

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт нефти и газа
Кафедра Технологические машины и оборудования нефтегазового комплекса

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ Э.А. Петровский

« _____ » _____ 2017 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

направление 21.03.01 «Нефтегазовое дело»
профиль 21.03.01.07 «Эксплуатация и обслуживание технологических
объектов нефтегазового производства»

**Модернизация конструкции распределительного устройства в абсорбере
для осушки попутного нефтяного газа на нефтедобывающем
предприятии**

Руководитель _____ к.т.н., доцент Е.А. Соловьев

Выпускник _____ А.С. Хабаров

Красноярск 2017

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт нефти и газа
Кафедра Технологические машины и оборудования нефтегазового комплекса

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ Э. А. Петровский
«____» _____ 2017 г.

**ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме бакалаврской работы**

Красноярск 2017

Студенту Хабарову Александру Сергеевичу

Группа ГБ 13-07

Направление подготовки 21.03.01 «Нефтегазовое дело»

Профиль 21.03.01.07 «Эксплуатация и обслуживание технологических объектов нефтегазового производства»

Тема выпускной квалификационной работы «Модернизация конструкции распределительного устройства в абсорбере для осушки попутного нефтяного газа на нефедобывающем предприятии»

Утверждена приказом по университету № _____ от _____

Руководитель ВКР Е.А. Соловьёв, доцент кафедры ТМиОНГК, Институт нефти и газа Сибирского федерального университета

Исходные данные для ВКР: Система осушки попутного нефтяного газа включает в себя: абсорбер; фильтр-сепаратор осущеного газа FS-2801-1,2; дегазатор насыщенного раствора триэтиленгликоля D-2801; угольные фильтры F-2801-A/B; фильтры тонкой очистки F-2802-A/B; блок регенерации триэтиленгликоля U-2801; АВО паров регенерации AC-2802; рефлюксная емкость V-2801; насосы подачи ТЭГ в абсорбер P-2801-A/B/C; АВО регенерированного ТЭГ AC-2801-12; емкость дренажная с погружным насосом V-2802; емкость хранения свежего ТЭГ V-2803; насос подпитки ТЭГ P-2803; узел дозирования химреагентов: емкость антивспенивателя V-2804; насос дозирования антивспенивателя P-2804; емкость реагента контроля pH среды V-2805; насос дозирования реагента контроля pH среды P-2805; узел утилизации отпарных газов: входной фильтр-сепаратор FS-2802; компрессор отпарного газа C-2801-1/2/3; АВО скомпримированного газа AC-2803; фильтр-сепаратор скомпримированного газа FS-2803. Главным критерием повышения эффективности системы осушки принять степень осушки газа. Требуемая производительность: от 200000 до 375000 н.м³/час. Требуемое содержание остаточной влаги: не выше 1%. Расчётная температура стенки абсорбера: 100°C. Расчётное давление в абсорбере: 4.5 МПа. Абсорбент: раствор ТЭГ (96-99.9%).

Перечень рассматриваемых вопросов (разделов ВКР):

Введение. Актуальность темы и современное состояние проблемы

Раздел 1 – Литературный обзор. Аналитический обзор литературы, в том числе патентных источников и научных статей по теме работы. Изучение основных характеристик и нормативных показателей качества осушки попутного нефтяного газа. Сравнительный анализ существующих способов осушки попутного нефтяного газа, обоснование целесообразности применения абсорбционного метода. Анализ существующей конструкции абсорбера для осушки попутного нефтяного газа, выявление недостатков. Заключение к литературному обзору, постановка задач на проектирование. Отчёт о патентных исследованиях выполнить отдельным приложением к бакалаврской работе.

Раздел 2 – Конструкторско-технологический раздел. Разработка технического задания на модернизацию конструкции абсорбера. Расчёт основных параметров установки (технологический расчёт, механический расчёт). Разработка принципиальной технологической схемы установки. Модернизация конструкции абсорбера с целью увеличения поверхности массопередачи. Разработка технологии антикоррозионной обработки внутренних поверхностей абсорбера. Выбор и обоснование вспомогательного оборудования (насосы, запорная и регулирующая арматура, средства автоматизации технологического процесса, средства обеспечения безопасности).

Раздел 3 – Эксплуатация и ремонт. Разработка технологических режимов работы установки. Разработка мероприятий по техническому обслуживанию, текущему и капитальному ремонту установки.

Заключение. Выводы по результатам выполненной работы.

Перечень графического и иллюстративного материала: Технологическая схема с описанием принципа работы установки (1 лист формата А3), чертёж общего вида абсорбера (1 лист формата А3), чертеж модернизированной детали (1 лист формата А3), презентация (12 –16 страниц).

Руководитель ВКР

_____ Е.А. Соловьёв

Задание принял к исполнению

_____ А.С. Хабаров

«____» _____ 2017 г.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Модернизация конструкции распределительного устройства в абсорбере для осушки попутного нефтяного газа на нефтедобывающем предприятии» содержит 74 страницы текстового документа, 14 рисунков, 3 таблиц, 1 приложение, 20 использованных источников, 2 листа графического материала.

КОМПЛЕКС УСТАНОВКИ И ПОДГОТОВКИ ГАЗА И КОНДЕНСАТА, АБСОРБЦИОННАЯ КОЛОННА ГЛИКОЛОВОЙ ОСУШКИ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ, МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ.

Цели работы: рассмотреть проблематику осушки попутного–нефтяного газа в абсорберах, а также проанализировать существующие модернизации распределительных устройств. Провести технологический и механические расчеты для сравнения с проектными показателями и спроектировать абсорбционную колонну.

Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд технических задач: выявить основные причины низкоэффективной работы сепарационных устройств в абсорбере и указать пути их решения; изучить технологию осушки газа; провести обзор имеющихся в этой области модернизаций и определить наиболее оптимальный вариант.

В ходе выполнения выпускной работы были проанализированы конструкции внутренних устройств абсорбционных установок. Проведены технологический и механический расчеты. Произведен обзор наиболее перспективных модернизаций каждого из устройств аппарата.

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы использовался текстовый редактор Microsoft Word, таблицы и графики выполнялись в Microsoft Excel. Чертежи изготавливались в программе КОМПАС-3D.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	7
1 Технико-экономическое обоснование работы	9
1 Литературный обзор.....	10
1.1 Технические характеристики абсорбционных колонн.....	10
1.2 Конструктивные особенности исполнения абсорбера и принцип эксплуатации.....	12
2 Конструкторско-технологический раздел.....	20
2.1 Краткий обзор основных направлений интенсификации абсорбционных процессов	20
2.2 Анализ работы абсорбционных колонн.....	21
2.3 Технологические расчеты абсорбционных колонн	22
2.4 Механические расчет абсорбционной колонны	25
2.4.1 Расчёт толщины верхнего днища на прочность	25
2.4.2 Расчёт толщины цилиндрической обечайки на прочность.....	27
2.4.3 Расчёт плоского круглого днища на прочность.....	29
2.4.4 Расчёт фланцевого соединения с плоской крышкой.....	32
2.4.5 Расчёт аппарата при гидроиспытании	61
2.5 Модернизация абсорбера	63
3 Эксплуатация и ремонт	
Заключение	71
Приложение А. Патентный обзор.....	16
Список использованных источников	73

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время высокие темпы роста нефтяной и газовой промышленности обуславливают внедрение в эксплуатацию оборудования, позволяющего обеспечивать выполнение и сохранение основных показателей, а также получение качественного продукта. Наряду с нефтяной лидирующие позиции занимает газовая отрасль, являющаяся самой молодой и динамично развивающейся отраслью в топливно-энергетическом комплексе страны. Добыча газа в два раза дешевле добычи нефти, что определяет его экономическую значимость.

Газовая промышленность обеспечивает не только добычу, но и транспортировку газа, доставку его к потребителю. На территории России находится более трети мировых разведанных запасов природного газа, но практически все они сосредоточены в отдаленных от промышленных центров областях Западной Сибири. Строительство и эксплуатация крупнейшей в мире газотранспортной сети – Единой системы газоснабжения России также является предметом газовой промышленности. ЕСГ – это уникальный технологический комплекс, в состав которого включены объекты добычи, переработки, транспортировки, хранения и распределения газа.

Однако прежде чем осуществлять доставку конечного продукта, необходимо произвести целый комплекс мероприятий по достижению высокой степени качества. Процесс подготовки газа включает в себя осушку посредством абсорбции или адсорбции, отбензинивание, охлаждение и т.п. Осуществление данных операций предусматривает эксплуатацию оборудования в условиях повышенной концентрации механических примесей в перерабатываемом газе. Также возможно снижение подачи технологического газа и увеличению энергозатрат на его компримирование (из-за увеличения объемного расхода).

Рассматривая классические схемы подготовки и компримирования газа, необходимо уделить внимание основным ступеням осушки продукта. В настоящее время абсорбционные установки по осушке газа являются одним из основных видов технологического оборудования комплекса установки и подготовки газа и конденсата. Существует множество аппаратов по осушке газа – адсорбера, сепараторы, фильтры тонкой очистки и т.п. В рамках бакалаврской работы рассмотрим абсорбционную колонную гликоловую осушки.

На Ванкорском месторождении на объектах комплекса установки и подготовки газа и конденсата абсорбционные колонны представлены в виде вертикальных цилиндрических аппаратов диаметром 2200 мм, состоящих из двух частей, разделенных по жидкости «глухой» тарелкой, успешно функционируя и выполняя свое основное назначение. Однако существует проблема, требующая разработки и внедрения определенных технических решений.

В рамках Ванкорского производственного участка эксплуатируется установка осушки попутного газа. В состав технологического оборудования участка входит два блока абсорбера С-2801 и С-2802, работающие как при последовательном включении, так и при параллельном. По наблюдениям обслуживающего персонала в кубовой (сепарационной) части абсорбера улавливаются частицы водной и углеводородной фаз, причем наличие углеводородной фазы является вероятной причиной образования пенной эмульсии. Наличие легких углеводородов в рефлюксной емкости узла регенерации ТЭГ, также свидетельствует, о том, что в абсорберах происходит поглощение не только влаги, но и углеводородных компонентов. Эти факторы позволяют предположить, что углеводородные компоненты ПНГ системы 28, а также некоторое содержание компрессорного масла приводят: .

– к снижению концентрации триэтиленгликоля (за счет поглощения углеводородов); – к снижению движущей силы абсорбции за счет вертикального перемешивания абсорбента в насадочном слое, возникающем из-за образования пенной эмульсии);

Таким образом, цель работы – провести анализ и оценить эффективность существующих распределительных устройств направленных на повышение качества работы абсорбционного оборудования на объектах комплекса установки и подготовки газа и конденсата на Ванкорском производственном участке .

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

- провести литературный и патентный обзоры существующих источников информации;
- выполнить механический и технологические расчёты и сравнить полученные данные по нормативным документам;
- выявить перспективные пути решения обозначенной проблемы и обосновать целесообразность выбранного решения.

В бакалаврской работе представлены конструктивные особенности абсорбера, режимы их эксплуатации. Помимо основных расчетов представлены необходимые расчеты параметров модернизированного оборудования, а так информацию по эксплуатации и его ремонту абсорбера.

1 Литературный обзор

1.1 Процесс осушки попутного нефтяного газа

Осушка газа является процессом доведения его до необходимой точки росы, отчистки от механических примесей и исключение уноса капельной жидкости на установках подготовки газа. Осушку газа производят с помощью абсорбента, в качестве абсорбента могут применяются диэтиленгликоль (далее ДЭГ) и триэтиленгликоль (далее ТЭГ). ДЭГ понижает точку росы газа на 25÷35 °C, ТЭГ на 40÷45 °C, температура кипения составляет 244,5 °C. Обе жидкости обладают малой вязкостью, неагрессивны, очень слабо растворяют природные газы, имеют низкую упругость паров, что облегчает их регенерацию. Недостатком является унос абсорбента и относительная сложность его регенерации .

Преимущество ТЭГ от ДЭГ – меньшая склонность к пенообразованию при содержании в газе углеводородного конденсата. Кроме того, ТЭГ обеспечивает лучшее разделение системы вода – углеводороды, что значительно уменьшает его потери. Поэтому на Ванкорском месторождении в качестве поглотителя применяется ТЭГ.

Главным критерием качества осушаемого газа – это степень его осушки. В классических схемах подготовки газа очень тщательно подходят к выбору оборудования для абсорбционных процессов, исходя из соображений эффективности и экономической целесообразности. Поддержание и контроль технологического режима до регламентируемых значений является обязательным условием долговечности эксплуатируемого оборудования и качества выпускаемой продукции. На процессы абсорбции оказывают влияние давление, температура, удельный расход абсорбента, число ступеней контакта. Повышение давления и снижение температуры ускоряют абсорбцию

Применение абсорбционных аппаратов гликоловой осушки получили наибольшее применение. Преимущества этого способа по сравнению с другими:

- относительно небольшие капитальные вложения и эксплуатационные расходы;
- малые перепады давления в системе осушки;
- возможность осушать газ, содержащий вещества, которые отравляют твердые поглотители;
- непрерывность процесса.

Основным процессом, на котором строится принцип работы абсорбера, является абсорбция. Попутный нефтяной газ (далее ПНГ) на установке осушки

попутного газа необходимо поддерживать в строго регламентируемых значениях по давлению $3,8\div4,3$ МПа, температуре $18\div45$ °С и остаточное содержание воды в регенерированном ТЭГ не должно превышать 0,15% масс.

В ходе выполнения работы было установлено, что эксплуатированные первоначально абсорбера недостаточно эффективны, и, следовательно, необходимо проанализировать возможные модернизации самого аппарата, которые могут быть реализованы с минимальными капиталовложениями.

1.2 Технические характеристики абсорбционных колонн

Абсорбера разделяют по способу контактирования взаимодействующих фаз на три группы: поверхностные, барботажные и распыливающие.

Отдельные типы аппаратов в зависимости от режима работы могут быть отнесены к одной или другой группе, например, насадочные абсорбера при инверсии фаз становятся барботажными аппаратами, а тарельчатые при работе в струйном режиме являются распыливающими.

Важными характеристиками, которые необходимо учитывать при выборе конструкции абсорбера, также являются гидравлическое сопротивление, диапазон возможного изменения нагрузок по газу и жидкости, время пребывания жидкости, чувствительность и склонность к загрязнениям.

Типичные конструкции абсорбера представлены на рисунках 1а, 1б.

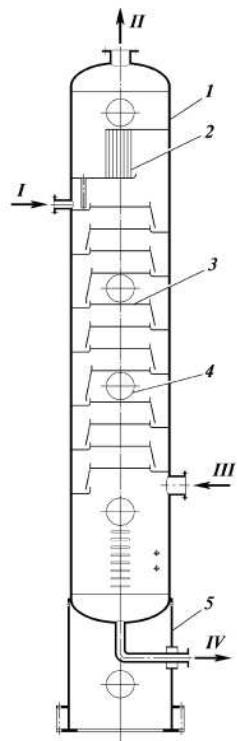


Рисунок 1а – Тарельчатая абсорбционная колонна

1 – корпус; 2 – каплеотбойник; 3 – тарелка; 4 – люк; 5 – опорная обечайка;
I – ненасыщенный абсорбент; II – сухой газ; III – сырой газ; IV – насыщенный абсорбент

Обычно давление в абсорберах при разделении нефтяных попутных газов составляет 1,6–2,0 МПа, а при извлечении компонентов природного газа, имеющего большее устьевое давление, 4,0–7,5 МПа. Температура зависит от применяемого хладагента и может составлять при извлечении пропана минус 40 °C, этана минус 80–100 °C. Диаметр промышленных абсорбераов зависит от производительности и достигает 3 м., число тарелок составляет 30–40.

При промысловой очистке и осушке природного газа производительность по газу одного абсорбера достигает 10–35 млн. м³/сут. Для таких условий работы предназначены специальные конструкции абсорбераов.

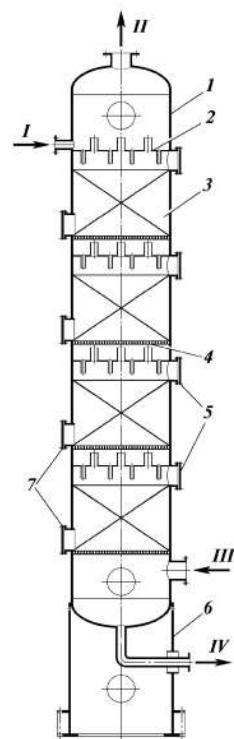


Рисунок 1б – Насадочная абсорбционная колонна

1 – корпус; 2 – распределительная тарелка; 3 – насадка; 4 – опорная решетка; 5 –загрузочные люки; 6 – опора; 7 – люки выгрузки насадки; I – ненасыщенный абсорбент; II – сухой газ; III – сырой газ; IV – насыщенный абсорбент

Принципиальная схема горизонтального абсорбера для очистки и осушки природного газа представлена на рисунке 2.

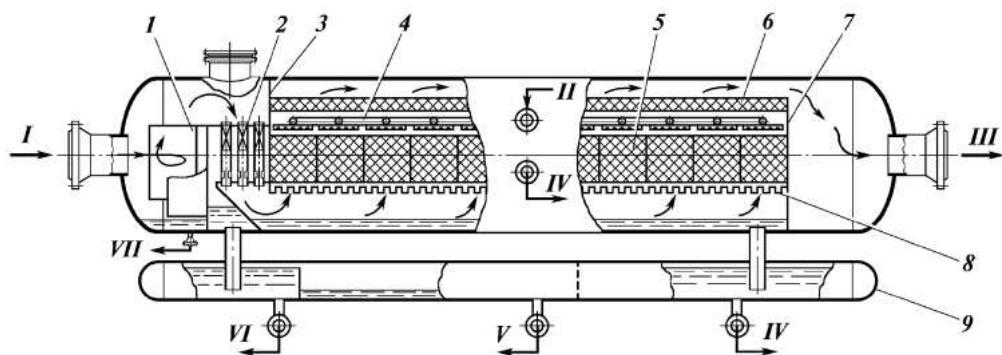


Рисунок 2 – Горизонтальная абсорбционная колонна

1 – тангенциальные сепараторы; 2 – центробежные сепараторы; 3, 7 – сегментные перегородки; 4 – оросители; 5 – насадка; 6 – каплеотбойник; 8 – распределительная решетка; 9 – фазный распределитель; I – сырой газ; II – регенерированный гликоль; III – сухой газ; IV – насыщенный гликоль; V – конденсат; VI – вода; VII – смесь пластовой воды и конденсата

Основные технические характеристики рассматриваемого в качестве примера для оценки модернизации абсорбера приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные технические характеристики

Наименование, единица измерения	Измеряемая величина	
Рабочее давление МПа (кгс/см ²)	4,35 (43,5)	
Расчетное давление МПа (кгс/см ²)	4,5 (45)	
Пробное давление испытания, МПа (кгс/см ²)	гидравлического	в вертикальном положении
		5,7 (57)
		в горизонтальном положении
пневматическое на герметичность при освидетельствовании		5,9 (59)
Рабочая температура среды, °C	максимальная	45
	минимальная	18
Расчетная температура стенки, °C	100	
Минимально допустимая отрицательная температура стенки, находящаяся под давлением, °C	минус 60	

Наименование рабочей среды	ПНГ, ТЭГ (96-99,9%),
Прибавка для компенсации коррозии (эрозии), мм	3
Вместимость, м ³	60

2.2 Конструктивные особенности исполнения абсорбера и принцип эксплуатации

В качестве примера, при рассмотрении особенностей исполнения конструкции аппаратов, взят абсорбер установки осушки подпиточного газа С-0201 аналогичный по техническому исполнению абсорбера комплекса установки и подготовки газа и конденсата Ванкорского месторождения.

Абсорбционная колонна состоит из двух частей, разделенных по жидкости «глухой» тарелкой (рисунок 3). Нижняя часть – сепарационная, предназначена для отделения влаги. Верхняя часть – массообменная.

Сепарационная часть абсорбера служит для улавливания водного и углеводородного конденсатов, выпадение которых из газа возможно при понижении температуры ниже температуры начала конденсации. Отделенная от газа в сепарационной части конденсатная вода накапливается в кубовой части абсорбера и выдается на утилизацию в сеть.

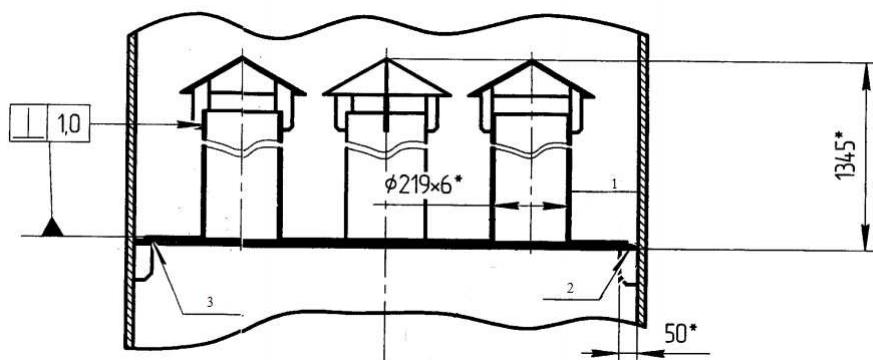


Рисунок 3 – Тарелка «глухая»
1 – прямоточный патрубок; 2 – опора для тарелки; 3 – отбойная тарелка

Осушаемый газ после сепарационной части поступает на сепарационную тарелку, через прямоточные-центробежные элементы (рисунок 4а, 4б) уходит вверх на распределительные патрубки «глухой» тарелки и направляется в верхнюю часть абсорбера - массообменную, а навстречу ему с верха колонны стекает раствор поглотителя (осушителя) – триэтиленгликоля.

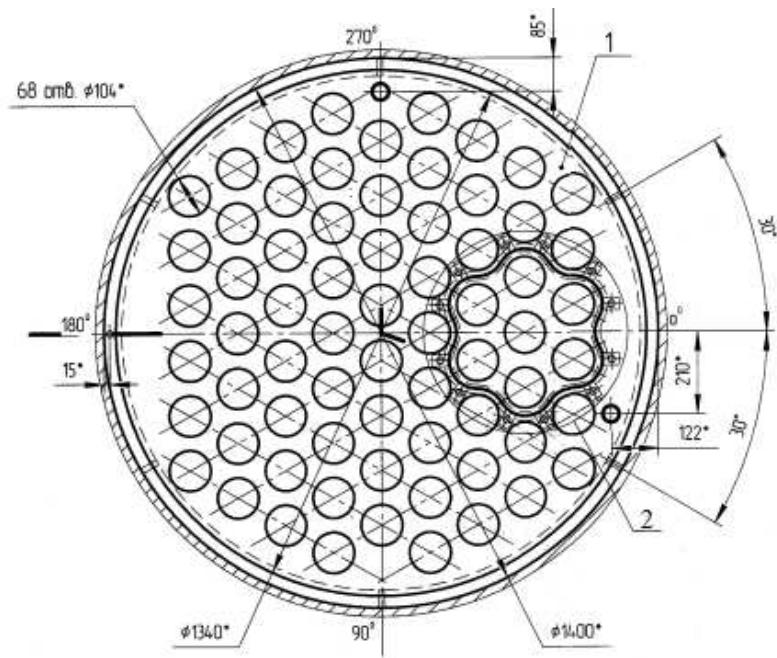


Рисунок 4а –Тарелка сепарационная
1 – тарельчатый лист; 2 – элемент прямоточно-центробежный

Раствор поглотителя ТЭГ поступает в абсорбционную колонну через штуцер и с помощью распределителя (рисунок 5) абсорбента орошаются по сечению аппарата.

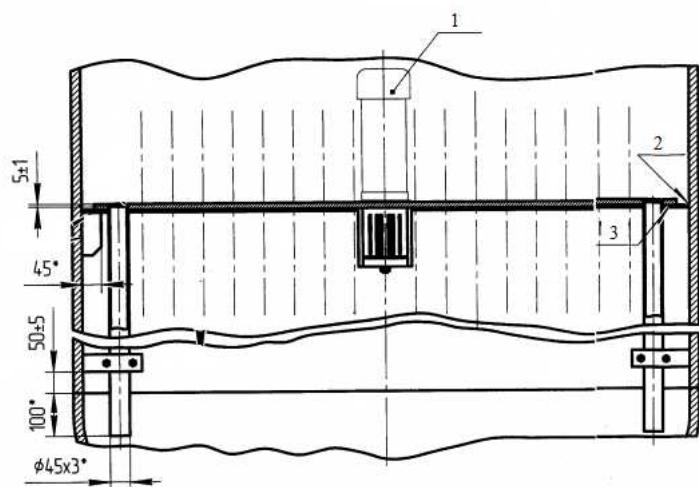


Рисунок 4а –Элемент прямоточно-центробежный
1 – распределительный элемент; 2 – обечайка корпуса; 3 – сепарационная тарелка

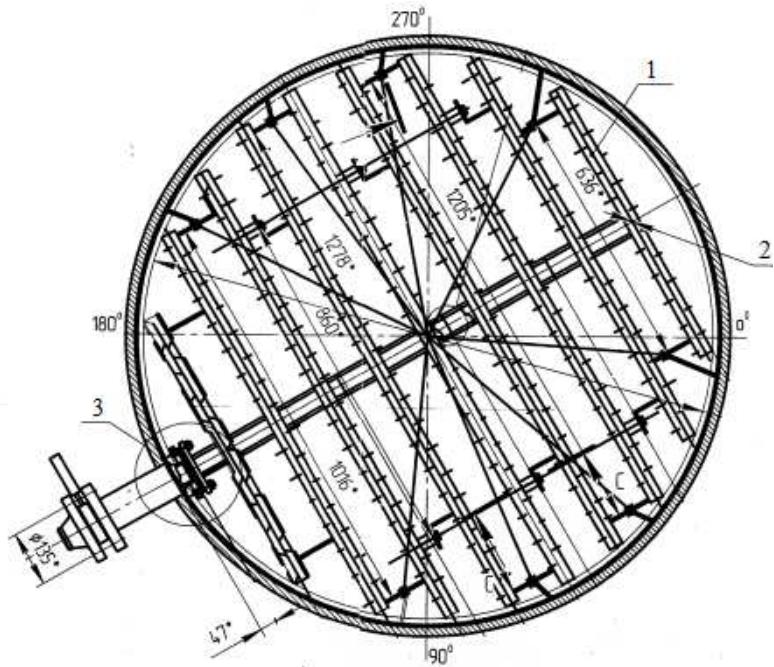


Рисунок 5 –Распределительное устройство абсорбента
1 – распределительные желоба; 2 – стенка желоба; 3 – фланцевое соединение

Массообмен между газом и поглотителем осуществляется на контактных устройствах (регулярной структурированной массообменной насадкой), где где барботирует через поглотитель.. Типичная конструкция регулярной насадки представлена на рисунке 6. Пакеты массообменных насадок закрепляются между решеткой и опорой расположенных в абсорбционной установке (рисунок 6а, 6б).

Регулярная пластинчатая насадка с сетчатым жгутом выполнена из вертикально установленных параллельных плоских или рифленых листов, которые делят внутреннее пространство корпуса абсорбера на ряд макроструктур, которые, в свою очередь, поделены микроструктурой (сетчатым жгутом) на ряд макроструктур в виде наклонных призм, причем наклон в смежном ряду меняется на обратный, то есть выполняется в обратную сторону.

Наклонные пространства (угол наклона от вертикали 30° - 45°) обеспечивают распределение газа и жидкости в направлениях, например, север–юг, тогда как смежный слой насадки, уложенный с поворотом на 90° , обеспечивает распределение газа и жидкости в направлении восток–запад.

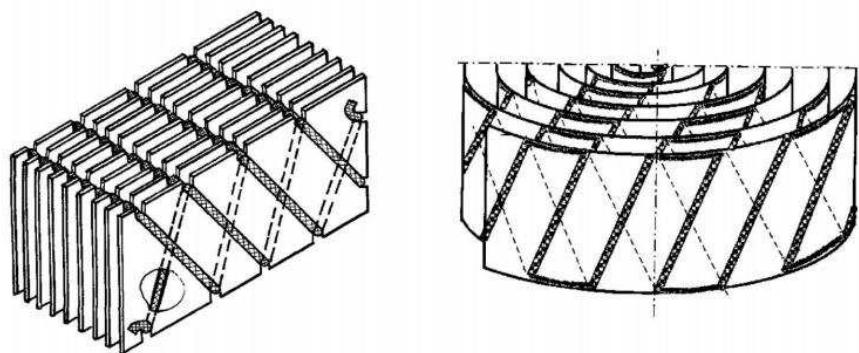


Рисунок 6 –Регулярная пластинчатая насадка для тепломассообменных аппаратов

ТЭГ, проходя массообменную зону абсорбера, насыщается влагой и углеводородами, накапливается на «глухой» тарелке и выдается в емкость – дегазатор. Далее осушенный газ до требуемой точки росы из абсорбера направляется в фильтр-сепаратор, предназначенный для отделения из осушенного газа брызг ТЭГ, уносимых из абсорбера.

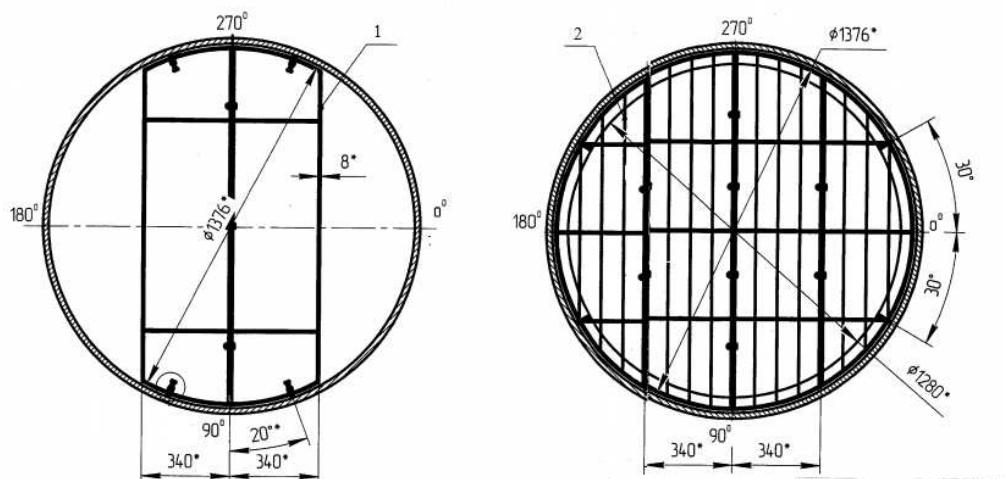


Рисунок 7 – Конструкции закрепления насадок
1 – опора для насадок; 2 – решетка

Основная проблематика функционирования аппаратов абсорбционной осушки включает в себя следующие причины:

- отсутствие требуемой осушки попутного нефтяного газа от капельной жидкости, в следствии нэффективной работы внутренних устройств;
- малые объемы сепарируемой жидкости;
- большие затраты на закачку ингибитора гидратообразования;
- вынос частиц мехпримесей и тяжелых углеводородов.

Опыт эксплуатации абсорбционных колонн показывает, что эффективность осушки углеводородного газа во многом обуславливается выбором внутренних устройств.

Современные темпы развития нефтяной и газовой промышленности в дальнейшем потребуют не только усовершенствования конструкций аппаратов,

но повышения требований к качеству исполнения, основным конструкторским решениям, уровню эксплуатации и обслуживания. В ходе проведения литературного обзора выяснилось, что специализированных источников информации по данному вопросу практически не имеется.

Производство колонны аппаратов также не стоит на месте: отечественные поставщики готовы представить широкий ассортимент на рынке оборудования, причем многие компании являются достаточно конкурентоспособными в данной среде.

Основные производители аппаратов воздушного охлаждения в России:

- ЗАО «РусГазИнжиниринг»
- ООО ИВЦ «Инжехим»;
- АО «Дзержинскхиммаш»;
- ООО «ФАСХИММАШ»;
- ОАО Тамбовский завод «Комсомолец»;
- ООО «Приокский механический завод»;
- ООО «Зенит-Химмаш»

3 Патентный обзор

Для проведения патентного обзора необходимо определить предмет исследования, на основе которого произвести поиск решений, имеющих отношение к теме выпускной квалификационной работы.

Целью патентного обзора является поиск существующих технических решений, а также анализ эффективности применения данных решений в рамках выпускной квалификационной работы.

Базой патентных исследований является информационно-поисковая система интернет-портала ФИПС. Период исследований – 2004-2015 гг. Определены основные критерии поиска изобретений и полезных моделей. Результаты исследований сведены в таблицу.

Исходя из данных таблицы, можно сделать вывод, что наиболее продуктивным периодом патентирования изобретений и полезных моделей является 2008-2011 гг.

Таблица 2 – Патенты на изобретения, связанные с абсорбераом

Индекс МПК	Номер патента	Дата публикации, номер бюллетеня	Страна выдачи патента	Название изобретения
B01D45/12	2344869	10.10.2008 №3	РФ	Способ сепарации жидкости из газового потока и устройство для него
B01D45/12	2357786	10.06.2009 №16	РФ	Способ сепарации жидкости от газа
B01D3/20	2266770	07.10.2004 №36	РФ	Распределитель жидкости
B01J19/32	2305596	10.09.2007 №25	РФ	Регулярная насадка для сепарационных и тепломассобменных аппаратов
B01D45/08	2457888	18.02.2011 №22	РФ	Сепаратор газа для отделения жидкости и примесей из газового потока
B01D53/00	2480269	17.11.2011 №12	РФ	Способ коалесценции капель жидкости в потоке газа
B01D45/08	2401154	10.10.2010 №28	РФ	Влагоотделитель лопастного типа
B01D3/20	2044554	27.09.1995 №26	РФ	Распределитель газа и жидкости в противоточной колонне
B01D3/00	2329849	27.07.2008 №21	РФ	Газораспределительное устройство для массообменных аппаратов
B01D3/32	2394623	20.07.2010 №7	РФ	Газораспределительное устройство
B0108D3/26	2192912	20.11.2002 15	РФ	Способ контакта, сепарации газа и жидкости и устройство для его осуществления
B01D34/08	2571766	29.09.2015 22	РФ	Способ и устройство для мокрой отчистки

Также прослеживается тот факт, что активизация процессов изобретательства приходится на последние пять лет исследуемого периода, что может свидетельствовать о разработке эффективных новаторских решений в соответствие с современными темпами развития смежных отраслей эксплуатации оборудования.

Произведем ознакомление с сущностью найденных патентов. В этой связи более детально отбираем изобретения для дальнейшего анализа.

– RU 2480269. Зиберт Генрих Карлович. Способ коалесценции капель жидкости в потоке газа. Изобретение относится к области коалесценции мелкодисперсных капель жидкости и ее сепарации из углеводородного газа, например природного или попутного газов. Оно может быть использовано в газовой, нефтяной и нефтехимической промышленности при подготовке газа на

промышленных отборах с подземных хранилищ, при подготовке углеводородных газов к транспорту, перед и после компрессорных станций. Известны способы коалесценции и сепарации мелкодисперсных капель жидкости в горизонтальных фильтр-сепараторах для очистки газа от жидкости и механических примесей. При этом первоначально газожидкостную смесь подают на фильтрующие цилиндрические элементы, пропускают через мелкопористый слой фильтрующего материала, укрупняют мелкодисперсные капли жидкости при одновременном отделении механических примесей. После укрупнения капель жидкость отводят в отдельный сборник, а газ с частично унесенными укрупненными каплями дополнительно улавливают на сепарационной насадке. Технический результат предлагаемого изобретения заключается в повышении эффективности укрупнения мелкодисперсных капель жидкости и ее сепарации при повышенных скоростях газожидкостного потока, увеличении отбора углеводородной жидкости, повышении качества подготовки газа.

– RU 2457888. Зиберт Генрих Карлович. Сепаратор газа для отделения жидкости и примесей из газового потока. Изобретение относится к области нефтегазового и химического машиностроения, а именно к сепарационным устройствам, расположенным в корпусах аппаратов или в трубе, и может быть использовано в процессах отделения жидкостей и примесей из газового потока в установках подготовки газов: природного и попутного, низкотемпературной сепарации, компримирования, факельных, первичных, трубных сепараторах. Сепаратор включает корпус, снабженный патрубком входа газожидкостной смеси и выходным патрубком, сборником жидкости, ориентированной к вертикали жалюзийной насадкой с карманами и с жалюзи, установленными с зазором друг к другу. Жалюзи насадки выполнены из соединенных между собой прямоугольных неравнополочных уголков. Карманы насадки для улавливания и стока жидкости с примесями выполнены посредством соединения меньшей полки одного неравнополочного уголка с большей полкой смежного неравнополочного уголка таким образом, что карманы расположены со стороны патрубка входа газожидкостной смеси. Неравнополочные уголки жалюзи установлены вертикально или под наклоном их верхней части к патрубку входа. Технический результат: обеспечение прочностных характеристик внутренних устройств, снижение гидравлического сопротивления сепаратора, повышение эффективности процесса отделения жидкости от газового потока с примесями, снижение габаритов сепаратора и его материалоемкости.

– RU 2344869. Валиуллин Илшат Минуллович. Способ сепарации жидкости из газового потока и устройство для него. Изобретение предназначено для разделения газожидкостного потока. Способ сепарации жидкости из газового потока включает закручивание газожидкостного потока, формирование вращающегося слоя жидкости на поверхностях цилиндрического патрубка и осевого тела вращения, разделение потоков на жидкую и газовую фазы. На максимальном радиусе периферийной кромки

осевого тела вращения, снабженного наклонными зубьями, увеличивают толщину слоя жидкости и формируют дискретные укрупненные капли жидкости путем воздействия на слой жидкости закрученным газовым потоком. Устройство для сепарации включает полотно тарелки с прямоточно-центробежными элементами, каждый из которых состоит из цилиндрического патрубка с завихрителем на входе и сепарационным устройством в виде колпачкового пленкосъемника на выходе, кольцевую перегородку между наружной стенкой патрубка и внутренней стенкой пленкосъемника, расположенный внутри цилиндрического патрубка вытеснитель, канал рециркуляции. Вытеснитель снабжен наклонными зубьями, расположенными на его периферийной кромке. Наклон зубьев ориентирован в сторону закрутки газового потока. Кольцевая перегородка выполнена с противоположно расположенными каналами для отбора жидкой и газовой фаз. Технический результат: повышение эффективности сепарации при изменяющихся нагрузках по газу и жидкости и расширение области применения.

– RU 2357789. Запорожец Евгений Петрович. Способ сепарации жидкости от газа. Изобретение относится к технике разделения газожидкостных смесей и может использоваться в газовой, нефтяной и химической промышленности. Способ сепарации жидкости от газа включает подачу газожидкостного потока, его закручивание, отделение капельной жидкости от газа в центробежном поле вращающегося потока, удаление очищенного газа и жидкости. При подаче газожидкостный поток делят, по крайней мере, на две части периферийную и внутреннюю, которые затем по отдельности закручивают в одном направлении, причем первую часть закручивают в осевом направлении, а вторую тангенциально изнутри к периферии и пересекают при этом осевое направление движения первой части. Способ также включает деление очищенного газа, как минимум, на две части, внутреннюю и периферийную, и последовательное их удаление, при этом каждую часть очищенного газа фильтруют. Способ позволил обеспечить повышение эффективности сепарации жидкости от газа при повышенных скоростях движения газожидкостного потока .

По итогам патентного обзора было определено, что рассматриваемая тема разработана достаточно хорошо. Для более детального анализа было отобрано пять патентов, включающих четыре изобретения и одну полезную модель. Резюмируя вышеуказанные данные, можно сделать вывод о неравномерности распределения представленных изобретений по годам, однако так как наиболее плодотворными являются последние пять лет, этим можно пренебречь ввиду актуальности разработанных технических решений.

В рассмотренных патентах детально описаны конструктивные особенности оборудования, разработанные технические решения, положительные результаты произведенных модернизаций. Основные преобразования конструкций аппаратов связаны с модернизацией сепарационных частей абсорбера, позволяющих увеличить эффективность работы. Также предложены варианты усовершенствования способов осушки

попутного нефтяного газа. При этом решаются задачи по оптимизации работы абсорбера; основные преимущества примененных технических решений заключаются в повышенной эксплуатационной надежности, в сниженном энергопотреблении и увеличении степени осушки.

2 Конструкторско-технологический раздел

4.1 Краткий обзор основных направлений интенсификации абсорбционных процессов

Колонные аппараты гликоловой осушки являются одним из наиболее эффективных видов сепарационного оборудования для осушки попутного, природного газов в технологических процессах нефтеперерабатывающей, нефтехимической и смежных отраслях промышленности. Высокая степень осушаемого газа достигается за счёт конструктивных особенностей аппарата, а именно распределительных устройств. Именно распределительные устройства обеспечивают повышения показателя степени сепарируемого газа, а так же отчистке его от мехпримесей и равномерному распределению по сечению аппарата. Однако ввиду некоторых факторов может возникнуть необходимость увеличения эффективность абсорбционных процессов. Монтаж дополнительных секций абсорбера или замена на более мощное оборудование, как правило, является нецелесообразным ввиду экономической невыгодности и неудобства размещения в рамках установки осушки газа.

Анализируя необходимость решения поставленной в работе цели, рассмотрим пути дополнительной интенсификации сепарации в абсорберах:

- очистка внутренних устройств абсорбера от гидратных пробок;
 - регулирование угла наклона распределительных желобов;
 - регулирование режимных параметров аппарата (расход, температура, давление);
 - дополнительная осушка углеводородного газа в сепарационной секции;
- Остановимся более подробно на каждом из пунктов.

Одним из факторов, который оказывает существенное влияние на эффективность абсорбции, является возникновение гидрата, возникающих при падениях температуры и давления, что влечет за собой уменьшение упругости водяных паров и влагоемкости газа, а, вследствие чего – образование гидратов. Образовавшиеся углеводородные гидраты можно разложить подогревом газа, снижением его давления или вводом веществ, уменьшающих упругость водяных паров и тем самым понижающих точку росы газа. Чаще всего в этих целях применяется метанол (метиловый спирт). Его пары с водяными парами образуют растворы, переводящие водяные пары в конденсат, который выделяется из жидкой фазы (температура замерзания спиртоводного раствора значительно ниже, чем воды). Этот раствор затем удаляются вместе с тяжелыми остатками. Однако данный способ является экономически не выгодным, ввиду

затрат на приобретение вводного вещества.

Регулирование угла наклона распределительных желобов в распределительном устройстве поглотителя позволяет изменять равномерность распределения жидкости по внутреннему сечению аппарата. При проведении перфорации необходимо учитывать, что равномерность распределения потоков в желобах будет существенно зависеть от способа ввода жидкости в них. Если скорость поступления жидкости не будет сведена к минимально возможной, то расход в боковых прорезях вблизи точки ввода будет меньше, чем в более удаленных участках. Следует учитывать и тот факт, что расход жидкости, поступающей к боковым прорезям, будет уменьшен вследствие перфорации. Такой способ позволяют изменять угол наклона распределения жидкости, а также площадь орошения массообменной насадки.

Регулирование режимных параметров аппарата (расход, температура, давление) в ходе эксплуатации практически не зависят от внешних факторов, поэтому необходимо предусмотреть меры для обеспечения максимальной поглотительной способности ТЭГа, которые влияют на степень осушки газа.

Один из самых эффективных способов повышения степени осушаемого газа является внедрение дополнительных устройств для снижения капельного уноса из нижней сепарационной секции аборберов в массообменную часть, а так же для предотвращения выноса частиц мехпримиссей и тяжелых углеводородов. Подобный способ позволит максимально защитить ТЭГ от попадания загрязнений.

Таким образом, резюмируя все вышеуказанное, можно сделать вывод, что наиболее оптимальным способом будет являться внедрение распределительных устройств.

4.2 Анализ работы абсорбционных колонн

Для определения необходимости дополнительной интенсификации сепарации газа в абсорбере, был проведен анализ в ходе эксплуатации системы 28 не достигается требуемая степень осушки – температура точки росы (далее ТТР) «минус 10 °C ». Основным фактором, влияющим на глубину осушки является поглотительная способность ТЭГа. Проведены отборы проб уловленной жидкости в сепараторах V–27001В и V–27002В ГКС ВД 3 оч. Обе пробы представляют собой однородную мутную жидкость, причем в пробе из сепаратора V–27001В присутствуют жидкие включения темного цвета, образующие пленку на поверхности и стенках сосудов. Сравнение внешнего вида проб жидкости, отобранных из кубовой части абсорбера С–2801–2 и сепаратора V–27002В, работающих практических в одинаковых условиях, но в разных технологических установках, а также проб насыщенного ТЭГ из С–2801 и С–201 доказывает, что в газовом потоке системы 28 присутствуют остаточные включения тяжелых углеводородов, а также лубрикаторного масла поршневых компрессоров ARIEL. Более темный цвет ТЭГа из абсорбера С–2801 свидетельствует о присутствии в нем компрессорного масла и тяжелых

углеводородов что обусловлено недостаточной эффективностью сепарационной секции абсорбера. При прохождении газа через абсорбер С–2801–2 эти вещества поглащаются ТЭГом, что ведет к ухудшению его сорбционных свойств.

Для снижения капельного уноса из нижней сепарационной секции абсорбера С–2801/2 в массообменную часть необходимо заменить внутренние устройства кубовой части аппарата на более эффективные. Для предотвращения выноса частиц мехпримиссей и тяжелых углеводородов предлагается включать в состав внутренних устройств кубовой части фильткоалесцирующие элементы. Это решение позволит максимально защитить ТЭГ от попадания загрязнений.

В то же время возникнет необходимость обеспечения максимального межремонтного пробега фильтр–коалесцеров. Для этого необходимо обеспечить минимальное содержание мехпримиссей в газовом потоке на входе системы 28.

На основе вышеизложенного можно сделать вывод, что необходимо провести замену внутренних устройств нижней сепарационной секции одного из абсорбера С–2801/2.

4.3 Технологические расчеты абсорбционных колонн

Для проектирования абсорбционной колонны необходимо выполнить проверочный расчет параметров абсорбера по текущим параметрам и определить основные нормированные показатели абсорбера. Такой расчет также позволит оценить соответствие проектных данных полученным значениям. В качестве исходных приняты данные из технических характеристик абсорбера, а так же из различных справочных таблиц и нормативных документов.

Определим предельную скорость газа, выше которой наступает захлебывание насадочных абсорбера по формуле

$$\lg \left[\frac{\omega_{\text{пр}}^2 \cdot a}{g \cdot \varepsilon^3} \cdot \frac{\rho_y}{\rho_x} \cdot \left(\frac{\mu_x}{\mu_b} \right)^{0,16} \right] = A - B \cdot \left(\frac{L}{G} \right)^{0,25} \cdot \left(\frac{\rho_y}{\rho_x} \right)^{0,125}, \quad (1)$$

где $\omega_{\text{пр}}$ – предельная фиктивная скорость газа, м/с;

μ_x – вязкость поглотителя при температуре в абсорбере при 20 °C, Па·с;

μ_b – вязкость воды при температуре в абсорбере при 20 °C, Па·с;

A – коэффициент, зависящий от типа насадки;

B – коэффициент, зависящий от типа насадки;

L – расход фаз, кг/с;

ρ_y – плотность газа, кг/м³;

ρ_x – плотность воды, кг/м³;

a – удельная поверхность насадки, м²/м³;

ε – свободный диаметр насадки, $\text{м}^3/\text{м}^3$;

Для пакетной насадки коэффициенты равны: $A = 0,0062$, $B = 1,55$.

Пересчитаем плотность газа на условия в абсорбере по формуле

$$\rho_y = \rho_{0y} \cdot \frac{T_0}{T_0 + t} \cdot \frac{P}{P_0}, \quad (2)$$

где ρ_{0y} – плотность газа, ст.у., $\text{кг}/\text{м}^3$;

T_0 – температура Кельвина, $^\circ\text{К}$;

t – температура в абсорбере при, $^\circ\text{C}$;

P – давление в абсорбере, Па;

P_0 – атмосферное давление;

Подставим значения и найдем плотность газа по формуле (2)

$$\rho_y = 0,823 \cdot \frac{273}{273 + 30} \cdot \frac{45,6 \cdot 10^5}{1,013 \cdot 10^5} = 33,4 \text{ кг}/\text{м}^3.$$

Таким образом, определим предельную скорость газа по формуле (1)

$$\lg \left[\frac{\omega_{\text{пр}}^2 \cdot 213}{9,81 \cdot 0,96^3} \cdot \frac{33,4}{1117} \cdot \left(\frac{31 \cdot 10^{-3}}{1,002 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,16} \right] = 0,062 - 1,55 \cdot \\ \cdot \left(\frac{2,5}{69,8} \right)^{0,25} \cdot \left(\frac{33,4}{1117} \right)^{0,125} = 0,6 \text{ м}/\text{с}.$$

Рабочую фиктивную скорость газа принимаем по формуле

$$\omega = (0,85 \div 0,95) \cdot \omega_{\text{пр}}, \quad (3)$$

где $\omega_{\text{пр}}$ – то же, что и в формуле (1);

Подведем подстановку известных значений и определим по формуле (3)

$$\omega_{\text{пр}} = 0,95 \cdot 0,6 = 0,57 \text{ м}/\text{с}.$$

Диаметр абсорбера определим из уравнения расхода по формуле

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot \omega}} = \sqrt{\frac{4 \cdot V_0 \cdot \frac{T_0 + t}{T_0} \cdot \frac{P}{P_0}}{\pi \cdot \omega}}, \quad (4)$$

где V – объемный расход газа при условиях в абсорбере, $\text{м}^3/\text{с}$;

V_0 – объемный расход газа при ст. усл., $\text{м}^3/\text{с}$;

T_0 – то же, что и в формуле (2);

t – то же, что и в формуле (2);

P – то же, что и в формуле (2);

P_0 – то же, что и в формуле (2);

ω – то же, что и в формуле (3);

Таким образом, определим диаметр абсорбера по формуле (4)

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 82 \cdot \frac{273 + 30}{273} \cdot \frac{1,013 \cdot 10^5}{45,6 \cdot 10^5}}{3,142 \cdot 0,57}} = 2,13 \text{ м.} \quad (4)$$

Выбираем стандартный диаметр обечайки абсорбера $d_{\text{ст}} = 2,2 \text{ м}$. При этом действительная рабочая скорость газа в колонне найдем по формуле

$$\omega_d = \omega_{\text{пр}} \cdot \left(\frac{d}{d_{\text{ст}}} \right), \quad (5)$$

где $d_{\text{ст}}$ – стандартный диаметр по ГОСТ 9617–76 , м;

$\omega_{\text{пр}}$ – то же, что и в формуле (3);

d – то же, что и в формуле (4);

Произведем расчет высоты абсорбера по следующей формуле

$$H = Z_h + Z_b + (h_h \cdot n_m + h_h \cdot n_r + l_1) + (h_{\text{гл}} + h_{\text{сет}} + l_2) + l_3 + l_4, \quad (6)$$

где h_h – размер одного пакета насадки, мм ;

n_m – количество пакетов массообменной насадки;

n_r – количество пакетов газораспределительной насадки;

l_1 – расстояние между насадками, мм;

$h_{\text{гл}}$ – высота глухой тарелки, мм;

$h_{\text{сет}}$ – высота сетчатой насадки;

l_2 – расстояние между сетчатой насадкой и глухой тарелкой, мм;

l_3 – расстояние между глухой тарелкой и массообменной насадкой, мм;

l_4 – расстояние между массообменной насадкой и газораспределительной, мм;

Z_h – высота от днища абсорбера до сетчатой насадки, мм;

Z_b – высота от края насадки до верхнего днища, мм;

Подставим известные значения и определим высоту абсорбера по формуле (6)

$$H = 2500 + 1000 + (152 \cdot 71 + 152 \cdot 2 + 823) + (1175 + 230 + 550) + \\ + 635 + 823 = 18832 \text{ мм.}$$

Принимаем высоту обечайки 18900 мм.

4.4 Механические расчеты абсорбционной колонны

4.4.1 Расчет толщины верхнего днища на прочность

Проведём расчёт толщины верхнего днища на прочность по ГОСТ 14249-89.

Радиус кривизны в вершине эллиптического или полусферического днища находим по формуле

$$R = \frac{D^2}{4H}, \quad (7)$$

где D – внутренний диаметр днища, мм;

H – высота выпуклой части днища без учёта цилиндрической части, мм;

Подставим данные значения и определим по формуле (7)

$$R = \frac{2200^2}{4 \cdot 550} = 2200 \text{ мм.}$$

Найдем расчётную толщину стенки эллиптического днища от действия внутреннего давления по формуле

$$s_{1p} = \frac{pR}{2\varphi[\sigma] - 0,5p}, \quad (8)$$

где p – расчётное давление, МПа;

R – радиус кривизны в вершине эллиптического днища, мм;

φ – коэффициент прочности сварного шва;

$[\sigma]$ – допускаемое напряжение, МПа;

Проведем подстановку числовых значений и рассчитаем по формуле (8)

$$s_{1p} = \frac{4,5 \cdot 2200}{2 \cdot 1 \cdot 177 - 0,5 \cdot 4,5} = 28,16 \text{ мм.}$$

Сумму прибавок к расчётной толщине стенки получаем из формулы

$$c = c_1 + c_2 + c_3 , \quad (9)$$

где c_1 – прибавка на коррозию и эрозию, мм;
 c_2 – прибавка на минусовой допуск, мм;
 c_3 – прибавка технологическая, мм;

Вычисляем необходимые значения по формуле (9)

$$c = 3 + 0,8 + 0 = 3,8 \text{ мм.}$$

Рассчитаем расчётную толщину стенки от действия давления с учётом прибавки по формуле

$$s_1 = s_{1p} + c , \quad (10)$$

где s_{1p} – то же, что и в формуле (8);
 c – то же, что и в формуле (9);

Проведём подстановку числовых значений и рассчитаем по формуле (10)

$$s_1 = 3,8 + 28,16 = 31,96 \text{ мм.}$$

Допускаемое внутреннее давление для эллиптического днища определим последующей формуле

$$[p] = \frac{2(s_1 - c)\varphi[\sigma]}{R + 0,5(s_1 - c)} , \quad (11)$$

где p – то же, что и в формуле (8);
 R – то же, что и в формуле (8);
 φ – то же, что и в формуле (8);
 $[\sigma]$ – то же, что и в формуле (8);
 s_{1p} – то же, что и в формуле (10);
 c – то же, что и в формуле (9);

Подставим числовые значения в формулу (11)

$$[p] = \frac{2 \cdot (31,96 - 3,8) \cdot 1 \cdot 177}{2200 + 0,5 \cdot (31,96 - 3,8)} = 4,502$$

По условию прочности, которое определяется по формуле

$$p \leq [p] , \quad (12)$$

где p – то же, что и в формуле (8);
 $[p]$ – то же, что и в формуле (8);

Подставим получившейся числовые значения в формулу (12)

$$4,5 \leq 4,502$$

Отсюда следует, что условие прочности выполняется. Принято эллиптическое днище диаметром 2200 мм., толщиной 34 мм., по ГОСТ 6533-78.

4.4.2 Расчёт толщины цилиндрической обечайки на прочность

Проведём расчёт толщины цилиндрической обечайки на прочность по ГОСТ 14249-89.

Проведём расчёт толщины стенки обечайки от действия давления по формуле ()

$$s_p = \frac{pD}{2[\sigma]\varphi_p - p} , \quad (13)$$

где p – расчётное давление, МПа;
 D – внутренний диаметр обечайки, мм;
 φ_p – коэффициент прочности продольного сварного шва;
 $[\sigma]$ – допускаемое напряжение, МПа;

Таким образом, по формуле () получим следующий результат

$$s_p = \frac{4,5 \cdot 2200}{2 \cdot 177 \cdot 1 - 4,5} = 28,32 \text{ мм.}$$

Сумму прибавок к расчётной толщине стенки получаем из формулы:

$$c = c_1 + c_2 + c_3 , \quad (14)$$

где c_1 – прибавка на коррозию и эрозию, мм;
 c_2 – прибавка на минусовой допуск, мм;
 c_3 – прибавка технологическая, мм;

Вычисляем необходимые значения по формуле (14)

$$c = 3 + 0,8 + 0 = 3,8 \text{ мм.}$$

Определим расчётную толщину стенки обечайки от действия давления с учётом прибавки по формуле

$$s \geq s_p + c , \quad (15)$$

Проведём подстановку числовых значений и рассчитаем по формуле (15)

$$s \geq 28,32 + 3,8 \approx 34 \text{ мм.}$$

Определим допускаемое внутреннее давление из формулы ()

$$[p] = \frac{2[\sigma]\varphi_p (s_1 - c)}{D + (s_1 - c)} , \quad (16)$$

где s_1 – то же, что и в формуле (10);
 D – то же, что и в формуле (13);
 φ_p – то же, что и в формуле (13);
 $[\sigma]$ – то же, что и в формуле (13);
 c – то же, что и в формуле (14);

Таким образом, по формуле (16) получим следующий результат

$$[p] = \frac{2 \cdot 1 \cdot 177 \cdot (33 - 3,8)}{2200 + (33 - 3,8)} = 4,63$$

По условию прочности из формулы

$$p \leq [p] , \quad (17)$$

где p – то же, что и в формуле (13);
 $[p]$ – то же, что и в формуле (16);

Подставим получившейся числовые значения в формулу (17)

$$4,5 \leq 4,63$$

Отсюда следует, что условие прочности выполняется. Принята цилиндрическая обечайка, диаметром 2200 мм., толщиной 34 мм по ГОСТ 6533-78.

Определим применимость формул при следующем отношении толщины стенки к диаметру по формуле

$$\frac{s - c}{D} \leq 0,1 , \quad (18)$$

где s – то же, что и в формуле (15);
 D – то же, что и в формуле (13);
 c – то же, что и в формуле (14);

Подставим числовые значения и проверим применимость данных по формуле(18)

$$\frac{34 - 3,8}{2200} = 0,01 \leq 0,1.$$

Из равенства следует, что условие применимости расчётных формул выполняется.

4.4.3 Расчёт плоского круглого днища на прочность

Проведём расчёт плоского круглого днища на прочность по ГОСТ 14249-89

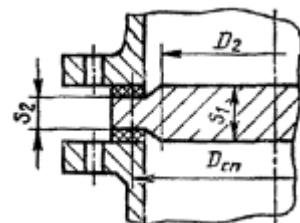


Рисунок8 – Конструкция плоского круглого днища (задвижка)

Определим расчётную толщину днища по формуле

$$s_{1p} = KK_0 D_p \sqrt{\frac{p}{[\sigma]\varphi}} , \quad (19)$$

где K – коэффициент конструкции днища;
 K_0 – коэффициент ослабления днища отверстием;
 D_p – расчётный диаметр днища, мм;
 φ – коэффициент прочности сварного шва;

Найдем коэффициент ослабления для днища имеющее одно отверстие по

формуле

$$K_0 = \sqrt{1 + \frac{d}{D_p} + \left(\frac{d}{D_p}\right)^2}, \quad (20)$$

где d – диаметр отверстия в днище, мм;
 D_p – то же, что и в формуле (19);

Подставим известные значения и рассчитаем коэффициент ослабления днища по формуле (20)

$$K_0 = \sqrt{1 + \frac{0}{85} + \left(\frac{0}{85}\right)^2} = 1.$$

Таким образом, по формуле (19) определим расчётную толщину днища

$$s_{1p} = 0,41 \cdot 1,0 \cdot 85 \sqrt{\frac{4,5}{160 \cdot 1}} = 5,9 \text{ мм.}$$

Рассчитаем исполнительную толщину днища по формуле ()

$$s_1 \geq s_{1p} + c, \quad (21)$$

где s_{1p} – то же, что и в формуле (19);
 c – сумма прибавок к расчётной толщине днища, мм;

Найдём сумму прибавок, воспользовавшись формулой

$$c = c_1 + c_2 + c_3, \quad (22)$$

где c_1 – прибавка для компенсации коррозии и эрозии, мм;
 c_2 – прибавка для компенсации минусового допуска, мм;
 c_3 – прибавка технологическая, мм;

Проведём подстановку числовых значений и рассчитаем по формуле (22)

$$c = 3 + 1,1 + 0 = 4,1 \text{ мм.}$$

Подставим данное значение и определим исполнительную толщину днища по формуле (21)

$$s_1 \geq 5,9 + 4,1 = 10 \text{ мм.}$$

Как видно из формулы (21), равенство соблюдается, таким образом заявленная толщина днища $s_1 = 36 \text{ мм.}$, принимается.

Найдем расчётную толщину стенки обечайки по формуле

$$s_2 = \max \left\{ 0,5 \cdot D_p \cdot \frac{p}{[\sigma]}; s_1 \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{D_p - D_2}{D_p}} \right\}, \quad (23)$$

где D_p – то же, что и в формуле (19);

p – то же, что и в формуле (13);

$[\sigma]$ – то же, что и в формуле (13);

D_2 – наименьший диаметр наружной утоненной части крышки, мм;

Проведём подстановку числовых значений и рассчитаем по формуле (23)

$$s_2 = \max \left\{ 0,5 \cdot 85 \cdot \frac{4,5}{160}; 7 \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{85 - 47}{85}} \right\},$$

$$s_2 = \max\{1,2; 6,7\}.$$

Рассчитаем исполнительную толщину стенки обечайки по формуле

$$s_2 \geq s_{2p} + c, \quad (24)$$

где s_{2p} – то же, что и в формуле (23);

c – сумма прибавок к расчётной толщине днища, мм;

Найдём сумму прибавок, воспользовавшись формулой

$$c = c_1 + c_2 + c_3 , \quad (25)$$

где c_1 – прибавка для компенсации коррозии и эрозии, мм;
 c_2 – прибавка для компенсации минусового допуска, мм;
 c_3 – прибавка технологическая, мм;

Проведём подстановку числовых значений и рассчитаем по формуле (25)

$$c = 3 + 2 + 0 = 5 \text{ мм.}$$

Подставим данное значение и определим исполнительную толщину днища по формуле (24)

$$s_2 \geq 6,7 + 5,0 = 11,7 \text{ мм.}$$

Как видно из формулы (24), равенство соблюдается, таким образом заявленная толщина стенки обечайки $s_2 = 16$ мм., принимается.

4.4.4 Расчёт фланцевого соединения с плоской крышкой

Выполним расчёт вспомогательных величин для прокладки и шпилек. Определим эффективную ширину прокладки овального сечения по формуле

$$b_0 = \frac{b_n}{4} , \quad (26)$$

где b_n – ширина прокладки, мм;

Подставим данные значения и определим по формуле (26)

$$b_0 = \frac{12}{4} = 3 \text{ мм.}$$

Податливость прокладки для металлических прокладок

$$y_n = 0 \text{ мм/Н} , \quad (27)$$

Расчётную длину шпильки при определении податливости находим по формуле

$$L_\delta = L_{\delta_0} + 0,56 \cdot d , \quad (28)$$

где L_{δ_0} – расстояние между опорными поверхностями гайки и головки шпильки, мм;

d – наружный диаметр шпильки, мм;

Проведём подстановку числовых значений и рассчитаем по формуле (28)

$$L_\delta = 130 + 0,56 \cdot 30 = 146,8 \text{ мм.}$$

Таким образом, плечо болтового момента найдем из формулы

$$b = 0,5 \cdot (D_\delta - D_{\text{сп}}) , \quad (29)$$

где D_δ – диаметр окружности расположения болтов, мм;

$D_{\text{сп}}$ – средний диаметр прокладки, мм;

Подставим данные значения и определим по формуле (29)

$$b = 0,5 \cdot (580 - 510) = 35 \text{ мм.}$$

Произведём расчеты для 1-го фланца (крышки). Найдём коэффициент обжатия по рисунку 9

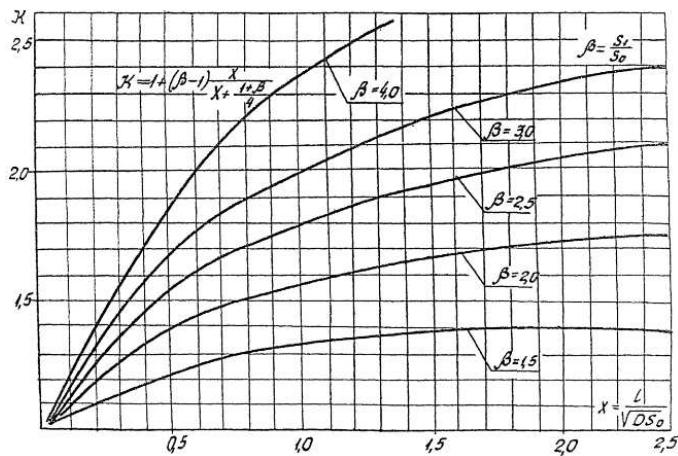


Рисунок 9 – Определения коэффициента обжатия

Найдем вспомогательные значения x и β по формулам

$$x = \frac{l}{\sqrt{D \cdot S_0}}, \quad (30)$$

где l – длина конической втулки, мм;

D – внутренний диаметр фланца, мм;

S_0 – толщина втулки, мм;

$$\beta = \frac{S_1}{S_0}, \quad (31)$$

где S_1 – толщина втулки в месте соединения с тарелкой фланца;

S_0 – то же, что и в формуле;

Подставим известные значения и рассчитаем данные величины по формуле (30) и (31)

$$x = \frac{45}{\sqrt{450 \cdot 14}} = 0,5.$$

$$\beta = \frac{29}{14} = 2.$$

Определяем коэффициент обжатия исходя из данных в формулах (30) и (31). Принимаем $k = 1,455$

Найдём эквивалентную толщину втулки по формуле

$$S_3 = k \cdot S_0 , \quad (32)$$

где k – коэффициент обжатия;
 S_0 – то же, что и в формуле (31);

Таким образом, по формуле (32) получим следующий результат

$$S_3 = 1,455 \cdot 14 = 20,37 \text{ мм.}$$

Угловую податливость фланца, нагруженного давлением или осевой силой определим по формуле

$$\psi_\phi = \frac{[1 - \omega \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda)] \cdot \psi_2}{E^{20} \cdot h^3} , \quad (33)$$

где ω – коэффициент сферической неотбортованной крышки;
 λ – коэффициент;
 ψ – коэффициент;
 E^{20} – модуль упругости материала фланца при температуре $t = 20^\circ\text{C}$, МПа;
 h – толщина фланца, мм;

Найдем коэффициент λ по формуле

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{D \cdot S_3}} , \quad (34)$$

где h – то же, что и в формуле (33);
 D – то же, что и в формуле (30);
 S_3 – то же, что и в формуле (32);

Проведём подстановку числовых значений и рассчитаем по формуле (34)

$$\lambda = \frac{75}{\sqrt{450 \cdot 20,37}} = 0,7833.$$

Найдем коэффициент j по формуле

$$j = \frac{h}{S_3} , \quad (35)$$

где h – то же, что и в формуле (33);

S_3 – то же, что и в формуле (32);

Таким образом, по формуле (35) получим следующий результат

$$j = \frac{75}{20,37} = 3,682.$$

Определим значение коэффициента ψ_1 по формуле

$$\psi_1 = 1,28 \lg \frac{D_h}{D} , \quad (36)$$

где D – то же, что и в формуле (30);

D_h – наружный диаметр фланца, мм;

Подставим данные значения и определим по формуле (36)

$$\psi_1 = 1,28 \lg \frac{640}{450} = 0,19.$$

Найдем коэффициент сферической неотбортованной крышки по формуле

$$\omega = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot \lambda \cdot (1 + \psi_1 \cdot j^2)} , \quad (37)$$

где λ – то же, что и в формуле (34);

ψ_1 – то же, что и в формуле (36);

j – то же, что и в формуле (35);

Подставим рассчитанные ранние величины и определим коэффициент ω по формуле (37)

$$\omega = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot 0,7833 \cdot (1 + 0,1958 \cdot 3,682^2)} = 0,2796.$$

Найдём коэффициент ψ_2 по формуле

$$\psi_2 = \frac{D_{\text{H}} + D}{D_{\text{H}} - D}, \quad (38)$$

где D_{H} – то же, что и в формуле (36);
 D – то же, что и в формуле (30);

Таким образом, по формуле (38) получим следующий результат

$$\psi_2 = \frac{640 + 450}{640 - 450} = 5,737.$$

Зная все вспомогательные величины, рассчитаем угловую податливость фланца, нагруженного давлением или осевой силой по формуле (33)

$$y_{\phi} = \frac{[1 - \omega \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,7833)] \cdot 5,737}{1,99 \cdot 10^5 \cdot 753} = 3,575 \cdot 10^{-11} \text{ 1}\backslash\text{H}\cdot\text{мм}.$$

Угловую податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом определим по формуле

$$y_{\phi H} = \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{D_{\delta}}{E^{20} \cdot D_{\text{H}} \cdot h^3}, \quad (39)$$

где D_{H} – то же, что и в формуле (36);
 D_{δ} – то же, что и в формуле (29);
 h – то же, что и в формуле (33);
 E^{20} – то же, что и в формуле (33);

Подставим данные значения и определим по формуле (39)

$$y_{\phi H} = \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{580}{1,99 \cdot 10^5 \cdot 640 \cdot 75^3} = 5,23 \cdot 10^{-12} \text{ 1 Н·мм.}$$

Плечо равнодействующей внутреннего давления найдем по формуле

$$e = 0,5 \cdot (D_{\text{сп}} - D - S_3), \quad (40)$$

где $D_{\text{сп}}$ – то же, что и в формуле (29);
 S_3 – то же, что и в формуле (32);
 D – то же, что и в формуле (30);

Таким образом, по формуле (40) получим следующий результат

$$e = 0,5 \cdot (510 - 450 - 20,37) = 19,81 \text{ мм.}$$

Определим угловую податливость плоской крышки по формуле

$$y_{\text{кр}} = \frac{X_{\text{кр}}}{E_{\text{кр}}^{20} \cdot \delta_{\text{кр}}}, \quad (41)$$

где $X_{\text{кр}}$ – параметр плоской крышки;
 $E_{\text{кр}}^{20}$ – модуль упругости материала крышки при температуре $t = 20^\circ C$, МПа;
 $\delta_{\text{кр}}$ – толщина фланцевой части крышки, мм;

Параметр плоской крышки найдём по формуле

$$X_{\text{кр}} = \frac{0,67 \cdot [K_{\text{кр}}^2 \cdot (1 + 8,55 \lg K_{\text{кр}}) - 1]}{(K_{\text{кр}} - 1) \cdot \left[K_{\text{кр}}^2 - 1 + (1,857 \cdot K_{\text{кр}}^2 + 1) \cdot \frac{h_{\text{кр}}^3}{\delta_{\text{кр}}^3} \right]}, \quad (42)$$

где $K_{\text{кр}}$ – отношение наружного диаметра плоской крышки к среднему диаметру прокладки;

h_{kp} – толщина крышки, мм;

δ_{kp}^3 – то же, что и в формуле (41);

Отношение наружного диаметра плоской крышки к среднему диаметру прокладки определим по формуле

$$K_{kp} = \frac{D_h}{D_{cp}}, \quad (41)$$

где K_{kp} – то же, что и в формуле (42);

D_{cp} – то же, что и в формуле (29);

Таким образом, подставим известные данные и рассчитаем по формуле (41)

$$K_{kp} = \frac{640}{510} = 1,255.$$

Рассчитаем параметр плоской крышки по формуле (42)

$$X_{kp} = \frac{0,67 \cdot [1,255_{kp}^2 \cdot (1 + 8,55 \lg 1,255_{kp}) - 1]}{(1,255_{kp} - 1) \cdot \left[1,255_{kp}^2 - 1 + (1,857 \cdot 1,255_{kp}^2 + 1) \cdot \frac{55_{kp}^3}{48_{kp}^3} \right]} = \\ = 0,7668.$$

Подставим известные значения и определим угловую податливость плоской крышки (41)

$$y_{kp} = \frac{0,7668}{(1,99 \cdot 10^5)^3 \cdot 48^3} = 2,316 \cdot 10^{-11} \text{ 1/N·мм.}$$

Рассчитаем коэффициент жесткости соединения фланца с крышкой, нагруженного давлением по формуле

$$\alpha = 1 - \frac{y_\pi - (y_\phi \cdot e + y_{kp} \cdot b) \cdot b}{y_\pi \cdot y_\delta + y_\phi \cdot b^2 + y_{kp} \cdot b^2}, \quad (42)$$

где y_{π} – податливость прокладки, мм/Н;
 y_{ϕ} – то же, что и в формулу (33);
 y_{kp} – то же, что и в формуле (41);
 e – то же, что и в формуле (40);
 y_{δ} – податливость болтов, мм/Н;
 b – то же, что и ф формуле (29);

Найдём податливость шпилек для фланцев по формуле

$$y_{\delta} = \frac{L_{\delta_0} + 0,56 \cdot d}{E_{\delta}^{20} \cdot f_{\delta} \cdot n}, \quad (43)$$

где L_{δ_0} – то же, что и в формуле (28);
 f_{δ} – площадь поперечного сечения болта по внутреннему диаметру резьбы или сечению наименьшего диаметра, мм^2 ;
 E_{kp}^{20} – модуль упругости материала болта при температуре $t = 20 {}^\circ\text{C}$, МПа;
 d – то же, что и в формуле (28);
 n – количество болтов;

Площадь поперечного сечения болта по внутреннему диаметру определим по таблице () из РД 26-15-88.

Подставим численные значения и рассчитаем по формуле (43)

$$y_{\delta} = \frac{130 + 0,56 \cdot 30}{1,99 \cdot 10^5 \cdot 520 \cdot 20} = 7,09 \cdot 10^{-8} \text{ Н} \cdot \text{мм.}$$

Таким образом, подставим известные данные и рассчитаем по формуле (42)

$$\alpha = 1 - \frac{0 - (3,575 \cdot 10^{-11} \cdot 19,81 + 2,316 \cdot 10^{-11} \cdot 35) \cdot 35}{0 \cdot 7,09 \cdot 10^{-8} + 3,575 \cdot 10^{-11} \cdot 35^2 + 2,316 \cdot 10^{-11} \cdot 35^2} = 1.$$

Проведём расчёт нагрузок во фланцевым соединении и рассчитаем равнодействующую внутреннего давления по формуле

$$Q_{\Delta} = 0,785 \cdot D_{\text{сп}}^2 \cdot p , \quad (44)$$

где $D_{\text{сп}}$ – то же, что и в формуле (29);
 p – расчётное давление, МПа;

Подставим численные значения и рассчитаем по формуле (44)

$$Q_{\Delta} = 0,785 \cdot 510^2 \cdot 4,5 = 9,188 \cdot 10^5 \text{ Н.}$$

Найдём реакцию прокладки в рабочих условиях по формуле

$$R_{\Pi} = \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_0 \cdot m \cdot |p| , \quad (45)$$

где $D_{\text{сп}}$ – то же, что и в формуле (29);
 b_0 – то же, что и в формуле (26);
 m – прокладочный коэффициент;
 p – то же, что и в формуле (44);

Таким образом, подставим известные данные и рассчитаем по формуле (45)

$$R_{\Pi} = 3,14 \cdot 510 \cdot 3 \cdot 6,5 \cdot |4,5| = 1,406 \cdot 10^5 \text{ Н.}$$

Рассчитаем нагрузку возникающую от температурных деформаций по формуле

$$Q_{\Delta} = \frac{1}{\eta_1} \cdot [a_{\phi} \cdot h \cdot (t_{\phi} - 20) + a_{kp} \cdot h_{kp} \cdot (t_{kp} - 20) - a_{\delta} \cdot L_{\delta 0} \cdot (t_{\delta} - 20)], \quad (45)$$

где η_1 – коэффициент, учитывающий концентрацию напряжений в резьбе;
 a_{ϕ} – температурный коэффициент линейного расширения материала
фланца, $1/\text{ }^{\circ}\text{C}$;
 h – то же, что и в формуле (33);
 t_{ϕ} – расчётная температура фланца, ${}^{\circ}\text{C}$;
 a_{kp} – температурный коэффициент линейного расширения материала

крышки, $1/^\circ C$;

h_{kp} – то же, что и в формуле (42);

t_{kp} – расчётная температура крышки, $^\circ C$;

a_δ – температурный коэффициент линейного расширения материала шпилек, $1/^\circ C$;

$L_{\delta 0}$ – то же, что и в формуле (28);

t_δ – расчётная температура шпилек, $^\circ C$;

Для начала найдём коэффициент, учитывающий концентрацию напряжений в резьбе по формуле

$$\eta_1 = y_n \cdot y_\delta \cdot \frac{E_\delta^{20}}{E_\delta} + \left(y_\phi \cdot \frac{E^{20}}{E} + y_{kp} \cdot \frac{E_{kp}^{20}}{E_{kp}} \right) \cdot b^2 , \quad (46)$$

где y_n – то же, что и в формуле (27);

y_δ – то же, что и в формуле (43);

E_δ – модуль упругости шпилек при $t = 97,6^\circ C$, МПа;

y_ϕ – то же, что и в формуле (33);

E – модуль упругости материала фланца, МПа;

y_{kp} – то же, что и в формуле (41);

E_{kp} – то же, что и в формуле (33);

E_δ^{20} – модуль упругости шпилек при $t = 20^\circ C$, МПа;

E^{20} – то же, что и в формуле (43);

E_{kp}^{20} – модуль упругости материала крышки при $t = 20^\circ C$, МПа;

b – то же, что и в формуле (29);

Таким образом, подставим известные данные и рассчитаем по формуле (46)

$$\begin{aligned} \eta_1 = & \left(3,575 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{1,99 \cdot 10^5}{1,91 \cdot 10^5} + 2,316 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{1,99 \cdot 10^5}{1,91 \cdot 10^5} \right) \cdot 35^2 + \\ & + \left(0 \cdot 3,3 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{2,15 \cdot 10^5}{2,15 \cdot 10^5} \right) = 1,408 \cdot 10^{-7}. \end{aligned}$$

Подставим численные значения и рассчитаем по формуле (46)

$$Q_{\Delta} = \frac{1}{1,408 \cdot 10^{-7}} \cdot [1,3 \cdot 10^5 \cdot 75 \cdot (80) + 1,3 \cdot 10^5 \cdot 55 \cdot (80) - 1,1 \cdot 10^5 \cdot 146,8 \cdot (97,6 - 20)] = 1,72 \cdot 10^5 \text{ Н.}$$

Болтовую нагрузку в условия монтажа определяем по большему из значений формул

$$P_{\delta 2} = 0,5 \cdot \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_0 \cdot q_{\text{обж}}, \quad (47)$$

где $D_{\text{сп}}$ – то же, что и в формуле (29);
 b_0 – то же, что и в формуле (26);
 $q_{\text{обж}}$ – удельное давление обжатия прокладки, МПа;

$$P_{\delta 2} = 0,4 \cdot [\sigma]_{\delta}^{20} \cdot n \cdot f_{\delta}, \quad (48)$$

где $[\sigma]_{\delta}^{20}$ – допускаемое напряжение для шпилек при $t = 20^{\circ}\text{C}$ ();
 n – то же, что и в формуле (43);
 f_{δ} – то же, что и в формуле (43);

$$P_{\delta 1} = a \cdot (Q_{\Delta} + F) \cdot R_n + \left| \frac{4 \cdot a_m \cdot M}{D_{\text{сп}}} \right|, \quad (49)$$

где a – то же, что и в формуле (42);
 Q_{Δ} – то же, что и в формуле (46);
 R_n – то же, что и в формуле (45);
 $D_{\text{сп}}$ – то же, что и в формуле (29);
 a_m – коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом;
 M – внешний изгибающий момент, Н · мм;
 F – внешняя осевая сила, Н;

Определим коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом по формуле

$$a_m = -(1 + \beta_m), \quad (50)$$

где β_m – расчетный коэффициент при определении жесткости фланцевого

соединения;

Таким образом, определим расчётный коэффициент при определении жесткости фланцевого соединения по формуле

$$\beta_m = \frac{2 \cdot y_{\phi_H} \cdot b \cdot e \left(1 - \frac{e}{D_{cp}}\right) - y_{\pi} \cdot \left(\frac{D_{\delta}}{D_{cp}}\right)^2}{y_{\delta} + y_{\pi} \cdot \left(\frac{D_{\delta}}{D_{cp}}\right)^2 + 2 \cdot y_{\phi_H} \cdot b^2}, \quad (51)$$

где y_{ϕ_H} – то же, что и в формуле (39);

b – то же, что и в формуле (29);

e – то же, что и в формуле (40);;

D_{cp} – то же, что и в формуле (29);

y_{π} – то же, что и в формуле (27);;

D_{δ} – то же, что и в формуле (29);

y_{δ} – то же, что и в формуле (43);

Подставим известные значения и определим по формуле (51)

$$\beta_m = \frac{2 \cdot 5,23 \cdot 10^{-12} \cdot 35 \cdot 19,81 \cdot \left(1 - \frac{19,81}{510}\right) - 0 \cdot \left(\frac{580}{510}\right)^2}{7,09 \cdot 10^{-8} + 0 \cdot \left(\frac{580}{510}\right)^2 + 2 \cdot 5,23 \cdot 10^{-12} \cdot 35^2} = 0,2476.$$

Таким образом, подставим найденные значения и рассчитаем по формуле (50)

$$a_m = -(1 + 0,2476) = -1,248.$$

Подставим численные значения в формулы (47), (48), (49) и выберем наибольшее из них

$$P_{\delta 2} = 0,5 \cdot 3,14 \cdot 510 \cdot 3 \cdot 180 = 4,326 \cdot 10^5 \text{ Н.}$$

$$P_{\delta 2} = 0,4 \cdot 230 \cdot 20 \cdot 520 = 9,568 \cdot 10^5 \text{ Н.}$$

$$P_{\delta 1} = 1 \cdot (1,72 \cdot 10^5 + 2,134 \cdot 10^4) \cdot 1,406 \cdot 10^5 +$$

$$+ \left| \frac{4 \cdot (-1,248) \cdot 2,663 \cdot 10^7}{510} \right| = 1,059 \cdot 10^6 \text{ Н.}$$

Выбираем болтовую нагрузку в условия монтажа $P_\delta = 1,059 \cdot 10^6 \text{ Н.}$

Приращение нагрузки в болтах (шпильках) в рабочих условиях определим по формуле

$$\Delta P_\delta = (1 - a) \cdot (Q_d \cdot F) + Q_d + \frac{4 \cdot \beta_m \cdot M}{D_{cp}} , \quad (52)$$

где a – то же, что и в формуле (42);
 Q_d – то же, что и в формуле (46);
 F – то же, что и в формуле (49);
 β_m – то же, что и в формуле (51);
 y_n – то же, что и в формуле (27);
 M – то же, что и в формуле (49);
 D_{cp} – то же, что и в формуле (29);

Подставим численные значения и рассчитаем по формуле (52)

$$\Delta P_\delta = (1 - 1) \cdot (1,059 \cdot 10^6 \cdot 2,134 \cdot 10^4) + 1,059 \cdot 10^6 + \frac{4 \cdot 0,2476 \cdot 2,663 \cdot 10^7}{510} = 1,72 \cdot 10^5 \text{ Н.}$$

Проверим соблюдения условия прочности шпилек в условиях монтажа по формуле

$$\sigma_{\delta 1} = \frac{P_\delta}{n \cdot f_\delta} \leq \xi \cdot [\sigma]_{\delta}^{20}, \quad (53)$$

где P_δ – то же, что и в формуле (47);
 n – то же, что и в формуле (43);
 f_δ – то же, что и в формуле (43);
 $[\sigma]_{\delta}^{20}$ – то же, что и в формуле (48);
 ξ – коэффициент увеличения допускаемых напряжений при затяжке для фланцевых соединений;

Таким образом, подставим известные значения и проверим соблюдения условия прочности по формуле

$$\sigma_{\delta 1} = \frac{1,059 \cdot 10^6}{20 \cdot 520} \leq 2,3 \cdot 230 , \quad (54)$$

$$\sigma_{\delta 1} = 101,9 \text{ МПа} \leq 529 \text{ МПа.}$$

Условие прочности по РД 26-15-88 соблюдается.

Проверим соблюдения условия прочности шпилек в рабочих условиях по формуле

$$\sigma_{\delta 1} = \frac{P_{\delta} + \Delta P_{\delta}}{n \cdot f_{\delta}} \leq [\sigma]_{\delta} , \quad (55)$$

где P_{δ} – то же, что и в формуле (47);
 n – то же, что и в формуле (43);
 f_{δ} – то же, что и в формуле (43);
 $[\sigma]_{\delta}$ – то же, что и в формуле (37);;
 ΔP_{δ} – то же, что и в формуле (52);;

Таким образом, подставим известные значения и проверим соблюдения условия прочности по формуле (55)

$$\sigma_{\delta 1} = \frac{1,059 \cdot 10^6 + 1,72 \cdot 10^5}{20 \cdot 520} \leq 230 ,$$

$$\sigma_{\delta 1} = 118,4 \text{ МПа} \leq 230 \text{ МПа.}$$

Условие прочности по РД 26-15-88 соблюдается.

Проведём расчёт 1-го фланца на статическую прочность и определим угол поворота фланца при затяжке по формуле

$$\theta = M_{01} \cdot \frac{[1 - \omega \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda)] \cdot \psi_2}{E^{20} \cdot h^3} , \quad (55)$$

где M_{01} – внешний изгибающий момент угла поворота фланца при затяжке,

Н · мм;

ω – то же, что и в формуле (37);

λ – то же, что и в формуле (34);

ψ_2 – то же, что и в формуле (38);

E^{20} – то же, что и в формуле (43);

h – то же, что и в формуле (33);

Определим внешний изгибающий момент угла поворота фланца при затяжке по формуле

$$M_{01} = P_\delta \cdot b , \quad (56)$$

где P_δ – то же, что и в формуле (47);

b – то же, что и в формуле (29);

Подставим численные значения и рассчитаем по формуле (56)

$$M_{01} = 1,059 \cdot 10^6 \cdot 35 = 3,708 \cdot 10^7 ,$$

Проведём подстановку числовых значений и определим угол поворота фланца при затяжке по формуле (55)

$$\theta = 3,708 \cdot 10^7 \cdot \frac{[1 - 0,2796 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,7833)] \cdot 5,737}{1,99 \cdot 10^5 \cdot 75^3} = 0,001326 .$$

Определим приращение угла поворота фланца в рабочих условиях по формуле

$$\theta = \Delta M_{01} \cdot \frac{[1 - \omega \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda)] \cdot \psi_2}{E \cdot h^3} , \quad (57)$$

где ΔM_{01} – внешний изгибающий момент угла поворота фланца в рабочих условиях, Н · мм;

ω – то же, что и в формуле (37);

λ – то же, что и в формуле (34);
 ψ_2 – то же, что и в формуле (38);
 E^{20} – то же, что и в формуле (43);
 h – то же, что и в формуле (33);

Определим внешний изгибающий момент угла поворота фланца в рабочих условиях по формуле

$$\Delta M_{01} = \Delta P_\delta \cdot b + \left(Q_d + \frac{4 \cdot M}{D_{\text{сп}}} + F \right) \cdot e, \quad (57)$$

где ΔP_δ – то же, что и в формуле (52);
 b – то же, что и в формуле (29);
 Q_d – то же, что и в формуле (46);
 M – то же, что и в формуле (49);
 $D_{\text{сп}}$ – то же, что и в формуле (29);
 F – то же, что и в формуле (49);
 e – то же, что и в формуле (40);

Подставим численные значения и рассчитаем по формуле

$$\Delta M_{01} = 1,72 \cdot 10^5 \cdot 75 + \left(9,188 \cdot 10^5 + \frac{4 \cdot 2,663 \cdot 10^7}{510} + 2,134 \cdot 10^4 \right) \cdot 19,81 = 2,243 \cdot 10^7 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Проведём подстановку числовых значений и определим приращение угла поворота фланца в рабочих условиях по формуле (57)

$$\theta = 2,243 \cdot 10^7 \cdot \frac{[1 - 0,2796 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,7833)] \cdot 5,737}{1,91 \cdot 10^5 \cdot 75^3} = 0,0009025.$$

Найдем меридиональное напряжение в обечайке (втулке) при затяжке на наружной поверхности в сечении S_1 по формуле

$$\sigma_{11} = \sigma_1, \quad (58)$$

где σ_1 – меридиональное изгибное напряжение во втулке фланца в сечении S_1 , МПа;

Произведем расчёт меридионального изгибного напряжения по формуле

$$\sigma_1 = \frac{T \cdot \omega \cdot M_{01}}{(D + S_0) \cdot (S_1 - c)^2}, \quad (59)$$

где T – коэффициент меридионального изгибного напряжения;
 ω – то же, что и в формуле (37);
 M_{01} – то же, что и в формуле (57);
 S_1 – толщина втулки в месте соединения с тарелкой фланца в сечении S_1 , мм;
 c – то же, что и в формуле (25);
 S_0 – толщина втулки в сечении S_0 , мм;
 D – то же, что и в формуле (30)

Таким образом, подставим известные значения и рассчитаем формуле (59)

$$\sigma_1 = \frac{1,743 \cdot 0,2796 \cdot 3,708 \cdot 10^7}{(450 + 14) \cdot (29 - 3)^2} = 57,62 \text{ МПа.}$$

Подставим известные значения и рассчитаем по формуле (58)

$$\sigma_{11} = 57,62 \text{ МПа.}$$

Найдем меридиональное напряжение в обечайке (втулке) при затяжке на внутренней поверхности в сечении S_1 по формуле

$$\sigma_{12} = -\sigma_1, \quad (60)$$

где σ_1 – то же, что и в формуле (59);

Подставим известные значения и рассчитаем по формуле (60)

$$\sigma_{12} = -57,62 \text{ МПа.}$$

Найдем меридиональное напряжение в обечайке (втулке) при затяжке на наружной поверхности в сечении S_0 по формуле

$$\sigma_{21} = f \cdot \sigma_1 , \quad (61)$$

где σ_1 – то же, что и в формуле (59);

f – коэффициент увеличения изгибных напряжений в сечении S_0 приварногостык фланца (43);

Подставим известные значения и рассчитаем по формуле (61)

$$\sigma_{21} = 1,09 \cdot 57,62 = 63 \text{ МПа.}$$

Найдем меридиональное напряжение в обечайке (втулке) при затяжке на внутренней поверхности в сечении S_0 по формуле

$$\sigma_{21} = -f \cdot \sigma_1 , \quad (62)$$

где σ_1 – то же, что и в формуле (59);

f то же, что и в формуле (43);

Подставим известные значения и рассчитаем по формуле (62)

$$\sigma_{21} = -1,09 \cdot 57,62 = -63 \text{ МПа.}$$

Определим приращение меридиональных напряжений в обечайке (втулке) в рабочих условиях на наружной поверхности в сечении S_1 по формуле

$$\Delta \sigma_{11} = \Delta \sigma_m + \Delta \sigma_1 , \quad (63)$$

где $\Delta \sigma_m$ – расчетное меридиональное напряжение в обечайке (втулке) фланца при затяжке на наружной и внутренней поверхности в сечении S_1 , МПа;

$\Delta \sigma_1$ – расчетное меридиональное изгибное напряжения в обечайке (втулке) фланца при затяжке на наружной и внутренней поверхности в сечении S_1 , МПа;

Определим расчетные меридиональные напряжения в обечайке (втулке) фланца при затяжке на наружной и внутренней поверхности в сечении S_1 по формуле

$$\Delta \sigma_m = \frac{Q_d + \frac{4 \cdot M}{D_{cp}} + F}{\pi \cdot D \cdot (S_1 - c)}, \quad (64)$$

где Q_d – то же, что и в формуле (46);

M – то же, что и в формуле (49);

D_{cp} – то же, что и в формуле (29);

F – то же, что и в формуле (49);

D – то же, что и в формуле (25);

S_1 – то же, что и в формуле (35);

c – то же, что и в формуле (30);

Подставим известные значения и рассчитаем по формуле (64)

$$\Delta \sigma_m = \frac{9,188 \cdot 10^5 + \frac{4 \cdot 2,663 \cdot 10^7}{510} + 2,134 \cdot 10^4}{3,14 \cdot 450 \cdot (29 - 3)} = 25 \text{ МПа.}$$

Определим расчетное меридиональное изгибное напряжение в обечайке (втулке) фланца при затяжке на наружной и внутренней поверхности в сечении S_1 по формуле

$$\Delta \sigma_1 = \frac{T \cdot \omega \cdot \Delta M_{01}}{(D + S_0) \cdot (S_1 - c)^2}, \quad (65)$$

Подставим известные значения и рассчитаем по формуле (65)

$$\Delta \sigma_1 = \frac{1,743 \cdot 0,2796 \cdot 2,243 \cdot 10^7}{(450 + 14) \cdot (29 - 3)^2} = 37,65 \text{ МПа.}$$

Таким образом, подставим известные значения и рассчитаем по формуле (63)

$$\Delta \sigma_{11} = 25 + 37,65 = 62,65 \text{ МПа.}$$

Определим приращение меридиональных напряжений в обечайке (втулке) в рабочих условиях на внутренней поверхности в сечении S_1 по формуле

$$\Delta \sigma_{12} = \Delta \sigma_m - \Delta \sigma_1, \quad (66)$$

где $\Delta \sigma_m$ – то же, что и в формуле (64);
 $\Delta \sigma_1$ – то же, что и в формуле (65);

Подставим известные значения и рассчитаем по формуле (66)

$$\Delta \sigma_{12} = 25 - 37,65 = -12,65 \text{ МПа.}$$

Определим приращение меридиональных напряжений в обечайке (втулке) в рабочих условиях на наружной поверхности в сечении S_0 по формуле

$$\Delta \sigma_{21} = \Delta \sigma_m + f \cdot \Delta \sigma_1, \quad (67)$$

где $\Delta \sigma_m$ – расчетное меридиональное напряжение в обечайке (втулке) фланца при затяжке на наружной и внутренней поверхности в сечении S_0 , МПа;

$\Delta \sigma_1$ – расчетное меридиональное изгибное напряжение в обечайке (втулке) фланца при затяжке на наружной и внутренней поверхности в сечении S_0 , МПа;

Определим расчетные меридиональные напряжения в обечайке (втулке) фланца при затяжке на наружной и внутренней поверхности в сечении S_0 по формуле

$$\Delta \sigma_m = \frac{Q_d + \frac{4 \cdot M}{D_{cp}} + F}{\pi \cdot D \cdot (S_0 - c)}, \quad (68)$$

где Q_d – то же, что и в формуле (46);

M – то же, что и в формуле (49);

$D_{\text{сп}}$ – то же, что и в формуле (29);

F – то же, что и в формуле (49);

D – то же, что и в формуле (25);

S_0 – то же, что и в формуле (35);

c – то же, что и в формуле (30);

Подставим известные значения и рассчитаем по формуле (68)

$$\Delta \sigma_m = \frac{9,188 \cdot 10^5 + \frac{4 \cdot 2,663 \cdot 10^7}{510} + 2,134 \cdot 10^4}{3,14 \cdot 450 \cdot (14 - 3)} = 59,08 \text{ МПа.}$$

Таким образом, подставим известные значения и рассчитаем по формуле (67)

$$\Delta \sigma_{21} = 59,08 + 1,09 \cdot 37,65 = 100,2 \text{ МПа.}$$

Определим приращение меридиональных напряжений в обечайке (втулке) в рабочих условиях на внутренней поверхности в сечении S_0 по формуле

$$\Delta \sigma_{22} = \Delta \sigma_m - f \cdot \sigma_1, \quad (69)$$

где $\Delta \sigma_m$ – то же, что и в формуле (68);

$\Delta \sigma_1$ – то же, что и в формуле (65);

f – то же, что и в формуле (43);

Подставим известные значения и рассчитаем по формуле (69)

$$\Delta \sigma_{22} = 59,08 - 1,09 \cdot 37,65 = 17,92 \text{ МПа.}$$

Определим окружные напряжения в обечайке (втулке) в рабочих условиях на наружной поверхности в сечении S_1 по формуле

$$\sigma_{13} = \frac{E^{20} \cdot h \cdot \theta}{D} + 0,3 \cdot \sigma_1 , \quad (70)$$

где E^{20} – то же, что и в формуле (43);
 h – то же, что и в формуле (33);
 θ – то же, что и в формуле (57);
 D – то же, что и в формуле (25);
 σ_1 – то же, что и в формуле (59);

Таким образом, подставим известные значения и рассчитаем по формуле
(70)

$$\sigma_{13} = \frac{1,99 \cdot 10^5 \cdot 75 \cdot 0,001326}{450} + 0,3 \cdot 57,62 = 61,26 \text{ МПа.}$$

Определим окружные напряжения в обечайке (втулке) в рабочих условиях на внутренней поверхности в сечении S_1 по формуле

$$\sigma_{13} = \frac{E^{20} \cdot h \cdot \theta}{D} - 0,3 \cdot \sigma_1 , \quad (71)$$

где E^{20} – то же, что и в формуле (43);
 h – то же, что и в формуле (33);
 θ – то же, что и в формуле (57);
 D – то же, что и в формуле (25);
 σ_1 – то же, что и в формуле (59);

Подставим известные значения и рассчитаем по формуле (71)

$$\sigma_{13} = \frac{1,99 \cdot 10^5 \cdot 75 \cdot 0,001326}{450} - 0,3 \cdot 57,62 = 26,68 \text{ МПа.}$$

Определим окружные напряжения в обечайке (втулке) в рабочих условиях на наружной поверхности в сечении S_0 по формуле

$$\Delta \sigma_{23} = 0,3 \cdot f \cdot \sigma_1 , \quad (72)$$

где $\Delta \sigma_1$ – то же, что и в формуле (65);

f – то же, что и в формуле (43);

Таким образом, подставим известные значения и рассчитаем по формуле
(72)

$$\Delta \sigma_{23} = 0,3 \cdot 1,09 \cdot 37,65 = 18,9 \text{ МПа.}$$

Определим окружные напряжения в обечайке (втулке) в рабочих условиях на внутренней поверхности в сечении S_0 по формуле

$$\Delta \sigma_{24} = -0,3 \cdot f \cdot \sigma_1 , \quad (73)$$

где $\Delta \sigma_1$ – то же, что и в формуле(65);

f – то же, что и в формуле(43);

Подставим известные значения и рассчитаем по формуле (73)

$$\Delta \sigma_{24} = -0,3 \cdot 1,09 \cdot 37,65 = -18,9 \text{ МПа.}$$

Определим приращение окружных напряжений в обечайке (втулке) в рабочих условиях на наружной поверхности в сечении S_1 по формуле

$$\Delta \sigma_{13} = \frac{E \cdot h \cdot \theta}{D} + \frac{p \cdot D}{D_H - D} + 0,3 \cdot \Delta \sigma_1 , \quad (74)$$

где E – то же, что и в формуле (43);

h – то же, что и в формуле (33);

θ – то же, что и в формуле (57);

D – то же, что и в формуле (25);

D_H – то же, что и в формуле (35);

$\Delta \sigma_1$ – то же, что и в формуле (65);

Таким образом, по формуле (74)получим следующий результат

$$\Delta \sigma_{13} = \frac{1,99 \cdot 10^5 \cdot 75 \cdot 0,001326}{450} + \frac{4,5 \cdot 450}{640 - 450} + 0,3 \cdot 37,65 = 50,68 \text{ МПа.}$$

Определим приращение окружных напряжений в обечайке (втулке) в рабочих условиях на внутренней поверхности в сечении S_1 по формуле

$$\Delta \sigma_{14} = \frac{E \cdot h \cdot \theta}{D} + \frac{p \cdot D}{D_h - D} - 0,3 \cdot \Delta \sigma_1 , \quad (75)$$

где E – то же, что и в формуле (43);
 h – то же, что и в формуле (33);
 θ – то же, что и в формуле (57);
 D – то же, что и в формуле (25);
 D_h – то же, что и в формуле (35);
 $\Delta \sigma_1$ – то же, что и в формуле (65);
 p – то же, что и в формуле (13);

Подставим данные значения и определим по формуле (75)

$$\Delta \sigma_{14} = \frac{1,99 \cdot 10^5 \cdot 75 \cdot 0,001326}{450} + \frac{4,5 \cdot 450}{640 - 450} - 0,3 \cdot 37,65 = 28,09 \text{ МПа.}$$

Определим приращение окружных напряжений в обечайке (втулке) в рабочих условиях на наружной поверхности в сечении S_0 по формуле

$$\Delta \sigma_{23} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (S_0 - c)} + 0,3 \cdot f \cdot \Delta \sigma_1 , \quad (76)$$

где p – то же, что и в формуле (13);
 S_0 – то же, что и в формуле (35);
 c – то же, что и в формуле (30);
 $\Delta \sigma_1$ – то же, что и в формуле (65);

Таким образом, по формуле (76) получим следующий результат

$$\Delta \sigma_{23} = \frac{4,5 \cdot 450}{2 \cdot (14 - 3)} + 0,3 \cdot 1,09 \cdot 37,65 = 104,4 \text{ МПа.}$$

Определим приращение окружных напряжений в обечайке (втулке) в рабочих условиях на внутренней поверхности в сечении S_0 по формуле

$$\Delta \sigma_{24} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (S_0 - c)} - 0,3 \cdot \Delta \sigma_1 , \quad (77)$$

где p – то же, что и в формуле (13);

S_0 – то же, что и в формуле (35);

c – то же, что и в формуле (30);

$\Delta \sigma_1$ – то же, что и в формуле (65);

Подставим известные значения и рассчитаем по формуле (77)

$$\Delta \sigma_{24} = \frac{4,5 \cdot 450}{2 \cdot (14 - 3)} - 0,3 \cdot 1,09 \cdot 37,65 = 79,7 \text{ МПа.}$$

Проверим соблюдения условия статической прочности фланца в сечении S_1 при затяжке по формуле

$$\sigma_{s1} = \max \left\{ \frac{\sqrt{\sigma_{11}^2 + \sigma_{13}^2 - \sigma_{11} \cdot \sigma_{13}}}{\sqrt{\sigma_{12}^2 + \sigma_{14}^2 - \sigma_{12} \cdot \sigma_{14}}} \right\} \leq [\sigma]_{s1} ,$$

где σ_{11} – то же, что и в формуле (63);

σ_{13} – то же, что и в формуле (74);

σ_{12} – то же, что и в формуле (66);

σ_{14} – то же, что и в формуле (75);

$[\sigma]_{s1}$ – допускаемое напряжение для материала фланцев при затяжке, МПа;

Найдём допускаемое напряжение для материала фланцев при затяжке по формуле

$$[\sigma]_{s1} = 1,5 \cdot [\sigma]^{20} , \quad (78)$$

где $[\sigma]^{20}$ – то же, что и в формуле (37);

Таким образом, по формуле (78) получим следующий результат

$$[\sigma]_{s1} = 1,5 \cdot 183 = 274,5 \text{ МПа.}$$

Подставим известные значения и проверим соблюдения условия статической прочности фланца в сечении S_1 при затяжке по формуле

$$\sigma_{s1} = \max \left\{ \frac{\sqrt{62,65^2 + 61,26^2 - 62,65 \cdot 61,26}}{\sqrt{-12,65^2 + 26,68^2 - (-12,65) \cdot 26,68}} \right\} = 74,63 \text{ МПа.}$$

$$\sigma_{s1} = 74,63 \text{ МПа.} \leq 274,5 \text{ МПа.}$$

Проверим соблюдения условия статической прочности фланца в сечении S_1 в рабочих условиях по формуле

$$\begin{aligned} \sigma_{s1} &= \max \left\{ \frac{\sqrt{(\sigma_{11} \cdot \Delta \sigma_{11})^2 + (\sigma_{13} \cdot \Delta \sigma_{13})^2 - (\sigma_{11} \cdot \Delta \sigma_{11}) \cdot (\sigma_{13} \cdot \Delta \sigma_{13})}}{\sqrt{(\sigma_{12} \cdot \Delta \sigma_{12})^2 + (\sigma_{14} \cdot \Delta \sigma_{14})^2 - (\sigma_{12} \cdot \Delta \sigma_{12}) \cdot (\sigma_{14} \cdot \Delta \sigma_{14})}} \right\} \leq \\ &\leq [\sigma]_{s1}, \end{aligned} \quad (79)$$

где σ_{11} – то же, что и в формуле (63);

σ_{13} – то же, что и в формуле (74);

σ_{12} – то же, что и в формуле (66);

σ_{14} – то же, что и в формуле (75);

$[\sigma]_{s1}$ – допускаемое напряжение для материала фланцев в рабочих условиях, МПа;

Найдём допускаемое напряжение для материала фланцев рабочих условиях по формуле

$$[\sigma]_{s1} = 1,5 \cdot [\sigma], \quad (80)$$

где $[\sigma]$ – то же, что и в формуле (37);

Таким образом, по формуле (80) получим следующий результат

$$[\sigma]_{s1} = 1,5 \cdot 160 = 240 \text{ МПа.}$$

Подставим известные значения и проверим соблюдения условия статической прочности фланца в сечении S_1 в рабочих условиях по формуле (79)

$$\sigma_{s1} = \max \left\{ \frac{\sqrt{(57,62 \cdot 62,65)^2 + (61,26 \cdot 50,68)^2 - (57,62 \cdot 62,65) \cdot \sqrt{(61,26 \cdot 50,68)}}}{\sqrt{(-57,62 \cdot (-12,65))^2 + (26,68 \cdot 28,09)^2 - 57,62 \cdot (-12,65) \cdot \sqrt{(26,68 \cdot 28,09)}}}, \frac{\sqrt{(61,26 \cdot 50,68)}}{\sqrt{(26,68 \cdot 28,09)}} \right\} = 116,3 \text{ МПа.}$$

$$\sigma_{s1} = 116,3 \text{ МПа.} \leq 240 \text{ МПа.}$$

Проверим соблюдения условия статической прочности фланца в сечении S_0 в при затяжке по формуле

$$\sigma_{s1} = \max \left\{ \frac{\sqrt{\sigma_{21}^2 + \sigma_{23}^2 - \sigma_{21} \cdot \sigma_{23}}}{\sqrt{\sigma_{22}^2 + \sigma_{24}^2 - \sigma_{22} \cdot \sigma_{24}}} \right\} \leq [\sigma]_{s0}, \quad (81)$$

где σ_{21} – то же, что и в формуле (67);
 σ_{23} – то же, что и в формуле (76);
 σ_{22} – то же, что и в формуле (69);
 σ_{24} – то же, что и в формуле (77);
 $[\sigma]_{s0}$ – допускаемое напряжение для материала фланцев при затяжке, МПа;

Найдём допускаемое напряжение для материала фланцев при затяжке по формуле

$$[\sigma]_{s0} = \left(4,5 - 2,0 \cdot \frac{\sigma_{0,2}^{20}}{\sigma_B^{20}} \right) \cdot [\sigma]^{20}, \quad (82)$$

где $[\sigma]^{20}$ –то же, что и в формуле (37);
 $\sigma_{0,2}^{20}$ – предел текучести материала фланца при $t = 20^\circ C$, МПа;
 σ_B^{20} – временное сопротивление материала фланца при $t = 20^\circ C$, МПа;

Таким образом, по формуле (82) получим следующий результат

$$[\sigma]_{s0} = \left(4,5 - 2,0 \cdot \frac{280}{440} \right) \cdot 183 = 590,6 \text{ МПа.}$$

Подставим известные значения и проверим соблюдения условия статической прочности фланца в сечении S_0 при затяжке по формуле (82)

$$\sigma_{s0} = \max \left\{ \frac{\sqrt{63^2 + 18,9^2 - 63 \cdot 18,9}}{\sqrt{-63^2 + (-18,9)^2 - (-63) \cdot (-18,9)}} \right\} = 55,99 \text{ МПа.}$$

$$\sigma_{s0} = 55,99 \text{ МПа.} \leq 590,6 \text{ МПа.}$$

Проверим соблюдения условия статической прочности фланца в сечении S_0 в рабочих условиях по формуле

$$\begin{aligned} \sigma_{s1} &= \max \left\{ \frac{\sqrt{(\sigma_{21} \cdot \Delta \sigma_{21})^2 + (\sigma_{23} \cdot \Delta \sigma_{23})^2 - (\sigma_{21} \cdot \Delta \sigma_{21}) \cdot (\sigma_{23} \cdot \Delta \sigma_{23})}}{\sqrt{(\sigma_{22} \cdot \Delta \sigma_{22})^2 + (\sigma_{24} \cdot \Delta \sigma_{24})^2 - (\sigma_{22} \cdot \Delta \sigma_{22}) \cdot (\sigma_{24} \cdot \Delta \sigma_{24})}} \right\} \\ &\leq [\sigma]_{s0}, \end{aligned} \quad (83)$$

где σ_{21} — то же, что и в формуле (67);

σ_{23} — то же, что и в формуле (76);

σ_{22} — то же, что и в формуле (69);

σ_{24} — то же, что и в формуле (77);

$[\sigma]_{s0}$ — допускаемое напряжение для материала фланцев в рабочих условиях, МПа;

Найдём допускаемое напряжение для материала фланцев рабочих условиях по формуле ()

$$[\sigma]_{s0} = \left(4,5 - 2,0 \cdot \frac{\sigma_{0,2}^{20}}{\sigma_B^{20}} \right) \cdot [\sigma], \quad (84)$$

где $[\sigma]$ —то же, что и в формуле (37);

$\sigma_{0,2}^{20}$ — предел текучести материала фланца при $t = 20^\circ\text{C}$, МПа;

σ_B^{20} — временное сопротивление материала фланца при $t = 20^\circ\text{C}$, МПа;

Таким образом, по формуле (82) получим следующий результат

$$[\sigma]_{s0} = \left(4,5 - 2,0 \cdot \frac{280}{440} \right) \cdot 160 = 520,5 \text{ МПа.}$$

Подставим известные значения и проверим соблюдения условия статической прочности фланца в сечении S_0 в рабочих условиях по формуле

$$\sigma_{s0} = \max \left\{ \frac{\sqrt{(63 \cdot 100,2)^2 + (18,9 \cdot 104,4)^2 - (63 \cdot 100,2) \cdot}}{\sqrt{(-63 \cdot 17,92)^2 + (-18,9 \cdot 79,7)^2 - (-63 \cdot 17,92) \cdot}} \right. \\ \left. \frac{\sqrt{\cdot (18,9 \cdot 104,4)}}{\sqrt{\cdot (-18,9 \cdot 79,7)}} = 147,4 \text{ МПа.} \right.$$

$$\sigma_{s0} = 55,99 \text{ МПа.} \leq 147,4 \text{ МПа.}$$

Место для формулы.

Определим соответствие к требованиям жесткости угла поворота тарелки фланца определим по формуле ()

$$\theta + \Delta \theta \leq [\theta], \quad (85)$$

где θ – то же, что и в формуле (57);
 $\Delta \theta$ – то же, что и в формуле (47);
 $[\theta]$ – то же, что и в формуле (48);

Подставим известные значения и определим соответствие к требованиям жесткости угла поворота тарелки фланца определим формуле (85)

$$0,00228 \leq 0,009$$

Условия прочности и герметичности фланцевого соединения выполняются.

4.4.5 Расчёт аппарата при гидроиспытании

Проведём расчёт величины давления гидроиспытания по формуле

$$p_i = \frac{1,25 \cdot p \cdot [\sigma]_{20}}{[\sigma]_t}, \quad (86)$$

где $[\sigma]_{20}$ – допускаемое напряжение при температуре $t = 20 {}^\circ C$, МПа;

$[\sigma]_t$ – допускаемое напряжение при температуре $t = 100 {}^\circ\text{C}$, МПа;
 p – то же, что и в формуле(13) ;

Отношение допускаемых напряжений принимается по тому из применяемых материалов элементов аппарата, для которого это отношение является наименьшим:

Для марки стали 09Г2С, при толщине стенке $s < 32$ мм.

$$\frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_t} = \frac{196}{177} = 1,1073 \text{ МПа.} \quad (87)$$

Для марки стали 09Г2С, при толщине стенке $s > 32$ мм.

$$\frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_t} = \frac{183}{160} = 1,1437 \text{ МПа.} \quad (88)$$

Для марки стали 20ХН3А из которой выполняется крепеж аппарата.

$$\frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_t} = \frac{230}{230} = 1 \text{ МПа.} \quad (89)$$

Принимаем наименьше значение 1 МПа, и подставляем все известные значения в формулу (86)

$$p_i = \frac{1,25 \cdot 4,5 \cdot 230}{230} = 5,625 \text{ МПа.}$$

Принимается давление гидроиспытания в вертикальном положении $p_{ив} = 5,7$ МПа.

Давление гидроиспытания в горизонтальное положении определяется по формуле

$$p_i = p_{ив} + H, \quad (90)$$

где H – высота столба воды в аппарате при гидроиспытании, мм;
 $p_{ив}$ – то же, что и в формуле (86);

Таким образом, подставляем значения и производим расчёт по формуле
(90)

$$p_i = 5,7 + 14420 \cdot 10^{-5} = 5,844 \text{ МПа.}$$

Принимается давление гидроиспытания в горизонтальном положении

$$p_{иг} = 5,9 \text{ МПа.}$$

Проведем оценку необходимости выполнения расчёта на прочность для условий гидроиспытания

Расчёт на прочность для условия гидроиспытания не требуется, так как

$$p_i \leq \frac{p \cdot 1,35 \cdot [\sigma]_{20}}{[\sigma]_t}, \quad (91)$$

где $[\sigma]_{20}$ – то же, что и в формуле (46);
 p – то же, что и в формуле (13);
 $[\sigma]_t$ – то же, что и в формуле (46);

Подставим числовые значения и проведем расчёт

$$5,9 \text{ МПа.} \leq 6,075 \text{ МПа.}$$

Условие соблюдается, отсюда следует, что расчёт на прочность для условия гидроиспытания не требуется.

5 Модернизация абсорбционных колонн

В связи возникающих проблем при осушке попутного нефтяного газа на Ванкорском месторождении, а именно отсутствие требуемой осушки газа от капельной жидкости, в следствии неэффективной работы внутренних устройств абсорбера С-2801-1, малые объемы сепарируемой жидкости и большие затраты ингибитора гидратообразования по системе выделения природного газового

конденсата, необходимо провести анализ существующих модернизаций распределительных устройств абсорбционных установок.

Предлагаемыми объектами исследований являются модернизации компаний «РусГазИнжиниринг» и «ИВЦ Инжехим», которые зарекомендовали себя на рынке товаров нефтегазового производства.

При выборе необходимой конструкции модернизированного устройства необходимо составить общие требования к выполняемым работам:

- повысить эффективность работы сепарационных секций и уменьшить унос жидкости, не более 6 мг/м³;
- снизить минерализацию ТЭГа.;
- в технологической документации на внутренние устройства должны быть представлены табличные данные и графические зависимости по допустимым и оптимальным параметрам его работы;
- предусмотреть срок службы внутренних элементов (кроме фильтр-элементов) не менее 20 лет.
- простота монтажа (демонтажа) и обслуживания внутренних элементов аппарата;
- предусмотреть возможность регенерации и очистки элементов (сепарационных, фильтрующих) с целью дальнейшего их использования;
- обеспечить межремонтный срок эксплуатации внутренних устройств не менее 4 лет;
- обеспечить выполнение требований регламента по соблюдению требований промышленной, экологической безопасности и охраны труда при проведении работ на территории производственных объектов ЗАО «Ванкорнефть»;

Основные фактические показатели эффективности работы и необходимые параметры улучшения представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Опросный лист

Вопросы	Ответы
Наименование объекта эксплуатации	Установка осушки попутного нефтяного газа (Система 28) Ванкорского НГКМ
Номер проекта	НГП 02507.У.01.01. ВО
Место установки в технологической схеме	Производственный корпус № 1 КУПГиК ЦПС
Подвергался модернизации. № проекта.	Не подвергался
Фактические показатели работы и характеристика среды	
1.1.Производительность, м ³ /ч, приведенная к условиям: t=20 ⁰ C; P=0,1013МПа, на входе.	200 000÷458 082
1.2.Избыточное технологическое давление, МПа.	3,8÷4,35
1.3.Температура рабочая, ⁰ C.	25÷35

1.4.Массовый расход абсорбента-осушителя, кг/ч, его наименование.	7000÷13496, Триэтиленгликоль (ТЭГ)
1.5. Температура абсорбента на входе, $^{\circ}\text{C}$.	30÷40
1.6. Гидравлическое сопротивление, кПа.	20
Фактические показатели работы и характеристика среды	
2.1.Количество жидкости отсепарированной из 1м^3 газа, г/ м^3	0,847*
2.2. Массовая концентрация абсорбента-осушителя в осушенном газе (унос), мг/ м^3 .	22
Необходимость улучшения показателей работы	
3.1. Увеличение эффективности сепарации до, %	98
3.2. Снижение массовой концентрации абсорбента-осушителя в газе мг/ м^3 .	не более 6

Анализ состава насыщенного и регенерированного ТЭГа показал, что в насыщенном ТЭГе индентифицируются углеводородные компоненты, которые в регенерированном ТЭГе практически отсутствуют. Регенерация происходит эффективно, углеводородные компоненты из насыщенного ТЭГа, практически полностью удаляются, происходит уменьшение содержания воды до нормы, заданной в технологическом регламенте.

Анализ причин низкой эффективности работы установки осушки показал, что требуемые значения температуры точки росы осушенного газа по воде не достигаются из-за работы абсорбера на «нижней границе» области эффективной работы сепарационных элементов, а так же не эффективной работы массообменной секции в следствие нарушения работы распределения ТЭГ.

В связи с этим, инженерно-внедрическим центром «Инжехим» разработано техническое решение, направленное на улучшение показателей осушки попутного нефтяного газа, включающие в себя проведение модернизации с сохранением всех секций аппарата. В состав модернизированного абсорбера входят следующие устройства:

- распределитель газожидкостного потока по КЦРФ.067327.003ТУ для первичной сепарации частиц жидкости и мехпримесей и равномерного распределения потока по сечению аппарата;

- каплеуловитель прямоточный КПЦФ 2200 по КЦРФ.067332.011ТУ для эффективного удаления частиц компрессорного масла, конденсационной жидкости и мехпримесей;

- каплеуловитель сетчатый по КЦРФ.067332.001ТУ для предотвращения капельного уноса ТЭГ;

Модернизированный по проекту КЦРФ.061363.207 абсорбер С-2801-1/2

представляет собой вертикальный цилиндрический аппарат внутренним диаметром 2200 мм, в котором по высоте организованы три секции: нижняя сепарационная (по проекту ООО ИВЦ «ИНЖЕХИМ») для улавливания капельной жидкости и частиц мех примесей, средняя массообменная для осушения газа (по проекту ЗАО «ЦКБ НГП») и верхняя сепарационная (по проекту ООО ИВЦ «ИНЖЕХИМ») для предотвращения уноса поглотителя из абсорбера в магистральный трубопровод.

Исходный газовый поток, содержащий капельную жидкость, поступает в аппарат через распределитель газожидкостного потока КЦРФ.067327.003, установленный на входном патрубке (рисунок 10). Данное устройство состоит из цилиндрической несущей конструкции, закрепленных на ней блоков регулярной насадки. При прохождении газожидкостного потока через слой насадки на ее элементах сепарируются капли жидкости. Жидкость в виде струй и крупных капель стекает с поверхности устройства в кубовую часть аппарата. Равномерная нагрузка слоя насадки по газовой фазе достигается за счет перераспределительных шайб несущей конструкции. Таким образом, осуществляется более эффективное использование сепарационной части распределителя газожидкостного потока, с предотвращением локальных перегрузок насадочных блоков. Вторичный унос капель предотвращается за счет значительного снижения скорости газового потока на выходе из распределителя, что обусловлено большой площадью его внешней поверхности.

Использование распределителя газожидкостного потока обеспечивает снижение нагрузки по жидкости и равномерную подачу газа на прямоточные циклоны каплеуловителя, что позволяет повысить общую эффективность нижней сепарационной секции и снизить содержание капельной жидкости в газе. Отсутствие капельной жидкости в газе является обязательным условием для максимального использования осушающей способности абсорбента, и как следствие, максимальной степени осушки.



Рисунок 10 – Модернизированный абсорбер С-2801

Далее газ, содержащий остаточное количество капельной жидкости, поступает на каплеуловитель КПЦФ 2200, оснащенный прямоточными циклонами и фильтр-коагуляторами (по КЦРФ.067332.011ТУ), устанавливаемый на нижнем опорном кольце аппарата, где происходит сепарация твердых и жидких частиц микронного размера в поле центробежных сил. Данное устройство предназначено для улавливания остаточной капельной жидкости (брьзг), увлекаемых газовым потоком. Фильтр-коалесцеры имеют в качестве фильтрующего элемента нетканое полотно из синтетических волокон диаметром 2-8 мкм с различной обработкой. Применяемые неметаллические материалы не меняют своей структуры и свойств при температуре до 2200С, что позволяет осуществлять их регенерацию методом пропарки острым водяным паром. Фильтр-коалесцеры обеспечивают высокоэффективное выделение из газового потока капель диаметром 1 мкм и менее. При низких нагрузках по газовой фазе жидкость задерживается в рабочем слое фильтрующих элементов и сливается с них за счет сил гравитации. При повышении скорости газа происходит вынос укрупненных капель жидкости из коалесцирующих элементов, которые улавливаются прямоточными циклонами. Для отвода жидкости с полотен каплеуловителя монтируется отдельный трубопровод. Компоновка обоих рабочих элементов на одном полотне обеспечивает пониженное гидравлическое сопротивление.

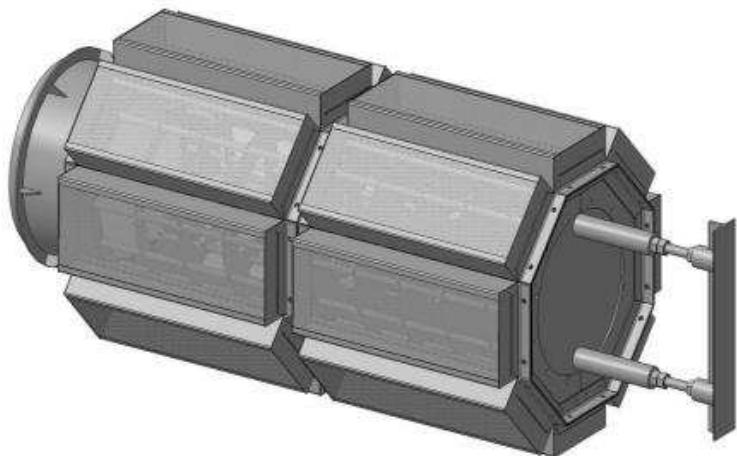


Рисунок 11 – Распределитель газожидкостного потока

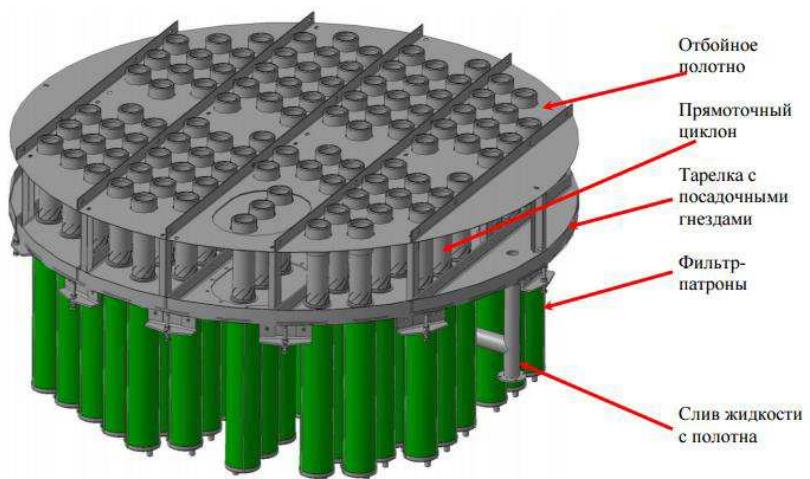


Рисунок 12 - Каплеуловитель КПЦФ 2200

Далее газ проходит осушку в массообменной секции проектного исполнения. Осущеный газ из массообменной секции поступает на верхнюю сепарационную ступень – каплеуловитель сетчатый КЦРФ.067332.001, установленный на верхнем опорном кольце аппарата, данное устройство предназначено для улавливания капель (брзг) поглотителя, увлекаемых газовым потоком. Уловленная жидкость отводится в распределитель ТЭГа и далее подается на орошение массообменной насадки. Осущеный газ выводится из аппарата через выходной патрубок

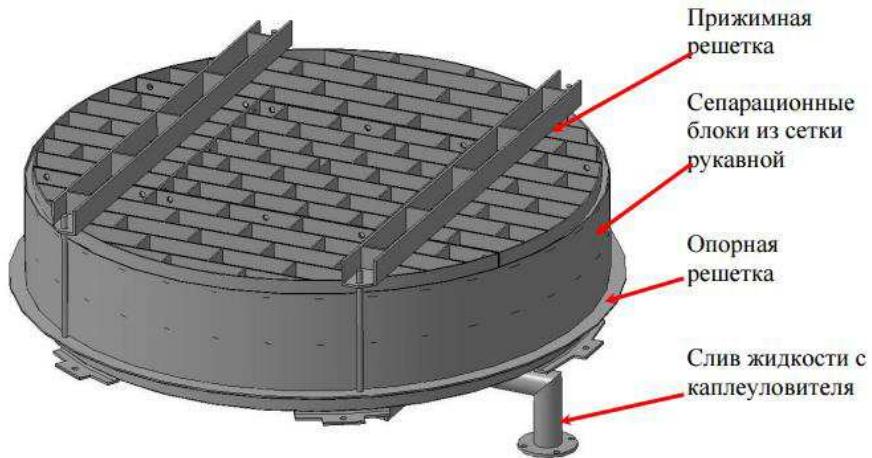


Рисунок 13 – Каплеуловитель сетчатый

Рабочий диапазон нагрузок сепарационной секции абсорбера С-2801-1/2 после модернизации в зависимости от давления газа представлен на рисунке 18.

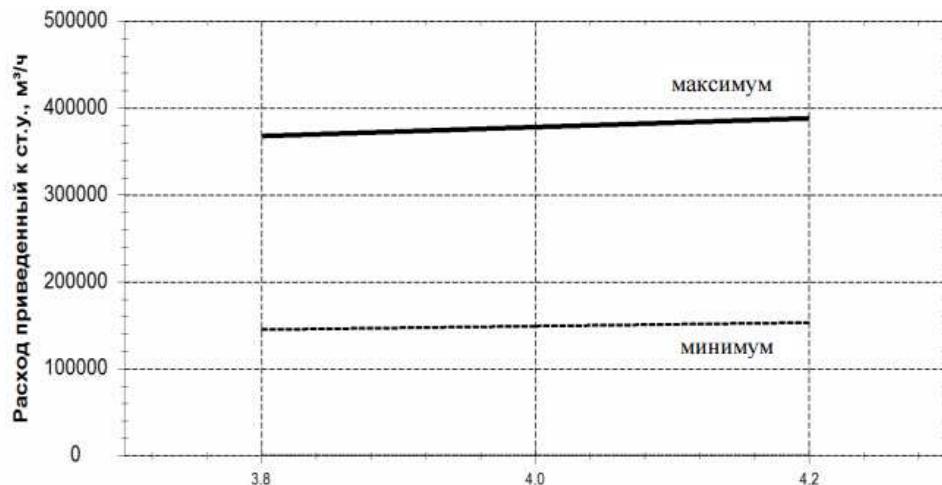


Рисунок 14 - Диапазон рабочих нагрузок сепарационной секции модернизированного абсорбера.

Ресурс внутренних устройств кроме фильтр-патронов до 10 лет. Срок эксплуатации внутренних устройств до ремонта составляет 2 года. Целесообразность проведения ремонтных работ либо замены фильтрующих элементов определяются износом внутренних устройств в процессе эксплуатации, при этом степень износа оценивается при техническом освидетельствовании.

Анализ эффективности работы сепарационных устройств заключается в сравнении проектных и вновь монтируемых внутренних устройств по следующим критериям:

- тем набора уровня отсепарированной жидкости в аппарате при закрытой запорной арматуре на дренажной линии;

- унос капельной жидкости из аппарата;
- технико-эксплуатационные характеристики;

С целью определения количества жидкости накапливающейся в кубовой части абсорбера на линии выхода жидкости из кубовой части асборбера был закрыт отсечной кран.

В результате были получены следующие данные. За период с 12:00 до 14:00 06.09.14 уровень кубовой части аппарата увеличился $h = 110$ мм.

Проведем расчеты основанные на методиках «Инжехим». Переведем на объем по формуле

$$V_{\text{общ}} = S \cdot h, \quad (92)$$

где S – площадь сечения абсорбера, м^2 ;
 h – уровень кубовой части аппарата, мм;

Таким образом, подставим известные значения и переведем на объем по формуле (92)

$$V_{\text{общ}} = 3,799 \cdot 0,11 = 0,417 \text{ м}^3.$$

Вычислим объемный расход жидкости отсепарированной за час по формуле

$$V_{\text{ж.час}} = \frac{V_{\text{общ}}}{t}, \quad (93)$$

где $V_{\text{общ}}$ – то же, что и в формуле (92);
 t – время эксперимента;

Определим объемный расход жидкости по формуле (93)

$$V_{\text{ж.час}} = \frac{0,417}{2} = 0,2085 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Массовый расход жидкости определим по форме

$$Q_{\text{ж.час}} = V_{\text{ж.час}} \cdot \rho, \quad (94)$$

где $V_{\text{ж.общ}}$ – то же, что и в формуле (93);
 ρ – плотность кубовой жидкости, $\text{кг}/\text{м}^3$;

Произведем расчет по формуле (94)

$$Q_{ж.час} = 0,2085 \cdot 855 = 178 \text{ кг/ч.}$$

Определим количество жидкости отсепарированной из 1 м³ газа по формуле

$$e = \frac{Q_{ж.час}}{Q_{г.час}} , \quad (95)$$

где $Q_{ж.час}$ – то же, что и в формуле (94);
 $Q_{г.час}$ – расход газа поступающего в абсорбер, кг/ч;

Таким образом, подставим известные значения и переведем расчет формуле (95)

$$e = \frac{178}{210000} = 0,847 \text{ г/м}^3,$$

После замены штатных внутренних устройств абсорбера отмечено:

- увеличение объемов сепарируемой жидкости в кубовой части аппарата;
- снижение уноса капельной жидкоти из аппарата;
- так же, стоит отметить, что проведенная работа по модернизации позволила улучить работу не только 28 системы, но и значительно увеличить КПД 29 системы Ванкросского месторождения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Газовая промышленность является одним из важнейших элементов экономики страны, и в этой связи стремительно набирает обороты в своем развитии как самостоятельная отрасль. Это обусловлено многими факторами, такими как высокая экологичность и энергоемкость добываемого сырья, повышение КПД агрегатов и сокращении расхода топлива. По выводам многих аналитиков и ученых, темпы развития газовой отрасли в России будут только расти, предпосылки и база для существенного наращивания ресурсов газа в стране имеются.

В этой связи необходимо особое внимание уделять оборудованию, эксплуатируемому на объектах добычи, компримирования и подготовки газа. Современный рынок специализированных машин и аппаратов полагает тенденции роста и развития по данному вопросу. Как уже было отмечено, одну из ключевых позиций занимают процессы по осушке продукта. Любые колебания технологических влияют на осушку газа, а также на состояние оборудования и дальнейшую транспортировку потребителю. Поэтому поддержание оптимального температурного режима на всех этапах является основной и целесообразной задачей для любой газовой компании.

В данной работе были рассмотрены колонны абсорбера, предназначенные для осушки продукта в классических схемах подготовки и компримирования. По итогам проведенного анализа компетентных источников, было установлено, что в последнее время интенсификации т процессов осушки газа посвящено немало научных трудов, исследований, статей и т.п., однако специализированных учебных пособий не достаточно много. Актуальность проведения этих исследований обусловлена необходимостью повышения энергоэффективности и увеличению показателей работы оборудования.

В работе рассмотрены основные конструкции абсорбера, которые в широком ассортименте представлены на рынке колонного оборудования отечественными поставщиками. Также проанализированы достоинства и недостатки эксплуатации данных аппаратов и установлено, что в своем сегменте они занимают далеко не последние позиции, обеспечивая качественные и количественные показатели. Проведенный патентный поиск показал, что в последние пять лет регистрируются изобретения, направленные на модернизацию аппаратов абсорбционной осушки. Основные преобразования связаны с общей модернизацией конструкции, сепарационных секций, позволяющих увеличить эффективность работы. При этом решаются задачи по оптимизации работы оборудования; основные преимущества представленных технических решений заключаются в повышенной эксплуатационной надежности, в сниженном энергопотреблении и увеличении качества

осушаемого газа.

В бакалаврской работе была проведена оценка работы абсорбера и получены выводы о том, что данные аппараты не справляются со своим прямым назначением, за счет чего возникает явление недостижения проектной степени осушки. Рассмотрев возможности дополнительной интенсификации абсорбционных процессов, была рассмотрена модернизация аппарата «Инжехим». Ее преимущества в существенном повышении степени осушки в сепарационной секции аппарата, сравнительно небольшом капиталовложении при монтаже и вводе в эксплуатацию, возможности сезонного применения и регулирования.

Таким образом, мы приходим к выводу, что интенсификация абсорбционных процессов приводит к повышению качества осушаемого газа и положительным образом оказывается на дальнейших этапах подготовки газа.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Процессы и аппараты нефтегазопереработки и нефтехимии : учебник / А.И. Скобло, Ю.К. Молоканов, А.И. Владимиров, В.А. Щелкунов – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : ООО «Недра-Бизнесцентр», 2000. – 677 с.
- 2 Рахмилевич, З.З. Справочник механика химических и нефтехимических производств : справ. пособие / З.З. Рахмилевич, И.М. Радзин, С.А. Фарамазов. – Москва : Химия, 1985. – 582 с.
- 3 Волков, М.М. Справочник работника газовой промышленности :справ. пособие / М.М. Волков, А.Л. Михеев, К.А. Конев – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Недра, 1989. – 286 с.
- 4 Пономарев, С.В. Единая система газоснабжения России / С.В. Медведев // Российской предпринимательство. – 2002. – № 1. – С. 13-18.
- 5 Январев, И.А. Комбинированный способ регулирования температурных режимов модульной установки абсорбционной колонны / И.А. Январев // Омский научный вестник. – 2014. – № 2. – С. 161-166.
- 6 Артюхов, И.И. Ресурсосберегающая технология охлаждения газа на компрессорных станциях / И.И. Артюхов, И.И. Аршакян, Р.Ш. Тарисов, А.А. Тримбач // Вестн. Саратов. гос. техн. ун-та. Сер. 1. Машиностроение. – 2011. № 3с. – С.25-32.
- 7 ГОСТ 28759.4–90 Фланцы сосудов и аппаратов стальные приварные встык под прокладку восьмиугольного сечения. – Введ. 01.01.1992. – Москва : Госстандарт, 1991. – 3 с.
- 8 ГОСТ 18431–73 Втулки кондукторные сменные. Конструкция и размеры – Введ. 01.07.1974. – Москва : Госстандарт, 1984. – 29 с.
- 9 АТК Заглушки поворотные стальные для фланцев арматуры. Конструкция, размеры и технические требования. – Введ. 01.07.1993. – Москва ИПК Изд-во стандартов, 1994. – 66 с.
- 10 ГОСТ 9617–76 Межгосударственный стандарт. Сосуды и аппараты. Ряды диаметров. – Введ. 01.01.1978. – Москва : Госстандарт, 1987. – 2 с.
- 11 АТК 24.200.04–90 Опоры цилиндрические и конические вертикальных аппаратов. Типы и основные размеры. – Введ. 28.06.1984. – Москва : Госстандарт, 1984. – 17 с.
- 12 ОСТ 26–11–04–84 Сосуды и аппараты стальные. Допускаемые напряжения – Введ. 31.12.1999. – Москва : Госстандарт, 2017. – 44 с..
- 13 АКТ 24.200.02–90 Заглушки фланцевые стальные. Конструкция, размеры и технические требования – Введ. 01.01.1991. – Москва : Госстандарт, 2017. – 78 с.
- 14 Технологический регламен комплекса установок и подготовки газа и конденсата Ванкорского месторождения. ЦПС. – Введ. 15.05.2016. –

Красноярск: ООО «РН-Банкор», 2016. – 13 .

15 ГОСТ 4543–71 Прокат из легированной конструкционной стали. – Введ. 01.01.1973. – Москва : ИПК издательство стандартов, 1974. – 51 с.

16 ГОСТ 9066–75 Шпильки для фланцевых соединений с температурой среды от 0 до 650 градусов. – Введ. 28.04.1975. – Москва : Стандартинформ, 1976. – 136 с.

17 ГОСТ Р 52857.4–2007 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. – Введ. 27.12.2007. – Москва : Стандартинформ, 2008. – 75 с.

18 РД 26–15–88 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность и герметичность фланцевых соединений. – Введ. 01.04.2008 – Москва НИИХиммаш, 2017. – 34 с.

19 ГОСТ 14249–89 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. – Введ. 18.05.1989. – Москва : ИПК издательство стандартов, 1989. – 195 с.

20 ГОСТ 6533–78 Днища эллиптические отбортованные стальные для сосудов, аппаратов и котлов. – Введ. 28.06.1984. – Москва : Госстандарт, 1984. – 6 с.

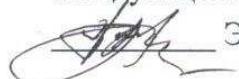
21 ОСТ 26–11–04–84 Сосуды и аппараты стальные. Допускаемые напряжения – Введ. 31.12.1999. – Москва : Госстандарт, 2017. – 44 с..

22 АКТ 24.200.02–90 Заглушки фланцевые стальные. Конструкция, размеры и технические требования – Введ. 01.01.1991. – Москва : Госстандарт, 2017. – 78 с.

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт нефти и газа
Кафедра Технологические машины и оборудования нефтегазового комплекса

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой

 Э.А. Петровский

« 06 » июня 2017 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

направление 21.03.01 «Нефтегазовое дело»
профиль 21.03.01.07 «Эксплуатация и обслуживание технологических
объектов нефтегазового производства»

**Модернизация конструкции распределительного устройства в абсорбере
для осушки попутного нефтяного газа на нефтедобывающем
предприятии**

Руководитель

 к.т.н., доцент

Е.А. Соловьев

Выпускник

 А.С. Хабаров

Красноярск 2017