

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента на диссертацию Лебедева Михаила Сергеевича «Исследование процесса низкотемпературной сепарации углеводородов на объектах малотоннажного производства сжиженного природного газа», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.5 Энергетические системы и комплексы

### **Актуальность темы**

Актуальность рассматриваемой работы обусловлена активным развитием мировой индустрии сжиженного природного газа на современном этапе. В условиях сложной геополитической обстановки меняется структура топливно-энергетического комплекса, что приводит к замене одних видов топлива на другие. Природный газ в сжиженном виде является экономически более выгодным и экологически чистым по сравнению с бензином и дизельным топливом и становится все более распространенным видом моторного топлива. Проведение исследований в области повышения эффективности и надежности оборудования для производства сжиженного природного газа (СПГ) безусловно является перспективным научным направлением, особенно в случае проведения натуральных экспериментов на действующем промышленном оборудовании.

Для обеспечения надежности производства СПГ возникает потребность в извлечении высококипящих компонентов из природного газа перед сжижением, с последующей их утилизацией. Метод извлечения данных компонентов из природного газа с одновременной их реализацией в качестве полезного продукта безусловно является эффективным и привлекательным способом повышения эффективности производства.

### **Содержание диссертации**

Диссертация изложена на 120 страницах машинописного текста, содержит введение, четыре главы, заключение, список сокращений, список использованной литературы, а также приложение.

**Во введении** четко и понятно отражены актуальность исследования, цель и задачи, степень разработанности темы, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, методология исследования, выносимые на защиту положения, степень достоверности работы и ее апробация.

**В первой главе** приведен обзор существующих технологий малотоннажного производства СПГ с акцентом на способах извлечения



высококипящих компонентов в процессе сжижения. В результате проведенного литературного обзора соискателем сформулированы задачи исследования.

**Во второй главе** представлены результаты моделирования процесса сжижения природного газа по предлагаемой схеме предварительного извлечения «тяжелых углеводородов», при этом использовались данные по компонентному составу магистрального газа с действующего производственного объекта, а именно, газопровода Бухара-Урал. Для подтверждения достоверности расчетной модели соискателем проведен сравнительный анализ результатов моделирования с фактическими параметрами производственного процесса. Также в главе отражен анализ использования отделяемой фракции тяжелых углеводородов в качестве сжиженного углеводородного газа (СУГ), проанализирована экономическая эффективность предлагаемой схемы отделения на малотоннажном объекте производства СПГ, работающем по дроссельно-эжекторному циклу. Автором получены зависимости состава и свойств СУГ от температуры сепарации, давления магистрального газа и начального содержания тяжелых углеводородов в магистральном газе.

**В третьей главе** подробно описана экспериментальная часть исследования, а именно отбор проб отделяемого конденсата на действующем производственном объекте. В начале главы описаны особенности функционирования узла по выработке холода в процессе низкотемпературной сепарации. Проведен лабораторный и расчетный анализ компонентного состава отделяемого конденсата, проведено сравнение расчетных и экспериментальных данных. Выявлена композиция углеводородов на основе пентан-гексановой фракции, обладающая обезжиривающими свойствами, подтвержденными экспериментально. Кроме того, автором диссертации проведен анализ снижения производительности действующей установки сжижения природного газа и выявлены факторы, снижающие эту производительность. Автором предложен способ снижения перепада давления в теплообменнике, который может повысить фактическую производительность установки.

**В четвертой главе** рассматривается способ ресурсосбережения при срабатывании природного газа с магистральных газопроводов с использованием полученных результатов исследования процесса низкотемпературной сепарации.

**В заключении** автор формулирует основные результаты проделанной работы, дает рекомендации для дальнейших исследований.



## **Научная новизна**

Научная новизна проведенного исследования представлена рядом полученных результатов. Во-первых, соискателем получены зависимости параметров отделяемой в процессе низкотемпературной сепарации сжиженной фракции (концентрация пропана, бутанов, давления насыщенных паров при 45<sup>0</sup>С, доли отделяемой фракции) от таких переменных, как состав магистрального газа, температура окружающей среды, давление и температура сепарации. Во-вторых, в рамках исследования получена новая композиция углеводородов, являющаяся не кипящим (при атмосферных условиях) жидким остатком процесса низкотемпературной сепарации.

## **Степень обоснованности научных положений и выводов**

Обоснованность и достоверность полученных результатов не вызывает сомнения, поскольку соискатель в исследовании использовал сертифицированное лабораторное оборудование, принимал в качестве исходных данных показания поверенных приборов действующего промышленного объекта. Кроме того, в работе для целей моделирования использовался отечественный программный продукт, допускаемый к использованию при проектировании объектов нефтегазового комплекса. В качестве дополнительного подтверждения применимости используемого программного продукта было проведено сравнение результатов смоделированной схемы с показателями приборов на объекте.

Таким образом, теоретические результаты исследования процесса низкотемпературной сепарации получили практическое подтверждение, а предлагаемая схема апробирована на практике с обоснованием выводов.

## **Практическая ценность**

Необходимо отметить, что выполненная работа в большей степени имеет практическую направленность. Предложена технологическая схема выделения тяжелых углеводородов из состава природного газа, направляемого на сжижение. Проведен анализ компонентного состава выделяемого конденсата и доказаны эффективные обезжиривающие свойства данной смеси, оформлен патент на изобретение.

Автором выявлены факторы, снижающие выход СПГ на действующем производственном комплексе, и предложен способ повышения фактической производительности установки.

Предложен способ получения СУГ из природного газа, стравливаемого при ремонтных и диагностических работах на линейной части магистрального газопровода.



## **Полнота опубликования результатов диссертационных исследований**

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 8 научных статьях, в том числе 1 статья в издании (Problems of the Regional Energetics), включенном в международные реферативные базы данных Scopus и WoS, 3 статьи в изданиях, включенных в перечень ВАК, а также 1 патент РФ на изобретение.

### **Вопросы и замечания по диссертационной работе**

По представленной работе имеются следующие замечания.

1. В формулировке научной новизны представлены пункты, больше относящиеся к практической значимости работы. В частности, доказательство «эффективности технологии низкотемпературной сепарации компонентов природного газа в схеме предварительного получения сжиженного углеводородного газа (СУГ) на ГРС с последующим сжижением природного газа на АГНКС» не является научной новизной работы.

2. Также в научной новизне работы неточно сформулировано положение о «дополнительном исследовании и патентовании растворителя». Здесь более уместна была бы формулировка «получена новая композиция», так как обезжиривающие свойства пентан-гексановой фракции давно известны.

3. В разделе 2.6 рассмотрен вариант совместной работы установки выделения тяжелых углеводородов на ГРС и производства СПГ на АГНКС, т.е. на принципиально разных объектах Единой системы газоснабжения. Каким образом автор планирует практически совмещать эти установки, когда подобные объекты, как правило, находятся на расстоянии не менее нескольких десятков километров друг от друга?

4. В тексте работы отсутствуют четкие пояснения по рисунку 2.19. Чем отличаются голубые линии от синих, и почему к концу сжижения концентрация метана падает как в случае предварительного извлечения СУГ, так и без извлечения?

5. При описании экспериментальной части исследования на стр.73 в п.3 Этапа № 1 автором допущена принципиальная ошибка: при сравнении избыточного давления из пробоотборника со взятой пробой жидкости нарушаются условия парожидкостного равновесия. Следствием сравнения части паров и понижения давления в пробоотборной емкости состав жидкости изменится и не будет идентичным составу жидкости на самой установке. Тогда с чем сравниваются результаты расчета?



6. На стр. 75 и 76 диссертации автор на основе экспериментальных и расчетных данных утверждает, что полученная конденсатная смесь «по своим характеристикам не противоречит нормативным требованиям и может быть реализована под маркой «пропан-бутан технический»». Однако, в составе конденсата доля пентанов и выше составляет более 50% масс. Такой состав, даже с учетом пересчета на объемные доли, скорее всего не соответствует требованиям ГОСТ Р 52087-2018 в пункте «Объемная доля жидкого остатка при температуре 20°C, не более 1,6%», а, следовательно, необходимо пересмотреть его соответствие марке «пропан-бутан технический».

7. Хотелось бы в конце каждой главы видеть результаты проделанной работы не в виде заключительных абзацев, а в виде отдельных пунктов с четко структурированными выводами. По третьей и четвертой главам отсутствуют даже завершающие абзацы с кратким описанием результатов.

8. Текст диссертации оформлен с отступлениями от ГОСТ Р 7.0.11-2011 «Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления». В частности, в вышеназванном ГОСТ Р имеется требование «5.3.4 Каждую главу (раздел) диссертации начинают с новой страницы», что не соблюдено в представленной работе. Также встречаются нарушения п. 5.3.10, в частности, по таблице 2.1 в тексте на стр. 26-27 отсутствуют указания на таблицу и ее номер.

9. В работе присутствуют незначительные грамматические ошибки, а также отличные от требований ГОСТ 2.105-95 «Общие требования к текстовым документам» написания значений отрицательной температуры. Кроме того, в тексте диссертации при записи значений температуры встречаются разные единицы измерения: в одних случаях градусы Цельсия, в других – температура по Кельвину.

### **Общая оценка диссертационной работы**

В целом диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая выполнена по актуальной тематике. Работа имеет научную новизну и практическое значение для современной отрасли малотоннажного производства сжиженного природного газа, поскольку направлена на повышение эффективности производства и качества продукции.

Диссертация Лебедева Михаила Сергеевича выполнена на высоком научном уровне. Соискатель четко и в достаточной мере отразил в работе цель и задачи, а также результаты их достижения, приведя необходимые иллюстрации и таблицы.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации. Проведенное исследование соответствует паспорту специальности 2.4.5 Энергетические системы и комплексы.

Диссертационная работа «Исследование процесса низкотемпературной сепарации углеводородов на объектах малотоннажного производства сжиженного природного газа» полностью соответствует требованиям п.9 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ. Соискатель Лебедев Михаил Сергеевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.5 Энергетические системы и комплексы.


Официальный оппонент:

доктор технических наук, доцент

заведующий кафедрой оборудования нефтегазопереработки

федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина»

24 ноября 2023 г.

  
Федорова Елена Борисовна

Адрес: 119991, г. Москва,  
Ленинский проспект, д. 65, корп.1  
Тел.: +7 (499) 507-85-01  
E-mail: fedorova.e@gubkin.ru

Подпись д.т.н. Федоровой Е.Б. заверяю

Начальник отдела кадров  
(499) 507-81-44



  
Ю.Е. Ширяев