

ОТЗЫВ

официального оппонента, д.х.н., профессора Вячеслава Борисовича Мельникова на диссертацию Прокопова Андрея Васильевича «Совершенствование технологии промышленной подготовки газа газоконденсатных месторождений с высоким конденсатным фактором», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.07 – «Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ»

В результате ознакомления с диссертацией, авторефератом и печатными работами соискателя, опубликованными по теме исследования, определено следующее.

Актуальность темы диссертационной работы. В настоящее время промышленная подготовка природного конденсатсодержащего газа на действующих месторождениях Надым-Пур-Тазовского региона с получением товарного газа и газового конденсата осуществляется в том числе по технологии низкотемпературной сепарации (НТС) с эжектором. Температура концевой низкотемпературной ступени сепарации составляет минус 25...минус 30 °С, поэтому извлечение целевых компонентов (C_{3+}) из газа в состав товарного нестабильного конденсата (НК) невелико (C_3-C_4 – 45...55, а углеводородов C_{5+} – 92...97 мас. %). Минимальная температура сепарации в таких технологиях ограничена количеством низконапорных газов концевой ступени дегазации товарного НК, поступающих на эжектор, количество которых многократно увеличивается с понижением температуры сепарации. Остаточное содержание пропан-бутанов и углеводородов C_{5+} в товарном газе находится на довольно высоком уровне 45...55 и 3...6 г/м³, соответственно. Это определяет необходимость совершенствования низкотемпературных технологий промышленной подготовки газа для увеличения степени извлечения углеводородов C_{3+} .

В этой связи тема диссертационной работы Прокопова А.В., посвящённая интенсификации степени извлечения углеводородов $C_{3+В}$ на действующих промышленных установках комплексной подготовки газа, является весьма актуальной.

Цель диссертационной работы, является разработка новых технологических решений, обеспечивающие увеличение глубины извлечения углеводородов C_3-C_4 и C_{5+} в составе товарных жидких продуктов на действующих установках комплексной подготовки газа газоконденсатных месторождений, на основе использования современной компьютерной технологии.

Научная новизна исследования и полученных результатов представленной диссертационной работы заключается в следующем:

1. В особенностях и закономерностях подготовки конденсатсодержащих газов на температурном уровне сепарации минус 30 °С выявлены:
 - количественная зависимость содержания C_{5+} в подготовленном газе от содержания углеводородов C_3 - C_4 в пластовом газе;
 - особенности влияния содержания в пластовом газе углеводородов C_{5+} на эффективность охлаждения газа и конденсата низкотемпературной ступени сепарации;
 - особенности расчётного определения точки росы товарного газа по углеводородам при наличии капельного уноса жидкости.
2. Разработана технология подготовки газа конечной ступени дегазации товарного нестабильного конденсата на температурном уровне минус 30 °С, которая интегрирована в проектную технологическую схему низкотемпературной сепарации.
3. Подобран селективный абсорбент (углеводородная фракция 120...170 °С) для применения в технологии промысловой низкотемпературной абсорбции.

Практическая значимость работы заключается в том, что на примере действующих технологических схем промысловой подготовки газа (УКПГ-31 Уренгойского месторождения и УКПГ-1В Ямбургского месторождения) разработаны новые технологические схемы, позволяющие увеличить степень извлечения углеводородов C_{3+} :

1. Применительно к УКПГ-31 Уренгойского месторождения (ачимовская залежь, участок 1А) разработана и рекомендована к внедрению технологическая схема извлечения товарного нестабильного конденсата из газов конечной ступени дегазации, которая для проектной технологии НТС с эжектором позволяет проводить процесс на температурном уровне сепарации минус 33...минус 35 °С.
2. Применительно к УКПГ-41,51 Уренгойского месторождения (ачимовская залежь, участки 4А и 5А) разработаны перспективные технологические схемы промысловой подготовки газа на пониженном температурном уровне сепарации (дроссельная технология – до минус 40 °С и турбодетандерная – до минус 50 °С).
3. Разработаны технологические схемы абсорбционной подготовки газа с применением селективного абсорбента (углеводородной фракции 120...170 °С) с углубленным извлечением углеводородов C_{3+} применительно к УКПГ-1В Ямбургского НКМ.

Содержание диссертационной работы и ее завершенность.

Во введении автором отражены общие положения диссертационной работы: раскрыта актуальность выбранной темы, представлен объект исследований, цель и задачи работы, сформулированы положения научной новизны, теоретической и практической значимости, защищаемые положения. Также представлены методы проведенных исследований, достоверность полученных результатов, публикации и доклады по тематике работы, конкретный вклад автора, объем и содержание работы и т.п.

В первой главе представлен анализ газодобычи и промышленной подготовки скважинной продукции в России и Западной Сибири и показана роль газоконденсатных месторождений Западной Сибири в общем балансе добычи газа в России. Представлен анализ составов газоконденсатных флюидов и динамики их изменения в процессе разработки месторождений, степень извлечения целевых компонентов (C_{3+} и C_{5+}) в типовых промышленных технологиях НТС, требований к качеству газа и конденсата. Также в первой главе диссертантом осуществлен подробный анализ промышленных технологий, применяемых в России для подготовки газоконденсатных залежей: НТС с дросселем или эжектором, НТС с детандер-компрессорным агрегатом, Технология промышленной низкотемпературной абсорбции, Технология низкотемпературной сепарации и ректификации. По проведенному анализу диссертантом сделаны выводы и постановка задач исследования.

Во второй главе диссертантом представлены результаты значительных исследований с использованием современных уравнений и компьютерных технологий подготовки конденсатсодержащего газа по технологии низкотемпературной сепарации (НТС) влияния состава газоконденсатного флюида на особенности охлаждения конденсатсодержащих газов при дросселировании и детандировании на степень извлечения фракций C_{5+} и C_{3+} и на содержание и состав фракций C_{5+} в товарном газе; снижения температуры углеводородной жидкости из низкотемпературного сепаратора при её дросселировании от состава входного газа; степени охлаждения выделенного при сепарации газонасыщенного конденсата для дегазации. Также в данной главе представлены результаты расчетных компьютерных исследований по подбору оптимального состава селективного абсорбента для извлечения компонентов C_{3+} от температуры фракционного состава абсорбента в процессах низкотемпературной абсорбции: оптимальный состав абсорбента для извлечения из газа каждой из групп компонентов составляет для C_3-C_4 – фракция 60...70 °С, для C_{5+} – фракция 150...170 °С, а для C_{3+} – фракция 100...120 °С. Также в главе 2 автором проведен анализ процесса

измерения температуры точки росы газа по углеводородам ($TTR_{УВ}$) с помощью существующих конденсационных приборов и предлагается разработанная методика расчёта $TTR_{УВ}$ для газа с высоким конденсатным фактором, согласованная с инструментальным методом определения $TTR_{УВ}$. Результаты исследований, проведенные автором в главе 2 представляют определенный научный интерес и практическое значение, которое реализовано в главе 3.

В третьей главе представлен анализ действующей технологии промышленной подготовки конденсатсодержащих газов ачимовских залежей по технологии НТС с эжектором на примере УКПГ-31 Уренгойского месторождения и показано, что увеличение объема низконапорных газов дегазации конденсата не позволяют снизить температурный уровень сепарации с целью увеличения степени извлечения фракций C_{3+} и C_{5+} . Автором для перехода на более низкий температурный уровень подготовки газа разработаны новые технологические схемы НТС с дросселем на температурном уровне сепарации до минус 40 °С и НТС с ТДА на температурном уровне сепарации минус 50 °С.

В четвертой главе диссертант осуществил подробный анализ существующей технологии низкотемпературной абсорбции конденсатсодержащего газа Ямбургского месторождения на примере УКПГ-1В Ямбургского НГКМ и показаны ее основные недостатки. Проведенный анализ позволил автору разработать и предложить для практической реализации два варианта её совершенствования путем использования селективного абсорбента оптимального состава для извлечения компонентов C_{3+} : для C_3-C_4 – фракция 60...70 °С, для C_{5+} – фракция 150...170 °С, а для C_{3+} – фракция 100...120 °С. Один из вариантов предусматривает абсорбцию на действующем температурном уровне (минус 30 °С), а другой – на более температурном уровне минус 17 °С. Диссертантом проведена технико-экономическая оценка разработанных технологических решений и показана их экономическая эффективность для практической реализации.

Материалы диссертационной работы в полной мере раскрывают цели, задачи и методологию исследований. Представленная автором работа является полноценным и завершенным научным трудом.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и надёжность полученных расчётов и выводов. Полученные в работе научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации Прокопова А.В. обоснованы, аргументированы и имеют значительную степень достоверности. Выводы являются логичным следствием проведённых расчётных исследований с применением

современных уравнений состояния (Пенга-Робинсона, Патела-Тейя и Cubic-Plus-Association), входящих в моделирующие программные комплексы и не вызывают сомнений.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации. Полученные в диссертационной работе Прокопова А.В. результаты работы могут быть использованы в практической работе ведущих газодобывающих: ПАО «Газпром» (г. Санкт-Петербург) и ПАО «Новатэк» (г. Москва). Технологические и методические вопросы, рассмотренные в диссертации, могут быть использованы в качестве методического материала в учебных учреждениях России нефтегазового направления.

Замечания и рекомендации.

Диссертантом выполнены значительные исследования на основе использования современных достижений компьютерной техники и технологий, представляющие научный интерес и практическую значимость в области подготовки газа и газового конденсата при эксплуатации газоконденсатных месторождений. Однако можно сформулировать ряд замечаний и пожеланий по диссертации.

1. Замечания по оформлению диссертации и автореферата:

1.1. В диссертации во «Введении» имеются такие пункты, как «защищаемые положения», «методы исследования», «достоверность результатов», *но они отсутствуют в разделе «Введение» автореферата.*

1.2. Параграф 2.4 «Зависимости извлечения компонентов C_{3+} от температуры фракционного состава абсорбента» представлен автором в главе 2, посвященной закономерностям технологии низкотемпературной сепарации, *тогда как диссертант использует результаты этих исследований только в главе 4, посвященной низкотемпературной абсорбции.*

Поэтому было бы более целесообразным материал раздела 2.4 разместить в главе 4.

2. Основные замечания и рекомендации по диссертационной работе:

2.1. При моделировании технологии НТС (главы 2 и 3) расчёт фазового равновесия неполярных (углеводородных) смесей осуществлялись с использованием уравнения состояния Пенга-Робинсона.

Однако диссертантом в Приложении 3 не приводятся обоснования выбора данного уравнения и не дана оценка погрешности в сравнении с другими известными уравнениями состояния для этих целей. Диссертантом не указывается с помощью какого программного комплекса и его версии проводились указанные исследования. Также диссертантом не представлена информация с помощью какого

программного комплекса проводились исследования фазового равновесия в системах «метанол - углеводород» и «метанол-вода».

В качестве пожелания ещё отметим, что было бы полезным рассмотреть также и уравнения состояния Пенга-Робинсона-Стрижека-Веры (PRSV). Оно применимо для тех же систем, что и уравнение PR, с равноценной или лучшей точностью; кроме того, оно более пригодно для умеренно неидеальных систем при давлениях менее 10 МПа.

Учитывая своеобразие проводимых исследований, а именно использование современных уравнений фазового состояния и компьютерной технологии для усовершенствования технологий НТС, было бы целесообразным посвятить в диссертации отдельный параграф выбору термодинамических методов для описания фазового равновесия в системе «природный газ – вода – метанол» с обоснованием и сутью уравнений состояния.

2.2. В главах 2, 3 и 4 отсутствуют конкретные ссылки на материалы (технологические схемы и параметры работы известных УКПГ). Например, речь идет о иллюстрационных материалах: рис. 11, 14, 15, 19 и табл.5, 6, 7, 8, 16, 17. В расчётных зависимостях степени извлечения C_{5+} от их содержания в пластовом газе для некоторых месторождений в процессе разработки, приведенные на рис. 16 – 18, не уточняется на какой именно период разработки месторождения получены расчетные значения.

2.3. В главе 2 на стр.46 автор пишет: «Процесс дросселирования жидкости из низкотемпературного сепаратора сопровождается дегазацией углеводородов и охлаждением, как газов дегазации, так и оставшейся жидкости. Газы дегазации, образующиеся при дросселировании жидкости сепаратора НТС представляют собой смесь углеводородов преимущественно состоящую из метана (88...85 моль.%) и этана (10...6 моль.%). Эти компоненты при дросселировании также охлаждаются более интенсивно, чем жидкость, определяя тем самым степень охлаждения НК в целом». Данный тезис не понятен, т.к. теплоемкость жидкости C_{5+} всегда выше теплоемкости C_{1-C4} и поэтому она охлаждается более интенсивно и тем самым увеличивается в ней содержание C_5 .

2.4. В главе 3 на стр. 67 на рис. 26 для фактических условий работы УКПГ-31 приведена расчётная зависимость количества газа дегазации от температуры НТС при давлении в низкотемпературном сепараторе 5,5 МПа. Для сравнения следовало бы указать фактические условия работы УКПГ-31 и фактическое количество газа дегазации. Автор на стр. 68 отмечает

«Ещё одним фактором, непосредственно влияющим на возможности понижения температуры НТС, является произведение коэффициента теплопередачи K и рабочей поверхности теплообмена F в теплообменнике (произведение $K \cdot F$). Взаимосвязь величины $K \cdot F$ и температуры НТС представлена на рисунке 27». **Однако не понятно при каких конкретных значениях K и F была построена данная зависимость.**

2.5. В главе 3 диссертант на стр.76 отмечает: «Расчетные технологические потери метанола по технологии НТС с эжектором на температурном уровне до минус $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ составят $0,81\text{ г/м}^3$. При этом имеет место снижение удельного потребления метанола на $0,35\text{ г/м}^3$ относительно проектной технологии. Это достигается дополнительным разделением смеси углеводородной жидкости и метанола в разделителях Р-3 и Р-4. Более чёткому разделению метанола и углеводородов в разделителях Р-3 и Р-4 способствуют термобарические параметры в этих аппаратах». **Однако, автор не приводит детального обоснования методики расчета удельного потребления метанола.**

2.6. В главе 3 диссертант на стр. 83 отмечает «Применительно к УКПГ-31 среднее значение (за 25 летний период эксплуатации УКПГ) дополнительного выхода товарного НК по сравнению с эжекторной технологией составит $\sim 14\text{ г/м}^3$. Технологические потери метанола для технологической схемы НТС с дросселем на температурном уровне около минус $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ относительно НТС с эжектором снижаются на $0,35\text{ г/м}^3$ и составят $0,86\text{ г/м}^3$.» **Диссертантом берутся фактические средние значения за 25 лет эксплуатации месторождения, но при этом было бы целесообразным указать как проведены расчеты с использованием компьютерной технологии (параметры процесса по годам и т.п.).**

2.7. В главе 3 на рис. 39 и рис. 40 представлены зависимости выхода товарного НК и $\text{C}_{5+\text{в}}$ и выхода углеводородов $\text{C}_1\text{-C}_4$ в составе товарного НК от температуры НТС. **Однако не объяснена различная зависимость НК и др. компонентов в сравнении с рис. 34 и рис.35.** На стр. 96 – «В настоящее время удельный расход абсорбента составляет около 60 г/м^3 .», **но отсутствует ссылка на источник.**

2.8. В главе 4 диссертант на стр.104 отмечает: «Анализ литературы показывает, что для поставленной цели, т.е. получения выбранного нами углеводородного абсорбента достаточно адаптировать известные технические решения установок фракционирования нефти.» **Следует заметить, что для этого (расчета процесса ректификации углеводородного абсорбента с выделением требуемой фракции) достаточно использовать общие принципы и основы ректификации с использованием современного программного обеспечения (например Аспен**

Хайсис) без использования аналогов различных нефтей (характерных кривых истинных температур кипения (ИТК) для нефтяных составов месторождений Тимано-Печорской и Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции), как сделал автор.

Высказанные замечания носят рекомендательный характер и не снижают впечатления от рассматриваемой диссертации, как о законченной работе, выполненной на современном научно-техническом уровне, и представляющая научный интерес и практическую значимость для специалистов в области подготовки газа и газового конденсата при эксплуатации газоконденсатных месторождений.

Соответствие работы требованиям, предъявляемым к диссертациям. Диссертационная работа Проколова А.В. состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка использованной литературы, включающего 110 наименований и пяти приложений. Общий объём работы изложен на 154 страницах машинописного текста, содержит 24 таблицы и 53 рисунка. Диссертация достаточно хорошо структурирована и оформлена в соответствии с требованиями, установленными Министерством образования и науки РФ.

Основные положения диссертации отражены в опубликованных работах. Непосредственно по теме диссертации опубликовано 7 работ в различных журналах, рекомендованных ВАК РФ, а также в 1 статье в издании, входящем в базу данных Scopus. Получены пять патентов РФ на изобретения.

Научные публикации достаточно полно отражают основное содержание диссертации. Выводы по результатам работы обоснованы и соответствуют цели исследования и положениям, выносимым на защиту.

По тематике исследования, методам, предложенным новым научным положениям диссертация соответствует паспорту специальности научных работников 05.17.07 – «Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ» в пунктах: п. 1 «Общие научные основы и закономерности физико-химической технологии нефти и газа. Молекулярное строение нефти и нефтяных систем, физико-химическая механика нефтяных дисперсных систем, их коллоидно-химические свойства и методы исследования», п. 5 «Химмотологические аспекты физико-химической технологии нефти и газа», п. 8 «Разработка новых процессов переработки органических и минеральных веществ твердых горючих ископаемых с целью получения продуктов топливного и нетопливного назначения» и п. 12 «Экологические аспекты переработки топлив. Разработка технических и

технологических средств и способов защиты окружающей среды от вредных выбросов производств по переработке топлив».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании анализа диссертации Прокопова Андрея Васильевича на тему «Совершенствование технологии промышленной подготовки газа газоконденсатных месторождений с высоким конденсатным фактором» можно отметить, что работа представляет собой завершённое научное исследование, выполненное самостоятельно на высоком научном уровне, на актуальную тему, в котором получены новые и важные сведения о вариантах модернизации действующих и проектируемых установок комплексной подготовки газа с целью увеличения извлечения углеводородов C_3-C_4 и C_{5+} в состав товарных жидких продуктов.

Научные положения и выводы, сформулированные автором, не вызывают сомнений. Результаты диссертационной работы оригинальны, достоверны и отличаются научной новизной и практической значимостью. Большая часть результатов отражена в публикациях и апробирована на профильных конференциях.

По актуальности, новизне и практической значимости диссертация Прокопова Андрея Васильевича на тему «Совершенствование технологии промышленной подготовки газа газоконденсатных месторождений с высоким конденсатным фактором» полностью соответствует требованиям «Положения о присуждении учёных степеней» (Постановление Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842), предъявляемым кандидатским диссертациям, а её автор Прокопов Андрей Васильевич, **заслуживает** присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.17.07 – «Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ».

Официальный оппонент

Профессор кафедры «Оборудования нефтегазопереработки» ФГАОУ ВО «РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина»
д.х.н., профессор

Подпись В.Б. Мельникова заверяю
119991, Российская Федерация,
г. Москва, Ленинский пр-т., д. 65
Тел. +7 (499) 507-88-88
e-mail: v.mel@mail.ru



В.Б. Мельников
21.08.19

В.Б. Мельников
заверяю
Ю.Е. Ширяев
Ю.Е. Ширяев