

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт природных ресурсов
Направление подготовки 18.03.01 «Химическая технология»
Кафедра химической технологии топлива и химической кибернетики

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы	
Исследование процесса подготовки природного газа по технологии низкотемпературной сепарации	

УДК 662.767

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д2В	Сизова Евгения Николаевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Долганов Игорь Михайлович	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры менеджмента	Рыжакина Татьяна Гавриловна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор кафедры ЭБЖ	Ахмеджанов Рафик Равильевич	д.б.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ХТТ и ХК	Юрьев Егор Михайлович	к.т.н.		

Томск – 2016 г.

Планируемые результаты обучения

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Применять базовые и специальные, математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания в профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ПК-1,2,3,19,20), Критерий 5 АИОР (п.1.1), CDIO (п. 1.1, 4.1, 4.3, 4.8)
P2	Применять знания в области современных химических технологий для решения производственных задач	Требования ФГОС (ПК-7,11,17,18, ОК-8), Критерий 5 АИОР (пп.1.1,1.2), CDIO (п. 1.1, 3.2, 4.2, 4.3, 4.5, 4.6)
P3	Ставить и решать задачи производственного анализа, связанные с созданием и переработкой материалов с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии	Требования ФГОС (ПК-1,5,8,9, ОК-2,3), Критерий 5 АИОР (пп.1.2), CDIO (1.2, 2.1, 4.5)
P4	Разрабатывать новые технологические процессы, проектировать и использовать новое оборудование химической технологии, проектировать объекты химической технологии в контексте предприятия, общества и окружающей среды	Требования ФГОС (ПК-11,26,27,28), Критерий 5 АИОР (п.1.3) CDIO (п.1.3, 4.4, 4.7)
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области современных химических технологий	Требования ФГОС (ПК-4,21,22,23,24,25, ОК-4,6), Критерий 5 АИОР (п.1.4), CDIO (п. 2.2)
P6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современное высокотехнологичное оборудование, обеспечивать его высокую эффективность, выводить на рынок новые материалы , соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на химико-технологическом производстве, выполнять требования по защите окружающей среды.	Требования ФГОС (ПК-6,10,12,13,14,15, ОК-6,13,15), Критерий 5 АИОР (п.1.5) CDIO (п. 4.1, 4.7, 4.8, 3.1, 4.6)
<i>Общекультурные компетенции</i>		
P7	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-5,9,10,11), Критерий 5 АИОР (пп.2.4,2.5), CDIO (п. 2.5)
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1,2,7,8,12), Критерий 5 АИОР (2.6), CDIO (п. 2.4)
P9	Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-14), Критерий 5 АИОР (п.2.2), CDIO (п. 3.2, 3.3)
P10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать лидерство в инженерной деятельности и инженерном предпринимательстве , ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.	Требования ФГОС (ОК-3,4), Критерий 5 АИОР (пп.1.6, 2.3) CDIO (п. 4.7, 4.8, 3.1)

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	1 Литературный обзор 1.1 Современные технологии подготовки и разделения углеводородного газа и газового конденсата 1.2 Требования к подготовленному природному углеводородному газу 1.3 Программные продукты 2 Объект и методы исследования 2.1 Технологическая схема низкотемпературной сепарации газа и газового конденсата 2.2 Физико-химические процессы подготовки газа (сепарация, теплопередача, дросселирование) 2.3 Математические модели аппаратов химико-технологической системы низкотемпературной сепарации газа 3 Экспериментальная часть. Разработка нестационарной математической модели процесса низкотемпературной сепарации газа 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 5 Социальная ответственность Заключение Список использованной литературы
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Технологическая схема процесса низкотемпературной сепарации, чертеж сепаратора, аналитические графики по данным, графики по модели
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	доцент кафедры менеджмента, к.э.н., Рыжакина Татьяна Гавриловна
«Социальная ответственность»	профессор кафедры ЭБЖ, д.б.н., Ахмеджанов Рафик Равильевич
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	10.02.2016
--	-------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Долганов Игорь Михайлович	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д2В	Сизова Евгения Николаевна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
2Д2В	Сизовой Евгении Николаевне

Институт	Кафедра	ХТТ и ХК
Уровень образования	Направление/ специальность	«Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов»
Бакалавриат		

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; анкетирование; опрос
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта
2. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий
3. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Разработка графика проведения научного исследования. Определение бюджета научно – технического исследования (НТИ)
4. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Проведение оценки экономической эффективности исследования компьютерно-моделирующих программ процессов глубокой переработки нефтяного сырья

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Альтернативы проведения НИ
4. График проведения и бюджет НИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ
6. Сравнительная эффективность разработки

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Рыжакина Т.Г.	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д2В	Сизова Евгения Николаевна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2Д2В	Сизовой Евгении Николаевне

Институт	ИПР	Кафедра	ХТТ и ХК
Уровень образования	бакалавр	Направление/специальность	«Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования – технология низкотемпературной сепарации газа Рабочая зона – компьютерный класс, технологическая зона Область применения – нефтегазовая промышленность
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты; – (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).	1.1. Выявление вредных факторов в компьютерном классе и технологической зоне (при разработке и эксплуатации научного исследования): - вредные вещества (метан, этан, пропан, бутан, пентан, азот, окись углерода, двуокись углерода, оксиды азота, метанол); - освещение, производственный шум, вибрация; - физико-химическая природа вредности веществ и их связь с разрабатываемой темой; 1.2. Выявление опасных факторов при разработке и эксплуатации научного исследования: - микроклиматические условия - электробезопасность (токоведущие части электрооборудования); - вентиляция (способы вентиляции в научно-исследовательской лаборатории); - молниезащита производственных зданий и сооружений (при работе с электрооборудованием необходимо заземление); - пожаровзрывобезопасность
2. Экологическая безопасность: – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);	- вредные вещества (метан, этан, пропан, бутан, пентан, азот, окись углерода, двуокись углерода, оксиды

– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.	<i>азота, метанол), которые выделяются или используются вовремя производства;</i> <i>- химическое загрязнение водотоков в результате удаления неорганических и органических отходов в канализационную сеть;</i> <i>- выброс пожароопасных веществ в атмосферу в результате повышения температуры в аппаратах выше регламентного;</i> <i>- отходы;</i> <i>- разработаны решения по обеспечению экологической безопасности</i>
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.	<i>- перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения-пожар, взрыв, разрушения зданий в результате разрядов атмосферного электричества, ураган, землетрясения;</i> <i>- разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий:</i> <i>1. использование огнетушителя, песка, асбестового одеяла</i> <i>2. в случае стихийных бедствий отключение воды и электричества</i> <i>3. организационная эвакуация работающих;</i>
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	<i>- "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 31.12.2014)</i> <i>-организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны: технический перерыв, проветривание, полная изоляция от производственных источников шума и вибрации.</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры ЭБЖ ИНК	Ахмеджанов Р.Р.	д.б.н., профессор		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д2В	Сизова Евгения Николаевна		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 83 стр., 18 рис., 13 табл., 55 источников литературы, 4 прил.

Ключевые слова: НИЗКОТЕМПЕРАТУРНАЯ СЕПАРАЦИЯ, ПРИРОДНЫЙ ГАЗ, МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, ДИНАМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ, ИМИТАЦИОННАЯ ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ.

Объектом исследования является технология низкотемпературной сепарации газа.

Цель работы – повышение эффективности работы установки низкотемпературной сепарации газа с применением имитационной динамической модели.

В работе выполнен анализ основных процессов и факторов, влияющих на работу установки низкотемпературной сепарации. На основе существующих математических моделей основных физических процессах, протекающих в аппаратах, был предложен комплексный математический аппарат, способный описывать данный процесс.

Основной метод, применяемый в работе – метод математического моделирования. Модель объекта строилась с учетом физико-химических закономерностей протекания процесса.

Областью применения модели является нефтегазовая промышленность.

Дипломная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Office Word 2007.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

Нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 5542-14. Газы горючие природные для промышленного и коммунально-бытового назначения. Технические условия [Текст]. – введ.01.07.2015. – М.: Издательство стандартов, 2014. – 11 с.

ГОСТ Р 22.0.01-94. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Основные положения [Текст]. - введ. 01.01.1995.- М.: Издательство стандартов, 1994. – 11 с.

Обозначения и сокращения

НТС – низкотемпературная сепарация;

НТК – низкотемпературная конденсация;

ТТР – температура точки росы;

СТО – стандарт организации;

ГОСТ – государственный стандарт;

ГПП – газы горючие природные;

УДСК – установка деэтанзации и стабилизации конденсата;

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	13
1 Обзор литературы	14
1.1 Современные технологии подготовки и разделения углеводородного газа и газового конденсата	14
1.2 Требования к подготовленному природному углеводородному газу	20
1.3 Программные продукты	21
2 Объект и методы исследования	23
2.1 Технологическая схема низкотемпературной сепарации газа и газового конденсата	23
2.2 Физико-химические процессы подготовки газа	25
2.3 Математические модели аппаратов химико-технологической системы низкотемпературной сепарации газа	29
3 Экспериментальная часть	33
3.1 Разработка имитационной динамической модели	33
3.2 Моделирование процесса низкотемпературной сепарации	35
3.2.1 Изменение основных технологических параметров в аппаратах перед сепаратором третьей ступени	38
3.2.2 Изменение основных технологических параметров в аппаратах после сепаратора третьей ступени	41
3.3 Проектирование газосепаратора первой ступени процесса низкотемпературной сепарации	48
3.3.1 Технологический расчет газового сепаратора	48
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	52
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований	52
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	52
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	53
4.1.3 SWOT-анализ	53
4.2 Планирование научно-исследовательских работ	54
4.2.1 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования	54
4.2.2 План проекта	54
4.2.3 Бюджет научно-технического исследования	55

4.3	Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	60
4.3.1	Оценка сравнительной эффективности исследования	60
5	Социальная ответственность	62
5.1	Производственная безопасность	62
5.1.1	Анализ вредных воздействий при работе на персональном компьютере	62
5.2	Охрана окружающей среды	70
5.3	Безопасность в чрезвычайных ситуациях (техногенного, природного, социального характера)	71
5.3.1	Пожарная и взрывная безопасность	71
5.3.2	Безопасность при чрезвычайных антропогенных и природных ситуациях	73
5.4	Правовые вопросы обеспечения безопасности	74
	Заключение	76
	Список используемых источников	77
	Список публикаций	83
	Приложение А	84
	Приложение Б	86
	Приложение В	87
	Приложение Г	90

ВВЕДЕНИЕ

Газопереработка - одна из самых молодых отраслей промышленности, бурное развитие которой началось во второй половине XX-ого столетия.

Объем мировой торговли газом составляет около 390 млрд. куб.м. Основные запасы сконцентрированы в 12 странах (76%). Примерно половину разведанных запасов газа приходится на Россию (34,4%) и Иран (14%) [1]. Крупные запасы природного газа находятся в Катаре, ОАЭ, Алжире, Саудовской Аравии и США.

Россия по запасам природного газа и по объемам его добычи продолжает удерживать лидирующую позицию в мире. Страна была и продолжает оставаться крупнейшим в мире экспортером природного газа (200 млрд м³ в год). Из этого экспорта меньшая часть (26–27 %) направляется в страны ближнего зарубежья, а большая часть (73–74 %) идет в страны дальнего зарубежья, прежде всего европейские [2].

Природный газ может стать главным решением глобальной проблемы для дальнейшего существования цивилизации, который обеспечивает стабильное энергообеспечение мира.

Сегодня в технологии промышленной подготовки природного газа зарекомендовал себя процесс низкотемпературной сепарации, основанный на извлечении жидких углеводородов из газов путем однократной конденсации при пониженных температурах от минус 10 до минус 25°С с газогидромеханическим разделением равновесных газовой и жидкой фаз.

Процесс используется для повышения качества подготовки газа к транспорту, для обеспечения эффективной и надежной работы установок подготовки и переработки газа, поэтому рассматриваемая тема – низкотемпературная сепарация газа, является актуальной при подготовке газа к дальнейшей транспортировке.

Целью данной работы является моделирование работы сепаратора газа и газового конденсата в динамическом режиме. Расчет показателей качества полученного продукта.

1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Современные технологии подготовки и разделения углеводородного газа и газового конденсата

Существуют гипотезы биогенного [3] и абиогенного [3,4] происхождения природного газа.

Наличие паров воды в углеводородных газах связано с контактом газа и воды в пластовых условиях, а также с условиями их последующей обработки [5].

Как известно, условиями образования газогидрата являются, во-первых, наличие гидратообразователя, каковым является природный газ содержащий, влагу; во-вторых, низкая температура и высокое давление газа [6,7].

Количество водяных паров в объема газа не должно превышать предельной (максимальной) величины, при заданных значениях параметров. Большое количество содержащихся в газе водяных паров, будут конденсироваться, если снизить температуру газа. Температура, при которой начинается конденсация водяных паров, которые содержит газ, называется точкой росы. Из этого следует, что точка росы соответствует предельному содержанию в газе водяных паров при данном давлении.

В газопроводах наличие воды может приводить к образованию гидратов. Кроме этого, может появиться обычный лед в магистрали. Это способно повлечь образование в трубах пробок, препятствуя движению газового потока. Так же в условиях, когда образуются гидраты, нарушается нормальная работа регулирующих клапанов, ответственных за поддержание должного давления.

Появление гидратов в аппаратах и трубопроводах, где движется влажный газ, возможно при определенных сочетаниях давлений и температур и так же при наличии свободной воды.

При более низких давлениях образуются гидраты более тяжелых углеводородов, чем метан. Чем ниже критическая температура существования гидрата, тем больше молекулярная масса углеводорода. И при более низких давлениях, плотность газа больше.

Для удаленного потребителя стоимость природного газа в десятки раз превышает себестоимость его добычи. Поэтому трубопроводная транспортировка природного газа на расстояние свыше 5 тыс. км считается экономически нерентабельной [8].

При обработке газа определяют сначала состав сырья, требуемую глубину осушки, степень извлечения компонентов и выбирают технологию, по которой будут проводить данный процесс. Адсорбционные и абсорбционные процессы используют при осушки «тощих» газов.

При наличии в газе конденсата его переработка осуществляется с применением низкотемпературных процессов. При этом на стадии охлаждения происходит конденсация водяных паров за счет снижения равновесной влагоемкости газа [9].

Основные технологии, применяемые при подготовке газа и газового конденсата, рассмотрены ниже.

Для осушки газа используют следующие основные способы:

- адсорбционная осушка;
- абсорбционная осушка;
- низкотемпературная сепарация;
- низкотемпературная конденсация;

Адсорбционная осушка газа

На рисунке 1.1 показана схема установки адсорбционной осушки газа.

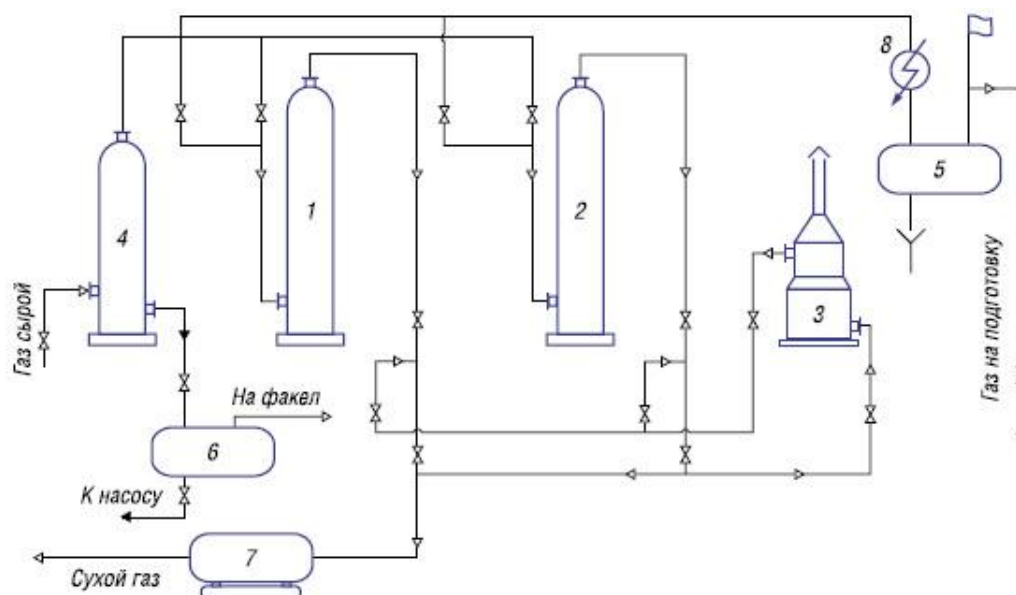


Рисунок 1.1 – Схема установки абсорбционной осушки газа

1,2 – адсорберы; 3 - подогреватель; 4 – сепаратор; 5, 6 – емкости; 7 – фильтр; 8 – холодильник;

Устройство и работа:

Со сборного пункта сырой газ направляют во входной сепаратор 4, в котором отделяется жидкая фаза, далее влажный газ направляется в адсорбер 1. В нем он проходит через слой адсорбента – твердого вещества, который поглощает пары воды, снизу вверх. Затем пройдя через фильтр 7, осушенный газ подается потребителю или поступает в магистральный газопровод.

Осушки газа проводится в течение определенного времени (12-16 ч). Далее влажный газ пропускают через адсорбер 2, а адсорбер 1 выключают и отводят на регенерацию. Сухой газ отбирается из газовой сети и направляется в подогреватель 3, в котором он нагревается до температуры 180 – 200°C. После этого газ поступает в адсорбер 1, для отбора влаги от адсорбента и далее поступает в холодильник 8.

Вода, которая сконденсировалась, собирается в емкости 5, а газ используется для осушки повторно. Регенерация адсорбента протекает 6-7 ч. После этого адсорбер остывает около 8 ч.

В качестве адсорбентов наибольшее распространение нашли активированные угли и синтетические цеолиты [10].

При адсорбционной технологии типичная степень извлечения из природного газа бутана и высших – 99%, пропана – 65-75%, этана – 15-25%. [11].

Абсорбционная осушка газа

Принципиальная схема установки абсорбционной осушки газа представлена на рисунке 1.2

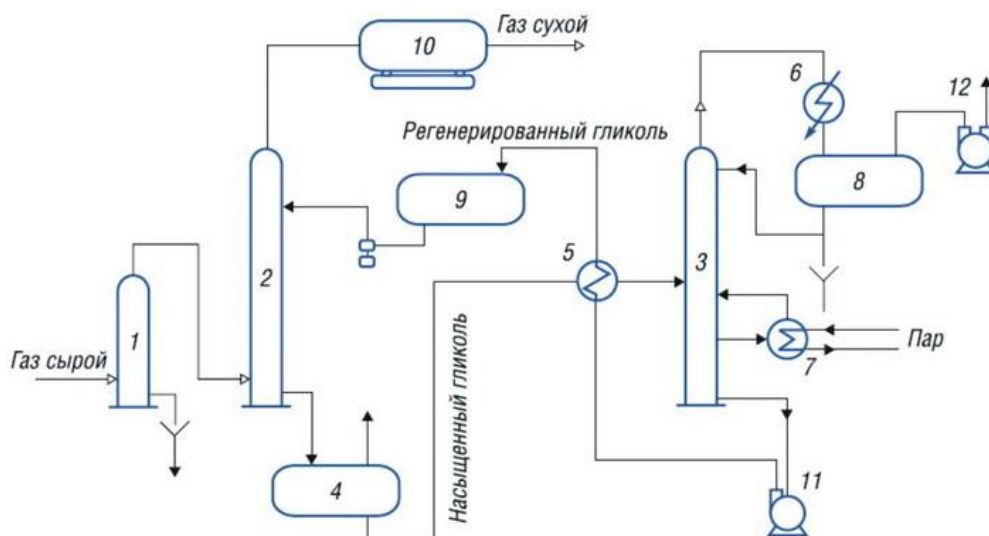


Рисунок 1.2 – Схема установки абсорбционной осушки газа

1 – сепаратор; 2 – абсорбер; 3 – колонна регенерации; 4, 8, 9 - емкости; 5, 6, 7 – теплообменники; 10 – фильтр; 11, 12 – насосы;

Устройство и работа:

Со сборного пункта сырой газ направляется во входной (первичный) сепаратор 1. В нем отделяется жидкая фаза и затем направляется в абсорбер 2, в котором он осушается, при помощи контакта с раствором концентрированного гликоля.

В данную схему входит колонна регенерации насыщенного гликоля 3, теплообменники 5, 6, 7, емкостное оборудование 4, 8, 9 и насосы 11, 12.

Осушенный газ проходит фильтр для улавливания мелкодисперсного гликоля 10, далее подается потребителю или поступает в магистральный газопровод.

Недостатками абсорбционной осушки газа являются унос абсорбента и относительная сложность его регенерации [12].

Низкотемпературная сепарация газа

Принципиальная схема установки низкотемпературной сепарации газа представлена на рисунке 1.3.

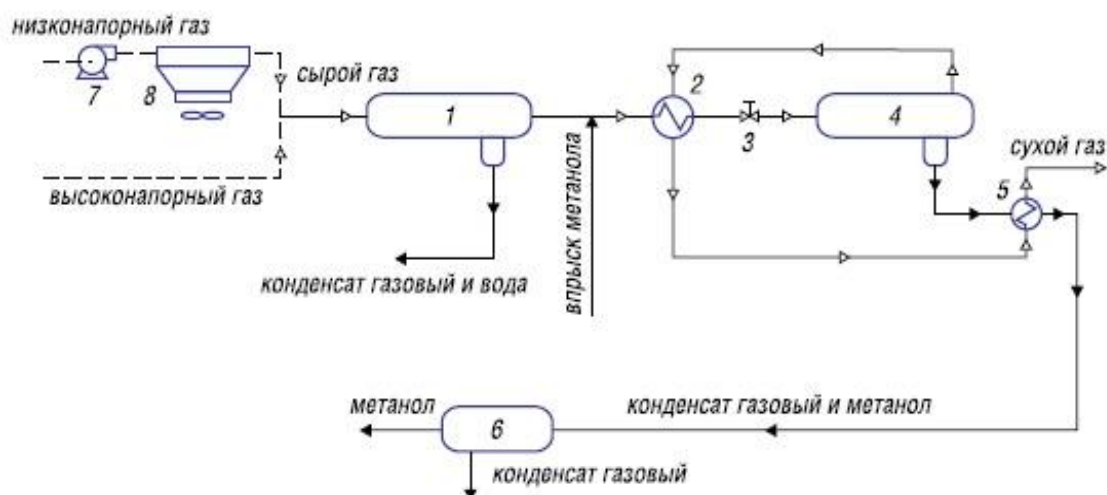


Рисунок 1.3 – Схема установки низкотемпературной сепарации газа

1, 4 – сепараторы; 2, 5 – теплообменник; 3 – дроссель; 6 – разделитель; 7 – насос; 8 – емкость;

Устройство и работа:

Со сборного пункта сырой газ направляют на первую ступень сепарации. В сепараторе 1 от газа отделяется нестабильный углеводородный конденсат и водная фаза. Затем отсепарированный газ направляется в теплообменник 2 для рекуперации холода сдросселированного газа и охлаждается на 10–15°C и более. Из теплообменника охлажденный газ подается на дроссель 3, вследствие эффекта Джоуля-Томсона его температура понижается на 10–20°C. После дроссельного устройства газ вместе с жидкой фазой, которая сконденсировалась, поступает в низкотемпературный сепаратор 4. В сепараторе от газа отделяется жидкая фаза (углеводородная и водная), а очищенный холодный газ проходит рекуперативный теплообменник 5 с «сырым» газом и поступает в газопровод в качестве товарного продукта.

Впрыск ингибитора гидратообразования предусматривается перед теплообменником 2 и перед дросселем в объеме, который необходим для эксплуатации технологического оборудования в безгидратном режиме.

Углеводородный конденсат и водная фаза поступают в разделитель 6, в котором углеводородный конденсат в некоторой степени дегазируется. Затем конденсат направляют на установку стабилизации или закачивают в нефтепровод. На установку регенерации подают отработанный водный раствор ингибитора.

Первым недостатком НТС является необходимость использовать опасные химические реагенты для предотвращения гидратообразования.

На практике из-за постоянного понижения свободного перепада давления, температура сепарации постепенно увеличивается, что является вторым недостатком.

Третьим недостатком является большие габаритные размеры и значительная масса, что крайне нежелательно при добыче газа на море [13].

Низкотемпературная конденсация газа

На рисунке 1.4 показана схема установки низкотемпературной конденсации.

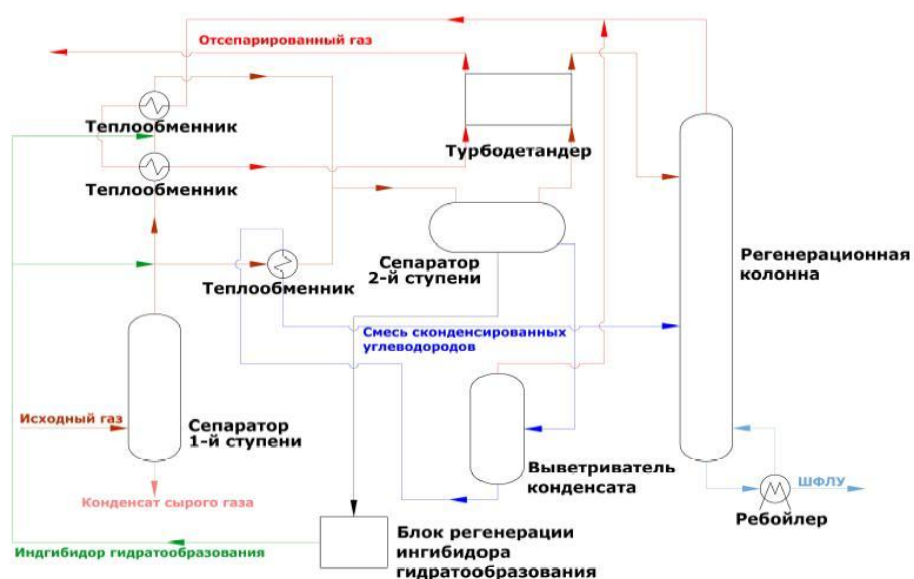


Рисунок 1.4 – Схема установки низкотемпературной конденсации газа

Устройство и работа:

Данный процесс проводится при более низких температурах, по сравнению с низкотемпературной сепарацией и дает возможность извлекать этан и более тяжелые углеводороды из газа.

Для создания искусственного холода в установках НТК чаще всего применяются турбодетандеры. В них энергия расширяющегося газа рекуперирована для создания холода.

Для большей мощности турбодетандера требуются еще большие расходы природного газа, которые характерны только для достаточно крупных тепловых электростанций и отопительных котельных [14].

Предварительно осушенный газ, охлаждается в рекуперативных теплообменниках. Далее направляется в сепаратор, в котором происходит разделение газа и сконденсированных углеводородов. После этого газ направляется на турбодетандер, а после него подается на колонну разделения. В эту же колонну с теплообменников поступает смесь сконденсированных углеводородов из сепаратора. Сконденсированные углеводороды от этана и выше отбирают внизу колонны. Дезэтанализированный газ отводится в теплообменники сверху колонны, далее направляется в турбодетандер, где сжимается за счет энергии расширяющегося газа из сепаратора и далее направляют потребителю. Полученную смесь углеводородов отправляют на газодифференцирующую установку, в которой отбирается этановая фракция и фракции более тяжелых углеводородов.

Наряду с дросселированием стали применять искусственное охлаждение. В результате стало возможным извлекать из газа 85-87 % этана, 99 % - пропана и 100 % всех остальных углеводородов [15].

1.2 Требования к подготовленному природному углеводородному газу

Требования регламентируются:

- ГОСТ 5542-14 «Газы горючие природные для промышленного и коммунально-бытового назначения. Технические условия»;

- СТО Газпром 089-2010 «Газы горючие природные, поставляемые и транспортируемые по магистральным газопроводам. Технические условия»;

В соответствии с техническими требованиями горючий природный газ должен соответствовать требованиям и нормам, указанным в таблице А 1 (прилож. А).

По физико-химическим показателям, в соответствии с техническими требованиями, горючий природный газ должен соответствовать требованиям и нормам, указанным в таблице А 2 (прилож. А).

1.3 Программные продукты

Разработка современных процессов переработки природного природного газа и эксплуатация действующих установок, невозможна без использования моделирующих программ, которые имеют высокую точность описания параметров данных процессов. Так же программы позволяют производить исследования этих процессов без огромных временных и материальных затрат.

Моделирующая система включает различные методы расчета термодинамических свойств, например как энтропии, энтальпии, плотности, коэффициента фазового равновесия, растворимости в жидкостях твердых веществ и газов.

Множество методов описаны в монографии [18]. При моделировании процессов переработки нефти и природного газа используются уравнения состояния Соава-Редлиха-Квонга [19] и Пенга-Робинсона [20] и их модификации. Вопросы применения этих уравнений состояния при моделировании термодинамических свойств газоконденсатных флюидов очень подробно описаны в монографии [21]. Данные методы дают возможность

решать большую часть технологических проблем, которые обнаруживаются при моделировании процессов газопереработки.

Nysys и Nysim.

Данные продукты позволяют делать статическое моделирование в основном всех основных процессов нефтехимии, нефтепереработки и газопереработки. Главный акцент делается на работу с использованием уравнением состояния Пенга-Робинсона.

Дополнительный пакет Nuprop позволяет эффективно обрабатывать экспериментальные данные по свойствам чистых компонентов и затем использовать полученные корреляции в расчетах [22].

Pro II и ProVision.

Эти широко известные программные продукты разработаны американской фирмой Simulation Sciences, Inc. Практически, в Pro II / ProVision заложены возможности моделирования почти всех химических и нефтехимических производств. Имеется возможность проведения гидравлических расчетов сепарационного оборудования, реакторов, насадочных и тарельчатых ректификационных колонн [23].

Среди Российских программ следует отметить разработку GIBBS.

GIBBS.

Этот моделирующий пакет разработан фирмой “Топэнергобизнес” в 1992 году. Пакет включает средства для моделирования процессов промышленной подготовки природных газов, включая обычные установки низкотемпературной сепарации и низкотемпературные детандерные заводы с частичным или полным фракционированием жидких углеводородов, процессы обработки газа с впрыском, сбором и регенерацией ингибиторов гидратообразования, промышленной и заводской подготовки и переработки газоконденсата и нефти, включая дезтанизацию, стабилизацию и фракционирование по топливному варианту, газофракционирование [24].

2 ОБЪКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Технологическая схема низкотемпературной сепарации газа и газового конденсата

Система подготовки газа основана на принципе низкотемпературной сепарации, которая используется для получения осушенного газа и стабильного конденсата в соответствии с техническими требованиями.

Низкая температура данного процесса достигается при использовании дроссельного клапана и тепловой рекуперации. Подготовленный газ подается в трубопровод, а конденсат направляется на дальнейшую подготовку и далее в резервуар для хранения.

Структурная схема основных потоков представлена на рисунке Б 1 (прилож. Б).

Сепаратор 1-ой ступени С-1

Газоконденсатную смесь направляют в сепаратор 1-ой ступени (С-1), где происходит отделение газа от жидкости и механических примесей под действием гравитации.

Для обеспечения безгидратных режимов работы в трубную часть сепаратора производится впрыск метанола.

Жидкая фаза из сепаратора С-1 поступает в разделитель жидкости РЖ-1 при температуре плюс 5 ÷ плюс 25 °С и давлением 4,0-5,6 МПа, а газ поступает в теплообменник Т-1.

Охлаждение газа 1-ой ступени (теплообменник Т-1)

Газ подается в двухсекционный теплообменник типа «газ-газ» Т-1, в котором охлаждается холодным обратным потоком осушенного газа до температуры минус 10 ÷ плюс 10 °С.

Охлажденная газоконденсатная смесь поступает в сепаратор второй ступени С-2 при давлении до 7,35 МПа.

Для обеспечения безгидратных режимов работы в трубную часть сепаратора производится впрыск метанола.

Сепаратор 2-ой ступени С-2

В сепаратор 2-ой ступени С-2 поступает охлаждённая газоконденсатная смесь из теплообменника Т-1. В сепараторе происходит отделение газа от жидкости под действием силы гравитации.

Газ поступает в теплообменник Т-2, а жидкая фаза направляется в разделитель жидкости РЖ-2.

2-я ступень охлаждения газа (теплообменник Т-2)

Газ из сепаратора 2-ой ступени (С-2) направляется во 2-ой теплообменник Т-2, в котором он охлаждается до температуры минус 15÷ минус 25 °С.

Для обеспечения безгидратных режимов работы предусмотрена подача метанола в трубное пространство сепаратора С-2. После теплообменника, где газ охлаждается до температуры минус 15÷ минус 25°С направляется на дроссельный клапан и после этого подается в сепаратор С-3.

Дроссельный клапан

Дроссельный клапан предназначен для снижения давление потока газа, при этом уменьшает температуру благодаря эффекту Джоуля-Томпсона. Газ охлаждается до температуры минус 25 ÷ минус 45°С и при давлением 7,1-7,7 МПа дросселируется до давления 3,7-5,5 МПа.

Подается метан-этановая фракция с УДСК.

Сепаратор 3-ей ступени С-3

После дроссельного клапана холодная газоконденсатная смесь направляется в низкотемпературный сепаратор С-3. В сепараторе происходит отделение газа от жидкости, при этом температура снижается до минус 25 ÷ минус 45°С и давление 3,7-5,5 МПа.

Для обеспечения безгидратных режимов работы в трубную часть сепаратора производится впрыск метанола.

Разделение жидкости

В разделителях жидкости происходит разделение жидкой фазы на метанольную воду и нестабильный конденсат.

Метанольная вода выводится в выветриватели газа. Углеводородный конденсат направляется на площадку переключающей арматуры УДСК.

2.2 Физико-химические процессы подготовки газа

Для описания процесса НТС необходимо учесть следующие процессы:

1. Сепарация
2. Теплообменное оборудование
3. Дросселирование

Сепарация

Основное допущение при моделирования процесса сепарации является достижение состояния фазового равновесия. Это позволяет использовать для системы законы фазового равновесия.

Расчет физико-химических свойств многокомпонентной газовой смеси

Для процесса сепарации необходимо определить значения констант фазового равновесия. Для этого используется уравнение состояния Пенга-Робинсона:

$$P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a\alpha}{V^2 - 2bV - b^2}, \quad (2.1)$$

где P - давление смеси, МПа;

R - универсальная газовая постоянная, Дж/(моль/К);

T - температура, К;

V - молярный объем, м³/кмоль;

a, b, α - параметры, рассчитываются по формулам ниже;

$$a = 0,45724 \frac{R^2 T_c^2}{P_c}, \quad (2.2)$$

$$b = 0,07780 \frac{RT_c}{P_c}, \quad (2.3)$$

$$\alpha = \left[1 + (0,37464 + 1,54226\omega - 0,26992\omega^2)(1 - \sqrt{T_r}) \right]^2, \quad (2.4)$$

где Tr – относительная температура (T/T_c);

P_c - относительное давление (P/P_c);

T_c - критическая температура, К;

P_c - критическое давление, МПа;

ω - ацентрический фактор.

Зная компонентный состав смеси, а также их индивидуальные свойства, можно по уравнению определить основные фазовые поведения системы природных углеводородов [25].

Теплообменное оборудование

Задача моделирования работы теплообменного оборудования сводится к решению уравнений теплового баланса. Основное уравнение теплопередачи имеет вид:

$$Q = K \cdot F \cdot \Delta t_{cp} \cdot \tau, \quad (2.5)$$

где Q - количество передаваемого тепла, КДж;

K - коэффициент теплопередачи, КДж/м²;

F - площадь контакта, м²;

Δt_{cp} - средняя температура потока;

τ - время контакта, с.

Для точного отображения процесса теплообмена, основная задача сводится к определению коэффициента теплопередачи K . Коэффициент учитывает конструкцию теплообменника, режим течения среды, изменение агрегатного состояния (конденсация), загрязнённость стенок и т.д.

Коэффициент теплопередачи определяется по уравнению 2.6:

$$K = \left(\sum \frac{1}{\alpha} + \sum \delta / \lambda \right)^{-1}, \quad (2.6)$$

где $\sum \delta / \lambda$ – сумма термических сопротивлений стенки пластин и загрязнений, м² К/Вт, рассчитывается как:

$$\sum \delta / \lambda = \frac{\delta_{пл}}{\lambda_{сталь}} + \sum \frac{1}{r_{загр}}, \quad (2.7)$$

где $\lambda_{\text{сталь}}$ – теплопроводность стали, из которой выполнены пластины теплообменника, Вт/(м·К);

$r_{\text{загр}}$ – тепловая проводимость загрязнений стенок, Вт/м²·К (табл).

Расчет режима работы кожухотрубчатого теплообменника без изменения агрегатного состояния теплоносителей следующий:

Нужно рассчитать критерий Рейнольдса для теплоносителя в трубном и межтрубном пространстве. В трубном пространстве расчет имеет вид:

$$\text{Re}_{\text{труб}} = \frac{4G}{\pi d \left(\frac{n}{z} \right) \mu}, \quad (2.8)$$

где μ – вязкость теплоносителя, Па·с.

Критерий Рейнольдса при движении теплоносителя в межтрубном пространстве рассчитывается как:

$$\text{Re}_{\text{межтруб}} = \frac{d_n G}{S \mu}, \quad (2.9)$$

где S – площадь сечения потока в межтрубном пространстве между перегородками, м².

Далее, исходя из режима течения, можно рассчитать α :

Коэффициент теплоотдачи при движении теплоносителя в трубном пространстве:

При развитом турбулентном движении ($\text{Re} > 10000$) по уравнению:

$$\alpha_{\text{труб}}^{\text{Re} > 10000} = 0,023 \cdot \text{Re}^{0,8} \cdot \text{Pr}^{0,4} \cdot (\text{Pr} / \text{Pr}_{\text{ст}})^{0,25}, \quad (2.10)$$

где Pr – критерий Прандтля при температуре теплоносителя, определяется по уравнению:

$$\text{Pr} = \frac{\mu \cdot C_p}{\lambda}, \quad (2.11)$$

где λ – теплопроводность теплоносителя, Вт/м·К;

C_p – теплоемкость смеси, Дж/К;

$\text{Pr}_{\text{ст}}$ – критерий Прандтля при температуре стенки.

Коэффициент теплоотдачи при движении теплоносителя в межтрубном пространстве кожухотрубчатых теплообменников рассчитывается как:

При $\text{Re} > 10000$ по уравнению:

$$\alpha_{\text{межтруб}}^{\text{Re}>10000} = 0,24 \cdot \text{Re}^{0,6} \cdot \text{Pr}^{0,36} \cdot (\text{Pr} / \text{Pr}_{\text{ст}})^{0,25}, \quad (2.12)$$

При $\text{Re} < 10000$ по уравнению:

$$\alpha_{\text{межтруб}}^{\text{Re}<10000} = 0,34 \cdot \text{Re}^{0,5} \cdot \text{Pr}^{0,36} \cdot (\text{Pr} / \text{Pr}_{\text{ст}})^{0,25}, \quad (2.13)$$

Дросселирование

Сегодня в современной технике значимую роль занимает процесс дросселирования, в котором газ при постоянном давлении P_1 занимает объем V_1 , выходит из сосуда и далее переходит в сосуд с объемом V_2 при постоянном давлении P_2 . Данный процесс также получил название процесса Джоуля – Томсона.

Процесс дросселирования является одним из основных методов получения низких температур [26]. Дросселирование осуществляется путем медленного продавливания газа из одного сосуда в другой через систему тонких капилляров.

Так как к системе не подводится тепло, то изменение внутренней энергии газа ΔE равно механической работе, производимой над газом:

$$\Delta E = E_2 - E_1 = W \quad (2.14)$$

E_2 - энергия газа в конечном состоянии;

E_1 - энергия газа в начальном состоянии;

$$W = - \left(\int_{V_1}^0 P_1 dV + \int_0^{V_2} P_2 dV \right) = - (P_2 V_2 - P_1 V_1) \quad (2.15)$$

Для процесса дросселирования:

$$E_1 + P_1 V_1 = E_2 + P_2 V_2 \quad (2.16)$$

$$H_1 = H_2 \quad (2.17)$$

Таким образом, данный процесс протекает при постоянной энтальпии газа.

При дросселировании идеального газа не происходит изменения его температуры, т.к. внутренняя энергия идеального газа не зависит от объема и не изменяется при его расширении.

Коэффициент Джоуля – Томсона

Изменение температуры при снижении давления на 0,1 МПа называется коэффициентом Джоуля –Томсона. Этот коэффициент изменяется в широких пределах и может иметь положительный или отрицательный знак [27].

Интегральный дроссель-эффект

Изменение температуры газа в процессе изохалатпийного расширения при значительном перепаде давления на дросселе называется интегральным дроссель-эффектом. Это изменение можно определить по соотношению (2.18):

$$T_1 - T_2 = \int_{p_2}^{p_1} D_i dp \quad (2.18)$$

Интегральный коэффициент Джоуля-Томсона для природного газа изменяется от 2 до 4 К/МПа и зависит от состава газа, начальной температуры газа и давления.

2.3 Математические модели аппаратов химико-технологической системы низкотемпературной сепарации газа.

Описание математической модели *кожухотрубчатого теплообменника*, традиционно используемого в технологии низкотемпературной сепарации газа сводится к составлению уравнений теплового баланса с учетом процесса теплопередачи через стенку другому теплоносителю при известных габаритных размерах аппаратов и свойств используемых материалов и сред [28]. Основное уравнение теплопередачи, используемое для построения математической модели, выглядит следующим образом:

$$Q = K \cdot F \cdot \Delta T_{cp} \cdot \tau, \quad (2.19)$$

где K – коэффициент теплопередачи, Вт/(м²К); F – поверхность теплообмена, м²; ΔT_{cp} – средний температурный напор, К; τ – время контакта, с.

Для математического описания процесса теплообмена также необходимо учесть тепловой баланс:

$$G_1 C p_1 (t_2' - t_2'') \tau_1 = G_2 C p_2 (t_1'' - t_1') \tau_2, \quad (2.20)$$

где G_1 и G_2 — количество поступающей в теплообменник первого и второго теплоносителя соответственно, моль/с; C_{pi} — удельные теплоемкости теплоносителей, Дж/(моль·°C); t'_1 и t^*_1 — температура первого теплоносителя на входе и выходе из теплообменника, °C; t'_2 и t^*_2 — температура второго теплоносителя на входе и выходе из теплообменника, °C

Уравнение материального баланса сепаратора можно представить в виде:

$$F = G + L, \quad (2.21)$$

Или

$$Fu_i = Gy_i + Lx_i, \quad (2.22)$$

где F — расход исходной смеси, кг/с; L — расход жидкой фазы, кг/с; G — расход пара, кг/с; u_i — концентрация i -го компонента в исходной смеси; x_i , y_i — концентрация i -го компонента в жидкой и газовой фазе соответственно [29].

Математическое моделирование регулирующих клапанов сводится описанию процесса течения потока через клапан, учитывающий изменение параметров во времени [30]. Основным критерием режима работы клапана является разность давлений. Для более точного описания необходимо определить некоторые особенности течения среды через клапан. Так, к примеру, если задано, что жидкость течет в ламинарном режиме, то расчет пропускной способности клапана имеет следующий вид:

$$Q = K_v \left(\sqrt{\frac{\rho_1 / \rho_0}{\Delta P}} \right)^{-1}, \quad (2.23)$$

K_v — пропускная способность клапана, кг/ч; ρ_1 / ρ_0 — приведенная плотность; ΔP — разность между входным и выходным абсолютным статическим давлением, МПа.

При моделировании процессов разделения приняты следующие допущения:

1) в системе устанавливается фазовое равновесие между жидкостью и газом, описать которое позволяет закон Рауля-Дальтона:

$$y_i = K_i \cdot x_i, \quad (2.24)$$

где x_i и y_i – концентрация i -го компонента в жидкой и газовой фазе; K_i – константа фазового равновесия.

2) режим течения жидкости в аппарате принимается ламинарным, для расчёт скорости всплытия и осаждения капель осуществлялся по закону Стокса:

$$U_p = \frac{g \cdot d^2 \cdot (\rho_c - \rho_d)}{18 \cdot \mu_c \cdot \lambda}, \quad (2.25)$$

где U_p – скорость всплытия или оседания капель, м/с; g – ускорение свободного падения, равное $9,81 \text{ м/с}^2$; d – диаметр оседающих или всплывающих частиц, м; ρ_c – плотность непрерывной фазы, кг/м^3 ; ρ_d – плотность дисперсной фазы, кг/м^3 ; μ_c – вязкость сплошной фазы, $\text{Па}\cdot\text{с}$; λ – поправочный коэффициент.

3) для учета различных конструктивных особенностей применяемых трехфазных сепараторов в разных технологиях подготовки газа и газового конденсата вводятся коэффициенты уноса. К примеру, коэффициенты уноса конденсата с газом определяется по выражению:

$$K_{lg} = \frac{Q_{lg}}{Q_g} \quad (2.26)$$

где Q_g – расход газа из аппарата при достижении равновесных концентраций компонентов в паровой и жидкой фазе, кг/ час ; Q_{lg} – расход конденсата из аппарата, унесенного с газом, кг/ час [31].

Для определения значения коэффициентов уноса:

а) рассчитывается распределение по Гауссу капель дисперсионной среды в сплошной (конденсата и воды в газе, капель воды в конденсате, капель конденсата в воде);

б) определяется время удержания и скорость осаждения капель дисперсионной среды в сплошной;

в) определяется остаточное содержание дисперсионной среды в сплошной;

г) производится дополнительная корректировка значений коэффициентов уноса при использовании в аппарате внутрикорпусных устройств (каплеотбойников, коалесцирующих решеток и насадок, центробежных и сепарационных элементов и т.д.) [32].

При моделировании эжекторного оборудования для идеальных газов при изотермическом процессе уравнение теплового баланса имеет вид:

$$Q_v = Q_n + Q, \quad (2.27)$$

где Q_v - количество тепла смеси газов, КДж/кмоль; Q_v - количество тепла высоконапорного газа (эжектирующий), КДж/кмоль; Q_n - количество тепла низконапорного газа (эжектируемый), КДж/кмоль [33].

Для разработки модели процесса низкотемпературной сепарации газа, работающей в условиях динамического режима, необходимо учесть изменение основных рабочих параметров во времени, таких как [34]:

- количество сырья, поступающего на установку в зависимости от общего давления в системе;
- изменение режимов работы аппаратов в зависимости от основных регулирующих параметров (степень открытия клапанов, изменение состава подаваемого сырья);
- накопление сырья в аппаратах или изменение работы автоматической регулирующей арматуры в зависимости от возмущения в системе.

На основе математических моделей химико-технологической системы подготовки газа и газового конденсата, составленных с учетом физико-химических закономерностей протекающих процессов и конструктивных особенностей аппаратов, можно построить моделирующую имитационную динамическую модель, которую можно использовать для проведения численных исследований.

4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Основные проблемы эффективного ресурсопотребления и ресурсосбережения актуальными являются всегда. В настоящее время все технологические процессы идут с потреблением первичных ресурсов (энергия, воздух, вода), материальных и трудовых. Формирование и реализация стратегии ресурсосбережения на всех уровнях управления – один из важнейших вопросов стратегического менеджмента, так как ресурсоемкость является второй стороной товара, когда первой является его качество.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- оценить коммерческий потенциал и перспективность проведения научных исследований;
- планирование научно-исследовательских работ;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором в будущем будут продаваться разработки. В свою очередь, сегмент рынка – это особым образом выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками в газовой отрасли.

Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар или услуга [36].

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам [36].

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет проводить оценку сравнительной эффективности разработки и определять направления для ее будущего повышения.

Уместно данный анализ проводить с помощью оценочной карты, которая приведена в таблице Г 1 (прилож. Г).

где B_{ϕ} – баллы предлагаемой разработки (комплексный компьютерный тренажер процесса НТС газа); $B_{\kappa 1}$ – баллы первого конкурента (Honeywell UniSim Operation); $B_{\kappa 2}$ – баллы второго конкурента (GSE EnVision).

Анализ конкурентных технических решений определялся по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i \quad (4.1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Разрабатываемый компьютерный тренажер процесса низкотемпературной сепарации может быть реализован конкурентами в полной мере. При этом основным конкурентным преимуществом является цена продукта. Также для доступа не будет нужды организовывать отдельный учебный класс, т.к. доступ возможен с внешнего сервера.

4.1.3 SWOT-анализ

SWOT — комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ используют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Результаты SWOT-анализа представлены в таблице Г 2 (прилож. Г).

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой входят: бакалавр и научный руководитель выпускной квалификационной работы. В таблице Г 3 (прилож. Г).представлен перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования и приведено распределение исполнителей по видам работ.

4.2.2 План проекта

Диаграмма Ганта – это горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} , \quad (4.2)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

В свою очередь коэффициент календарности определяется по формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} , \quad (4.3)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

На проведение научного исследования отведен период из четырех основных месяцев (с февраля по май) и половина мая на исправление недочетов, тогда количество календарных дней составит 140. Количество выходных и праздничных дней примем 16 и 6 соответственно.

Тогда Коэффициент календарности составит:

$$k_{\text{кал}} = \frac{140}{140 - 6 - 16} = 1,186. \quad (4.4)$$

В таблице 4.1 представлен календарный план проекта с разбивкой по месяцам и декадам за период выполнения научного проекта.

Таблица 4.1 – Календарный план-график проведения научного исследования по разработке математической модели низкотемпературной сепарации

№	Вид работ	Исполнители	Т _к кал. дн	Продолжительность выполнения работ													
				Февр.		Март			Апрель			Май			Июнь		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление и утверждение технического задания	Р, Б	4														
2	Ознакомление с экспериментальными данными	Б	6														
3	Изучение технологии процесса	Б	3														
4	Обзор современной периодической литературы по выбранному направлению	Б	15														
5	Теоретическое обоснование выбора методик расчета, создание математической модел	Р, Б	42														
6	Обработка результатов	Б	5														
7	Корректировка модели и ее улучшение	Р, Б	20														
8	Обсуждение результатов	Р, Б	5														
9	Оформление пояснительной записки	Б	7														
10	Рецензирование	Б	3														
11	Подготовка к защите дипломной работы	Б	10														
12	Защита дипломной работы	Б	1														
		ΣT _к	120														

где ■ – руководитель (Р), ■ – бакалавр (Б)

4.2.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- ✓ материальные затраты НТИ;
- ✓ основная заработная плата исполнителей темы;
- ✓ дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- ✓ отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- ✓ накладные расходы.

Материальные затраты НТИ включают стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта, в частности, сырье и материалы, покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, используемые в качестве объектов исследований (испытаний) и для эксплуатации, технического обслуживания и ремонта изделий – объектов испытаний (исследований). Материальные затраты и затраты на оборудование для данного НТИ представлены в таблицах 4.2, 4.3.

1. Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты.

Таблица 4.2 – Затраты на сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., с НДС тыс.руб.			Затраты на материалы, (З _м), тыс.руб.		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Сепаратор фирмы «Химмаш»	шт.	3	3	3	1000	1000	1000	4000	4000	4000
Природный газ	м ³	40*	50	50	1	1	1	40	50	50
Метанол	м ³	440	550	550	0,5	0,5	0,5	220	225	220
Вспомог.оборудование (теплообменники, разделители жидкости)	шт.	20	20	20	-	-	-	1200	1200	1200
Итого								5460	5475	5470

2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

Таблица 4.3 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборуд-ия	Цена единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	Компьютер	2	22	44
2	Лазерный принтер	1	5	5
3	Лицензия на программный пакет Delphi 7	1	27	27
Итого				76

Дополнительные затраты по доставке и монтажу учитываются в размере 15% от стоимости оборудования.

Расчет стоимости электроэнергии:

$$E = E_1 + E_2 = C \cdot H \cdot D \cdot \sum N_i = 4,36 \cdot 6 \cdot 79 \cdot 0,55 \approx 1,136 \text{ тыс.руб.}, \quad (4.5)$$

где E – общее потребление электроприборами энергии на весь срок научного исследования; N_i – мощность i -го электроприбора, кВт·ч; C – стоимость электроэнергии для юридических лиц по Томской области (4,36 руб/кВт·ч); H – норма рабочих часов в день (6 часов в день); D – общий срок научного исследования (79 дней).

Расчет основной заработной платы

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле (4.6):

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}}, \quad (4.6)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника; $T_{\text{р}}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.; $Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле (4.7):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (4.7)$$

$Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб.дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная

неделя; F_{∂} – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дн. (табл. 4.4).

Таблица 4.4– Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель проекта	Консультант проекта - аспирант	Специалист по проекту - студент
Календарное число дней	273	273	273
Количество нерабочих дней	78	78	78
– выходные дни	14	14	14
– праздничные дни			
Потери раб.времени			
– отпуск	-	-	-
– невыходы по болезни			
Действительный годовой фонд раб.времени, раб. дн.	181	181	181

Месячный должностной оклад работника:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{б}} \cdot (k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}}, \quad (4.8)$$

где $З_{\text{б}}$ – базовый оклад, руб.;

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент;

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок;

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3.

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоемкость, чел.-дн.	Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс.руб.	Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб.
1	Начальный	Руководитель, бакалавр	20	1,316	26,33
2	Основной	Руководитель, бакалавр	34	1,316	44,76
3	Завершающий	Руководитель, бакалавр	25	1,316	32,91
Итого, т. р.					104,01

Для расчетов принято:

- заработная плата руководителя – старшего преподавателя, имеющего степень к.т.н., согласно доступным данным, составляет 19327 рублей в месяц;
- заработная плата студента-бакалавра равна стипендии составляет 2000 рублей в месяц;
- районный коэффициент для Томской области – 1,3;
- дополнительная заработная плата составляет 10% от основной, отчисления во внебюджетные фонды – 30%.

Для руководителя:

$$З_{\text{осн}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} \cdot T_{\text{раб}} = \frac{19327 \cdot 1,3 \cdot 10,4}{299} \cdot 79 = 69,04 \text{ тыс.руб.}, \quad (4.9)$$

$$C_{\text{зп}} = З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}} = 69039,4 \cdot 1,1 = 75,94 \text{ тыс.руб.}, \quad (4.10)$$

Для студента:

$$З_{\text{осн}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} \cdot T_{\text{раб}} = \frac{2000 \cdot 1,3 \cdot 10,4}{299} \cdot 79 = 5,29 \text{ тыс.руб.}, \quad (4.11)$$

Отчисления в фонд составляют:

$$З_{\text{отч}} = 0,3 \cdot C_{\text{зп}} = 0,3 \cdot 75943,4 = 22,78 \text{ тыс.руб.}, \quad (4.12)$$

Общий фонд заработной платы составляет:

$$З_{\text{сумм}} = 5,29 + 75,94 + 22,78 = 104,01 \text{ тыс.руб.}, \quad (4.13)$$

Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн.:

$$З_{1\text{ч/д}} = \frac{З_{\text{сумм}}}{T_{\text{раб}}} = \frac{104,01}{79} = 1,316 \text{ т.руб.}, \quad (4.14)$$

где M – количество месяцев работы без отпуска в течение года, $M = 10,4$ месяца (6-дневная неделя);

$T_{\text{раб}}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, 79 раб. дн;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала 299 раб. дней.

4.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

4.3.1 Оценка сравнительной эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования был получен в ходе оценки бюджета затрат для трех вариантов исполнения научного исследования.

Интегральный финансовый показатель разработки равен:

$$I_{\phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}} = \frac{200000 \text{ р.}}{2000000 \text{ р.}} = 0,1, \quad (4.15)$$

где I_{ϕ}^p - интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – ориентировочная стоимость варианта исполнения текущей разработки;

$\Phi_{\max}$ – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в качестве максимальной стоимости взята стоимость существующей на рынке системы Honeywell в базовой комплектации; стоимость системы GSE составляет ориентировочно 1500000 р.).

Интегральный финансовый показатель первого аналога равен:

$$I_{\phi}^{A1} = \frac{\Phi_{A1}}{\Phi_{\max}} = \frac{1500000 \text{ р.}}{2000000 \text{ р.}} = 0,75, \quad (4.16)$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности аналогов проекта определяется следующим образом:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a, \quad I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p \quad (4.17)$$

где I_m – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов; a_i – весовой коэффициент i -го параметра; b_i^a , b_i^p – балльная оценка i -го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания; n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя приведен в таблице 4.6 и 4.7.

Таблица 4.6 – Сравнительная оценка характеристик аналогов проекта

ПО Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1 (HW)	Аналог 2 (GSE)
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,2	3	4	3
2. Удобство в эксплуатации	0,3	4	5	4
3. Помехоустойчивость	0,1	4	4	5
4. Энергосбережение	0,1	3	2	4
5. Надежность	0,2	4	4	3
6. Материалоемкость	0,1	4	3	4
ИТОГО	1	4,4	4,4	4,6

Таблица 4.7 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Текущий проект	Аналог 1 (HW)	Аналог 2 (GSE)
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,1	0,75	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,4	4,4	4,6
3	Интегральный показатель эффективности	44	5,86	4,6
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	-	7,51	9,56

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет сделать вывод, что текущая разработка вследствие своей низкой цены и широкого функционала является эффективной.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

1. Писарев М.О., Долганов И.М., Сизова Е.Н. Повышение эффективности работы аппаратов технологической установки низкотемпературной сепарации газа с применением имитационной динамической модели // Материалы XVII Международной научно-практической конференции студентов и молодых учёных «Химия и химическая технология в XXI веке», Томск, 17-20 Мая 2016. - Томск: НИ ТПУ, 2016 - Т. 1 - С. 374-375
2. Писарев М.О., Долганов И.М., Сизова Е.Н. Разработка имитационной динамической модели химико-технологической системы установки подготовки газа // Материалы Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Научная сессия», Томск, 25-27 Мая 2016. - Томск: ТУСУР, 2016 - Т. 3 - С. 146-148
3. Vyacheslav M. Dmitriev, Taras V. Gandga, Igor M. Dolganov, Mikhail O. Pisarev, Irena O. Dolganova, Evgeniya N. Sizova and Elena N. Ivashkina. Structure of network simulator for training and retraining of operators of controlled technological objects of oil and operators industry // Petroleum & coal, 2015, p. 691-695