

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Институт компьютерных и инженерных наук
Кафедра химии и химической технологии
Направление подготовки 18.03.01 – Химическая технология
Направленность (профиль) образовательной программы Химическая технология
природных энергоносителей и углеродных материалов

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Зав. кафедрой
_____ Ю.А. Гужель
« ____ » _____ 2024 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему: Совершенствование отечественных технологий глубокой переработки
тяжелой нефти

Исполнитель
студент группы 0107-об _____ А.Э. Рудакова
(подпись, дата)

Руководитель
доцент, канд. техн. наук _____ Г.Г. Охотникова
(подпись, дата)

Консультант по безопасности
жизнедеятельности
доцент, канд. техн. наук _____ А.В. Козырь
(подпись, дата)

Нормоконтроль
проф., док. хим. наук _____ Т.А. Родина
(подпись, дата)

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Институт компьютерных и инженерных наук
Кафедра Химии и химической технологии

УТВЕРЖДАЮ
Зав. кафедрой
_____ Ю.А. Гужель
« ____ » _____ 20__ г.

З А Д А Н И Е

К выпускной квалификационной работе студента Рудаковой Алины Эдуардовны

1. Тема выпускной квалификационной работы: «Совершенствование отечественных технологий глубокой переработки тяжелой нефти» утверждена Приказом от 17.04.2024 г № 1016-уч
2. Срок сдачи студентом законченной работы 07.06.2024 г.
3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: Производительность установки по сырой нефти – 100 000 т/год. Литературные данные. Техническая документация, нормативная и иная документация, статистические данные.
4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов): Литературный обзор по процессам переработки тяжелой нефти. Анализ методов переработки тяжелой нефти. Обоснование технологической схемы переработки тяжелой нефти, ее описание. Экономическое обоснование проекта. Безопасность и экологичность производства.
5. Перечень материалов приложения: Технологическая схема установки переработки тяжелой нефти.
6. Консультанты по выпускной квалификационной работе Козырь А. В., канд. техн. наук, доцент; раздел «Безопасность и экологичность производства».
7. Дата выдачи задания 25.04.2024 г

Руководитель выпускной квалификационной работы: Охотникова Галина Генриховна, доцент, канд. техн. наук, доцент

Задание принял к исполнению 25.04.2024 г. _____

РЕФЕРАТ

Бакалаврская работа содержит 59 с., 10 рисунков, 23 таблицы, 41 источник.

ТЯЖЕЛАЯ НЕФТЬ, ВЫСОКОВЯЗКАЯ НЕФТЬ, ДОБЫЧА, ГЛУБОКАЯ ПЕРЕРАБОТКА, АКУСТИЧЕСКАЯ КАВИТАЦИЯ, ВИСБРЕКИНГ, ТЕРМОЛИЗ, ДОРОЖНЫЕ БИТУМЫ, ПРОИЗВОДСТВО

В ходе выполнения бакалаврской работы проведено исследование возможности совершенствования отечественных технологий глубокой переработки тяжелой нефти. Выполнен анализ запасов тяжелой нефти в России и в мире, методов добычи. Была рассмотрена базовая технология переработки тяжелой нефти, выбран способ углубления переработки. Составлена технологическая схема процесса. Выполнен расчет материального баланса и экономической эффективности процесса.

					ВКР.817643.180301.ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Рудакова А.Э.			<i>Совершенствование отечественных технологий глубокой переработки тяжелой нефти</i>	Лит.	Лист	Листов
Провер.		Охотникова Г.Г.				У	3	59
Н. контр.		Родина Т.А.				АмГУ ИКиИН гр. 0107-об		
Зав. каф.		Гужель Ю.А.						

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	6
1 Литературный обзор	8
1.1 Тяжелая нефть	8
1.2 Анализ запасов тяжелой нефти в мире	11
1.3 Анализ запасов тяжелой нефти в России	14
1.4 Способы добычи тяжелой нефти	18
1.5 Базовый процесс переработки тяжелой нефти	19
1.6 Критерии выбора комплекса технологических процес- сов переработки ТН	22
1.7 Применение термодеструктивных процессов в ходе пе- реработки ТН	25
1.7.1 Термический крекинг	25
1.7.2 Коксование	25
1.7.3 Висбрекинг	26
1.8 Влияние кавитационно-акустического воздействия на свойства нефти	27
1.9 Химизм термоакустического висбрекинга	29
1.10 Российский рынок битумов	31
2 Технологическая часть	34
2.1 Преимущества технологии термоакустического висбре- кинга	34
2.2 Характеристика сырья и готовой продукции	35
2.3 Технологическая схема процесса	37
2.4 Материальный баланс процесса	39

					ВКР.817643.180301.ПЗ					
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	<i>Совершенствование отече- ственных технологий глубокой переработки тя- желой нефти</i>			Лит.	Лист	Листов
Разраб.	Рудакова А.Э.							У	4	59
Провер.	Охотникова Г.Г.							АмГУ ИКиИН гр. 0107-об		
Н. контр.	Родина Т.А.									
Зав. каф.	Гужель Ю.А.									

2.5 Экономическое обоснование	43
3 Безопасность и экологичность производства	47
3.1 Воздействие опасных факторов на установке	47
3.2 Утилизация отходов производства	50
3.3 Методы и средства коллективной защиты работников от производственных опасностей	51
3.4 Средства индивидуальной защиты работников от про- изводственных опасностей	53
Заключение	54
Библиографический список	55

ВВЕДЕНИЕ

Стоит отметить, что во многом нефтегазовая отрасль стратегически важна для развития страны, так как это основа, поддерживающая стабильность государства, и опора для остальных отраслей экономики. Современный мир зависит от топлива: транспорт передвигается с использованием нефтепродуктов, изготовление полимеров происходит из природного газа; в результате переработки полезных ископаемых появляются медикаменты и детские игрушки. Исходя из чего можно сделать вывод, что углеводороды – одни из самых полезных и ценных ресурсов как топливной промышленности, так и остальных сфер [1].

В настоящее время нефтеперерабатывающая отрасль претерпевает изменения, связанные с исчерпанием запасов легких нефтей, а также увеличением плотности и вязкости добываемого сырья. По мнению зарубежных и отечественных ученых, главным ориентиром отрасли переработки нефти в ближайшее время станет именно тяжелая нефть. Это сырье является ценным источником как светлых фракций, так и тяжелых фракций, из которых возможно получение товарных продуктов, обладающих добавочной стоимостью при экспорте и продажах на внутреннем рынке России.

В России до недавнего времени не было потребности в поиске технологий по добыче и переработке тяжелой нефти, поэтому сейчас существуют проблемы в этой отрасли. Добыча, транспортировка и переработка затруднена из-за особенного состава добываемой нефти, так как в ней содержится большее количество смол, асфальтенов, парафинов, относительно состава легких нефтей. Существующие технологии переработки такого сырья не дают высокого значения глубины переработки, а получаемые остатки не находят экономически эффективного применения.

					ВКР.817643.180301.ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Рудакова А.Э.			<i>Совершенствование отечественных технологий глубокой переработки тяжелой нефти</i>	Лит.	Лист	Листов
Провер.		Охотникова Г.Г.				У	6	59
Н. контр.		Родина Т.А.				АмГУ ИКиИН гр. 0107-об		
Зав. каф.		Гужель Ю.А.						

Модернизация существующих технологий, а также поиск и внедрение новых позволит увеличить глубину переработки нефти, удовлетворить потребности внутреннего и внешнего рынка.

Цель работы – анализ отечественных технологий глубокой переработки тяжелой нефти и проведение их модернизации.

Для решения поставленной цели были определены следующие задачи:

1. Изучить особенности состава тяжелой нефти.
2. Оценить запасы тяжелой нефти в России и в мире.
3. Проанализировать существующие технологии переработки тяжелой нефти.
4. Выбрать критерии подбора комплекса технологических процессов для глубокой переработки тяжелой нефти.
5. Провести анализ совершенствования выбранной технологии глубокой переработки тяжелой нефти.
6. Произвести расчет эффективности внедряемого процесса.
7. Исследовать безопасность и экологичность внедряемого процесса.

					ВКР.817643.180301.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		7

1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Тяжелая нефть

Нефть – это природная маслянистая горючая жидкость со специфическим запахом, состоящая в основном из сложной смеси углеводородов различной молекулярной массы и некоторых других химических соединений [2].

В России согласно ГОСТ Р 51858-2020 «Нефть. Общие технические условия», в зависимости от плотности нефть подразделяют на пять типов, которые представлены в таблице 1, где 0 – особо легкая нефть, 1 – легкая нефть, 2 – средняя нефть, 3 – тяжелая нефть, 4 – битуминозная нефть [3].

Таблица 1 – Классификация нефти по плотности

Наименование показателя	Значение для типа нефти				
	0	1	2	3	4
Плотность, кг/м ³ при температуре 20 °С	Не более 830,0	830,1-850,0	850,1-870,0	870,1-895,0	Более 895,0
Плотность АРІ, °АРІ	36-45,4	29,5-36	22,3-29,5	22,3-10	Менее 10

Исходя из данных таблицы 1, к тяжелым относят нефти с плотностью 870-895 кг/м³, к битуминозным – выше 895 кг/м³.

В то же время согласно международной классификации нефтяного сырья по плотности в °АРІ тяжелыми являются нефти с плотностью 20-10 °АРІ (934-1000 кг/м³), а природными битумами – менее 10 °АРІ (более 1000 кг/м³) [4].

Согласно определению, тяжелая нефть (ТН) – это нефть, обладающая по-

					ВКР.817643.180301.ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Рудакова А.Э.			<i>Совершенствование отечественных технологий глубокой переработки тяжелой нефти</i>	Лит.	Лист	Листов
Провер.		Охотникова Г.Г.				У	8	59
Н. контр.		Родина Т.А.				АмГУ ИКиИИ гр. 0107-об		
Зав. каф.		Гужель Ю.А.						

вышенной плотностью и большим сопротивлением течению, которая вследствие своих физических свойств не может быть извлечена на поверхность традиционными способами, а ее транспортировка и переработка в ценные продукты требуют значительных затрат. Такие нефти характеризуются аномальностью физических свойств, таких как высокие значения плотности и вязкости, и химических – высокие содержания смол, асфальтенов и парафинов [4].

Под определением тяжелой нефти обычно подразумевают также и природные битумы, и сверхтяжелые нефти.

Природные битумы – окисленные высоковязкие, плотные нефти жидкой, полужидкой и твердой консистенции с высоким содержанием серы, масел, смол и асфальтенов. Отличаются большим содержанием ванадия, никеля, молибдена и значительно меньшим содержанием бензиновых и дизельных фракций [4].

Помимо высокой плотности, другой важной отличительной особенностью тяжелых нефтей является высокая вязкость. Плотность является одним из важнейших широко употребляемых показателей качества нефтей и нефтепродуктов, имеет значение как физическая характеристика, а в ряде случаев как эксплуатационный показатель качества нефтепродуктов. А вязкость – это показатель, используемый при проектировании разработки нефтяных месторождений, выборе способа транспортировки и схемы переработки нефти. Величина вязкости является также характеристикой показателей качества нефтепродуктов – топлив, масел, битумов [5].

На XII Мировом нефтяном конгрессе была принята классификация нефтей и природных битумов, предполагающая отнесение к битумам сырья с вязкостью в пластовых условиях выше 10000 мПа·с, плотностью более 1000 кг/м³. Тяжелыми считаются нефти плотностью 920-1000 кг/м³, а вязкостью ниже 10 000 мПа·с. Промежуточное звено между ТН и ПБ составляют сверхтяжелые нефти, имеющие плотность выше 1000 кг/м³, но вязкость ниже 10 000 мПа·с [6]. Исходные данные объединены в таблицу 2.

					ВКР.817643.180301.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		9

Таблица 2 – Значения плотности и вязкости тяжелого нефтяного сырья

Наименование показателя	Значение для вида сырья		
	ТН	Сверхтяжелые нефти	ПБ
Плотность, кг/м ³ при температуре 20 °С	920-1000	Более 1000	Более 1000
Вязкость, мПа·с	Ниже 10000	Ниже 10000	Выше 10000

Как правило, тяжелая нефть характеризуется низким соотношением водород/углерод, высокими показателями плотности (низкой плотностью в градусах API), коксумости и концентрации асфальтенов, серы, азота и металлов (главным образом ванадия и никеля), небольшим выходом дистиллятов и высоким выходом остатка перегонки. Это хорошо видно из таблицы 3, где взяты за основу усредненные значения для каждого вида нефти, так как физические и химические свойства, а также точный химический состав нефти зависят от ее происхождения [7].

Кроме того, в состав тяжелой нефти входят смолы, жирные кислоты, в том числе нафтеновые, парафин, комплексы металлов и другие компоненты, которые способны связываться асфальтенами и влиять на стабильность нефти. Асфальтены являются главными компонентами тяжелых нефтей, а их структура и строение прямо влияют на состав нефти. Нефть может содержать также механические примеси, состоящие из оксидов кремния, железа и других компонентов. От традиционных нефтей ТН также отличается и фракционным составом. Некоторые ТН и ПБ могут содержать малое количество или совсем не содержать фракций, выкипающих до 200 °С. В природных условиях они не будут текучими [8].

Считается, что тяжелая нефть является остатком более легкой нефти, которая мигрировала из глубоко залегающих пластов в верхние зоны залежей, где подверглась биологическому разложению и воздействию воды, а также сложным микробиологическим процессам и улетучиванию легких углеводоро-

дов из неглубоко залегающих пластов, не перекрытых сверху непроницаемыми породами. Если традиционная нефть мигрирует через проницаемые горные породы, пока не оказывается в ловушке непроницаемых пород, то тяжелая нефть не встречает на пути к верхним слоям земной коры таких препятствий. Эта нефть не закрывается герметично от окружающей среды и сохраняется хуже, чем нефть, собранная в ловушках. Тяжелая нефть распространяется на больших площадях, пропитывая пористые породы, такие как песчаники. Извлечь углеводороды из таких пород гораздо сложнее, чем из традиционных резервуарах [9].

Таблица 3 – Свойства и состав тяжелой и легкой нефти

Свойства	Тяжелая нефть	Легкая нефть
Плотность, °API	21,30	33,30
Сера, % по массе	3,52	1,80
Азот, % по массе	0,32	0,14
Ni+V, мг/кг	322,50	99,7
Асфальтены, % по массе	12,70	3,06
Коксуемость, % по массе	10,80	4,13
Состав, % об.:		
газы C1-C4	0,50	0,70
бензиновая фракция	15,00	23,00
фракция реактивного топлива	8,40	11,70
керосиновая фракция	8,00	10,50
легкий газойль	9,10	11,40
тяжелый газойль	21,40	25,30
вакуумный остаток	37,60	17,40

1.2 Анализ запасов тяжелой нефти в мире

В настоящее время разведанные нефтяные запасы содержат около 70 % тяжелых и сверхтяжелых нефтей, которые становятся все более востребованными

в связи с растущим потреблением нефтепродуктов и постепенным истощением эксплуатируемых нефтяных месторождений [10].

По разным оценкам, запасы высоковязких тяжелых нефтей и природных битумов составляют от 790 млрд тонн до 1 трлн тонн, что в 5-6 раз больше остаточных извлекаемых запасов легких нефтей, составляющих примерно 162 млрд тонн [10-12].

Исходя из данных рисунка 1, на котором показано процентное соотношение запасов нефтяного сырья, разведанных запасов тяжелых нефтей и природных битумов гораздо меньше, но все же больше известных на данное время запасов легких и средних нефтей.

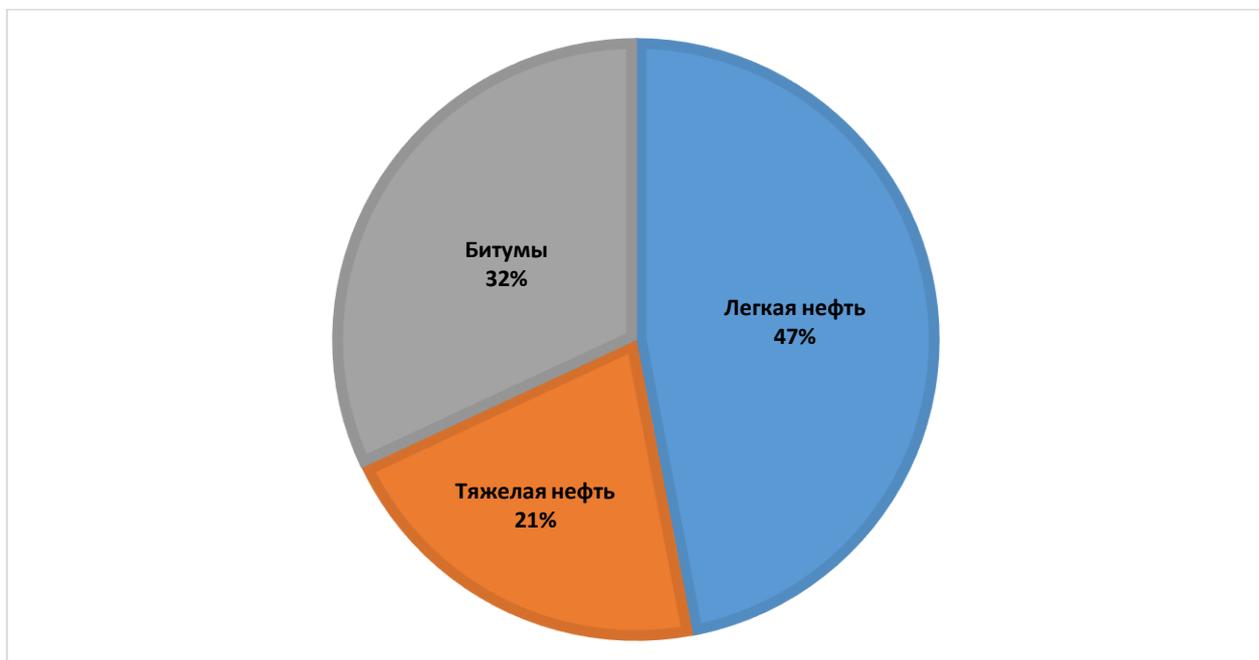


Рисунок 1 – Соотношение разведанных запасов легкой нефти, ТН и ПБ

Географическое распределение залежей ТН и ПБ в мире представлено на рисунке 2. Россия, Канада и Венесуэла обладают наибольшими запасами этого сырья – в сумме около 66 % – и в будущем, по истощении мировых запасов обычной нефти и при условии эффективного применения методов разработки тяжелой нефти и природных битумов, смогут играть ещё большую роль в формировании рынка энергоресурсов.

Следовательно, у России есть все шансы занять лидирующую позицию на рынке тяжелой нефти при правильном подборе технологий ее добычи и способах переработки.

1.3 Анализ запасов тяжелой нефти в России

По данным World Energy Council, геологические запасы тяжелой нефти и природных битумов в России составляют 55 млрд тонн. Извлекаемые запасы в целом по Российской Федерации составляют 1980,291 млн тонн [12]:

- в Приволжском ФО – 844,297 млн тонн;
- в Уральском ФО – 651,590 млн тонн;
- в Северо-Западном федеральном округе ФО – 436,037 млн тонн;
- в Южном ФО – 7,708 млн тонн;
- в Дальневосточном ФО – 7,487 млн тонн;
- в Сибирском ФО – 3,544 млн тонн;
- в Северо-Кавказском ФО – 1,948 млн тонн;
- на шельфе Российской Федерации – 27,680 млн тонн.

Распределение разведанных запасов тяжелых нефтей по федеральным округам и субъектам Российской Федерации представлено на рисунках 3 и 4. Лидерами по запасам являются Тюменская область, республика Татарстан, а также Пермский край [13].

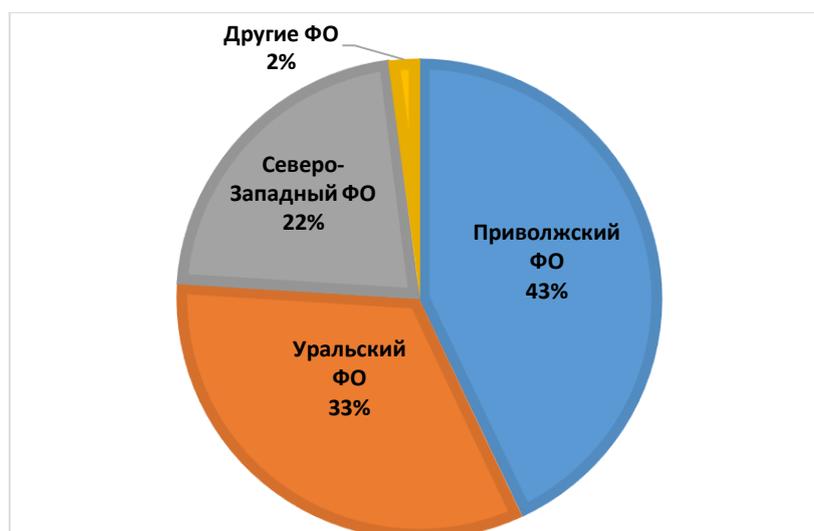


Рисунок 3 – Географическое распределение разведанных запасов ТН по федеральным округам РФ

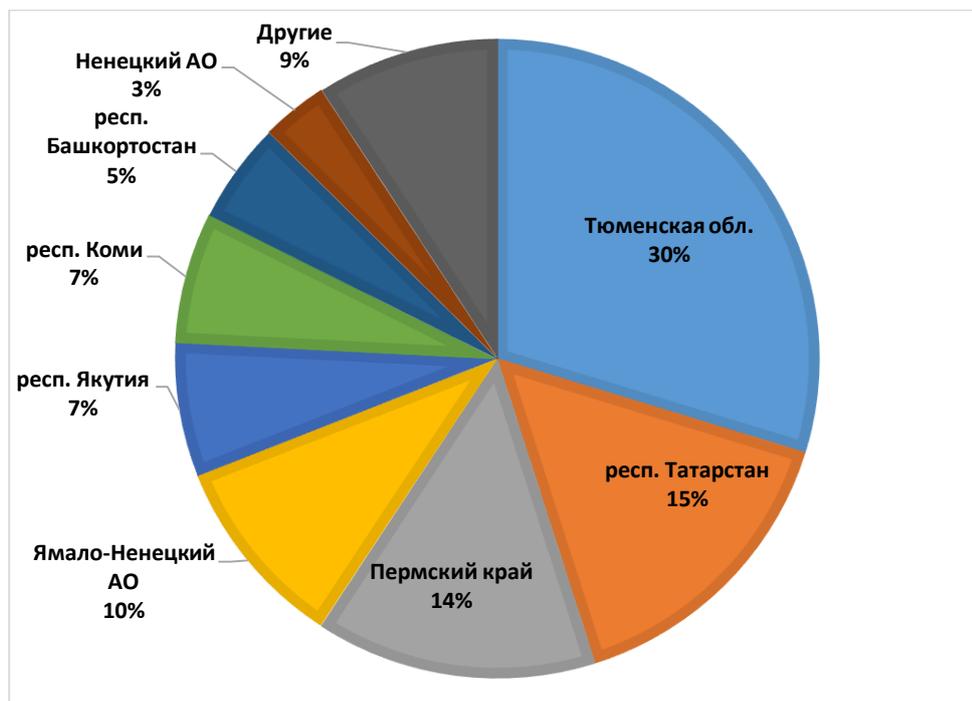


Рисунок 4 – Географическое распределение разведанных запасов тяжелых нефтей по субъектам РФ

Анализируя данные диаграмм и исходя из географических данных о нефтегазоносных бассейнах, наибольшие ресурсы тяжелой нефти сосредоточены в Волго-Уральском (республики Татарстан и Башкортостан, Пермский край), Западно-Сибирском (Тюменская область, Ямало-Ненецкий АО), а также в Тимано-Печорском бассейнах (республика Коми, Ненецкий АО).

В таблице 4 представлены данные о количестве месторождений тяжелой нефти и ее плотности на территории нефтегазоносных бассейнов РФ.

На территории Волго-Уральского бассейна находится 529 месторождений. Большинство из них расположено в северной и центральной частях бассейна, а именно в Республиках Татарстан и Башкортостан, в Пермском крае и Самарской области. Наиболее тяжелыми являются нефти Республики Татарстан (Ромашкинское, Аверьяновское, Ашальчское, Аканское месторождения), также Пермского края (Березовское и Осинское месторождения) и Республики Башкортостан (Арланское и Шкаповское месторождения) [13].

Таблица 4 – Данные о ТН основных НГБ России

Нефтегазоносный бассейн	Количество месторождений тяжелой нефти	Среднее значение плотности тяжелой нефти, кг/м ³
Балтийский	2	894,5
Волго-Уральский	529	909,7
Днепровско-Припятский	3	908,4
Енисейско-Анабарский	5	923,3
Западно-Сибирский	146	901,0
Лено-Виллюйский	6	911,1
Лено-Тунгусский	18	894,3
Охотский	33	919,8
Прикаспийский	6	926,0
Северо-Кавказский	40	930,9
Северо-Крымский	2	938,1
Тимано-Печорский	61	936,4

В пределах Западно-Сибирского бассейна сосредоточено 146 месторождений тяжелых нефтей России. Большинство месторождений с тяжелой нефтью размещены в основном в центральной части бассейна, располагающейся на территории Ханты-Мансийского автономного округа. Наиболее тяжелыми являются нефти Айяунского, Ван-Еганского и Мегионского (ХМАО), Северного (Томская область), Северо-Комсомольского и Западно-Мессояхского (Ямало-Ненецкий АО) месторождений [13].

На Дальнем Востоке тяжелая нефть в основном сосредоточена в двух регионах – в республике Саха Якутия, где расположены два крупных месторождения тяжелой нефти – Чаяндинское и Южно-Тигянское, и на острове Сахалин, где наиболее известными являются два месторождения – Охинское и Нутово.

Средние физико-химические свойства ТН о. Сахалин и респ. Саха Якутия представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Физико-химические свойства ТН Дальнего Востока

Характеристика	Среднее значение по месторождениям о. Сахалин	Среднее значение по месторождениям респ. Саха Якутия
Плотность, кг/м ³	917,6	907,8
Вязкость, мПа·с	268,39	240,41
Содержание серы, % по массе	0,39	1,53
Содержание парафинов, % по массе	0,68	0,71
Содержание смол, % по массе	7,29	13,32
Содержание асфальтенов, % по массе	3,03	1,14

Нефти отличаются большой вязкостью и относятся к классу «высоковязкая», содержат относительно большое количество смол и асфальтенов. Нефти о. Сахалин являются малосернистыми, а респ. Саха Якутия наоборот – содержат большее количество серы, принадлежат к классу «сернистые» [14, 15].

Таким образом, стоит сказать о том, что Россия обладает внушительными запасами ТН и ПБ. Разработка и освоение месторождений с запасами тяжелого нефтяного сырья является важной экономической задачей в условиях истощения традиционных энергетических ресурсов.

1.4 Способы добычи тяжелой нефти

Залежи тяжелой нефти располагаются преимущественно на глубинах от 40 до 1000 м, что и затрудняет их разработку и добычу. В настоящее время существует три способа добычи природных битумов и тяжелых нефтей: скважинный, шахтный и карьерный (открытый) [16].

Шахтная разработка может вестись в двух модификациях:

- очистная шахтная – с подъемом углеводородонасыщенной породы на поверхность;
- шахтно-скважинная – с проводкой горных выработок в надпластовых породах и бурением из них кустов вертикальных и наклонных скважин на продуктивный пласт для сбора нефти уже в горных выработках.

Очистной-шахтный способ применим лишь до глубин 200 метров, зато имеет более высокий коэффициент нефтеотдачи (до 45 %) по сравнению со скважинными методами. Большой объем проходки по пустым породам снижает рентабельность метода, который в настоящее время экономически эффективен только при наличии в породе ещё и редких металлов. Шахтно-скважинный метод разработки применим на более значительных глубинах (до 400 метров), но имеет низкий коэффициент нефтеотдачи и требует большого количества бурения по пустым породам. Главными достоинствами данной системы являются почти полный охват пласта и высокие темпы отбора нефти [16].

При карьерном методе разработки насыщенная битумом порода извлекается открытым способом и, поэтому, возможность применения этого метода ограничивается глубиной залегания пластов до 50 метров. При данном методе разработки капитальные и эксплуатационные расходы на месторождении относительно невелики, но после извлечения породы требуется проведение дополнительных работ по получению из неё углеводородов, что, однако, обеспечивает высокий коэффициент нефтеотдачи: от 65 % до 85 %. Обычно включает в себя три этапа: удаление торфяного слоя, извлечение битуминозных песков из карьера, экстракция битума.

Скважинный метод подразумевает под собой добычу нефти через скважины за счет природного режима, применения заводнения, термического или иного воздействия на продуктивные пласты. Данный метод может вестись в трех модификациях – холодный, тепловой и комбинированный способы. В современном мире наиболее популярными являются два метода – холодный CHOPS и тепловой SAGD [17].

Метод CHOPS предполагает добычу нефти вместе с песком за счет осознанного разрушения коллектора и создания в пласте соответствующих условий для течения смеси нефти и песка. Применение метода CHOPS не требует больших инвестиций на обустройство и обеспечивает незначительность эксплуатационных расходов, однако коэффициент нефтеотдачи в этом случае как правило не превышает 10 %. В основном используется в Канаде, Китае и Венесуэле.

Метод SAGD наиболее широко применим как в России, так и за рубежом. Данная технология предусматривает бурение двух горизонтальных скважин, расположенных параллельно одна над другой, через нефтенасыщенные толщины вблизи подошвы пласта. Пар, получаемый при помощи природного газа, нагнетается в одну из скважин, которая проходит примерно в 5 метров выше добывающей скважины. Пар нагревает и снижает вязкость битума, который вместе с конденсированным паром стекает в добывающую скважину. Поскольку нефть всегда находится в контакте с высокотемпературной паровой камерой, потери тепла минимальны, что делает этот способ разработки экономически выгодным [18].

1.5 Базовый процесс переработки тяжелой нефти

В настоящее время переработка тяжелой нефти направлена на получение синтетической нефти, которая по своим свойствам схожа с обычной нефтью. Основные задачи, которые возникают в ходе этого процесса:

- 1) производство облегченной синтетической нефти для получения дополнительной прибыли за счет увеличения цены по сравнению с тяжелой нефтью;

2) из-за высокого содержания смолистых веществ сокращается ресурс оборудования нефтеперерабатывающих заводов, затрудняется процесс транспортировки по трубопроводам, поэтому необходимо решение проблем транспорта тяжелых нефтей и природных битумов с отдаленных месторождений, обеспечение параметров нефти для сдачи в нефтепровод [19].

При рассмотрении вопросов, связанных с переработкой тяжелой нефти необходимо в первую очередь определиться с используемой терминологией. В отечественной научно-исследовательской нефтяной практике еще не сложилась терминология относительно квалификации и технологических манипуляций с тяжелыми нефтями. Чаще всего используется канадская терминология.

Синтетическая нефть (СН) – нефть, полученная технологически в ходе переработки ТН, имеет облегченный состав и малую вязкость (относительно ТН), не содержит недистиллируемых остатков. Свойства синтетической нефти зависят от технологии их производства.

Синтетическая нефть должна классифицироваться как легкая или средняя нефть, то есть значение плотности должно быть менее 870 кг/м^3 . Недистиллируемый остаток, отделяемый в ходе переработки, выводится в виде полупродукта или подвергается последующей переработке [20].

Полусинтетическая нефть (ПСН) – нефть, полученная технологически в ходе переработки тяжелой нефти, имеет облегченный состав и малую вязкость, содержит недистиллируемые остатки.

Чаще всего под понятием полусинтетическая нефть подразумевают смесь дистиллятных и остаточных фракций.

Целью производства является удовлетворение требованиям транспортировки по традиционным нефтепроводам или в танкерах без применения специального дорогостоящего разбавителя (нафты или конденсата) [20].

В таблице 6 для сравнения представлены данные о значениях плотности тяжелой нефти и технологически полученной – синтетической и полусинтетической – нефти [21].

					ВКР.817643.180301.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		20

Таблица 6 – Параметры тяжелой и синтетической нефти

Наименование показателя	Значение для типа нефти			
	ТН	ПБ	ПСН	СН
Плотность, кг/м ³ при температуре 20 °С	870,1-895,0	Более 895,0	870,0-890,0	Менее 870,0
Плотность API, °API	22,3-10	Менее 10	22-27	Более 47

Технология переработки тяжелой нефти в синтетическую включает в себя блок атмосферной и вакуумной перегонки, откуда остаток направляется на какой-либо из вторичных процессов: деасфальтизация, коксование, висбрекинг. Использование термодеструктивных процессов обусловлено их высокой теоретической обоснованностью.

Типовая схема базовых технологий переработки тяжелых нефтей в синтетическую и полусинтетическую нефть представлена на рисунке 5.

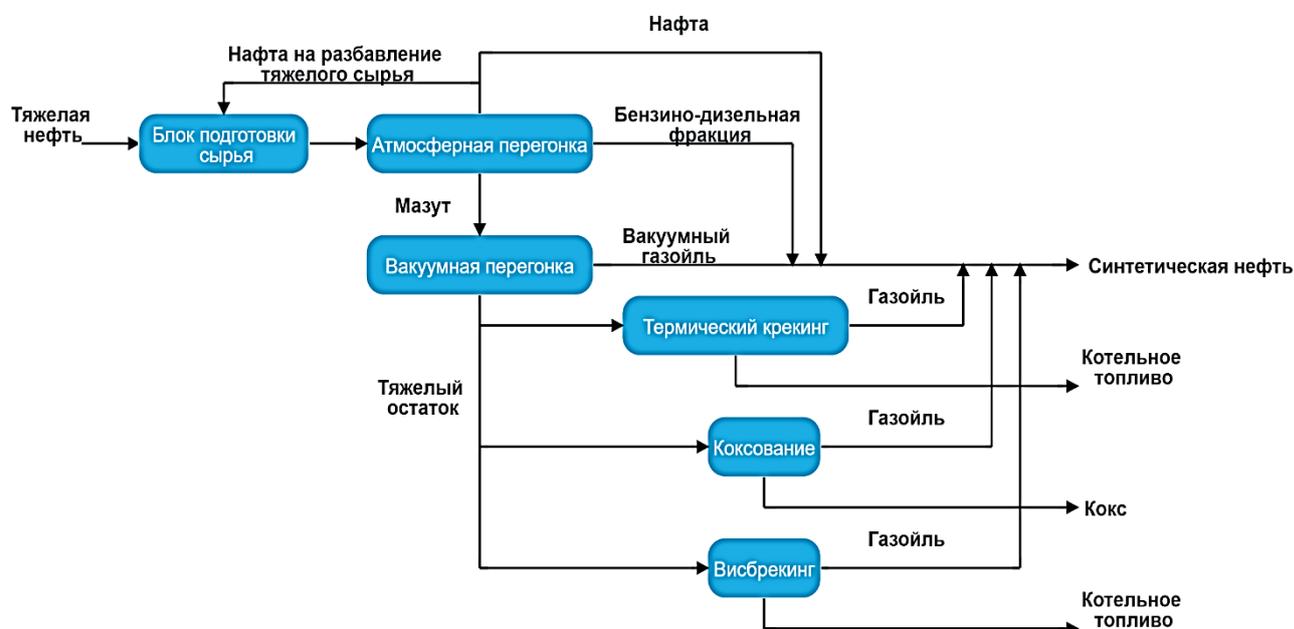


Рисунок 5 – Типовая схема переработки тяжелой нефти

Тяжелая нефть с разбавителем, в качестве которого обычно выступает легкая нефть, поступает на атмосферную перегонку, после чего нефть возвращается к установке добычи нефти для повторного использования в качестве разбавителя. Недистиллируемый остаток – мазут – направляется на вакуумную перегонку, откуда полученный гудрон направляется на какой-либо из вторичных процессов для дальнейшей переработки. Синтетическая нефть транспортируется на НПЗ и в дальнейшем перерабатывается как обычная нефть [22-24].

Представленная схема переработки не обеспечивает максимальное использование всех ценных компонентов ТН, так как выход светлых фракций не превышает 25 %, а полученные недистиллируемые остатки не обладают высоким качеством. Многие ученые, занимающиеся изучением тяжелой нефти и природных битумов, сходятся во мнении, что применение классических способов переработки для такого сырья неэффективно и экономически невыгодно [22-24].

Следовательно, переработка ТН требует более обоснованного выбора комплекса технологических процессов и их модернизации.

1.6 Критерии выбора комплекса технологических процессов переработки ТН

Как было указано ранее, добыча и переработка тяжелой нефти представляет собой сложную последовательность операций. При добыче ТН и извлечении ее на поверхность вязкость возрастает вследствие снижения температуры, следовательно, возникает проблема, связанная с транспортировкой нефти по трубопроводу. Необходимо на протяжении всего пути ТН от промысла до НПЗ поддерживать температуру, при которой будет поддерживаться оптимальное значение вязкости. К тому же, асфальтены, содержащиеся в такой нефти в большом количестве, могут оседать на стенках трубопровода, что приводит к снижению пропускной способности. Из этого следует вывод о необходимости переработки тяжелой нефти на промысле во избежание проблем, связанных с ее транспортировкой.

					ВКР.817643.180301.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		22

Основываясь на этом, первостепенной задачей после извлечения нефти на поверхность является снижение ее вязкости и плотности, а также отделение тяжелого остатка, за счет чего произойдет повышение эффективности трубной перекачки тяжелой нефти.

Строительство крупного НПЗ на промысле не является рациональным решением, так как количество добываемой ТН в настоящее время составляет всего 15 % от добычи традиционной нефти. С экономической точки зрения, это не принесет прибыли, ведь срок окупаемости такого предприятия будет очень высок.

Оптимальным вариантом решения поставленной задачи будет строительство малого НПЗ непосредственно на месторождении. Значение производительности такого завода следует учитывать исходя из количества добываемой нефти. Среднее значение для мини-НПЗ составляет 100 тыс. тонн/год.

Все схемы традиционных НПЗ в качестве основного процесса включают атмосферную перегонку нефти с получением тяжелого остатка – мазута – следовательно, этот процесс можно выбрать в качестве первичного базового.

Из данных таблицы 3 следует, что среднее значение содержания тяжелого остатка в выбранном сырье составляет 68 %. Направлять на вакуумную перегонку такое количество мазута не целесообразно, поскольку получаемые вакуумные газойли и вакуумные остатки не отвечают по свойствам конечным товарным нефтепродуктам и требуют дополнительных специализированных процессов. Значит нужно подбирать процессы, направленные на глубокую конверсию мазута в максимальное количество бензино-дизельных дистиллятов с минимальным выходом высоколиквидного и высококачественного остатка.

Выбор углубляющих процессов, входящих в мини-НПЗ, также будет зависеть от следующих факторов:

- 1) строительство технологических установок высокой стоимости нерентабельно, значит капитальные затраты не должны быть огромными;
- 2) глубина переработки нефти должна быть максимальной;

					ВКР.817643.180301.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		23

3) производить необходимо востребованный и качественный остаточный продукт для получения максимальной прибыли.

На рисунке 6 приведен вклад технологий, основанных на традиционных процессах, в мировую переработку тяжелого нефтяного сырья.

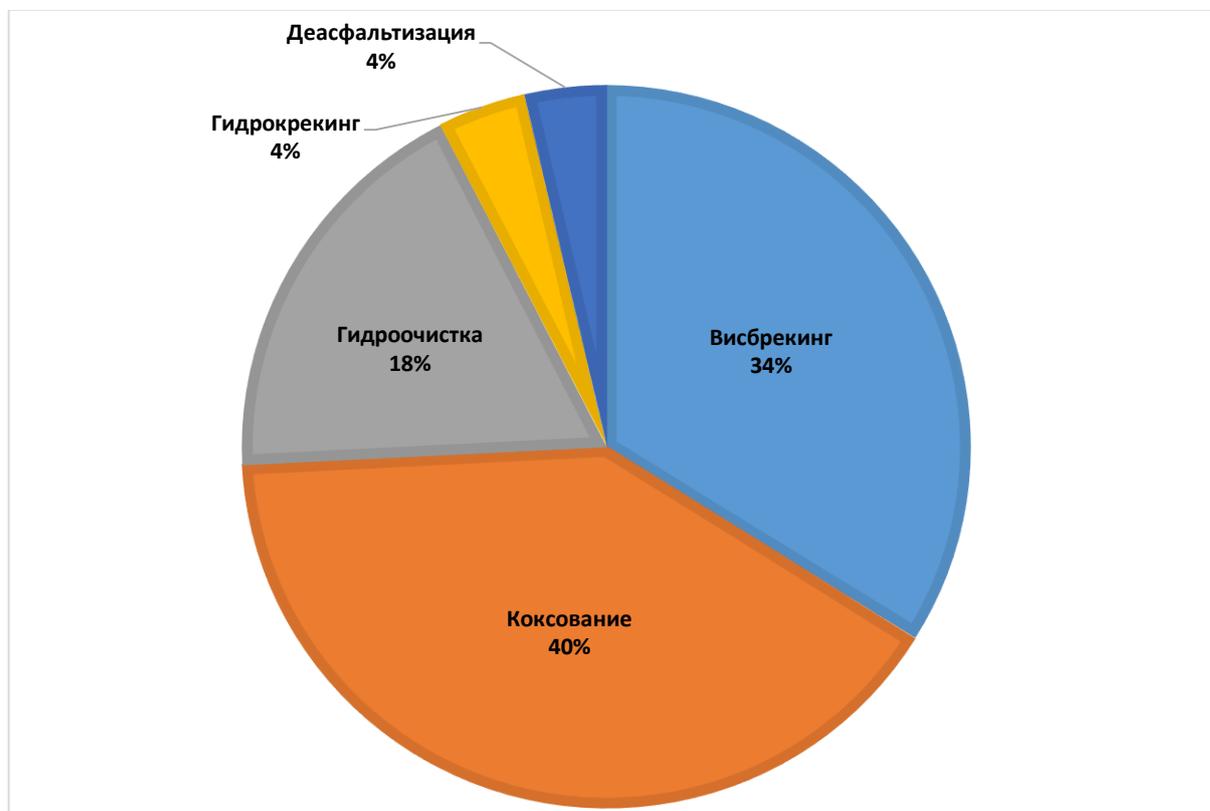


Рисунок 6 – Доли различных процессов в мировой переработке ТН

Гидрокаталитические процессы переработки требуют высоких инвестиционных вложений, а внедрение необходимых дополнительных установок – например, производства водорода – увеличит стоимость строительства в несколько раз. В данной работе они рассматриваться не будут.

Высокая доля процессов коксования и висбрекинга обусловлена их низкой инвестиционной стоимостью. К тому же, термодеструктивные процессы переработки нефти давно изучены, их теоретическая обоснованность имеет высокий уровень. Рациональным решением будет более детальное их рассмотрение.

1.7 Применение термодеструктивных процессов в ходе переработки ТН

Под термическими процессами подразумевают процесс химических превращений нефтяного сырья, состоящий из реакций распада (крекинга) и уплотнения, осуществляемые при термическом воздействии без применения катализатора. Совокупность таких реакций объединяют под термином термолиз [25].

Термохимические реакции крекинга являются эндотермическими, и для их протекания необходим нагрев. Глубина протекания реакций зависит от продолжительности температурного воздействия [25].

1.7.1 Термический крекинг

Термический крекинг – высокотемпературный процесс вторичной переработки углеводородов, проводимый при температуре до 500 °С - 540 °С и давлении 2-5 МПа без доступа воздуха, для получения продуктов с меньшей молекулярной массой – компонентов топлив и сырья для химической и нефтехимической промышленности. Время пребывания сырья в зоне реакции составляет 1,5-2,5 минуты. Выход светлых продуктов при крекинге тяжелого нефтяного сырья не превышает 30 % - 35 % [25].

Недостатками данного процесса являются низкое качество продуктов, необходимость частой чистки оборудования вследствие его коксования, плохая управляемость процессом. В настоящее время термический крекинг практически не используется.

1.7.2 Коксование

Среди термических процессов в России и в зарубежных странах широкое распространение получила технология коксования.

Коксование – это процесс переработки тяжелых нефтяных остатков, в том числе и тяжелой нефти, при повышенных температурах (470 °С - 540 °С) и пониженном давлении, позволяющий получить основной продукт кокс, содержащий в составе 90 % углерода, а также дистиллятные фракции. В зависимости от сырья, на выходе с установки получают до 60 % дистиллятных фракций (нафта,

					ВКР.817643.180301.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		25

легкий и тяжелый газойль коксования) и различные виды кокса, такие как топливный, анодный, игольчатый [26].

Несмотря на высокий выход нефтяного кокса, стоит учесть существующую проблему его сбыта из-за ограниченности рынка в России, что делает этот продукт неликвидным. Процент выхода светлых фракций при переработке тяжелой нефти снижается до 30 %. К тому же, технология является дорогой, высокоэнерго- и металлоемкой, неэкологичной, поэтому использовать этот процесс нерентабельно. Следовательно, применение технологии коксования для переработки тяжелой нефти экономически и экологически неэффективно.

1.7.3 Висбрекинг

Висбрекинг – процесс однократного термического крекинга тяжелого остаточного сырья, проводимый в мягких условиях – при температуре 430 °С - 500 °С, давлении 0,5-3,0 МПа. Время пребывания сырья в зоне реакции больше, чем при термическом крекинге, и составляет от 2 до 30 минут и более. Процесс предназначен для превращения гудрона в котельное топливо с низкой вязкостью и температурой застывания [26].

Ранее висбрекинг использовали исключительно для снижения вязкости гудронов, однако в настоящее время он претерпевает модернизацию и является базовым процессом углубленной переработки нефти. Включая этот процесс в технологическую схему НПЗ, можно добиться увеличения выхода светлых фракций на 40 % [27].

К основным достоинствам висбрекинга относится простота аппаратного оформления, надежность и относительно небольшие капитальные вложения.

В таблице 7 представлены сводные данные о рассмотренных термических процессах переработки тяжелой нефти.

Анализ полученных данных, особенностей рассмотренных технологических процессов и затрат на реализацию говорит о том, что выбор технологии разумно сделать в пользу висбрекинга. Это позволит добиться максимального выхода светлых фракций, а также увеличит глубину переработки темной фракции

нефти с получением высоколиквидных товарных продуктов. К тому же, эксплуатационные затраты на внедрение висбрекинга значительно ниже, чем на внедрение других процессов.

Таблица 7 – Аналитические данные внедрения термических процессов глубокой переработки ТН

Процесс	Капиталовложения, млрд руб.	% увеличения выхода светлых фракций	Аналитическая оценка
Замедленное коксование	3,6-6,3	25-30	Большая металлоемкость, полученные продукты (ТГК) требуют дальнейшей переработки углубляющими процессами, образуется много невостребованного кокса
Термический крекинг	2,5-4,8	20-30	Малоэффективен, практически не используется в настоящее время
Висбрекинг	1,8-2,3	25-40	Обеспечивает максимальный выход светлых фракций, отсутствие невостребованных продуктов

1.8 Влияние кавитационно-акустического воздействия на свойства нефти

По мнению отечественных и зарубежных специалистов, наиболее перспективным методом воздействия на нефть является воздействие физическими полями, которое приводит к разрушению структур нефтяных ассоциатов и, следовательно, снижает вязкость нефти. Использование упругих механических коле-

баний в нефтехимической технологии является весьма перспективным. Во многих случаях оно обеспечивает высокую интенсивность технологического процесса, не достижимую с помощью остальных методов. Анализ исследований по применению кавитации для интенсификации различных технологических процессов показывает перспективность этого метода [27-34].

Акустическая кавитация представляет собой средство концентрации энергии звуковой волны низкой плотности в высокую, связанную с пульсациями и захлопыванием кавитационных пузырьков [28].

В фазе разряжения акустической волны или за счет местного понижения давления при обтекании твердого тела в жидкости образуются каверны (кавитационные пузырьки), которые заполняются насыщенным паром данной жидкости. В фазе сжатия под действием повышенного давления и сил поверхностного натяжения каверна захлопывается, а пар конденсируется на границе раздела фаз. Через стены каверны в нее диффундирует растворенный в жидкости газ, который затем подвергается сильному адиабатическому сжатию.

В кавитационную каверну могут проникать пары жидкости, растворенные газы, а также вещества с высокой упругостью пара и не могут проникать ионы или молекулы нелетучих растворенных веществ [28].

Разрушение поверхности твердого тела, очистка поверхностей, диспергирование твердых частиц, растворение, экстрагирование, эмульгирование, гомогенизация, пенообразование осуществляются в основном за счет двух характерных проявлений кавитации: ударных волн и кумулятивных струек, образующихся при схлопывании кавитационных пузырьков. Кумулятивные струйки разрушают поверхностные слои и поверхность твердого тела за счет кинетической энергии жидкости.

При кавитационно-акустической обработке нефти ускоряется диффузия жидкой фазы в полости парафина, интенсифицируется процесс его разрушения. Ускорение растворения парафина идет за счет интенсификации перемешивания нефти на границе нефть – парафин и действия импульсов давления, которые как

					ВКР.817643.180301.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		28

бы разбрызгивают частицы парафина. Тем самым, увеличивается выход фракций при одинаковой температуре отгона [29].

В промышленности для кавитационного воздействия на жидкость используются гидродинамические, электродинамические, пьезоэлектрические, магнитоэлектрические и механические генераторы кавитации [30].

В гидродинамических кавитаторах типа роторных импульсных аппаратов в основном реализуется гидродинамическое и акустическое воздействие в жидкости за счет развитой турбулентности, пульсаций давления и скорости потока жидкости, интенсивной кавитации, ударных волн и вторичных нелинейных акустических эффектов. Пульсации давления в жидкости, необходимые для возбуждения кавитации при работе всех видов гидродинамических излучателей возникают за счет преобразования кинетической энергии потока в энергию акустических колебаний.

Основным недостатком этого устройства является интенсивный кавитационный износ его рабочих поверхностей, генерирующих кавитационные пузырьки, большая часть которых схлопывается на этих поверхностях [31].

1.9 Химизм термоакустического висбрекинга

Применение волновых технологий в совокупности с традиционными углубляющими процессами – перспективный вектор развития нефтеперерабатывающей промышленности. Теоретическая и экспериментальная проработка по этому направлению будет способствовать внедрению новых промышленных установок и увеличению глубины переработки нефти.

Рассмотрим влияние акустической кавитации на химизм процесса висбрекинга.

В процессе висбрекинга проводится мягкий термический крекинг, который сопровождается реакциями деструкции и нежелательными реакциями уплотнения смолисто-асфальтеновых веществ и тяжелых углеводородов нефти, приводящие к образованию вторичных асфальтеновых комплексов и карбенов-карбонидов – зародышей кокса. Условия образования продуктов уплотнения зависят от

состава сырья и режима крекинга. В целом схему образования поликонденсированных соединений можно выразить цепочкой: парафины – нафтены – ароматические углеводороды – смолы – асфальтены – карбены – карбоиды – кокс. Чтобы предотвратить завершение процессов конденсации до стадии образования кокса, необходимо оборвать процессы уплотнения на стадии накопления асфальтенов, желательно в количестве не более 14 %. Увеличение концентрации асфальтенов при углублении процесса может привести к их флокуляции, возникновению агрегативной неустойчивости сырья и резкой интенсификации процессов коксования [32-34].

При воздействии акустической кавитации поток высокопотенциальной механической энергии компенсирует поглощение тепла при термолизе углеводородов и вносит ощутимые изменения в гидродинамику реакционной среды, по-разному влияя на протекающие процессы.

Кавитационный термолиз высокомолекулярных соединений приводит к образованию большого количества углеводородов дизельного ряда.

А обрыв цепочки поликонденсационных превращений на стадии образования асфальтенов в необходимом количестве препятствует образованию кокса. То есть, заметно интенсифицируются процессы деструкции, возрастает дисперсионная стабильность реакционной массы и резко замедляется коксообразование. Деструкция протекает в пролонгированном режиме, а поликонденсация – в отложенном [32-34].

Кинетическая энергия, передаваемая реакционной среде за счет движения стенок схлопывающихся кавитационных пузырьков, достаточно велика и позволяет снизить температуру термического процесса на 30 °С - 80 °С и проводить термолиз практически вне области температур коксования. Результатом является большая глубина конверсии тяжелых углеводородов нефтяного сырья в легкие нефтепродукты и получение в качестве остаточного продукта концентрированного раствора смол и асфальтенов – идеальной основы для производства битумов [32-34].

					ВКР.817643.180301.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		30

1.10 Российский рынок битумов

При использовании процесса термоакустического висбрекинга в качестве товарного продукта образуется битум. Целесообразно будет провести анализ российского рынка битумов для формирования представления о спросе этого продукта и его реализации.

Спрос на битум на рынке РФ увеличивается с каждым годом. Обусловлено это строительством новых и обустройством действующих автомобильных дорог в рамках транспортной стратегии РФ. Анализ ситуации, представленный на рисунке 7, говорит о том, что производство битумов в России за последние 5 лет выросло почти на 40 % [35].

В ближайшие пять лет производство битума может быть увеличено в два раза за счет строительства новых автомобильных дорог и магистралей. Сейчас российские мощности по производству битумов составляют 14,5 млн тонн в год. Исходя из этого, следует вывод о высоком спросе битумов на внутреннем рынке РФ [35].

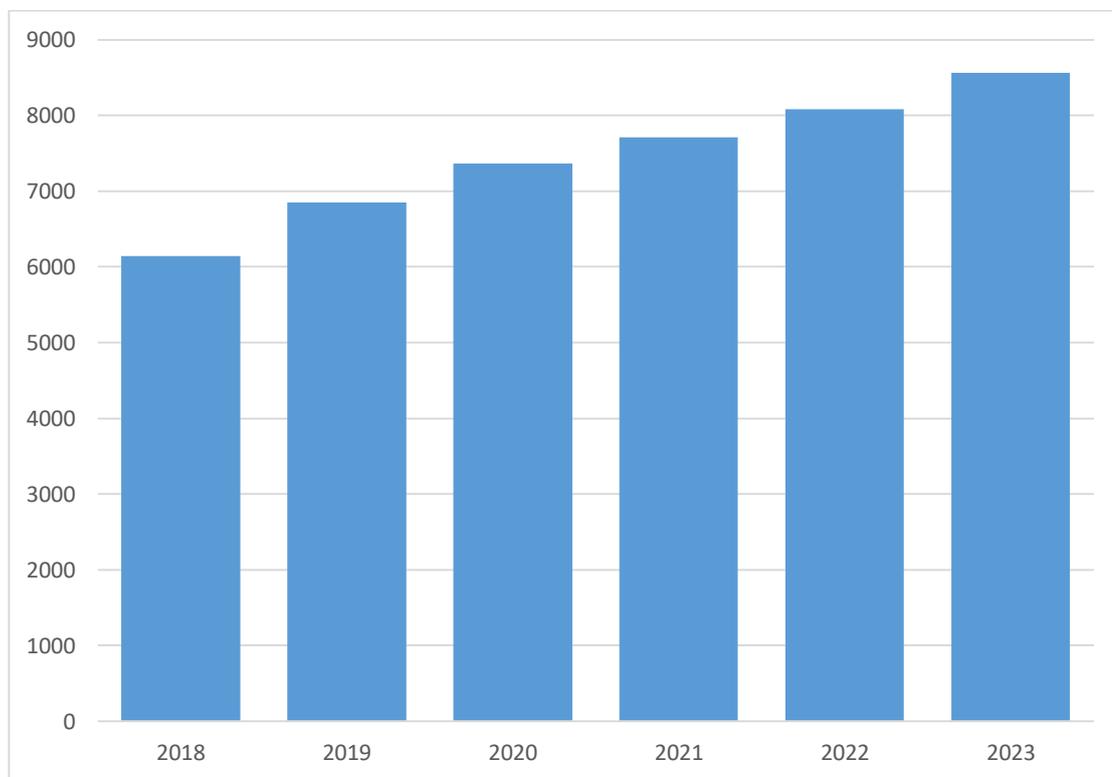


Рисунок 7 – Производство битумов в РФ за период 2018-2023 гг., тыс. тонн

Внешний рынок битумов также широк. Данные рисунка 8 свидетельствуют о том, что экспорт битумов из России растет с каждым годом. За период 2018-2023 гг. его величина выросла практически на 50 %.

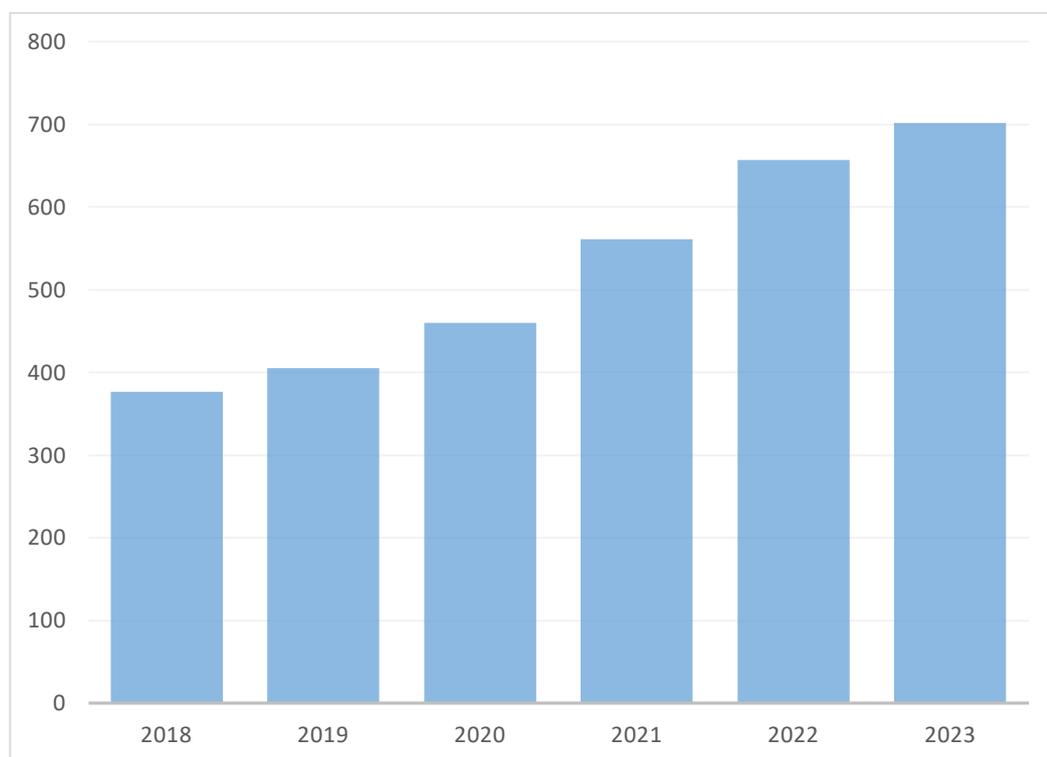


Рисунок 8 – Экспорт битумов из РФ за период 2018-2023 гг., тыс. тонн

На рисунке 9 показано процентное соотношение стран-потребителей российских битумов. В основном, странами-потребителями выступают Азербайджан, Армения, Беларусь, Казахстан, Таджикистан, Узбекистан.

Десятый пакет санкций, утвержденный ЕС, ввел ограничения на экспорт битумов из России, из-за чего снизились закупки из западных стран. Но еще до введения этого запрета специалисты российского рынка сделали упор на страны Азиатского региона, и в настоящий момент потеря покупателей из западных стран компенсируется количеством вывозимой продукции в Китай, Индию. В 2023 году поставки битума в КНР составили 250 тыс. тонн, в 2024 году это значение планируется увеличить на 20 % [36].

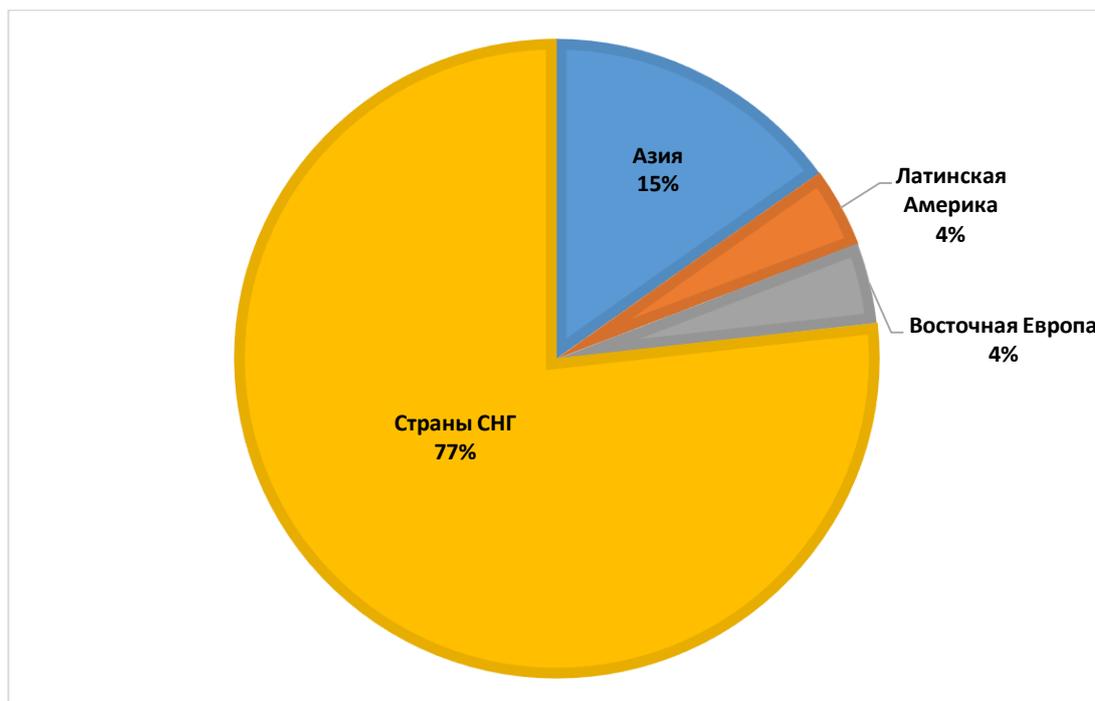


Рисунок 9 – Основные страны-потребители битума из РФ

На основе анализа можно сделать вывод о том, что производство битумов является высокорентабельным и экономически эффективным. Стратегия РФ, направленная на повышение качества автомобильных дорог, требует наращивания мощностей по производству дорожных битумов. Страны-потребители битума также закупает у России битум в больших количествах, а для стран Азиатского региона поставки с каждым годом будут увеличиваться.

2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

2.1 Преимущества технологии термоакустического висбрекинга

В настоящее время процесс висбрекинга совершенствуется в направлении перехода от «мазутного» в «дизельный». Если ранее висбрекинг был направлен на снижение вязкости перерабатываемого сырья, то в его модернизированной версии технологическая цель процесса – максимальное увеличение выхода дистиллятой фракции, а также переработка тяжелого остатка в высоколиквидные продукты.

В технологии термоакустического висбрекинга для осуществления термоконверсии углеводородов применяются более низкие температуры, чем при традиционном висбрекинге (420 °С - 430 °С и ниже, против традиционных 460 °С - 510 °С), а также в 3-5 раз более низкие давления. Время пребывания сырья в зоне реакции может быть значительно увеличено, что способствует более глубокому разложению тяжелых компонентов и позволяет увеличить выход средних дистиллятных продуктов. Высокая степень деструкции при относительно низких температурах достигается за счет введения высокопотенциальной энергии методами кавитационно-акустического воздействия. Плюсом ко всему, за счет снижения температур реакции коксообразование не наступает [37, 38].

Сохраняя простоту аппаратного оформления, низкие капитальные и эксплуатационные затраты, присущие традиционному висбрекингу, модернизированная версия этого процесса позволяет увеличить глубину переработки нефти. Введенные новшества возвращают висбрекингу первоначальное назначение термических процессов – производство дополнительных ресурсов светлых топлив – с тем отличием, что вырабатываются преимущественно не бензины, а дизельные топлива, причем в количествах, в несколько раз превышающих выход бен-

					ВКР.817643.180301.ПЗ			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		Рудакова А.Э.			<i>Совершенствование отечественных технологий глубокой переработки тяжелой нефти</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>		Охотникова Г.Г.				У	34	59
<i>Н. контр.</i>		Родина Т.А.				<i>АмГУ ИКиИН гр. 0107-об</i>		
<i>Зав. каф.</i>		Гужель Ю.А.						

зинов в традиционном варианте процесса. В качестве остаточного продукта целесообразно получать высококачественные неокисленные битумы [37, 38].

2.2 Характеристика сырья и готовой продукции

В качестве сырья будет рассмотрена тяжелая нефть с Охинского месторождения, расположенного на о. Сахалин. Физико-химические значения сырья, а также его фракционный состав представлены в таблице 8.

Выбор Охинского месторождения обусловлен, во-первых, географической расположенностью, поскольку на Дальнем Востоке месторождения с ТН сосредоточены только в респ. Саха Якутия и на о. Сахалин. Во-вторых, нефти с большим содержанием в своем составе асфальтенов делает такое сырье наиболее пригодным для производства битумов. Из данных таблицы 5 следует, что нефть с о. Сахалин содержит большее количество асфальтенов, чем нефть с месторождений респ. Саха Якутия. Таким образом, в качестве сырья выбрана тяжелая нефть Охинского месторождения о. Сахалин.

Таблица 8 – Физико-химические свойства и фракционный состав сырья

Характеристика	Значение	
Плотность, кг/м ³	917,6	
Вязкость, мПа·с	268,39	
Содержание серы, % по массе	0,39	
Содержание парафинов, % по массе	0,68	
Содержание смол, % по массе	7,29	
Содержание асфальтенов, % по массе	3,03	
Выход фракций, % по массе, при пределах выкипания	н.к.-160 °С	14,89
	160 °С - 340 °С	28,28
	выше 340 °С	56,83

В качестве продуктов в рассматриваемом технологическом процессе выступает дизельное топливо и битум марки БН 60/90. Характеристика готовой продукции представлена в таблице 9.

Таблица 9 – Показатели качества готовой продукции

Показатель качества	Значение	Значение по ГОСТ
Дизельное топливо		ГОСТ 305-2013
50 % перегоняется при температуре, °С, не ниже	280	280
95 % перегоняется при температуре, °С, не выше	360	360
Кинематическая вязкость при 20 °С, мм ² /с, не более	3,5	3,6-6,0
Температура вспышки в закрытом тигле °С, не ниже	62	62
Битум марки БН 60/90		ГОСТ 22245-90
Пенетрация, 0,1 мм, не менее	при 25 °С	60
	при 0 °С	10
Температура размягчения, °С, не ниже	45	45
Температура хрупкости, °С, не ниже	минус 6	минус 6
Дуктильность при 25 °С, см, не менее	100	100

Исходя из анализа значений показателей качества для полученной продукции и значений по государственным стандартам, заслуживает быть отмеченным полное соответствие нормам, предусмотренных государственными стандартами. Следовательно, готовая продукция полностью является товарной.

2.2 Технологическая схема процесса

На рисунке 10 представлена технологическая схема процесса термоакустического висбрекинга.

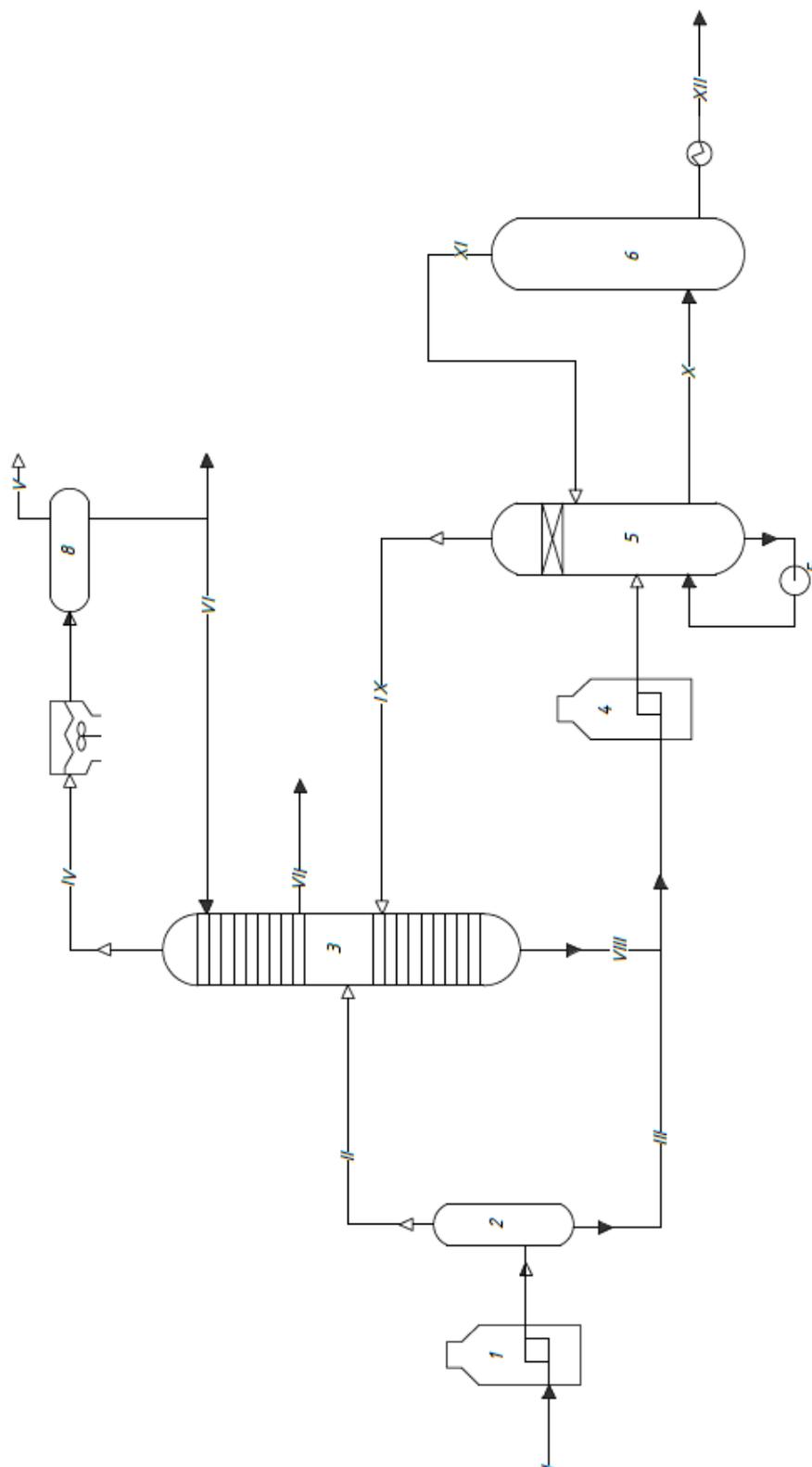


Рисунок 10 – Технологическая схема термоакустического висбрекинга

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ВКР.817643.180301.ПЗ

Лист

37

Тяжелую нефть I в качестве сырья подают в печь нагрева 1. Нагретое сырье поступает в сепаратор 2, где сепарирует с получением паров широкой дистиллятной фракции II и тяжелого остатка III. Пары широкой дистиллятной фракции II поступают в атмосферную колонну 3, где происходит их дальнейшее фракционирование.

Выделенная бензиновая фракция IV выводится с верха колонны 3 и отправляется в сепаратор 8. В сепараторе 8 происходит отделение жидкой фазы от газообразной. Выделенный газ V используется как топливное сырье для удовлетворения нужд завода. Жидкая фаза VI – нефта – в зависимости от полученных свойств и технологической линии завода отправляется на установки облагораживания, либо в товарный парк. Часть выделенной жидкой фазы VI, пройдя воздушный холодильник, отправляется на орошение в верхнюю часть колонны.

Со средней части атмосферной колонны 3 боковым отбором отводится дизельная фракция VII, которая в зависимости от полученных свойств и технологической линии завода отправляется на установки облагораживания, либо в товарный парк.

С куба колонны 3 отводится тяжелый остаток атмосферной перегонки – мазут VIII, который смешивают с потоком тяжелого остатка III, выделенного в сепараторе 2, и подают в печь висбрекинга 4. В печи 4 происходит нагрев сырья до температуры 420 °С - 430 °С, затем обрабатываемый тяжелый остаток в виде парогазовой смеси поступает в реактор 5, в котором за счет тепла сырья происходят реакции термолиза. Пары термолиза IX выводят с верха реактора через каплеотбойники и подают в ректификационную колонну 3, благодаря чему образуется дополнительный выход дизельных фракций. Жидкость, захваченная парами, осаждается в каплеотбойниках и самотеком возвращается в реактор 5.

Для интенсификации «полезных» реакций деструкции тяжелых углеводородов в процессе термолиза на реакционную массу направлено кавитационно-акустическое воздействие, генерируемое гидроакустическими излучателями

					ВКР.817643.180301.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		38

роторного типа, представляющими собой насосы-кавитаторы 7. С помощью насосов 7 осуществляется циркуляция жидких продуктов. Это позволяет восполнять энергию, затрачиваемую на деструкцию тяжелых углеводородов. Подвод энергии осуществляется непосредственно к реакционной массе, минуя стенку аппарата. В результате чего интенсифицируются процессы деструкции и замедляется карбено- и коксообразование.

Остаток с блока термолиза X поступает в реактор поликонденсации б, который работает под вакуумом. Остаточное давление в реакторе б поддерживают на уровне 0,01 МПа, а время пребывания обрабатываемого сырья составляет до 2-х часов. Выделенный газойль XI выводится с верха реактора б и поступает на дополнительную переработку в реактор термолиза 5. Остаточный продукт блока термополиконденсации представляет собой неокисленный битум XII, который выводят в товарный парк.

2.4 Материальный баланс процесса

Как было сказано ранее, технология модернизированного висбрекинга позволяет добиться увеличения выхода светлых фракций на 20 % - 40 %, при этом выход других продуктов, а именно неокисленного битума, должен составлять не более 40 %.

Исходя из данных о фракционном составе нефти, представленном в таблице 8, был посчитан теоретический материальный баланс процесса атмосферной перегонки в совокупности с процессом модернизированного висбрекинга для получения данных о количественном выходе светлых фракций и других продуктов. Полученные значения представлены в таблице 10.

Стоит учесть, что побочных продуктов в ходе процесса не образуется. Коксообразование, присущее традиционному висбрекингу, не происходит благодаря действию более низких температур на сырье процесса. К тому же, не происходит образования побочных неликвидных продуктов, что делает технологию экономически эффективной.

					ВКР.817643.180301.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		39

Таблица 10 – Материальный баланс переработки ТН по технологии модернизированного висбрекинга

Сырье	Выход на нефть, % по массе	Продукты	Выход на нефть, % по массе
Нефть на АТ	100,00	газ технологический	2,60
		бензиновая фракция	12,29
		дизельная фракция	25,28
		мазут	56,83
Мазут на термолиз	56,83	газ технологический	1,20
		газойль	6,38
		остаток	13,81
		бензиновая фракция	6,12
		дизельная фракция	19,32
Газойль на термолиз	6,38	газ технологический	0,20
		бензиновая фракция	0,88
		дизельная фракция	1,20
		остаток	0,10
Суммарный баланс			
Взято		Получено	
Нефть	100	газ технологический	4,00
		бензиновая фракция	15,21
		дизельная фракция	40,79
		битум	40,00

Для сравнительного анализа был также посчитан материальный баланс процесса атмосферно-вакуумной перегонки тяжелой нефти с применением традиционного висбрекинга. Данные представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Материальный баланс атмосферно-вакуумной перегонки ТН с применением традиционного висбрекинга

Сырье	Выход на нефть, % по массе	Продукты	Выход на нефть, % по массе
Нефть на АТ	100,00	газ технологический	2,60
		бензиновая фракция	12,29
		дизельная фракция	28,28
		мазут	56,83
Мазут на ВТ	56,83	газ технологический	0,91
		газойль	22,37
		остаток	33,55
Гудрон на висбрекинг	33,55	газ технологический	0,35
		дизельная фракция	2,00
		котельное топливо	31,20
Суммарный баланс			
Взято		Получено	
Нефть	100	газ технологический	3,86
		бензиновая фракция	12,29
		дизельная фракция	30,28
		газойль	22,37
		котельное топливо	31,20

Опираясь на данные, полученные в ходе расчета материального баланса был составлен сводный материальный баланс по процессам модернизированного и традиционного висбрекинга для более детального анализа процессов. Данные представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Сводный материальный баланс

	Процесс АВТ+традиционный висбрекинг	Процесс АТ+модернизированный висбрекинг
Взято, % по массе		
нефть	100	100
Получено, % по массе		
газ технологический	3,86	4,00
бензиновая фракция	12,29	15,21
дизельная фракция	30,28	40,79
газойль	22,37	-
котельное топливо	31,20	-
битум	-	40,00

Анализируя полученные данные из таблицы 12, следует сделать следующие выводы:

- 1) получено около 20 % дополнительного количества бензиново-дизельной фракции;
- 2) получено около 40 % неокисленных битумов, которые можно использовать в качестве товарной продукции;
- 3) отсутствуют побочные неликвидные продукты.

При переработке тяжелой нефти, содержащей в своем составе большое количество смол и асфальтенов, важно делать акцент не только на получение светлых фракций, но и других продуктов, которые тоже могут принести прибыль производству.

Получаемый в ходе процесса термоакустического висбрекинга битум по своим характеристикам относится к битумам дорожным, что делает его полностью пригодным для продажи. Из всего количества нефтепродуктов, которые производятся в РФ, доля битумов мала и составляет 1,5 %.

То есть, крупные НПЗ не заинтересованы в его производстве, они ориентируются на переработку светлых фракций. Для мини-НПЗ это является преимуществом и шансом занять прибыльную нишу. Мощность производства битумов будет сопоставима с текущим спросом на них, так как мини-НПЗ не будет перерабатывать такое количество нефти, как крупный НПЗ.

Результаты проведенного анализа позволяют сделать вывод о высокой эффективности применения модернизированного висбрекинга в качестве углубляющего процесса переработки тяжелой нефти.

2.5 Экономическое обоснование процесса

Целью экономического расчета является определение экономической целесообразности проектируемой установки мини-НПЗ на промысле и сравнение экономических показателей для процессов висбрекинга.

Для определения основных экономических показателей проекта строительства мини-НПЗ на промысле необходимо установить сумму капиталовложений в оборудование, строительство и монтаж производства.

Стоимость технологической линии мини-НПЗ с блоком традиционного висбрекинга представлена в таблице 13.

Таблица 13 – Капиталовложения для приобретения технологической линии мини-НПЗ с блоком традиционного висбрекинга

Наименование установки	Сумма необходимых капиталовложений, млн руб.
Блок ЭЛОУ	10
Блок АВТ	80
Блок висбрекинга	140
Затраты на строительство, монтаж и прочее	70
Общая сумма	300

Стоимость технологической линии мини-НПЗ с блоком модернизированного висбрекинга представлена в таблице 14.

Таблица 14 – Капиталовложения для приобретения технологической линии мини-НПЗ с блоком модернизированного висбрекинга

Наименование установки	Сумма необходимых капиталовложений, млн руб.
Блок ЭЛОУ	10
Блок АТ	40
Блок висбрекинга	140
Гидродинамический роторный кавитатор	3
Затраты на строительство, монтаж и прочее	58
Общая сумма	251

Расчет получаемого количества продукции для мини-НПЗ производительностью 100000 т/год представлен в таблицах 15 и 16.

Таблица 15 – Количество получаемой товарной продукции мини-НПЗ с блоком традиционного висбрекинга

Товарная продукция	Выход на нефть, % по массе	Количество, т/год
Бензино-дизельная фракция	42,57	42570
Котельное топливо	31,20	31200

Таблица 16 – Количество получаемой товарной продукции мини-НПЗ с блоком модернизированного висбрекинга

Товарная продукция	Выход на нефть, % по массе	Количество, т/год
Бензино-дизельная фракция	56,00	56000
Битум	40,00	40000

Стоимость сырья взята как среднее значение стоимости тяжелой высоко-вязкой нефти, стоимость битума взята как среднее значение стоимости продажи битума марки 60/90, стоимость бензино-дизельной фракции взята как среднее значение от продажи этой фракции по РФ, стоимость котельного топлива взята как среднее значение от продажи топочного мазута марки М-100. Расчет представлен в таблицах 17 и 18.

Таблица 17 – Значения стоимости сырья и готовой продукции на мини-НПЗ с блоком традиционного висбрекинга

Сырье/продукция	Количество, т/год	Цена за 1 т, руб.	Стоимость, млрд руб.
Нефть тяжелая	100000	25000	2,5
Бензино-дизельная фракция	42570	50000	2,3
Котельное топливо	13200	22000	0,5

Таблица 18 – Значения стоимости сырья и готовой продукции на мини-НПЗ с блоком модернизированного висбрекинга

Сырье/продукция	Количество, т/год	Цена за 1 т, руб.	Стоимость, млрд руб.
Нефть тяжелая	100000	25000	2,5
Бензино-дизельная фракция	56000	50000	2,9
Битум	40000	35000	1,4

Сводные полученные данные о выручке от продаж готовой продукции на мини-НПЗ с традиционным и модернизированным блоком висбрекинга, а также основные экономические показатели объединены в таблице 19.

Таблица 19 – Экономические показатели для мини-НПЗ с традиционным и модернизированным блоком висбрекинга

Экономические показатели	Мини-НПЗ с традиционным блоком висбрекинга	Мини-НПЗ с модернизированным блоком висбрекинга
Выручка от продаж, млрд руб.	2,8	4,3
Прибыль, млрд руб.	0,2	1,5
Период окупаемости, мес.	18	7
Рентабельность, %	10	25
ЧДД, тыс. руб., при условии ЧДД > 0	197370	3479277

Показатель ЧДД – чистый дисконтированный доход, является разницей между текущей стоимостью денежных потоков и начальными инвестициями. Если эта величина положительная, то инвестиционный проект считается привлекательным и экономически выгодным.

В соответствии с полученными экономическими данными для мини-НПЗ с традиционным и модернизированным блоком висбрекинга следует сделать вывод о том, что строительство мини-НПЗ на промысле с включением в технологическую линию углубляющего процесса висбрекинга является экономически выгодным.

При внедрении процесса традиционного процесса висбрекинга срок окупаемости проекта будет в 2,5 раза больше, чем для проекта мини-НПЗ с модернизированным висбрекингом. Следовательно, проект строительства мини-НПЗ на промысле с процессом модернизированного висбрекинга является более предпочтительным вариантом.

3 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА

Установка висбрекинга относится к взрыво-, пожароопасным объектам, по токсическому воздействию на организм человека – к вредным производствам с веществами опасности 4 класса опасности.

Наиболее опасными местами, вследствие возможных аварийных ситуаций на установке являются печи и реакционные аппараты. Источниками воспламенения могут быть открытый огонь печей, раскаленные или нагретые стенки аппаратов и оборудования, искры электрооборудования, статическое электричество, искры удара и трения деталей машин и оборудования.

Безопасная эксплуатация установки определяется соблюдением выполнения:

- правил технической эксплуатации аппаратов и оборудования;
- технологических правил производства работ;
- инструкции по охране труда;
- правил внутреннего распорядка и дисциплины труда;
- должностных инструкций;
- правил газобезопасности;
- правил противопожарной безопасности;
- санитарных и экологических требований.

3.1 Воздействие опасных производственных факторов на установке

На установке висбрекинга в качестве сырья используется мазут, который является малоопасным веществом. Имеет место быть некоторому количеству отходящих газов окисления, принадлежащих к классу умеренно опасных веществ. Данные об опасности сырья и продуктов представлены в таблице 20 [39].

					ВКР.817643.180301.ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Рудакова А.Э.			<i>Совершенствование отечественных технологий глубокой переработки тяжелой нефти</i>	Лит.	Лист	Листов
Провер.		Охотникова Г.Г.				У	47	59
Н. контр.		Родина Т.А.				АмГУ ИКиИН гр. 0107-об		
Зав. каф.		Гужель Ю.А.						

Таблица 20 – Опасность используемого сырья и получаемых продуктов

Наименование сырья/продуктов	Класс опасности	Воспламенение или взрыв при воздействии		ПДК, мг/м ³	Воздействие на человека
		воды	воздуха		
Мазут	4	нет	нет	300	Раздражает слизистую оболочку и кожу человека, вызывая ее поражение и возникновение кожных заболеваний
Бензино-дизельная фракция	4			300	Обладает наркотическим действием при вдыхании паров. Признаки – головная боль, рвота, слабость
Битумы неокисленные	4	нет	нет	300	Пары расплавленного битума обладают умеренным раздражающим воздействием на кожу человека, раздражает слизистые оболочки, вызывает отравление при вдыхании паров
Котельное топливо	4	нет	нет	300	Обладают наркотическим воздействием при вдыхании паров

Основными опасностями на производстве, обусловленные особенностями технологического процесса, являются:

- наличие и обращение на установке нефтепродуктов, нагретых до высоких температур;
- технологические процессы в реакционных аппаратах, связанные с экзотермическими реакциями;
- необходимость подачи воздуха в реакционные аппараты;
- применение высоких температур для нагрева нефтепродуктов;
- наличие вращающихся и подвижных частей оборудования, при работе с которыми нарушение требований охраны труда может привести к травмированию персонала;
- наличие и необходимость въезда на установку автотехники, при несоблюдении требований охраны труда может привести к травмированию персонала;
- наличие железнодорожных путей и необходимость работы с подвижным составом, при несоблюдении требований охраны труда может привести к травмированию персонала [40].

Основные потенциальные опасности применяемого оборудования являются:

- наличие высоких температур и давления в технологических трубопроводах;
- наличие высоких температур в печах нагрева сырья;
- наличие высоких температур в реакционных аппаратах;
- наличие высоких температур в резервуарах хранения сырья и готовой продукции;
- возможность образования взрывоопасной смеси в резервуарах;
- наличие количества отходящих газов, имеющих в своем составе токсичные газы и разнообразные углеводороды;
- наличие большого количества нефтепродуктов при высокой температуре;

- наличие большого количества высоковязкого нефтепродукта и связанную с этим необходимость поддержания его высокой температуры;

- использование для нагрева продукта печей с применением открытого огня и связанную с этим пожароопасность [40].

3.2 Утилизация отходов производства

На установке висбрекинга образуются вещества, которые являются отходами. Эти вещества могут оказывать вредное воздействие на окружающую среду. Для каждого типа отходов разработан план утилизации. Данные представлены в таблице 21.

Таблица 21 – Утилизация отходов установки висбрекинга

Отходы	Утилизация
Нефтешлам	Затаривается в металлические бочки или контейнера и временно складировается на промплощадке установки. По мере накопления реализуется сторонними организациями
Отработанные масла насосного оборудования	Затариваются в металлические бочки и временно складироваются на промплощадке установки. По мере накопления централизованно выводятся на очистные сооружения

Для ограничения вредного воздействия производства на окружающую среду на установке предусмотрены следующие меры:

- определены источники и объемы образования отходов, определены места их складирования, порядок вывода и утилизации;

- технологический процесс осуществляется в герметически закрытом оборудовании;

- оборудование установки принято повышенной герметичности, запорная арматура соответствует 1 классу герметичности;

- все технологические аппараты и трубопроводы в установленном порядке подвергаются испытаниям на прочность и плотность, что обеспечивает надежную герметичность всех систем установки;

- для постоянного контроля над герметичностью оборудования установлены датчики до взрывных концентраций опасных веществ, что позволяет принимать немедленные меры по ликвидации возможных их пропусков в атмосферу;

- на установке используются системы автоматизированного и дистанционного управления технологическим процессом и системы противоаварийной защиты.

3.3 Методы и средства коллективной защиты работников от производственных опасностей

Методы и средства защиты от производственных опасностей:

- для автоматического контроля состояния воздуха в насосных и наружных установках на предельные дозврывные концентрации вредных веществ установлены газоанализаторы;

- ремонт аппаратуры, оборудования должен осуществляться квалифицированным персоналом с соблюдением норм и требований технологических инструкций и других нормативных документов;

- предусмотрено групповое дистанционное отключение из операторной всех насосов, размещенных в насосных под этажерками при пожаре в насосных;

- численность производственного персонала принята минимальной за счет автоматизации технологического процесса;

- секция разделена на технологические блоки с установкой быстродействующих запорных клапанов для отключения аварийного блока от других блоков.

Данные о средствах коллективной защиты объединены и представлены в таблице 22.

					ВКР.817643.180301.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		51

Таблица 22 – Средства коллективной защиты, предусмотренные на установке висбрекинга

Назначение средств коллективной защиты	Исполнение
Нормализация воздушной среды	Устройства для вентиляции воздуха, устройства для отопления, устройства автоматического контроля и сигнализации
Нормализации освещения	Осветительные оборудование, а также световые проемы
Защита от поражения электрическим током	Оградительные устройства, изолирующие устройства и покрытия, устройства защитного заземления и зануления, предохранительные устройства, молниеотводы, знаки безопасности
Автоматический контроля производства	Приборы с целью измерения содержания газов окисления в воздухе около оборудования в местах их вероятного выделения
Защита от статического электричества	Заземляющие устройства
Защита от высоких температур	Оградительные устройства, устройства автоматического контроля и сигнализации, термоизолирующие покрытия
Защита от химических факторов	Оградительные устройства, герметизирующие устройства, устройства дистанционного управления, знаки безопасности, аварийный душ

3.4 Средства индивидуальной защиты работников от производственных опасностей

Средства индивидуальной защиты применяют с целью предупреждения несчастных случаев, болезней и отравлений, связанных с производством.

Для работников установки висбрекинга обозначены средства индивидуальной защиты, представленные в постановлении № 67 Минтруда РФ от 26 декабря 1997 года «Типовые отраслевые нормы бесплатной выдачи спец. одежды, спец. обуви и других средств индивидуальной защиты рабочим и служащим нефтеперерабатывающей промышленности». Установленные СИЗ объединены в таблицу 23 [41].

Таблица 23 – Средства индивидуальной защиты работников установки висбрекинга

Средства индивидуальной защиты работников	Срок службы	Периодичность стирки/химчистки
Костюм брезентовый	12 месяцев	по мере загрязнения
Ботинки кожаные	12 месяцев	-
Рукавицы брезентовые	6 пар на 12 месяцев	-
Очки защитные	до износа	-
Противогаз фильтрующий	до износа	-
В зимнее время дополнительно Куртка хлопчатобумажная на утепляющей подкладке	24 месяца	по мере загрязнения
Брюки хлопчатобумажные на утепляющей подкладке	24 месяца	по мере загрязнения

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения бакалаврской работы был проведен анализ существующих технологий глубокой переработки тяжелой нефти. Предложен вариант совершенствования выбранной технологии.

Термоакустический висбрекинг является технологией, сочетающей в себе традиционный углубляющий способ переработки нефти и применение новых волновых технологий, нетипичных для производства.

Выполнен расчет материального баланса и проведено экономическое обоснование, благодаря чему можно сказать, что процесс термоакустического висбрекинга позволяет не только извлечь из тяжелой нефти максимальное количество светлых фракций, но и переработать тяжелые остатки в продукты, которые имеют спрос на мировом и внутреннем рынке.

					ВКР.817643.180301.ПЗ			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Рудакова А.Э.</i>			<i>Совершенствование отечественных технологий глубокой переработки тяжелой нефти</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>		<i>Охотникова Г.Г.</i>				У	54	59
<i>Н. контр.</i>		<i>Родина Т.А.</i>				<i>АмГУ ИКиИН гр. 0107-об</i>		
<i>Зав. каф.</i>		<i>Гужель Ю.А.</i>						

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Бударина, Н. А. Перспективы нефтеперерабатывающей промышленности России / Н. А. Бударина, Р. С. Прокопович // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2019. – № 6. – С. 110-114.

2 Рачевский, Б. С. Высоковязкая тяжелая нефть – альтернатива традиционной нефти / Б. С. Рачевский // Транспорт на альтернативном топливе. – 2015. – № 6. – С. 40-45.

3 ГОСТ Р 51858–2020. Нефть. Общие технические условия. – Взамен ГОСТ 51858–2002 ; введ. 2020-10-01. – Москва : Стандартиформ, 2020. – 11 с.

4 Хорхе, Анчита Переработка тяжелой нефти. Реакторы и моделирование процессов : пер. с англ. яз. под ред. О. Ф. Глаголевой, В. А. Винокурова. / А. Хорхе. – СПб. : ЦОП «Профессия», 2015. – 592 с., ил.

5 Назарова, Л. Н. Разработка нефтегазовых месторождений с трудноизвлекаемыми запасами: учебное пособие для вузов. / Л. Н. Назарова – М.: РГУ нефти и газа имени И. М. Губкина, 2011. – 156 с., ил.

6 Муслимов, Р. Х. Трудноизвлекаемые запасы – основной ресурс нефтяной отрасли России // В кн.: Высоковязкие нефти и природные битумы: проблемы и повышение эффективности разведки и разработки месторождений: материалы Международной научно-практической конференции, Казань, 5-7 сентября 2012. – Казань: ФЭН, 2012. – С. 273-278.

7 Щепалов, А. А. Тяжелые нефти, газовые гидраты и другие перспективные источники углеводородного сырья: учебно-методическое пособие. / А. А. Щепалов. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2012. – 93 с.

8 Мингулов, Ш. Г. К вопросу о классификации тяжелых высоковязких нефтей / Ш. Г. Мингулов, И. Ш. Мингулов // Проблемы сбора, подготовки и

					ВКР.817643.180301.ПЗ			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Рудакова А.Э.</i>			<i>Совершенствование отечественных технологий глубокой переработки тяжелой нефти</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>		<i>Охотникова Г.Г.</i>				У	55	59
<i>Н. контр.</i>		<i>Родина Т.А.</i>			АмГУ ИКиИН гр. 0107-об			
<i>Зав. каф.</i>		<i>Гужель Ю.А.</i>						

транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2020. – № 5. – С. 32-39.

9 Мосоян, М. А. Высоковязкая нефть: возвращение в бизнес-план / М. А. Мосоян // Нефтегазовая вертикаль. – 2021. – № 7. – С. 32-36.

10 Яценко, И. Г. Ресурсы тяжелых нефтей мира и сравнительный анализ их физико-химических свойств / И. Г. Яценко // Экспозиция Нефть Газ. – 2012. – Вып. 23: Геология. – С. 47-53.

11 Ярбобоев, Т. Н. Нетрадиционные нефти: анализ регионального распределения и запасов тяжелой нефти и природного битума / Т. Н. Ярбобоев, Ш. А. Султанов, Ф. К. Аминов // Бюллетень науки и практики. – 2020. – Вып. 7: Технические науки. – С. 226-234.

12 Колчина, Г. Ю. Характерные свойства и параметры тяжелых нефтей / Г. Ю. Колчина, Э. М. Мовсумзаде, А. Ю. Бахтина // НефтеГазоХимия. – 2021. – Вып. 1: Химические технологии и продукты. – С. 68-71.

13 Анисимов, Л. А. Тяжелые высоковязкие нефти Волго-Уральской области: условия образования и перспективы освоения / Л. А. Анисимов, О. М. Кононенко, Л. П. Кононенко // Недра Поволжья и Прикаспия. – 2020. – № 102. – С. 4-17.

14 Яценко, И. Г. История использования тяжелой нефти в Сибири и на Дальнем Востоке / И. Г. Яценко // Международный научный вестник. – 2016. – Вып. 3: Геология. – С. 46-50.

15 Косачук, Г. П. Освоение скоплений природных битумов как перспектива развития топливно-энергетических ресурсов Республики Саха (Якутия) / Г. П. Косачук, Д. В. Изюмченко, С. В. Буракова // Вести газовой науки. – 2014. – № 4. – С. 50-58.

16 Еремин, Н. А. Бурение и разработка месторождений со сверхвязкой нефтью и битумами / Н. А. Еремин, А. В. Замрий, С. П. Черных // Бурение и нефть. – 2022. – Вып. 41 : Нефтегазовое дело. – С. 50-58.

17 Губина, М. А. Способы добычи тяжелых нефтей и битумов / М. А. Губина, Н. П. Коновалов // Вестник ИрГТУ. – 2016. – Вып. 6 : Химия и металлургия.

					ВКР.817643.180301.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		56

– С. 105-109.

18 Яценко, И. Г. Тяжелые ванадиевоносные нефти России / И. Г. Яценко // Известия ТПУ. – 2012. – Вып. 1 : Геология нефти и газа. – С. 105-111.

19 Надилов, Н. К. Новое в подготовке тяжелой нефти к переработке / Н. К. Надилов, А. В. Ширинских, С. Б. Нуржанова // Вестник Евразийской науки. – 2019. – № 3. – С. 72-82.

20 Галиуллин, Э. А. Подходы к апгрейдингу тяжелых нефтей / Э. А. Галиуллин, Р. З. Фахрутдинов, Н. Ю. Башкирцева // Вестник технологического университета. – 2017. – № 19. – С. 35-39.

21 Земцов, Р. Г. "Тяжелая нефть" – простые решения не проходят / Р. Г. Земцов, В. А. Крюков, О. А. Селезнева // ЭКО. – 2013. – № 8. – С. 45-56.

22 Галиуллин, Э. А. Новые технологии переработки тяжелых нефтей и природных битумов / Э. А. Галиуллин, Р. З. Фахрутдинов // Вестник Казанского технологического университета. – 2016. – № 4. – С. 47-51.

23 Лядов, А. С. Добыча и переработка тяжелых нефтей – проблемы и перспективы (обзор) / А. С. Лядов, Н. Н. Петрухина // Журнал прикладной химии. – 2018. – Т. 91, № 12. – С. 1683-1692.

24 Глубокая переработка тяжелых нефтей и нефтяных остатков : сборник материалов международной научно-практической конференции, Казань, 10-11 ноября 2022 года. – Казань: Издательство "Фэн" Академии наук Республики Татарстан, 2022. – 132 с.

25 Ахметов, С. А. Лекции по технологии глубокой переработки нефти в моторные топлива / С. А. Ахметов. – СПб.: Недра, 2007. – 312 с.

26 Ахметов, А. Ф. Глубокая переработка нефтяного сырья и физико-химические анализы продуктов всех стадий переработки нефти / А. Ф. Ахметов, О. А. Баулин, Ю. В. Красильникова. – Нижний Новгород: типография ИП Кузнецов Н. В., 2013. – 287 с.

27 Тараканов, Г. В. Современные методы интенсификации процесса висбрекинга и их классификация / Г. В. Тараканов, А. Ф. Нурахмедова // Нефте-

					ВКР.817643.180301.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		57

газовые технологии и экологическая безопасность. – 2016. – № 2. – С. 38-46.

28 Солодова, Н. Л. Волновые технологии в нефтедобыче и нефтепереработке: учебное пособие / Н. Л. Солодова, Р. З. Фахрутдинов, Т. Ф. Ганиева. – Казань: КНИТУ, 2012. – 84 с.

29 Нуруллаев, В. Х. Условия образования кавитационных зон и их действия на физико-химические характеристики нефтей / В. Х. Нуруллаев // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. – 2017. – № 1. – С. 38-42.

30 Промотов, М. А. Кавитационная технология улучшения качества углеводородных топлив / М. А. Промотов // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2018. – № 2. – С. 6-11.

31 Пат. 2145255 Российская Федерация, МПК 7 В 01 F 7/00. Акустический способ обработки жидкотекучих сред в роторно-пульсационном акустическом аппарате / А. Ф. Кемалов, В. М. Фомин, Р. С. Агачев – № 98116661/12; Заявл. 01.09.98 ; Оpubл. 10.02.2000; Бюл. изобр. № 4.

32 Курочкин, А. К. Кавитационная конверсия мазута газовых конденсатов в дизельно-бензиновые дистилляты. Часть 1 – Гидродинамическая кавитация. / А. К. Курочкин, Н. В. Мотин, А. А. Курочкин // Сфера. Нефть и газ. – 2018. – № 63. – С. 64-72.

33 Курочкин, А. К. Кавитационная конверсия мазута газовых конденсатов в дизельно-бензиновые дистилляты. Часть 2 – Методика кавитационного процессинга. / А. К. Курочкин, Н. В. Мотин, А. А. Курочкин // Сфера. Нефть и газ. – 2018. – № 64. – С. 64-74.

34 Курочкин, А. К. Кавитационная конверсия мазута газовых конденсатов в дизельно-бензиновые дистилляты. Часть 3 – Аппаратурно-технологическая концепция. / А. К. Курочкин, И. П. Афанасьев, А. А. Курочкин // Сфера. Нефть и газ. – 2018. – № 65. – С. 68-78.

					ВКР.817643.180301.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		58

35 Никитин, Е. К. Анализ рынка битума Российской Федерации 2020-2023 гг. / Е. К. Никитин // С-Mar Inform. – 2023. – № 10. – 47 с.

36 Рынок битумных материалов в РФ: итоги за 9 месяцев 2023 года // ОМТ Consult. – 2024. – № 1. – 16 с.

37 Пат. 2389751 Российская Федерация, МПК C10G 9/00. Способ висбрекинга остаточного углеводородного сырья / А. К. Курочкин – № 2008131347/15; Заявл. 29.07.2008 ; Оpubл. 20.05.2010; Бюл. изобр. № 10.

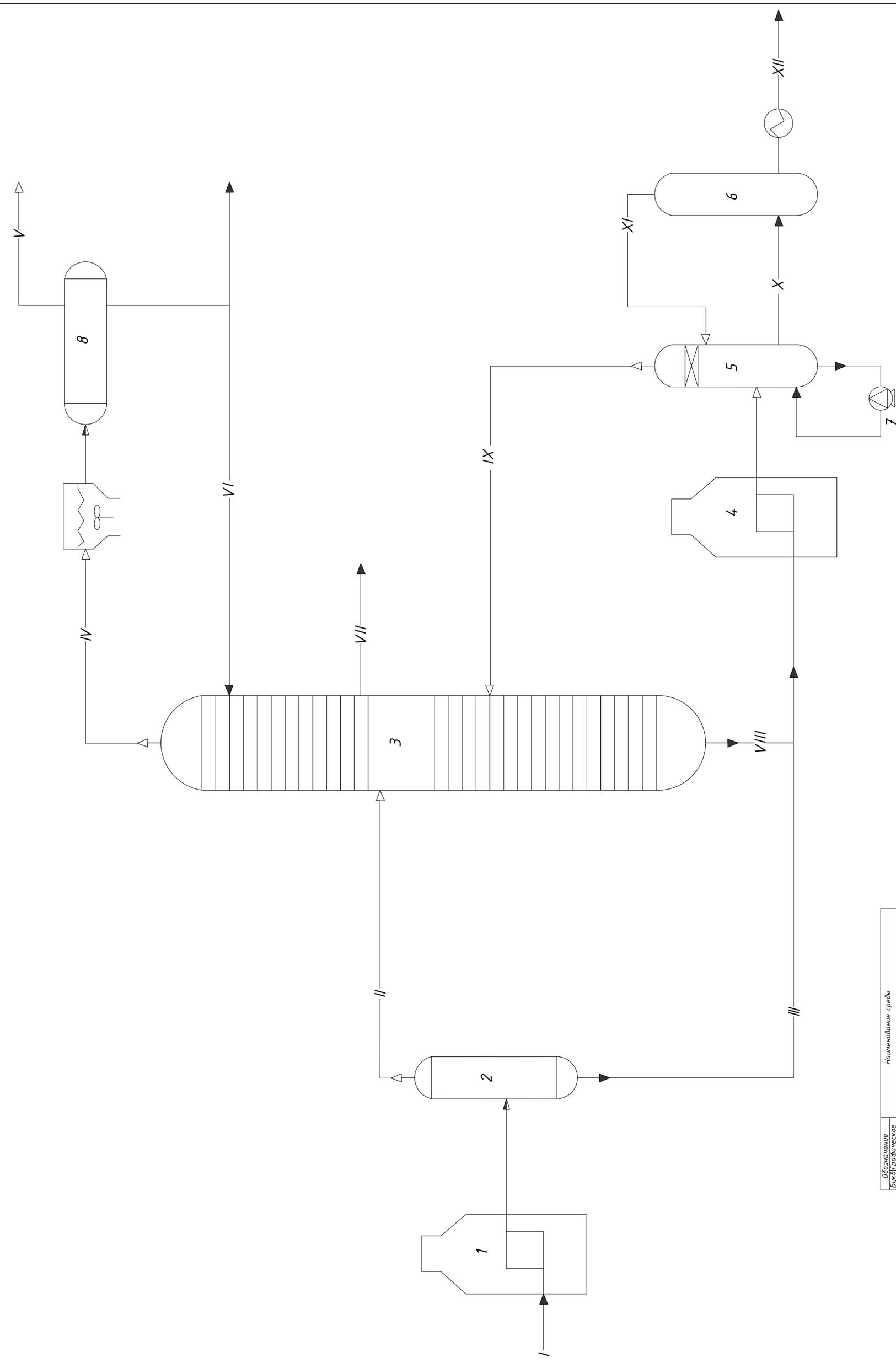
38 Пат. 2490308 Российская Федерация, МПК C10G 9/06. Способ переработки тяжелого углеводородного сырья / А. В. Курочкин – № 2012141937/04; Заявл. 01.10.2012 ; Оpubл. 20.08.2013; Бюл. изобр. № 8.

39 ГОСТ 12.1.007–76. Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. – Введ. 1977-01-01. – Москва : Стандартиформ, 2007. – 7 с.

40 Глебова, Е. В. Основы промышленной безопасности: учебное пособие. / Е. В. Глебова, А. В. Коновалов. – М: РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина, 2015. – 171 с.

41 Типовые отраслевые нормы бесплатной выдачи спец. одежды, спец. обуви и других средств индивидуальной защиты рабочим и служащим нефтеперерабатывающей промышленности // Постановление Министерства труда Российской Федерации. – 1997. – № 67.

					ВКР.817643.180301.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		59



Обозначение	Наименование среды
I	Тяжелая нефть
II	Пары широкой дистиллятной фракции
III	Тяжелый остаток
IV	Бензиновая фракция
V	Газ технологический
VI	Нафта
VII	Дизельная фракция
VIII	Мазут с АТ
IX	Пары термализа
X	Тяжелый остаток термализа
XI	Газовый термолитокоденсат
XII	Неокисленный битум

Обозначение	Наименование	Кол-во
1	Печь	1
2,8	Сепаратор	2
3	Атмосферная колонна	1
4	Печь висбрекинга	1
5	Реактор термализа	1
6	Реактор термолитокоденсат	1
7	Насос-кавитатор	1

ВКР.81764.3.180301.TC			
Исполн.	Исполн.	Дат.	Масштаб
Разраб.	Провер.	У	1:1
Исполн.	Исполн.	Лист 1	Листов 1
Совершенствование оптимальных технологий гликолей переработки тяжелой нефти			Англ. ИК/ИИ гр. 0107-08
Технологическая схема термолитокоденсатного висбрекинга			