-10, H₂-24, CO₂-5) при конверсии CO ≥95% составил, соответственно 24,3 и 15,4 г/нм³ синтез-газа.
- 5 В результате реконструкции производства переработки НГКС за счет изменения номенклатуры выпускаемой продукции выручка от реализации увеличится на 1602 млн руб., при этом эксплуатационные затраты возрастут только на 402,7 млн. руб.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

- 1 С В Савченков, М.П. Лапшин, М.А. Кудрявцев, И В Ваулин. Оптимизация процесса абсорбции газа на Сосногорском ГПЗ Сб СеверГазпром: союз науки и производства в области геологии, разработки месторождений и транспорта газа в Тимано-Печорской провинции – г Ухта.- 1999 - С 589-595
- 2 С В Савченков М П Лапшин, М А Кудрявцев, А П Патшин Анализ процесса дезанизации нефтеконденсатных смесей с малым содержанием газовых компонентов Сб СеверГазпром: союз науки и производства в области геологии, разработки месторождений и транспорта газа в Тимано-Печорской провинции – г Ухта - 1999 - С 596-608
- 3 Л Б Директор, В М Зайченко, М А Кудрявцев, И Л Майков, Б Т Рогов, А Н Соболев, Н А Черномырдина Новое в производстве технического углерода на Сосногорском ГПЗ М Газовая промышленность.- 2001 – N 2 – С 49-50
- 4 М А Кудрявцев, М.П. Лапшин, С.В. Шурупов, Н Н Кисленко, А.В. Шестоперова,, С В Савченков Комплексная схема переработки газового конденсата на Сосногорском ГПЗ -М Наука и техника в газовой промышленности - 2001 - N 4 – С 46-49
- 5 М А Кудрявцев, М П Лапшин, Т Г Гюльмисарян, С В Савченков, С В Шурупов, А В Шестоперова Производство автобензина из стабильного конденсата // Малотоннажная переработка нефти и газа в республике Саха (Якутия) – Материалы конференции (26-27 июля 2001, Якутск) - С 109-112.
- 6 S V Shurupov, N N Kislenco, M A Kudryavtsev, M P Lapshin An advanced scheme for processing the paraffin-rich gas condensate // Gas technology institute's conference and exhibition on natural gas technologies Sept 30–Oct 2, 2002, Orlando, Florida –P 1-9
- 7 S V Shurupov, N N Kislenco, M A Kudryavtsev, M P Lapshin An advanced scheme for processing the paraffin-rich gas condensate // Gas technology institute's conference and exhibition on natural gas technologies Sept 30–Oct 2, 2002 Orlando, Florida – Abstracts P 92
- 8 С В Шурупов, М А Кудрявцев, М П Лапшин Производство низкодисперсного техуглерода П701 (N772) из газожидкостного сырья Сб Научно-технический прогресс в технологии переработки природного газа и конденсата – г Москва, 2003 – С 167-179
- 9 С В Шурупов, Н Н Кисленко, Д А Пак, А В Шестоперова, М С Кудрявцев, М П Лапшин, С В Савченков Особенности переработки газового конденсата на Сосногорском ГПЗ Сб Научно-технический прогресс в технологии переработки природного газа и конденсата – г Москва, 2003 – С 186-194
- 10 С В Семенова, С В Шурупов, А Г Бинюков, М А Кудрявцев, М П Лапшин Использование вторичных энергоресурсов печного производства техуглерода на Сосногорском ГПЗ Сб Научно-технический прогресс в технологии переработки природного газа и конденсата – г Москва, 2003 – С 204-210
- 11 С В Шурупов, Н Н Кисленко, М А Кудрявцев, М П Лапшин Способ получения дистиллятных фракций из отходящих газов процесса производства печного техуглерода Патент РФ на изобретение № 2212376
- 12 С В Шурупов, Н Н Кисленко, М А Кудрявцев, М.П. Лапшин Утилизация отходящих газов печного производства техуглерода на Сосногорском ГПЗ Сб. Энергосбережение и энергосберегающие технологии при переработке газа, газового конденсата, нефти. Сургут, сентябрь 2002 г. Москва, 2002 - С. 87-93

Заказ № 11

Тираж 120 экз.

Лицензия № 020878 от 20 мая 1999 г

Подписано к печати 9 марта 2004 г

Объем 1 уч.-изд. л. Формат 60x84/16

Отпечатано на ротапринтере ООО «ВНИИГАЗ» по адресу: 142717, Московская обл., Ленинский район, пос Развилка.

Из фондов Российской национальной библиотеки

Из фондов Российской национальной библиотеки

№ - 4448

РНБ Русский фонд

2004-4

33059

Из фондов Российской национальной библиотеки