

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
ГЛАВА 1. ПОПУТНЫЙ НЕФТЯНОЙ ГАЗ (ПНГ) КАК СОСТАВЛЯЮЩАЯ НЕФТИ И ПРОБЛЕМЫ ЕГО УТИЛИЗАЦИИ	11
1.1. Состав ПНГ и характеристики его основных компонентов	13
1.2. Особенности утилизации ПНГ в зарубежных странах и РФ	17
1.3. Промысловая подготовка нефти и экологическая опасность сжигания ПНГ для природной среды и населения	41
1.4. Перспективы и проблемы утилизации ПНГ, забалластированного негорючими компонентами, на нефтяных промыслах	59
1.4.1. Конверсионное использование утилизируемых ракет с ЖРД для совершенствования термического метода увеличения добычи трудноизвлекаемой нефти	61
1.4.2. Технологии утилизации ПНГ	84
1.4.3. Особенности утилизации попутного нефтяного газа на месторождениях Удмуртии	87
1.4.4. Использование ПНГ на нефтяных промыслах при бурении скважин	93
1.5. Выводы по главе	101
ГЛАВА 2. ТЕХНОЛОГИИ ОБОГАЩЕНИЯ ПНГ И ИХ АДАПТАЦИЯ К УСЛОВИЯМ НЕФТЯНЫХ ПРОМЫСЛОВ НА ПРИМЕРЕ УДМУРТСКОЙ РЕСПУБЛИКИ. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИЙ ОБОГАЩЕНИЯ ПНГ	104
2.1. Методы и способы разделения газовых смесей на компоненты. Мембранные методы обогащения забалластированного азотом ПНГ	105
2.2. Вихревые технологии как альтернатива сжиганию ПНГ	128
2.3. Вихревые технологии и устройства разделения газовых смесей на компоненты, технологии и устройства обогащения ПНГ	134
2.3.1. Анализ технических решений по совершенствованию вихревых установок для энергетического разделения газовых потоков	138

2.3.2. Обзор конструктивных решений по совершенствованию вихревых установок.....	150
2.3.3. Схемы вихревых труб, которые возможны для использования в составе установок по обогащению ПНГ	157
- 2.4. Оценка эффективности обогащения ПНГ	171
2.4.1. Метод моделирования состава попутного нефтяного газа.....	172
2.4.2. Методика определения процентного содержания углеводородов в забалластированном азотом ПНГ.....	182
2.5. Выводы по главе.....	195

ГЛАВА 3. ТЕХНОЛОГИИ ВЫДЕЛЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДНЫХ КОМПОНЕНТОВ ИЗ ПОПУТНОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА, ЗАБАЛЛАСТИРОВАННОГО АЗОТОМ.....

196

3.1. Вариант технического решения по обогащению ПНГ по горючим компонентам.....	197
3.2. Патенты Г. Н. Ерченко на устройства по разделению газовой смеси на компоненты	204
3.3. Динамика вихревых течений газовых потоков в цилиндрических каналах.....	230
3.4. Особенности конструктивно-компоновочных схем горелочных устройств, предназначенных для сжигания забалластированного ПНГ	253
3.5. Вихревые горелки и особенности их использования.....	277
3.5.1. Влияние принудительной закрутки на характеристики горения топлива.....	277
3.5.2. Конструктивно-компоновочные схемы вихревых горелок и методики расчета их параметров.....	282
3.5.3. Особенности горения топлива в закрученных течениях	296
3.6. Природа вихревого движения газа в цилиндрических каналах	306
3.7. Выводы по главе.....	317

ГЛАВА 4. ТЕХНОЛОГИИ И УСТРОЙСТВА УТИЛИЗАЦИИ ПНГ, В ТОМ ЧИСЛЕ ЗАБАЛЛАСТИРОВАННОГО НЕГОРЮЧИМИ КОМПОНЕНТАМИ, НА НЕФТЯНЫХ ПРОМЫСЛАХ.....

319

4.1. Конструктивно-компоновочные схемы промысловых теплогенераторов	321
4.2. Модели термодинамических расчетов процессов в трактах теплогенераторных установок	331
4.3. Прочностные задачи при разработке мобильных теплогенераторов	376

4.4. Факельные установки по сжиганию забалластированного азотом ПНГ	384
4.5. Выводы по главе	387
ГЛАВА 5. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ УТИЛИЗАЦИИ ЗАБАЛЛАСТИРОВАННОГО АЗОТОМ ПОПУТНОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА	389
5.1. Особенности эксплуатации котлов и пути снижения их вредных выбросов	389
5.2. Линейка котлов типа КВАК и особенности расчета характеристик котлов	407
5.3. Оценка эффективности модернизации системы утилизации ПНГ, забалластированного азотом, на нефтяных месторождениях Удмуртии	416
5.4. Результаты практической апробации горелочных устройств для сжигания забалластированного азотом ПНГ	427
5.5. Выводы по главе	433
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	436
ЛИТЕРАТУРА.....	440

ВВЕДЕНИЕ

Наиболее эффективным методом защиты природы от загрязнения вредными веществами является использование безотходных ресурсо- и энергосберегающих технологических процессов с замкнутыми производственными циклами.

Анализ причин резкого изменения климата Земли показывает, что немаловажным является рост энергопотребления, а одним из главных поставщиков сырья для энергетического сектора мировой экономики является нефтегазовый комплекс.

Нефть является естественным природным продуктом, который всегда контактировал с биосферой, поэтому в естественном углеродном цикле нефть не является загрязнителем. Загрязнения начинаются тогда, когда в окружающую среду поступают вещества в концентрациях, выводящих экосистему из состояния равновесия и приводящих к негативным последствиям: нефть в огромных количествах распространяется далеко за пределы промыслов, и отходы от ее использования попадают в воздух, почву, воду.

Нефтегазовый комплекс (НГК) является одной из составляющих ТЭКа. На всех стадиях хозяйственной деятельности НГК объектом воздействия являются все компоненты природной среды: атмосферный воздух, поверхностные и подземные воды, морские акватории, почвы, недра, растительный покров и биотические комплексы.

На фотографии Земли, сделанной из космоса ночью, хорошо видны нефтяные и газовые промыслы Западной Сибири, Мексиканского и Персидского заливов, Каспийского и Северного морей, освещенные горящими факелами. Сжигание попутного газа в факелах — это прямое загрязнение атмосферы. Горящие факелы загрязняют атмосферу сернистыми соединениями, отчего в радиусе до 250 метров от факелов полностью уничтожается всякая растительность, на расстоянии до 3-х км деревья сохнут и сбрасывают листья. В лицензиях на недропользование нефтяники берут на себя обязательства по утилизации попутного нефтяного газа (ПНГ). В работе [199] утверждается, что на практике утилизируются первые десятки процентов.

По указанным выше причинам утилизации ПНГ уделяется все большее и большее внимание. При этом, как отмечается в работе [206], в РФ этой проблемой стали заниматься на государственном уровне только после ратификации Россией Киотского соглашения (Федеральный закон от 4 ноября 2004 года

№ 128-ФЗ «О ратификации Киотского протокола к Рамочной конвенции ООН об изменении климата»).

В настоящее время прямо или косвенно вопросы использования ПНГ регулируются 21 федеральным законом и 37 постановлениями и распоряжениями Правительства РФ, а также рядом отраслевых стандартов. Однако, несмотря на достаточно большое количество действующих нормативных и правовых актов, в той или иной степени затрагивающих вопросы ПНГ, уровень утилизации ПНГ нефтедобывающими компаниями в настоящее время не отвечает требованиям, поставленным руководством страны [206].

Примером такого постановления может быть Постановление правительства РФ от 08.01.2009 № 7 «О мерах по стимулированию сокращения загрязнения атмосферного воздуха продуктами сжигания попутного нефтяного газа на факельных установках», в котором было сказано: «Установить целевой показатель сжигания попутного нефтяного газа на факельных установках в 2012 г. и последующие годы в размере не более 5 % от объема добытого попутного нефтяного газа».

Таким образом, для РФ в настоящее время проблема утилизации ПНГ значительно обострилась. В числе основных причин такого положения [194]:

- увеличение объемов добычи и сжигания ПНГ;
- возрастание роли и значения ресурсов ПНГ в балансе добычи и потребления природного газа в стране;
- более активный выход на рынок природного газа производителей ПНГ – нефтяных компаний;
- перенос акцентов в решении проблемы утилизации ПНГ на реализацию нефтяными компаниями новых инвестиционных проектов.

Проблема утилизации ПНГ имеет социальные и макроэкономические аспекты [194]:

- значительная актуализация решения проблем охраны окружающей среды: сжигание ПНГ наносит значительный ущерб природной среде и ухудшает условия проживания населения нефтедобывающих регионов;
- сжигание ПНГ приводит к большим потерям ценных компонентов — легких жидких углеводородных фракций, являющихся сырьем для получения широкой гаммы нефтехимических продуктов.

В работе [194] отмечена принципиальная особенность современной ситуации, связанной с решением проблемы утилизации ПНГ, которая состоит в том, что ее решение настоятельно требует реализации целого ряда новых инвестиционных проектов, таких как:

- строительство новых газоперерабатывающих заводов (ГПЗ);
- сооружение новых систем сбора и подготовки ПНГ на промыслах;

- расширение и создание подземных хранилищ природного газа;
- строительство сливно-наливных эстакад для жидких углеводородов;
- сооружение систем транспортировки;
- строительство газохимических производств.

При таком подходе к утилизации ПНГ эта проблема должна решаться на государственном уровне, причем это будет по силам только крупным нефтедобывающим компаниям, поскольку основная идея подхода к утилизации ПНГ состоит в том, что условия, в которых реализуются или будут реализовываться проекты по утилизации ПНГ, должны быть экономически выгодны или по крайней мере безубыточны компаниям, вовлеченным в процесс утилизации, транспортировки и переработки ПНГ. Эти условия для большинства нефтедобывающих компаний в России неприемлемы. Для средних и мелких операторов, добывающих нефть, наиболее рациональным и эффективным является утилизация ПНГ непосредственно на месторождении путем его сжигания для решения разного рода промысловых нужд. Однако и здесь имеется ряд проблем, обусловленных свойствами самого ПНГ.

Попутный нефтяной газ — газ, растворенный в нефти при пластовых условиях: выделяется при эксплуатации нефтяных залежей в результате снижения пластового давления ниже давления насыщения нефти. Добываемая из скважин продукция является смесью нефти, растворенного в ней газа и пластовой воды. Сырая нефть поступает на дожимную насосную станцию, где происходит *первая ступень сепарации*: предварительное отделение воды, механических примесей и полутного нефтяного газа (ПНГ). После отделения основного количества газа смесь поступает в *сепараторы второй ступени*, где отделяются большая часть воды и часть газа. Далее водонефтяная эмульсия направляется в электрогидраторы установки подготовки нефти, где при 120 °С в присутствии дезэмульгаторов содержание воды уменьшается до 1 % и менее и выделяется газ *третьей ступени сепарации*.

Состав ПНГ для всех трех ступеней сепарации определяет возможные технологии его утилизации, которым сегодня уделяется повышенное внимание. Это обусловлено в том числе и ужесточением экологических норм: с 2012 года невыполнение требования по 95 % утилизации ПНГ непосредственно на месторождениях нефти связано с существенными штрафными санкциями. По ряду причин для России единственным приемлемым вариантом для технологии утилизации ПНГ для небольших нефтедобывающих компаний является его переработка (использование) непосредственно на месторождениях для решения промысловых задач.

Для способов утилизации ПНГ важным является вопрос о его составе: на многих месторождениях нефти, например в Удмуртской Республике, ПНГ в зна-

чительной мере забалластирован (вплоть до 98 %) негорючими компонентами, в основном азотом, что зачастую исключает возможность его воспламенения [199]. Поэтому для нефтяных месторождений Удмуртии крайне актуальным является решение проблемы обогащения по углеводородным компонентам забалластированного азотом ПНГ с целью последующего его сжигания для решения тех или иных промышленных задач. При этом важным является оценка эффективности такого обогащения, поскольку известные технологии разделения сложных газовых смесей на отдельные газовые компоненты определяются не только химическим составом этих газовых смесей, но и их физическими параметрами, например давлением, при котором находится газовая смесь. Так, значения давления ПНГ, полученного на различных ступенях сепарации добытой нефти, отличаются друг от друга на порядки. Более того, из большого количества методов разделения газовых смесей на составляющие компоненты для обогащения ПНГ необходимо использовать наиболее дешевые и простые в исполнении с технической точки зрения, в качестве которых могут быть отмечены мембранные и вихревые методы [206]. Однако использование мембранных методов для обогащения ПНГ осложнено наличием в ПНГ паров маслянистых фракций нефти, которые быстро «забивают» поры рабочих мембран, выводя их из рабочего состояния. Из вихревых методов разделения газовых смесей на отдельные компоненты наиболее широкое применение находят вихревые трубы, реализующие так называемый эффект Ранке. Однако основное предназначение таких труб — разделение газового потока на два с различной энергетикой (температурой газа), что весьма недостаточно для эффективного разделения даже двухкомпонентной газовой смеси на составляющие компоненты. Поэтому использование вихревых труб для обогащения ПНГ, как было показано авторами на примере модельного ПНГ, с использованием разработанных методов оценки эффективности обогащения ПНГ по углеводородным компонентам [16, 17], крайне неэффективно [195]. Более того, будут свои особенности утилизации (обогащения) ПНГ различных ступеней сепарации нефти.

С другой стороны, даже и при наличии эффективного способа обогащения ПНГ возникает вопрос эффективного использования богатого углеводородами ПНГ для решения тех или иных промышленных задач, что главным образом определяется дебитом получаемого на месторождении нефти ПНГ и сутью самих решаемых задач. Однако в соответствии с законодательством проблема утилизации ПНГ существует для уже эксплуатируемых месторождений нефти, а вопрос об утилизации ПНГ для осваиваемого месторождения практически не регламентирован ни мировыми нормами, ни требованиями российского законодательства.

Тем самым целью настоящей монографии является разработка комплекса технических решений по утилизации ПНГ, забалластированного азотом, для эффективного решения промысловых задач с расширением спектра этих задач для этапов жизненного цикла эксплуатации промысла.

Для достижения цели авторами для решения были выбраны следующие задачи, учитывающие специфику добываемой в Удмуртии нефти.

1. Осуществлять поиск и обоснование технологий использования ПНГ на этапе освоения нового месторождения нефти.

2. Разработать предложения по универсальной технологии (способа) обогащения ПНГ по углеводородным компонентам, забалластированного до 98 % азотом, для различных ступеней сепарации добытой нефти от ПНГ.

3. Предложить и провести практическую промышленную отработку новых конструкций горелочных устройств для сжигания ПНГ, забалластированного до 98 % азотом, а также горелочных устройств, позволяющих сжигать комбинированные углеводородные смеси, состоящие из газовой, жидкой и твердой фазы.

4. Найти технические решения по использованию горелочных устройств в паровых и водяных котлах, в теплогенераторах, в установках по производству высоконапорной перегретой воды, предназначенной для повышения нефтеотдачи пластов, для снижения вязкости добываемой нефти, для получения пара и горячей воды непосредственно в промысловых условиях.

5. Решить вопросы адаптации разрабатываемых устройств и оборудования по утилизации ПНГ, в том числе забалластированного азотом, к условиям конкретного месторождения нефти, учитывая его технические характеристики, например, путем математического моделирования тепло-массообменных процессов в разрабатываемых устройствах для выбора их оптимальных геометрических и технических параметров.

6. Провести техническую и экономическую оценку эффективности предлагаемых технических решений.