

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа **Инженерная школа новых производственных технологий**
 Отделение школы (НОЦ) **Научно-образовательный центр Н.М. Кижнера**
 Направление подготовки **18.03.01 Химическая технология**
 Профиль **Машины и аппараты химических производств**

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Проектирование абсорбционной колонны производства формалина

УДК 661.727.1.071.06

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г7Б	Лаптева Валентина Алексеевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Горлушко Д.А.	к.х.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Спицына Л.Ю.	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Черемискина М.С.	-		

По разделу «Механический расчет оборудования»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Беляев В.М.	к.т.н., доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Беляев В.М.	к.т.н., доцент		

Планируемые результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
Р1	Применять базовые математические и специальные, математические, естественнонаучные, социально-экономические и специальные знания в профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОПК-1,2,3; ПК-8,10,11,12; ОК-1,2,3,4), Критерий 5 АИОР (п.1.1)
Р2	Применять знания в области современных химических технологий для решения производственных задач	Требования ФГОС (ОПК-1,2; ПК-1,3,9; ОК-7), Критерий 5 АИОР (пп.1.1,1.2)
Р3	Ставить и решать задачи производственного анализа, связанные с созданием и переработкой материалов с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии	Требования ФГОС (ОПК-2; ПК-2,4,5,16; ОК-5,7), Критерий 5 АИОР (пп.1.2)
Р4	Разрабатывать новые технологические процессы, проектировать и использовать новое оборудование химической технологии, проектировать объекты химической технологии в контексте предприятия, общества и окружающей среды	Требования ФГОС (ОПК-1; ПК-2,4,5,8,17,18; ОК-3,4), Критерий 5 АИОР (п.1.3)
Р5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области современных химических технологий	Требования ФГОС (ОПК-2,3; ПК-13,14,15; ОК-7), Критерий 5 АИОР (п.1.4)
Р6	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 (ОПК-3; ПК-1,4,6,7,9,10,11; Критерий 5 АИОР (п.1.5)
Р7	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1,6), Критерий 5 АИОР (пп.2.4,2.5)
Р8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОК-7), Критерий 5 АИОР (2.6)
Р9	Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОК-5), Критерий 5 АИОР (п.2.2)
Р10	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-4,6,8), Критерий 5 АИОР (пп.1.6, 2.3)

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа новых производственных технологий
 Отделение школы (НОЦ) **Научно-образовательный центр Н.М. Кижнера**
 Направление подготовки **18.03.01 Химическая технология**
 Профиль **Машины и аппараты химических производств**

УТВЕРЖДАЮ
 Руководитель ООП

_____ _____ Беляев В.М.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
4Г7Б	Лаптевой Валентине Алексеевне

Тема работы:

Проектирование абсорбционной колонны производства формалина	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	29.01.2021, № 29-64/с
Срок сдачи студентом выполненной работы:	22.06.2021

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Разработка насадочной абсорбционной колонны для предприятия «Сибметакхим» с целью повышения производительности колонны и интенсификации процесса абсорбции формальдегида. Расход реакционных газов, полученных в ходе каталитического окисления метанола: 21 471 кг/час. Температура реакционных газов: 130 – 160 °С; давление среды: 0,17 – 0,35 МПа.</p>
---	---

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><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></p>	<p><i>Реферат;</i> <i>Введение;</i> <i>1 Литературный обзор;</i> <i>2 Технологический расчет;</i> <i>3 Механический расчет;</i> <i>4 Результаты разработки;</i> <i>5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение;</i> <i>6 Социальная ответственность;</i> <i>Заключение;</i> <i>Список использованных источников</i></p>
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p><i>Лист 1 – Общий вид абсорбционной колонны А1</i> <i>Лист 2 – Технологическая схема А2</i></p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Спицына Любовь Юрьевна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Черемискина Мария Сергеевна</p>
<p>Название разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p> </p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p> </p>
--	----------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p>Доцент НОЦ Н.М. Кижнера</p>	<p>Горлушко Д.А.</p>	<p>доцент</p>	<p> </p>	<p> </p>

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>4Г7Б</p>	<p>Лаптева Валентина Алексеевна</p>	<p> </p>	<p> </p>

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа состоит из 102 страниц, 16 рисунков, 37 таблиц, 43 источников, 4 листов графических материалов.

Ключевые слова: насадочный абсорбер, абсорбционная колонна, массообменный процесс, абсорбция формальдегида, производство формалина.

Цель выпускной квалификационной работы: спроектировать аппарат для абсорбции формальдегида с бóльшей производительностью, энерго- и ресурсоэффективностью, для предприятия ООО «Сибметахим».

Задачи исследования:

- 1) провести литературный обзор основных источников информации для проектирования;
- 2) выполнить технологический расчет оборудования (определить главные размеры аппарата и подобрать вспомогательное оборудование);
- 3) произвести механический и поверочный расчет оборудования;
- 4) ознакомиться с правовыми нормами в области социальной ответственности;
- 5) выполнить исследования в области финансового менеджмента, ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

В результате проектирования был разработан аппарат с более высокой производительностью и меньшей металлоемкостью по сравнению с аппаратом, имеющимся на производстве. Надежность аппарата в течение 20 лет доказана расчетами.

Основные характеристики абсорбционной колонны: внутренний диаметр колонны: 1800 мм; общая высота колонны: 15 500 мм; высота насадочной части: 6 000 мм; насадка: кольца Рашига размером 50×50×5 мм; масса аппарата: 18 000 кг; производительность колонны: 1 028 т/сутки.

Область применения: производство формалина.

ABSTRACT

The graduate qualification work consists of 102 pages, 16 figures, 37 tables, 43 sources, 4 sheets of graphic materials.

Keywords: packed absorber, absorption column, mass transfer process, formaldehyde absorption, formalin production.

The purpose of the graduate qualification work: to design a device for the absorption of formaldehyde with greater productivity, energy and resource efficiency, for the company Sibmetakhim LLC.

Research objectives:

- 1) conduct a literature review of the main sources of information for design;
- 2) perform a technological calculation of the equipment (determine the main dimensions of the device and select the auxiliary equipment);
- 3) perform mechanical and calibration calculation of the equipment;
- 4) get acquainted with the legal norms in the field of social responsibility;
- 5) perform research in the field of financial management, resource efficiency and resource conservation.

As a result of the design, a device with higher productivity and lower metal consumption was developed in comparison with the device available in production. The reliability of the device for 20 years has been proven by calculations.

The main characteristics of the absorption column: the inner diameter of the column: 1,800 mm; the total height of the column: 15,500 mm; the height of the nozzle part: 6 000 mm; the nozzle: Raschig rings with a size of 50×50×5 mm; the weight of the device: 18,000 kg; the capacity of the column: 1,028 tons/day.

Field of application: production of formalin.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ

$[P]_1$ – допускаемое внутреннее избыточное давление для обечайки, МПа;

$[P]_2$ – допускаемое внутреннее избыточное давление для днища, МПа;

$[q]_п$ – допускаемое удельное давление на прокладку, МПа;

$\bar{x}_к$ – действительная концентрация формальдегида в абсорбенте на выходе, кг/кг абсорбента;

$\bar{x}_н$ – начальная концентрация формальдегида в жидкой фазе, кг/кг смеси;

$\bar{y}_к$ – конечная концентрация формальдегида в газовой фазе, кг/кг смеси;

$\bar{y}_н$ – начальная концентрация формальдегида в газовой фазе, кг/кг смеси;

$[\sigma]_б$ – допускаемое напряжение болтов при расчетной температуре, МПа;

$[\sigma]_б^{20}$ – допускаемое напряжение болтов при 20 °С, МПа;

$[\sigma]_б^и$ – допускаемое напряжение болтов при условиях гидравлического испытания, МПа;

$[\sigma]_б^м$ – допускаемое напряжение болтов при затяжке, МПа;

$[\sigma]_б^р$ – допускаемое напряжение болтов при рабочих условиях, МПа;

$[\sigma]_и$ – допускаемое напряжение основной стали при гидравлическом испытании, МПа;

$[\sigma]_м$ – допускаемое значение общих мембранных и изгибных напряжений, МПа;

$[\sigma]_р$ – допускаемое значение упругих мембранных и изгибных напряжений, МПа;

$[\sigma]_ф$ – допускаемое напряжение фланцев при расчетной температуре, МПа;

h_2 – высота отбортованной части днища, мм;

$h_{в.ч}$ – высота верхней части колонны, м;

$h_{н.ч}$ – высота нижней части колонны, м;

$h_{р.н}$ – высота разрыва между насадками, м;

$h_ф$ – высота тарелки фланца, мм;

$\Delta P_{г1,6}$ – потеря давления на преодоление местных сопротивлений входа и выхода газа, Па;

$\Delta P_{изб}$ – избыточное давление перед распылителем, Па;

$\Delta P_{м.с}$ – потеря давления на преодоление местных сопротивлений в колонне, Па;

$\Delta P_{н2,4,3,5}$ – потеря давления на преодоление местных сопротивлений насадки, Па;

$\Delta P_{ор}$ – сопротивление орошаемой насадки, Па;

$\Delta P_{под}$ – затрата давления на подъем жидкости, Па;

$\Delta P_{тр.мс}$ – потеря давления на преодоление местных сопротивлений трения, Па;

$[\theta]$ – допустимый угол поворота фланца, рад;

$A_б$ – суммарная площадь сечения болтов, мм²;

C_F – коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между болтами;

$D'_к$ – расчетный диаметр колонны, м;

$D_{1п}$ – наружный диаметр прокладки, мм;
 $D_{1ф}$ – наружный диаметр фланца, мм;
 $D_{2п}$ – внутренний диаметр прокладки, мм;
 $D_б$ – диаметр болтовой окружности, мм;
 $D_{в.г}$ – внутренний диаметр газопровода, м;
 $D_{в.тр}$ – внутренний диаметр трубопровода, м;
 $D_г$ – расчетный диаметр газопровода, м;
 $D_к$ – действительный (стандартный) диаметр колонны, м;
 $D_{н.г}$ – наружный диаметр газопровода, м;
 $D_{н.тр}$ – наружный диаметр трубопровода, м;
 $D_{р1}$ – расчетный диаметр укрепляемого элемента (цилиндрической обечайки), мм;
 $D_{р2}$ – расчетный диаметр укрепляемого элемента (эллиптического днища), мм;
 $D_{сп}$ – расчетный диаметр плоской прокладки, мм;
 $D_{тр}$ – расчетный диаметр трубопровода, м;
 D_y – коэффициент диффузии формальдегида в газовой фазе при рабочих условиях, м²/с;
 D_x – коэффициент диффузии формальдегида в воде, м²/с;
 D_x^{20} – коэффициент диффузии формальдегида в жидкости при 20 °С, м²/с;
 $E_б$ – модуль продольной упругости болтов при расчетной температуре, МПа;
 $E_б^{20}$ – модуль упругости болтов при 20 °С, МПа;
 $E_п$ – условный модуль сжатия прокладки, МПа;
 $E_ф$ – модуль продольной упругости фланцев при расчетной температуре, МПа;
 $E_ф^{20}$ – модуль упругости фланцев при 20 °С, МПа;
 G_1 – вес пустого аппарата, МН;
 G_2 – вес аппарата при гидравлическом испытании, МН;
 $G_{НСНО}$ – количество поглощаемого формальдегида из газовой смеси, кг/с;
 $G_{нас}$ – масса насадки, кг/м³;
 $G_п$ – масса прокладки фланцевого соединения, кг;
 H_2 – высота выпуклой части днища по внутренней поверхности, мм;
 H_A – высота аппарата вместе со всеми конструктивными элементами, м;
 $H_к$ – высота цилиндрической части колонны, м;
 $H_н$ – высота насадки, м;
 $K_{ΔP}$ – коэффициент массопередачи, кмоль/(м²·с·МПа);
 $K_{обж}$ – коэффициент обжатия прокладки;
 $K_{у.з}$ – коэффициент учета обычной неконтролируемой затяжки;

$K_{у.и}$ – коэффициент учета условий гидравлического испытания;

$K_{у.р}$ – коэффициент учета рабочих условий;

$K_{у.т}$ – коэффициент учета нагрузки от температурных деформаций;

$K_{ф}$ – коэффициент размеров тарелки фланца;

K_{S} – коэффициент учета размеров тарелки фланца;

K_{T} – коэффициент увеличения допускаемых напряжений с учетом температурных деформаций;

L_6 – эффективная длина болта при определении податливости, мм;

L_{60} – расстояние между опорными поверхностями гайки и головки болта, мм;

M_{H_2O} – молекулярная масса паров воды в исходной смеси, кг/кмоль;

M_1 – масса пустого аппарата, кг;

M_2 – масса аппарата при гидравлическом испытании, кг;

M_M – расчетный изгибающий момент, действующий на фланец при затяжке, Н·мм;

M_{HCHO} – молекулярная масса формальдегида в исходной смеси, кг/кмоль;

$M_{опоры}$ – масса опоры, кг;

M_p – расчетный изгибающий момент, действующий на фланец при рабочих условиях, Н·мм;

M_{CH_3OH} – молекулярная масса метанола в исходной смеси, кг/кмоль;

$M_{CH_3OCH_3}$ – молекулярная масса диметилового эфира в исходной смеси, кг/кмоль;

$M_{см}$ – молекулярная масса исходной смеси, кг/кмоль;

M_{CO} – молекулярная масса угарного газа в исходной смеси, кг/кмоль;

$M_{ср.см}$ – средняя молекулярная масса смеси, кг/кмоль;

N_r – мощность, потребляемая газодувкой, кВт;

N_n – мощность, потребляемая насосом, кВт;

Nu_x – критерий Нуссельта для жидкости;

P_0 – атмосферное давление, МПа;

P_6^1 – расчетная нагрузка на болты при затяжке для герметизации фланцевого соединения, Н;

P_{62} – расчетная нагрузка на болты при затяжке для обжатия прокладки и натяжения болтов, Н;

P_6^M – расчетная нагрузка на болты фланцевого соединения при затяжке, Н;

P_6^P – расчетная нагрузка на болты фланцевого соединения в рабочих условиях, Н;

P_B^{*HCHO} – парциальное давление формальдегида в равновесном с водой газе, МПа;

P_B^{HCHO} – парциальное давление формальдегида в газе, выходящем из абсорбера, МПа;

P_r – общее давление, развиваемое газодувкой, Па;

$P_{и}$ – пробное давление гидравлического испытания, МПа;

$P_{изб}$ – максимальное избыточное давление в абсорбере, МПа;

P_H – давление, развиваемое насосом, Па;
 P_H^{*HCHO} – парциальное давление формальдегида в газе, равновесном с жидкостью, МПа;
 P_{HCHO}^0 – давление паров формальдегида в чистом виде при температуре охлажденного раствора;
 P_{HCHO}^H – парциальное давление формальдегида на входе в абсорбер, МПа;
 $P_{обж}$ – усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке, Н;
 P_p – расчетное давление, МПа;
 Pr_y – критерий Прандтля для газа;
 Pr_x – критерий Прандтля для жидкости;
 Q_d – равнодействующая нагрузка от давления, Н;
 Q_t – нагрузка, вызванная стесненностью температурных деформаций, Н;
 $R_{0,2/20}, R_{1,0/20}$ – пределы текучести для основной стали, МПа;
 R_{II} – усилие на прокладке, необходимое для обеспечения герметичности фланцевого соединения, Н;
 $R_{с.н}$ – сопротивление сухой насадки на метр высоты, Па·м;
 Re_r – критерий Рейнольдса в газопроводе;
 Re_H – критерий Рейнольдса для насадки;
 $Re_{тр}$ – критерий Рейнольдса в трубопроводе;
 Re_y – критерий Рейнольдса для газа;
 Re_x – критерий Рейнольдса для жидкости;
 S_r – площадь сечения газопровода, м;
 S_k – площадь поперечного сечения колонны, м;
 $S_{н.св}$ – площадь свободного сечения насадки, м;
 $S_{тр}$ – площадь сечения трубопровода, м;
 T_0 – начальная температура, К;
 $U_{опт}$ – оптимальная плотность орошения колонны $m^3/(m^2 \cdot ч)$;
 $V_{св}$ – свободный объем насадки, m^3/m^3 ;
 V_m – молярный объем идеального газа, $m^3/кмоль$;
 b_0 – эффективная ширина прокладки, мм;
 b_{II} – ширина прокладки, мм;
 b_T – температурный коэффициент для определения диффузии формальдегида в воде, $m^2/с$;
 c_1 – прибавка к расчетной толщине стенки для компенсации коррозии и эрозии, мм;
 c_2 – прибавка к расчетной толщине стенки для компенсации минусового допуска, мм;
 c_3 – технологическая прибавка к расчетной толщине стенки, мм;
 d_{0i} – расчетный диаметры одиночного отверстия, не требующего дополнительного укрепления, мм;
 $d_б$ – наружный диаметр болта, мм;

d_n – диаметр единицы насадки, м;

d_{ni} – наружные диаметры штуцеров, мм;

d_{pi} – расчетные диаметры отверстий в стенках укрепляемых элементов, мм;

$d_э$ – эквивалентный диаметр насадки, м;

$e_{тр}$ – средняя высота выступов шероховатости на внутренней поверхности трубы, м;

$f_б$ – площадь поперечного сечения болта, мм²;

l_0 – параметр длины обечайки, мм;

l_n – высота элемента насадки, м;

$l_{тр}$ – длина трубопровода, м;

m_{H_2O} – масса паров воды в исходной смеси, кг;

m_B – масса воды при гидравлическом испытании, кг;

$m_{B.(л+ш)}$ – масса воды, заполняющей штуцера и люки, кг;

$m_{B.д}$ – масса воды, заполняющей днища, кг;

$m_{B.у.}$ – масса внутренних устройств колонны, кг;

$m_{B.ц}$ – масса воды, заполняющей цилиндрическую обечайку, кг;

$m_д$ – масса эллиптических днищ, кг;

$m_{ку}$ – масса каплеуловителя, кг;

$m_л$ – масса люка, кг;

$m_{л+ш}$ – масса люков и штуцеров, кг;

$m_{нас}$ – масса насадки, кг;

$m_{НСНО}$ – масса формальдегида в исходной смеси, кг;

$m_{отб}$ – масса отбортованной части днищ, кг;

$m_{п}$ – прокладочный коэффициент прокладки;

$m_{реш}$ – масса опорной решетки под слой насадки, кг;

m_{CH_3OH} – масса метанола в исходной смеси, кг;

$m_{CH_3OCH_3}$ – масса диметилового эфира в исходной смеси, кг;

m_{CO} – масса угарного газа в исходной смеси, кг;

$m_{ТСН2}$ – масса тарелки типа ТСН-2, кг;

$m_{ТСН3}$ – масса тарелки типа ТСН-3, кг;

$m_ф$ – масса фланцевых соединений, кг;

$m_ц$ – масса цилиндрической части аппарата, кг;

$m_{ши}$ – массы штуцеров, кг;

$m_э$ – масса эллиптической части днищ, кг;

$n_{\text{H}_2\text{O}}$ – количество вещества паров воды в исходной смеси, кмоль;

$n_{\text{б.ф.}}$ – количество болтов фланцевого соединения;

$n_{\text{нас}}$ – количество штук единиц насадки в 1 м^3 ;

$n_{\text{НСНО}}$ – количество вещества формальдегида в исходной смеси, кмоль;

$n_{\text{СН}_3\text{ОН}}$ – количество вещества метанола в исходной смеси, кмоль;

$n_{\text{СН}_3\text{ОСН}_3}$ – количество вещества диметилового эфира в исходной смеси, кмоль;

$n_{\text{СО}}$ – количество вещества угарного газа в исходной смеси, кмоль;

n_{T} – коэффициент запаса прочности по пределу текучести для основной стали;

$q_{\text{обж}}$ – удельное давление обжатия прокладки, МПа;

$q_{\text{п}}$ – удельное давление на прокладку, МПа;

S_1 – исполнительная толщина стенки обечайки, мм;

S_2 – исполнительная толщина стенки днища, мм;

$S_{\text{п}}$ – толщина прокладки, мм;

$S_{\text{р1}}$ – расчетная толщина стенки обечайки, мм;

$S_{\text{р2}}$ – расчетная толщина стенки днища, мм;

t_0 – температура окружающего воздуха, °С;

$t_{\text{б}}$ – расчетная температура болтов, °С;

$t_{\text{вн}}$ – температура поверхности изоляции, °С;

$t_{\text{с}}$ – максимальная температура среды в абсорбере, °С;

$t_{\text{ст}}$ – температура стенки аппарата, °С;

$t_{\text{ф}}$ – расчетная температура фланца, °С;

w_0 – скорость газа, соответствующая возникновению режима эмульгирования, м/с;

w_{T} – скорость газового потока, м/с;

$w_{\text{д}}$ – действительная скорость газового потока, м/с;

$w_{\text{ж}}$ – скорость движения жидкости, м/с;

$w_{\text{н}}$ – фактическая скорость газового потока в насадке, м/с;

$x_{\text{к}}$ – конечная концентрация формальдегида в жидкой фазе, кг/кг смеси;

$x_{\text{к}}^*$ – мольная доля формальдегида в жидкой фазе, кмоль/кмоль смеси;

$y_{\text{H}_2\text{O}}$ – исходная концентрация паров воды в исходной смеси, кг/кг смеси;

$y_{\text{б}}$ – податливость болтов;

$y_{\text{к}}$ – конечная концентрация формальдегида в газовой фазе, кмоль/кмоль смеси;

$y_{\text{н}}$ – начальная концентрация формальдегида в газовой фазе, кмоль/кмоль смеси;

$y_{\text{НСНО}}$ – исходная концентрация формальдегида в исходной смеси, кг/кг смеси;

$y_{\text{п}}$ – податливость прокладки;

$U_{\text{CH}_3\text{OH}}$ – исходная концентрация метанола в исходной смеси, кг/кг смеси;

$U_{\text{CH}_3\text{OCH}_3}$ – исходная концентрация диметилового эфира в исходной смеси, кг/кг смеси;

U_{CO} – исходная концентрация угарного газа в исходной смеси, кг/кг смеси;

$U_{\text{ср.Н}_2\text{O}}$ – средняя концентрация воды в смеси, кг/ кг смеси;

$U_{\text{ср.НСНО}}$ – средняя концентрация формальдегида в смеси, кг/ кг смеси;

$U_{\text{ср.СН}_3\text{ОН}}$ – средняя концентрация метанола в смеси, кг/ кг смеси;

$U_{\text{ср.СН}_3\text{OСН}_3}$ – средняя концентрация диметилового эфира в смеси, кг/ кг смеси;

$U_{\text{ср.СО}}$ – средняя концентрация угарного газа в смеси, кг/ кг смеси;

U_{ϕ} – угловая податливость фланца при затяжке, $(\text{Н}\cdot\text{мм})^{-1}$;

α_{δ} – коэффициент линейного расширения болтов при расчетной температуре, МПа;

$\alpha_{\text{НСНО}}$ – степень извлечения формальдегида;

$\alpha_{\text{т.о.}}$ – суммарный коэффициент теплоотдачи в окружающую среду, $\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$;

α_{ϕ} – коэффициент линейного расширения фланцев при расчетной температуре, МПа;

β_y – коэффициент массоотдачи со стороны газа;

$\beta_F, \beta_T, \beta_U, \beta_V, \beta_Y, \beta_Z, f$ – коэффициенты, зависящие от соотношения размеров тарелки фланца;

β_x – коэффициент массоотдачи со стороны жидкости;

δ_r – толщина стенки газопровода, м;

$\delta_{\text{тр}}$ – толщина стенки трубопровода, м;

$\eta_{\text{ст}}$ – поправочный коэффициент для листового проката;

$\lambda_{\text{и}}$ – коэффициент теплопроводности минеральной ваты, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$;

$\lambda_{\text{тр}}$ – коэффициент трения трубопровода;

λ_y – коэффициент теплопроводности газа;

$\mu_{\text{Н}_2\text{O}}$ – динамический коэффициент вязкости паров воды, $\text{Па}\cdot\text{с}$;

$\mu_{\text{НСНО}}$ – динамический коэффициент вязкости формальдегида, $\text{Па}\cdot\text{с}$;

$\mu_{\text{СН}_3\text{ОН}}$ – динамический коэффициент вязкости метанола, $\text{Па}\cdot\text{с}$;

$\mu_{\text{СН}_3\text{OСН}_3}$ – динамический коэффициент вязкости диметилового эфира, $\text{Па}\cdot\text{с}$;

$\mu_{\text{СО}}$ – динамический коэффициент вязкости угарного газа, $\text{Па}\cdot\text{с}$;

μ_y – динамический коэффициент вязкости газовой смеси при рабочих условиях, $\text{Па}\cdot\text{с}$;

μ_x – динамический коэффициент вязкости абсорбента (воды), $\text{Па}\cdot\text{с}$;

$\xi_{\text{Г1}}$ – коэффициент внезапного расширения газопровода;

$\xi_{\text{Г6}}$ – коэффициент внезапного сужения газопровода;

$\xi_{\text{Н2,4}}$ – коэффициент внезапного сужения при входе в насадку;

$\xi_{\text{Н3,5}}$ – коэффициент внезапного расширения при выходе из насадки;

$\xi_{\text{тр}1}$ – коэффициент местного сопротивления при входе в трубу с острыми краями;
 $\xi_{\text{тр}2}$ – коэффициент местного сопротивления при выходе из трубы с острыми краями;
 $\xi_{\text{тр}3}$ – коэффициент местного сопротивления в месте нахождения вентиля;
 $\xi_{\text{тр}4}$ – коэффициент местного сопротивления для отвода;
 $\xi_{\text{тр}5}$ – коэффициент местного сопротивления при внезапном расширении;
 $\xi_{\text{тр}6}$ – коэффициент местного сопротивления при внезапном сужении;
 $\rho_{\text{в}}$ – плотность воды при гидравлических испытаниях, кг/м³;
 $\rho_{\text{ср.см}}$ – средняя плотность газовой смеси при рабочих условиях, кг/м³;
 $\rho_{\text{ст}}$ – плотность основной стали, кг/м³;
 $\rho_{\text{х}}$ – плотность воды при рабочих условиях, кг/м³;
 $\rho_{\text{у}}$ – средняя плотность газовой фазы при рабочих условиях, кг/м³;
 $[\sigma]$ – допускаемое напряжение основной стали при рабочих условиях, МПа;
 $\sigma_0^{\text{М}}, \sigma_1^{\text{М}}$ – меридиональное изгибное напряжение в обечайке фланца при затяжке, МПа;
 $\sigma_{0\text{мм}}^{\text{Р}}, \sigma_{1\text{мм}}^{\text{Р}}$ – меридиональные мембранные напряжения в обечайке при рабочих условиях, МПа;
 $\sigma_{0\text{мо}}^{\text{Р}}$ – окружные мембранные напряжения от давления в обечайке при рабочих условиях, МПа;
 $\sigma_0^{\text{Р}}, \sigma_1^{\text{Р}}$ – меридиональное изгибное напряжение в обечайке фланца при рабочих условиях, МПа;
 σ_6^1 – расчетное напряжение в болтах при затяжке, МПа;
 σ_6^2 – расчетное напряжение в болтах при рабочих условиях, МПа;
 $\sigma_{\text{н}}$ – удельная поверхность насадки, м²/м³;
 $\sigma_{\text{Р}}^{\text{М}}$ – радиальное напряжение в тарелке фланца при затяжке, МПа;
 $\sigma_{\text{Р}}^{\text{Р}}$ – радиальное напряжение в тарелке фланца при рабочих условиях, МПа;
 $\sigma_{\text{Т}}^{\text{М}}$ – окружное напряжение в тарелке фланца при затяжке, МПа;
 $\sigma_{\text{Т}}^{\text{Р}}$ – окружное напряжение в тарелке фланца при рабочих условиях, МПа;
 $\nu_{\text{Н}_2\text{О}}$ – мольный объем воды в конечной смеси, см³/моль;
 $\nu_{\text{НСНО}}$ – мольный объем формальдегида в конечной смеси, см³/моль;
 $\Delta P_{\text{в}}$ – движущая сила процесса вверху колонны, МПа;
 $\Delta P_{\text{н}}$ – движущая сила процесса внизу колонны, МПа;
 $\Delta P_{\text{ср}}$ – средняя движущая сила абсорбции, МПа;
 ΔP – общее гидравлическое сопротивление насадочной колонны, Па;
 Θ – угол поворота фланца, рад;
 П – скорость коррозии стали, мм/год;
 D – диаметр цилиндрической обечайки, мм;
 G – расход реакционных газов, кг/с;

H – высота цилиндрической обечайки, м;

L – расход абсорбента, кг/с;

P – абсолютное давление в абсорбере, МПа;

T – температура процесса, К;

U – плотность орошения колонны, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$;

V – объемный расход смеси при рабочих условиях, $\text{м}^3/\text{с}$;

b – плечо действия усилий в болтах, мм;

c – суммарная прибавка к расчетным толщинам конструктивных элементов аппарата, мм;

e – плечо усилия от действия давления, мм;

g – ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$;

q – удельный тепловой поток, $\text{Вт}/\text{м}^2$;

w – рабочая скорость газа в абсорбере, м/с;

x – расстояние от центра укрепляемого отверстия до оси эллиптического днища, мм;

α – коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внутренним давлением;

γ – коэффициент жесткости фланцевого соединения, Н/мм;

ε – коэффициент избытка поглотителя;

η – КПД газодувки и насосной установки;

λ – коэффициент для определения угловой податливости фланца при затяжке;

ξ – коэффициент допускаемых напряжений при затяжке;

τ – срок эксплуатации аппарата, лет;

φ – коэффициент распределения формальдегида в смеси;

ϕ – коэффициент прочности сварного шва.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ	7
ВВЕДЕНИЕ	19
1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР	20
1.1 Способы получения формалина в промышленности	21
1.2 Схема блока абсорбции производства формалина	23
1.2.1 Абсорбер формальдегида	24
1.3 Оценка существующих готовых решений по оптимизации производства	26
1.4 Метод расчета абсорбера	27
2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ	28
2.1 Исходные данные	28
2.2 Определение количества поглощаемого вещества и расхода абсорбента	30
2.3 Определение диаметра абсорбционной колонны	31
2.4 Определение высоты абсорбционной колонны	33
2.4.1 Определение средней движущей силы абсорбции	33
2.4.2 Определение коэффициента массопередачи	34
2.4.3 Определение высоты насадки и высоты всей колонны	36
2.5 Определение гидравлического сопротивления колонны с насадкой	36
2.6 Расчет вспомогательного оборудования	38
2.6.1 Расчет газодувки	38
2.6.2 Расчет насосной установки	38
2.7 Подбор диаметров трубопроводов для выхода газа и выхода продукта	40
2.8 Расчет тепловой изоляции	41
2.9 Результаты технологического расчета	41
3 МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ	42
3.1 Выбор материалов	42
3.2 Определение исходных данных для механического расчета	42
3.3 Определение толщин стенок аппарата	43
3.3.1 Определение толщины цилиндрической обечайки аппарата	43
3.3.1.1 Проверка условия прочности цилиндрической обечайки аппарата	44
3.3.1.2 Проверка условия применения расчетных формул для обечайки	44
3.3.2 Определение толщины выпуклого днища и крышки аппарата	44
3.3.2.1 Проверка условия прочности выпуклого днища (крышки) аппарата	45
3.3.2.2 Проверка условия применения расчетных формул для днища и крышки	45
3.4 Подбор штуцеров и люков	46

3.4.1 Расчет укрепления отверстий	47
3.4.2 Проверка условия применения расчетных формул.....	48
3.5 Подбор фланцевого соединения	48
3.5.1 Расчет фланцевого соединения на прочность и герметичность.....	49
3.5.1.1 Основные расчетные значения для фланцевого соединения	50
3.5.1.2 Расчет усилий, необходимых для смятия прокладки и обеспечения герметичности фланцевого соединения	51
3.5.1.3 Расчет усилий в болтах фланцевого соединения при затяжке и в рабочих условиях	51
3.5.1.4 Расчет податливости прокладок и болтов.....	52
3.5.1.5 Расчет угловой податливости фланцев.....	52
3.5.1.6 Плечи действия сил и коэффициенты жесткости.....	53
3.5.1.7 Проверка прочности болтов и прокладки	54
3.5.2 Расчет фланцевого соединения на статическую прочность	55
3.5.2.1 Расчет напряжений во фланце при затяжке	55
3.5.2.2 Расчет напряжений во фланце при рабочих условиях.....	55
3.5.2.3 Проверка условий статической прочности фланцевого соединения.....	56
3.5.2.3.1 Проверка условий статической прочности при рабочих условиях	56
3.5.2.3.2 Проверка условий статической прочности при затяжке	56
3.5.3 Проверка углов поворота фланцев.....	57
3.6 Подбор тарелок и решеток для колонны	57
3.7 Определение веса аппарата и подбор опоры	58
3.7.1 Определение массы и веса пустого аппарата.....	59
3.7.2 Определение массы и веса аппарата, заполненного водой.....	60
3.7.3 Подбор опоры аппарата.....	61
3.8 Расчет колонны на ветровую и сейсмическую нагрузку.....	61
3.8.1 Проверка устойчивости колонны к ветровым нагрузкам	67
3.8.2 Проверка устойчивости колонны к сейсмическим нагрузкам	67
3.9 Результаты механического расчета	68
4 РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ	69
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ».....	70
Введение.....	71
5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	72
5.1.1 Анализ конкурентных технических решений.....	72
5.1.2 SWAT-анализ	73

5.2 Планирование научно-исследовательских работ.....	75
5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	75
5.2.2 Определение трудоемкости и продолжительности выполнения работ	75
5.2.3 Разработка графика проведения исследовательского проекта	76
5.2.4 Бюджет научно-технического исследования	79
5.2.4.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования.....	79
5.2.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ ...	79
5.2.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы.....	80
5.2.4.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы	81
5.2.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	82
5.2.4.6 Накладные расходы.....	82
5.2.4.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.....	83
5.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	84
Выводы по разделу.....	86
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»	87
Введение.....	88
6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	89
6.1.1 Правовые нормы трудового законодательства	89
6.1.2 Эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны.....	89
6.2 Производственная безопасность.....	90
6.3 Анализ опасных производственных факторов и мероприятия по снижению их воздействий	91
6.3.1 Воздействие высокой температуры аппаратов на человека и мероприятия по его устранению	91
6.3.2 Повышенный уровень шума и меры борьбы с ним.....	91
6.3.3 Поражение электрическим током и меры по снижению риска.....	92
6.3.4 Воздействие токсичных веществ и меры его предотвращения.....	93
6.4 Экологическая безопасность.....	94
6.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	96
Выводы по разделу.....	97
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	98
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	99

ВВЕДЕНИЕ

Формалин, получаемый конверсией метанола на оксидном катализаторе имеет наиболее высокое качество из всех хорошо освоенных промышленных методов, однако является не самым эффективным с точки зрения энергетической эффективности и капитальных вложений. Актуальность темы заключается в том, что потребность в качественном формалине требует оптимизации конструктивных параметров оборудования для увеличения производительности, снижения ресурсо-, энергозатрат, материалоемкости и, как следствие, капитальных вложений в производство.

В настоящее время многими организациями ведутся поиски путей оптимизации производства формалина с использованием оксидного катализатора.

Одним из продуктов предприятия ООО «Сибметахим» города Томска является формалин технической марки ФМ (с концентрацией 37% мас.). Мощность производства формалина – 40 тыс. тонн по 37 % формалину [1]. На предприятии используется технология с применением оксидного катализатора.

Задачи ВКР:

- поиск и изучение материалов по теме;
- определение основных геометрических параметров аппарата, позволяющих обеспечить максимально возможную производительность с минимальными энергетическими и сырьевыми затратами;
- разработка конструкции, обеспечивающей надежность аппарата в течение всего срока эксплуатации, удобство его обслуживания и ремонта;
- оценка экономической эффективности разработки;
- разработка мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов производства.

Материалы по теме были взяты из источников различного рода: библиотечных систем, баз данных научных статей и патентов. Большая часть информации была взята из технической и технологической документации производства формалина ООО «Сибметахим».

Основные геометрические размеры аппарата для абсорбции полученного формалина, были получены в ходе технологического расчета по общепринятым методикам.

Разработка надежной конструкции аппарата проводилась на основе механического расчета по стандартам отрасли.

В результате проектной работы ожидается получить абсорбционную колонну, заменяющую собой две и имеющую большую производительность при меньшем ресурсопотреблении и металлоемкости.

1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

Формальдегид – бесцветный газ с резким запахом, растворимый в полярных растворителях, продукт каталитического окисления метанола. В газообразном состоянии формальдегид склонен к полимеризации при температурах ниже 80 °С, в водном растворе без стабилизирующих компонентов процесс полимеризации происходит более интенсивно [2].

Формалин – это водный раствор формальдегида, стабилизированный метанолом. Применяется при производстве кожаных изделий, кинофотопленок, антисептических препаратов. Широко используется в деревообрабатывающей и мебельной промышленности, а также органическом синтезе. Значительная часть формалина идет на изготовление полимеров-реактопластов. При его поликонденсации получают формальдегидные смолы.

В России формалин производят крупнейшие химические предприятия. Названия производителей мощности формалина представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Мощности формалина в России на 2016 год [3]

Предприятие	Мощность, тыс. т/год
ООО «Томскнефтехим»	360
ОАО «Метафракс»	308
ООО «Сибметахим»	300
ОАО «Тольяттиазот»	240
ООО «Тольяттикаучук»	215
ОАО «Карболит»	200
ОАО «Уральская химическая компания»	120
ОАО «Уралоргсинтез»	120
ОАО «Щекиноазот»	80
ОАО «Акрон»	75
ЗАО «Тюменский завод пластмасс»	50
Нижне-Мальцевский химический завод	30
ООО «Кроношпан»	15
ФКП «Завод им. Я.М. Свердлова»	10

Для производства формалина отечественные компании используют как собственное сырье, так и зарубежное, поэтому масштабы производства зачастую зависят от курса рубля.

Взам. инв. №					
Инф. № подл.					
ФЮРА.066231.ПЗ					
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	
Студент	Лаптева В.А.				
Руковод.	Горлушко Д.А.				
Конс.					
Н. контр.					
Руков. ООП	Беляев В.М.				
Проектирование адсорбционной колонны производства формалина					
Литера		Лист		Листов	
Д		20		102	
НИ ТПУ ИШНПТ Группа 4Г7Б					

1.1 Способы получения формалина в промышленности

В настоящее время основным методом получения формальдегида в промышленности является каталитическое окисление метанола [4, 5] при использовании двух видов катализаторов [4 – 6]: металлического и оксидного катализатора.

В качестве металлического катализатора на используют серебряный катализатор. Такой процесс идет при температуре 500 – 720 °С [7] при соотношениях концентраций метанола выше предела взрываемости.

Существует два способа получения формальдегида на серебряном катализаторе [7]:

- 1) полная конверсия метанола в присутствии кристаллов серебра, водяного пара, при избытке метанола при температурах 680 – 720 °С;
- 2) частичная конверсия метанола в присутствии кристаллического серебра или серебряной сетки, водяного пара, при избытке метанола при температурах 600 – 650 °С, с последующей ректификацией;

На рисунке 1 представлена технологическая схема производства формальдегида окислением метанола на серебряном катализаторе.

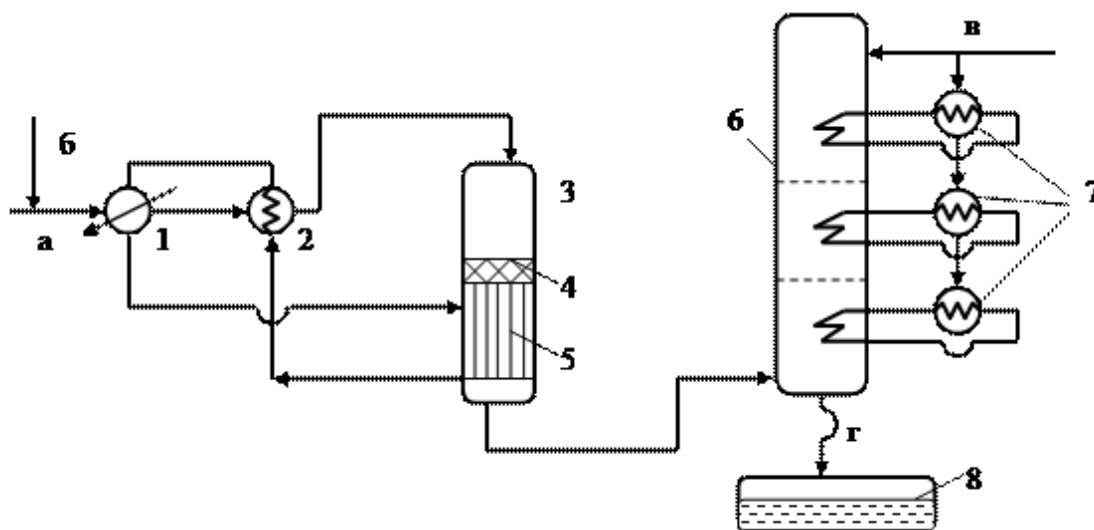


Рисунок 1 – Технологическая схема получения формальдегида окислительной конверсией метанола на серебряном катализаторе [4]: 1 – испаритель; 2,7 – теплообменник; 3 – реактор; 4 – катализатор; 5 – подконтактный холодильник; 6 – абсорбер; 8 – сборник формалина; а – воздух; б – метанол; в – вода; г – метанольный формалин.

В качестве оксидного катализатора широко применяют соединения молибдена и железа. Синтез на таком катализаторе идет при значительно более низких температурах по сравнению с серебряным (260 – 400 °С).

Аппаратурное оформление производства формалина на оксидном катализаторе существенно не отличается от предыдущего. Технологическая схема такого производства представлена на рисунке 2.

Взам. инв. №	
Подпись и дата	
Инф. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.066231.ПЗ

Лист
21

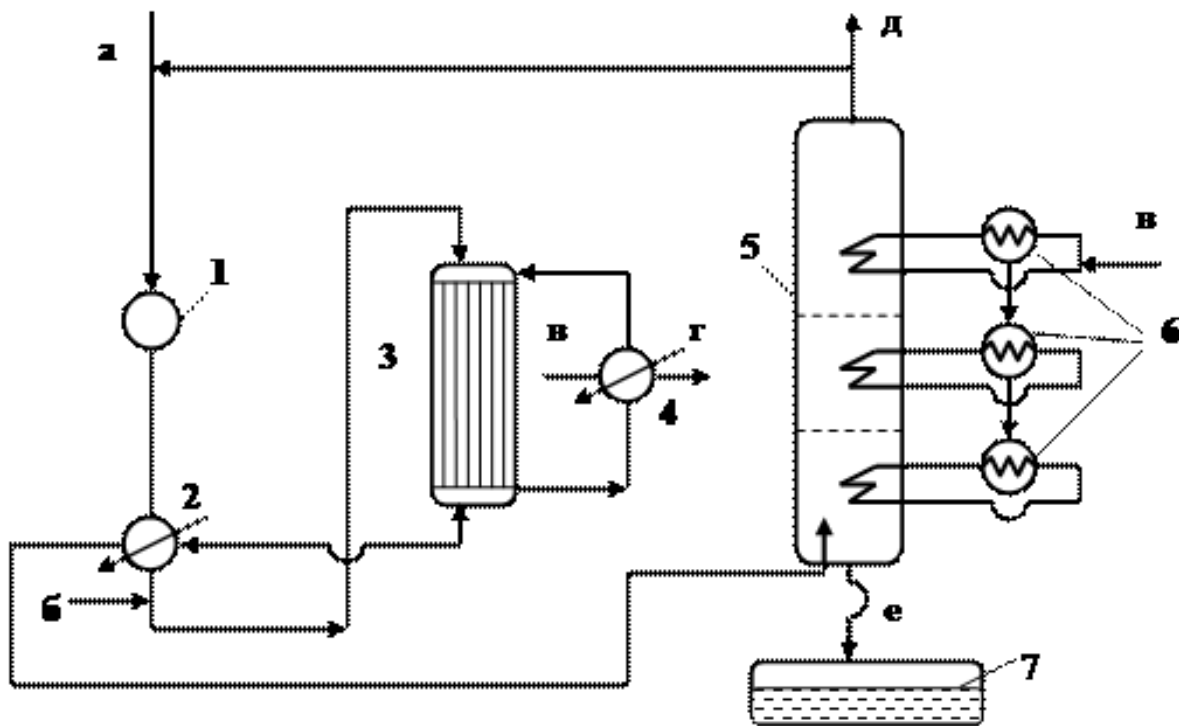


Рисунок 2 – Технологическая схема производства формальдегида окислительной конверсией метанола на оксидном катализаторе [4]: 1 – компрессор; 2,4,6 – теплообменники; 3 – реактор; 5 – абсорбционная колонна; 7 – сборник формалина; а – свежий воздух; б – метанол; в – вода; г – вторичный водяной пар; д – отработанный воздух; е – формалин.

На данный момент методом окисления метанола на серебряном катализаторе получают около 70 – 80 % всего мирового формалина [7, 8], так как еще недавно процесс имел ограничения по производительности и подходил для не крупнотоннажных производств объемом не более 32 тыс. тонн/год, а все крупнейшие предприятия получали формалин на серебряном катализаторе. Сейчас же разрабатываются и реализуются более совершенные технологические линии мощностью порядка 200 – 250 тыс. тонн/год.

Из-за удобства применения в последнее время все большее распространение получил метод получения формалина на оксидном катализаторе [8]. В данном случае синтез идет при более низкой температуре, уменьшая количество побочных реакций, из-за чего конечный продукт содержит не более 0,6 – 1 %, и не более 0,02 % муравьиной кислоты. Это является большим преимуществом над методом получения формальдегида на серебряном катализаторе с полной конверсией метанола.

Формалин, получаемый по технологии неполной конверсии метанола на серебряном катализаторе с применением дистилляции, содержит не более 1 % метанола и меньшее количество других примесей по сравнению с технологией с применением полной конверсии метанола, но данная технология экономически менее выгодна [7].

Взам. инв. №	
Инф. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.066231.ПЗ

1.2 Схема блока абсорбции производства формалина

После каталитического окисления метанола кислородом воздуха, смесь абгазов (формальдегид, и полученные в ходе побочных реакций вещества) поступают в блок абсорбции. Абсорбция производится в колоннах, оснащенных контактными устройствами [1].

Реакционные газы после рекуператора поступают в куб абсорбера. Противотоком к реакционным газам на верхнюю насадку абсорбера поступает дистиллят из куба. В результате теплообмена между противоточными потоками газа и жидкости происходит охлаждение газа, абсорбция из него формальдегида и конденсация из него водяных паров. Образующийся в результате реакции формалин стекает в кубовую часть абсорбера, откуда подается на орошение на первый слой насадки (первый циркуляционный контур) абсорбера, а избыток по уровню в кубовой части непрерывно отводится в приемные емкости-стандартизаторы.

Для поглощения непрореагировавшего формальдегида из контактных газов на насадках первого циркуляционного контура, существует второй циркуляционный контур. Полупродукт после третьего слоя насадки абсорбера подается в теплообменник, где охлаждается оборотной водой, поступающей из коллектора прямой оборотной воды, и подается через форсунки на третий слой насадки. Температура после теплообменника регулируется путем изменения расхода подаваемого на охлаждение продукта.

Абгазы, насыщенные парами воды, из первого абсорбера поступают в кубовую часть второго абсорбера. Противотоком к абгазам в верхнюю часть второго абсорбера подается дистиллят (деминерализованная вода). Расход воды изменяется автоматически в зависимости от количества подаваемого метанола.

Технологическая схема блока абсорбции представлена на рисунке 3.

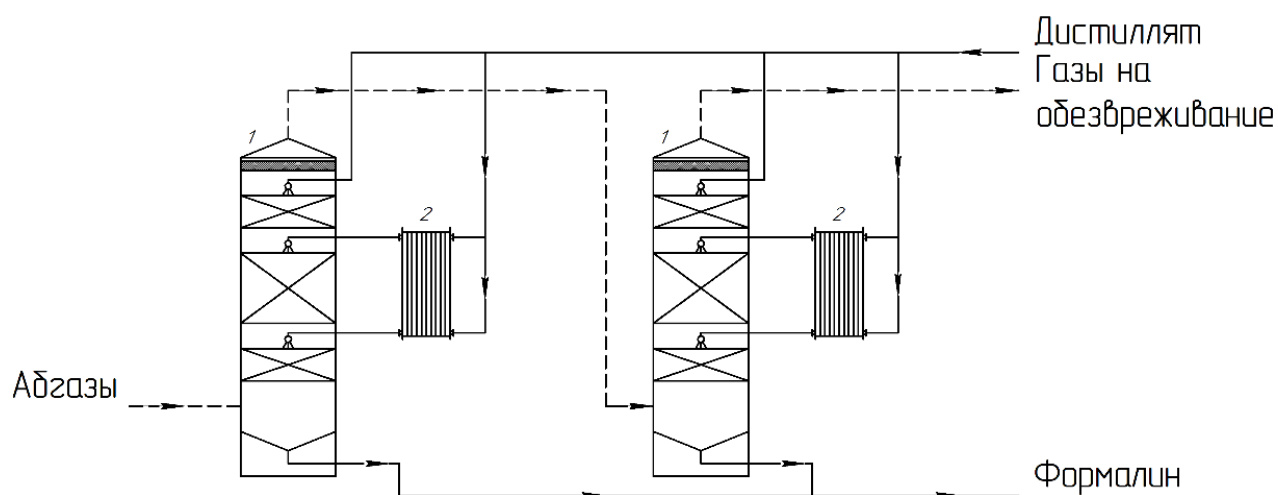


Рисунок 3 – Технологическая схема блока абсорбции формальдегида:

1 – абсорбер; 2 – теплообменник.

После абсорбции, неабсорбированные газы направляются в блок обезвреживания, где окисляются до углекислого газа и воды, нанося тем самым меньший вред окружающей среде.

Взам. инв. №	
Подпись и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.066231.ПЗ

Лист

23

1.2.1 Абсорбер формальдегида

Аппарат блока абсорбции представляет собой колонну с тремя насадками. В куб абсорбера поступает смесь абгазов, полученных в ходе реакции каталитического окисления, а сверху колонны – деминерализованная вода, благодаря которой происходит поглощение формалина с получением раствора нужной концентрации.

Насадка абсорбера состоит из инертного материала. За счет большой свободной поверхности единицы насадки происходит улавливание жидкой и газовой фаз и их дальнейшее взаимодействие с поглощением формальдегида водой. Насадка устанавливается на опорную решетку, умеющую минимальное гидравлическое сопротивление и обладающую высокой механической прочностью.

Для эффективного использования насадки абсорбент подается на насадочные зоны и распыляется при помощи распределителя жидкости. Для уменьшения пристеночного эффекта перед новым слоем насадки устанавливается перераспределительная тарелка. Для отделения капель жидкости (брызг) от газа и снижения уноса жидкости в месте введения газового потока (низ колонны), над введением сырья и в верхней части колонны устанавливаются каплеуловители (отбойные устройства).

Подробная схема абсорбционной колонны представлена на рисунке 4.

Взам. инв. №	Инф. № подл.	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ФЮРА.066231.ПЗ	Лист
								24

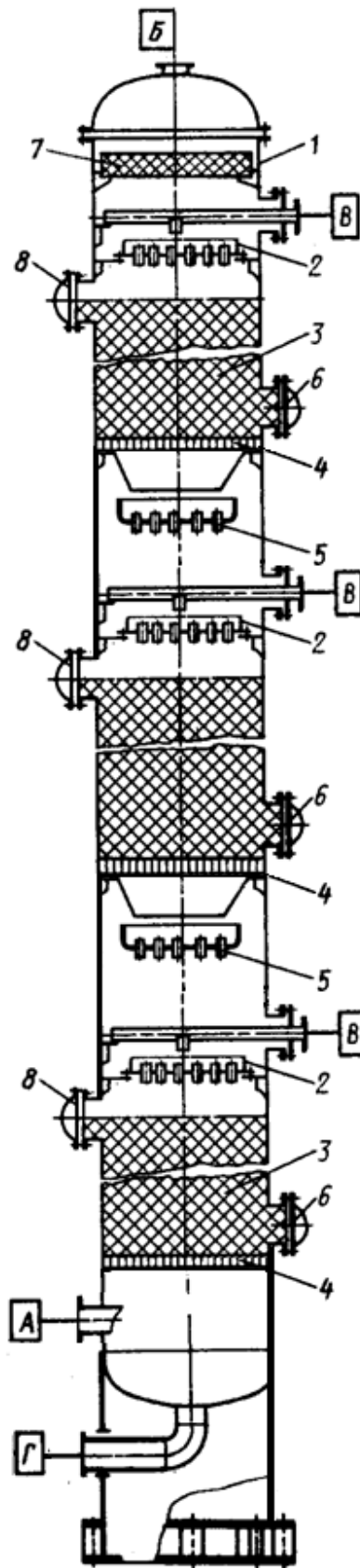


Рисунок 4 – Абсорбционная колонна для абсорбции формальдегида: 1 – корпус; 2 – распределительная тарелка; 3 – насадка; 4 – опорные решетки; 5 – перераспределительная тарелка; 6, 8 – люки для загрузки и выгрузки насадки; 7 – отбойное устройство; А – штуцер для входа абгазов; Б – штуцер для входа непрореагировавших газов; В – штуцер для входа абсорбента; Г – штуцер для выхода продукта.

Взам. инв. №	
Инф. № подл.	
Подпись и дата	

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.066231.ПЗ

1.3 Оценка существующих готовых решений по оптимизации производства

В последние годы активно ведутся разработки по повышению энергоэффективности и ресурсосбережения в производстве формалина. Все они направлены на модернизацию одного или нескольких аппаратов технологической линии. Рассмотрим способы модернизации производства при помощи совершенствования аппаратов блока абсорбции.

Известен способ получения формалина с трехстадийной абсорбцией. Парогазовая смесь одной абсорбционной колонны переходит в другую абсорбционную колонну и т.д., а конечный абгаз покидает последнюю абсорбционную колонну. Выделение водного раствора формальдегида осуществляют из кубовой части первой колонны [9]. В данном способе за счет использования нескольких абсорбционных колонн усложняется аппаратное оформление процесса, но значительно снижаются экономические показатели.

Известен способ получения формалина дистилляцией водного раствора формальдегида. Полученный после дистилляции пар направляют на стадию абсорбции, верхний продукт абсорбции отводят, а нижний продукт смешивают с концентрированным раствором формальдегида со стадии дистилляции до получения стабильного раствора. Также указано, что качественный состав формалина, образующегося в абсорбционном аппарате, можно регулировать при помощи подачи различных количеств абсорбционного раствора и/или возврата конденсата паров после стадии абсорбции [10]. Однако в данном способе концентрирование продукта происходит за счет использования энергоемкой стадии дистилляции. При этом данный способ предполагает образование большого количества химически грязных стоков вследствие использования в качестве сырья неконцентрированного, обводненного формалина с повышенным содержанием метанола.

Одним из наиболее эффективных способов является способ абсорбции формальдегида с независимым контуром циркуляции абгаза из верхней части в нижнюю часть колонны [11]. В нижней ступени колонны происходит процесс абсорбции, а в верхней ступени колонны газ охлаждается с конденсацией из него конденсирующихся компонентов – паров воды, метанола и формальдегида. Абгаз, состоящий из неконденсирующихся компонентов выводится из верхней части колонны и частично направляется на утилизацию, а частично возвращаются на циркуляцию в процесс. Выведение из процесса паров воды с помощью абгаза позволяет регулировать концентрацию продукта в широких пределах путем изменения количества абгаза, подаваемого в колонну.

На предприятии ООО «Сибметакхим» используется технологическая линия, поставляемая ЗАО «Безопасные технологии». Как показывает практика, данная технология еще далека от совершенства и одним из ее недостатков является то, что блок абсорбции работает малоэффективно и энергозатратно. Отсюда возникает необходимость модернизации блока абсорбции, а именно: проектирование оптимальной абсорбционной колонны для данного процесса с целью увеличения

Взам. инв. №	
Подпись и дата	
Инв. № подл.	

					ФЮРА.066231.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

производительности и ресурсоэффективности, а также снижения материалоемкости (в ходе замены двух единиц оборудования одной).

1.4 Метод расчета абсорбера

Получение формалина основано на реакции каталитического окисления метанола до формальдегида кислородом воздуха с последующей абсорбцией его водой и стабилизацией метанолом до формалина марки ФМ.

Реакция генерирует 159 кДж теплоты на каждый моль метанола по следующим массовым долям компонентов (из расчета общей конверсии 99 %) [1]:



$$1,0000 + 0,51125 = 0,86719 + 0,57973 + 0,04265 + 0,01000 + 0,01168$$

Абсорбция формальдегида производится в колонном аппарате. Реакционные газы поступают в аппарат со скоростью 21 471 кг/час и температурой 130 – 160 °С, противотоком к реакционным газам на верхнюю насадку абсорбера поступает дистиллят (деминерализованная вода) [1].

Образующийся в результате реакции формалин отводится в приемные емкости и стабилизируется метанолом. Давление в абсорбере поддерживается на уровне 0,17 – 0,35 МПа.

Технологический расчет абсорбера выполняется с целью определения конструктивных параметров аппарата, таких как диаметр колонны, высота насадки и колонны в целом. Для анализа энерго- и ресурсосбережения производится расчет вспомогательного оборудования для осуществления работы аппарата. Расчеты производятся согласно классическим и новым пособиям по проектированию основных процессов и аппаратов химической технологии [12, 13] с применением вычислительных программ (MathCad).

Расчет элементов аппарата проводится в соответствии с серией стандартов ГОСТ 34233 – 2017, с применением справочной литературы по расчетам и конструированию под редакцией Н.Н. Лацинского [14] и пособий по расчетам и конструированию В.М. Беляева и В.М. Миронова [15].

Конструирование аппарата осуществляется с помощью систем автоматизированного проектирования (КОМПАС, AutoCAD).

Взам. инв. №					Лист
Инф. № подл.					Лист
Подпись и дата					27
<i>ФЮРА.066231.ПЗ</i>					
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

Технологический расчет абсорбционной колонны состоит в определении основных размеров массообменного и других внутренних устройств, материальных потоков, диаметров трубопроводов, гидравлических сопротивлений, а также в подборе насосной установки и газодувки для обеспечения подвода сырья.

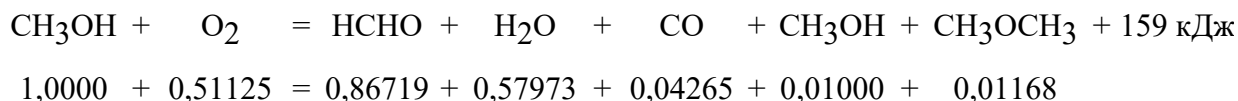
2.1 Исходные данные

Основные параметры процесса абсорбции производства формалина на предприятии ООО «Сибметахим» представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры процесса абсорбции производства формалина

Параметр, единица измерения	Значение параметра
Расход реакционных газов, кг/час	21 471
Максимальное давление в аппарате (избыточное), МПа	0,35
Максимальная температура контактных газов, °С	160
Температура деминерализованной воды, °С	20
Массовая доля формальдегида в продукте, % [ГОСТ 1625-2016]	36,9 – 37,5
Массовая доля метанола в продукте, % [ГОСТ 1625-2016]	4,0 – 8,0

Определим массу смеси, получившейся в ходе реакции 1 кмоль метанола с кислородом.



Масса каждого из веществ смеси, кг:

$$m_{\text{HCHO}} = n_{\text{HCHO}} \cdot M_{\text{HCHO}} = 0,86719 \cdot 30 = 26,016;$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = n_{\text{H}_2\text{O}} \cdot M_{\text{H}_2\text{O}} = 0,57973 \cdot 18 = 10,435;$$

$$m_{\text{CO}} = n_{\text{CO}} \cdot M_{\text{CO}} = 0,04265 \cdot 28 = 1,194;$$

$$m_{\text{CH}_3\text{OH}} = n_{\text{CH}_3\text{OH}} \cdot M_{\text{CH}_3\text{OH}} = 0,01000 \cdot 32 = 0,32;$$

$$m_{\text{CH}_3\text{OCH}_3} = n_{\text{CH}_3\text{OCH}_3} \cdot M_{\text{CH}_3\text{OCH}_3} = 0,01168 \cdot 46 = 0,537.$$

Масса смеси, кг:

$$m_{\text{см}} = m_{\text{HCHO}} + m_{\text{H}_2\text{O}} + m_{\text{CO}} + m_{\text{CH}_3\text{OH}} + m_{\text{CH}_3\text{OCH}_3},$$

$$m_{\text{см}} = 26,016 + 10,435 + 1,194 + 0,32 + 0,537 = 38,502.$$

Исходные концентрации компонентов в газовой смеси, кг/кг смеси:

$$y_{\text{HCHO}} = \frac{m_{\text{HCHO}}}{m_{\text{см}}} = \frac{26,016}{38,502} = 0,676 \text{ (67,6 \% масс.)};$$

$$y_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{m_{\text{H}_2\text{O}}}{m_{\text{см}}} = \frac{10,435}{38,502} = 0,271 \text{ (27,1 \% масс.)};$$

Взам. инв. №	
Подпись и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

ФЮРА.066231.ПЗ

Лист

28

$$y_{\text{CO}} = \frac{m_{\text{CO}}}{m_{\text{см}}} = \frac{1,194}{38,502} = 0,031 \text{ (3,1 \%масс.)};$$

$$y_{\text{CH}_3\text{OH}} = \frac{m_{\text{CH}_3\text{OH}}}{m_{\text{см}}} = \frac{0,32}{38,502} = 0,008311 \text{ (0,83 \%масс.)};$$

$$y_{\text{CH}_3\text{OCH}_3} = \frac{m_{\text{CH}_3\text{OCH}_3}}{m_{\text{см}}} = \frac{0,537}{38,502} = 0,014 \text{ (1,4 \%масс.)}.$$

Молекулярная масса смеси, кг/кмоль:

$$M_{\text{см}} = M_{\text{НСНО}} \cdot y_{\text{НСНО}} + M_{\text{H}_2\text{O}} \cdot y_{\text{H}_2\text{O}} + M_{\text{CO}} \cdot y_{\text{CO}} + 32 \cdot y_{\text{H}_2} + M_{\text{CH}_3\text{OCH}_3} \cdot y_{\text{CH}_3\text{OH}},$$

$$M_{\text{см}} = 30 \cdot 0,676 + 18 \cdot 0,271 + 28 \cdot 0,031 + 0,008311 \cdot 4 + 46 \cdot 0,014 = 27.$$

По условию расход реагентов составляет 21 471 кг/час. Переведем его в кг/с:

$$G = \frac{21\,471}{3\,600} = 5,964.$$

Примем массовые доли формальдегида и метанола в конечном продукте (после абсорбции и стабилизации) равными 37 % и 6 % соответственно (средние значения по ГОСТ 1625-2016 [16]).

$$\begin{array}{ccccccc} \text{НСНО} & + & \text{CH}_3\text{OH} & + & \text{H}_2\text{O} & & \\ 37 \% & + & 6 \% & + & 57 \% & = & 100 \% \end{array}$$

Тогда концентрация формальдегида в растворе после абсорбции составит:

$$x_{\text{к}}^* = 37 \% \text{масс.} \cdot \frac{100 \% \text{масс.}}{37 \% \text{масс.} + 57 \% \text{масс.}} = 39,36 \% \text{масс.} = 0,3936.$$

Исходные данные для дальнейшего расчета представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Исходные данные для расчета процесса абсорбции

Параметр, единица измерения	Значение параметра
Степень извлечения НСНО $\alpha_{\text{НСНО}}$, доли	0,99
Максимальное избыточное давление в абсорбере $P_{\text{изб}}$, МПа	0,35
Максимальная температура среды в абсорбере $t_{\text{с}}$, °С	160
Начальная концентрация НСНО в газовой фазе $\bar{y}_{\text{н}}$, кг/кг смеси	0,676
Начальная концентрация НСНО в жидкой фазе $\bar{x}_{\text{н}}$, кг/кг смеси	0
Конечная концентрация НСНО в жидкой фазе $x_{\text{к}}^*$, кг/кг смеси	0,3936
Расход реакционных газов G , кг/с	5,964
Коэффициент избытка поглотителя ε	1

Примерная схема для технологического расчета абсорбера представлена на рисунке 5.

Взам. инв. №	
Подпись и дата	
Инв. № подл.	

					ФЮРА.066231.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		29

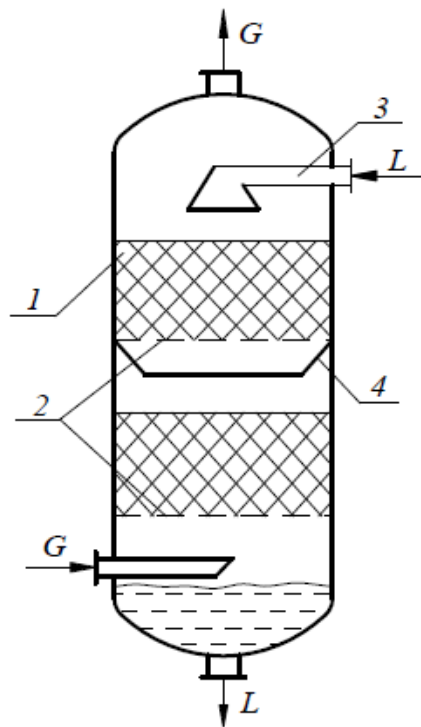


Рисунок 5 – Схема насадочного абсорбера [6]: 1 – насадка; 2 – опорная решетка; 3 – распределитель жидкости; 4 – перераспределитель жидкости; L – поток жидкости; G – газовый поток.

Дальнейший технологический расчет производим по [17].

2.2 Определение количества поглощаемого вещества и расхода абсорбента

Конечная концентрация НСНО в газовой фазе, кг/кг смеси:

$$\bar{y}_k = \bar{y}_n(1 - \alpha_{\text{НСНО}}) = 6,757 \times 10^{-3}.$$

Начальная и конечная концентрация НСНО в смеси, кмоль/кмоль смеси:

$$y_n = \frac{\frac{\bar{y}_n}{M_{\text{НСНО}}}}{\frac{\bar{y}_n}{M_{\text{НСНО}}} + \frac{1 - \bar{y}_n}{M_{\text{см}}}} = \frac{\frac{0,676}{30}}{\frac{0,676}{30} + \frac{1 - 0,676}{27}} = 0,652;$$

$$y_k = \frac{\frac{\bar{y}_k}{M_{\text{НСНО}}}}{\frac{\bar{y}_k}{M_{\text{НСНО}}} + \frac{1 - \bar{y}_k}{M_{\text{см}}}} = \frac{\frac{6,757 \times 10^{-3}}{30}}{\frac{6,757 \times 10^{-3}}{30} + \frac{1 - 6,757 \times 10^{-3}}{27}} = 6,085 \times 10^{-3}.$$

Количество поглощаемого формальдегида из газовой смеси, кг/с:

$$G_{\text{НСНО}} = G \cdot y_n \cdot \alpha_{\text{НСНО}} = 5,964 \cdot 0,652 \cdot 0,99 = 3,851.$$

Действительная концентрация НСНО в абсорбенте на выходе, кг НСНО/кг Н₂O:

$$\bar{x}_k = \frac{x_k^*}{1 - x_k^*} = 0,649.$$

Расход абсорбента, кг/с:

$$L = \frac{G_{\text{НСНО}} \cdot \varepsilon}{\bar{x}_k} = \frac{3,851 \cdot 1}{0,649} = 5,933.$$

Взам. инв. №	
Подпись и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.066231.ПЗ

Лист

30

2.3 Определение диаметра абсорбционной колонны

Выбираем материал и тип насадки: керамические кольца Рашига. Они представляют собой простые кольца без дополнительных устройств. Наиболее дешевы и просты в изготовлении и являются самым употребляемым видом насадок.

Таблица 4 – Характеристики насадки [18, стр. 491, Т.4-19]:

Параметр, единица измерения	Значение параметра
Размеры насадки $d_H \times d_H \times l_H$, мм	50×50×5
Удельная поверхность σ_H , м ² /м ³	87,5
Свободный объем V_{CB} , м ³ /м ³	0,785
Масса насадки $G_{нас}$, кг/м ³	530
Эквивалентный диаметр $d_э$, м	0,036
Количество штук в 1 м ³ $n_{нас}$	6 000

Рассчитаем средние концентрации веществ в смеси, кг/кг смеси:

$$y_{ср.НСНО} = \frac{y_H + y_K}{2} = \frac{0,652 + 6,085 \times 10^{-3}}{2} = 0,329;$$

$$y_{ср.CO} = \frac{y_{CO}}{2} = \frac{0,031}{2} = 0,16;$$

$$y_{ср.CH_3OH} = \frac{y_{CH_3OH} \cdot (1 + 1 - \alpha_{НСНО})}{2} = \frac{0,008311 \cdot (1 + 1 - 0,99)}{2} = 4,197 \times 10^{-3};$$

$$y_{ср.CH_3OCH_3} = \frac{y_{CH_3OCH_3}}{2} = \frac{0,014}{2} = 6,977 \times 10^{-3};$$

$$y_{ср.H_2O} = \frac{y_{H_2O} \cdot (1 + 1 - \alpha_{НСНО})}{2} = \frac{0,271 \cdot (1 + 1 - 0,99)}{2} = 0,137.$$

Средняя плотность газовой смеси при рабочих условиях, кг/м³:

$$\rho_{ср.см} = \sum \left(\frac{M_i}{V_m} \cdot y_{ср i} \right),$$

где $\frac{M_i}{V_m} = \rho_i$ – плотность компонента смеси;

$$\rho_{ср.см} = \frac{30}{22,4} \cdot 0,329 + \frac{18}{22,4} \cdot 0,16 + \frac{28}{22,4} \cdot 4,197 \times 10^{-3} + \frac{32}{22,4} \cdot 6,977 \times 10^{-3} + \frac{46}{22,4} \cdot 0,137 = 0,591.$$

Средняя плотность газовой фазы при рабочих условиях, кг/м³:

$$\rho_y = \rho_{ср.см} \frac{T_0 P}{T P_0} = 0,591 \cdot \frac{273 \cdot (0,103 + 0,35)}{(273 + 160) \cdot 0,103} = 2,742,$$

где T_0 – начальная температура, К; T – температура процесса, К; P_0 – атмосферное давление, МПа; P – абсолютное давление в абсорбере, МПа.

Плотность воды при рабочих условиях по [19], кг/м³:

$$\rho_x = 998.$$

Взам. инв. №	Подпись и дата	Инф. № подл.				Лист
			ФЮРА.066231.ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблица 5 – Динамические коэффициенты вязкости компонентов газовой смеси и деминерализованной воды при рабочих условиях [19]:

Вещество	Динамическая вязкость, Па·с
Деминерализованная вода μ_x	1×10^{-3}
Формальдегид $\mu_{\text{НСНО}}$	$1,393 \times 10^{-5}$
Пары воды в смеси $\mu_{\text{H}_2\text{O}}$	$1,471 \times 10^{-5}$
Угарный газ $\mu_{\text{СО}}$	$2,247 \times 10^{-5}$
Метанол $\mu_{\text{СН}_3\text{ОН}}$	$1,427 \times 10^{-5}$
Диметиловый эфир $\mu_{\text{СН}_3\text{ОСН}_3}$	$1,345 \times 10^{-5}$

Средняя молекулярная масса смеси, кг/кмоль:

$$M_{\text{ср.см}} = \sum (M_i \cdot y_{\text{ср } i}),$$

$$M_{\text{ср.см}} = 30 \cdot 0,329 + 18 \cdot 0,16 + 28 \cdot 4,197 \times 10^{-3} + 32 \cdot 6,977 \times 10^{-3} + 46 \cdot 0,137 = 13,227$$

Динамическая вязкость газовой смеси при рабочих условиях, Па·с:

$$\mu_y = \frac{M_{\text{ср.см}}}{\sum \left(\frac{M_i}{\mu_i} \cdot y_{\text{ср } i} \right)},$$

$$\mu_y = \frac{13,227}{\frac{30 \cdot 0,329}{1,393 \times 10^{-5}} + \frac{18 \cdot 0,16}{1,471 \times 10^{-5}} + \frac{28 \cdot 4,197 \times 10^{-3}}{2,247 \times 10^{-5}} + \frac{32 \cdot 6,977 \times 10^{-3}}{1,427 \times 10^{-5}} + \frac{46 \cdot 0,137}{1,345 \times 10^{-5}}},$$

$$\mu_y = 1,424 \times 10^{-5}.$$

Расчет абсорбера производится при оптимальном гидродинамическом режиме. Рабочую скорость газа в абсорбере можно определить по [20, стр. 292], используя зависимость:

$$w = (0,6 \div 0,85)w_0 \text{ м/с.}$$

Скорость газа, соответствующая возникновению режима эмульгирования (считая на полное сечение колонны), определяется по [13, стр. 292] по уравнению:

$$\log \frac{w_0^2 \cdot \sigma_{\text{H}} \cdot \rho_y \cdot (\mu_x \times 10^3)^{0,16}}{g \cdot V_{\text{СВ}}^3 \cdot (\rho_x - \rho_y)} = 0,022 - 1,75 \left(\frac{L}{G} \right)^{0,25} \left(\frac{\rho_y}{\rho_x - \rho_y} \right)^{0,125}.$$

Тогда:

$$w_0 = \sqrt{10^{0,022 - 1,75 \left(\frac{L}{G} \right)^{0,25} \left(\frac{\rho_y}{\rho_x - \rho_y} \right)^{0,125} - \log \frac{\sigma_{\text{H}} \cdot \rho_y \cdot (\mu_x \times 10^3)^{0,16}}{g \cdot V_{\text{СВ}}^3 \cdot (\rho_x - \rho_y)}},$$

$$w_0 = \sqrt{10^{0,022 - 1,75 \left(\frac{5,933}{5,964} \right)^{0,25} \left(\frac{1,637}{998 - 1,637} \right)^{0,125} - \log \frac{87,5 \cdot 1,637 \cdot 1^{0,16}}{9,81 \cdot 0,785^3 \cdot (998 - 1,637)}} = 2,389.$$

Рабочая скорость газа, м/с:

$$w = 0,7 \cdot w_0 = 0,7 \cdot 2,389 = 1,672.$$

Взам. инв. №	Инв. № подл.	Подпись и дата					Лист
			ФЮРА.066231.ПЗ				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			

Объемный расход смеси при рабочих условиях, м³/с:

$$V = \frac{G}{\rho_y} = \frac{5,964}{1,637} = 3,642.$$

Расчетный диаметр колонны, м:

$$D'_k = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot w}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3,642}{3,14 \cdot 1,672}} = 1,665.$$

Принимаем стандартный диаметр колонны, м:

$$D_k = 1,8.$$

Действительная скорость потока газа, м/с:

$$w_d = \left(\frac{D'_k}{D_k}\right)^2 \cdot w = \left(\frac{1,665}{1,8}\right)^2 \cdot 1,672 = 1,431.$$

Площадь поперечного сечения колонны по [20, стр. 667], м:

$$S_k = \pi \left(\frac{D_k}{2}\right)^2 = 3,14 \left(\frac{1,8}{2}\right)^2 = 2,545.$$

Плотность орошения, м³/(м²·ч):

$$U = \frac{L \cdot 3\,600}{\rho_x \cdot S_k} = \frac{5,933 \cdot 3\,600}{998 \cdot 2,545} = 8,41.$$

Оптимальная плотность орошения по [20, стр. 667], м³/(м²·ч):

$$U_{\text{опт}} = 0,093 \cdot \sigma_H = 0,093 \cdot 87,5 = 8,137.$$

Так как $U > U_{\text{опт}}$, тип насадки выбран правильно.

2.4 Определение высоты абсорбционной колонны

2.4.1 Определение средней движущей силы абсорбции

Парциальное давление НСНО на входе в абсорбер, МПа:

$$P_{\text{НСНО}}^H = y_H \cdot P = 0,652 \cdot 0,453 = 0,295.$$

Давление паров мономерного НСНО в чистом виде при температуре охлажденного раствора подчиняется уравнению [4, стр. 18, ур. 8]:

$$\log P_{\text{НСНО}}^0 = -\frac{1,5348}{T_r} [1 - T_r^2 + 0,483 \cdot (3 + T_r) \cdot (1 - T_r)^3],$$

где $T_{\text{кр}} = 414,2$ – критическая температура для НСНО, К; $T_r = \frac{T}{T_{\text{кр}}} = \frac{273+30}{414,2} = 0,732$ – приведенная температура для НСНО, К.

Тогда давление паров мономерного НСНО в чистом виде, МПа:

$$P_{\text{НСНО}}^0 = 10^{-\frac{1,5348}{T_r} [1 - T_r^2 + 0,483 \cdot (3 + T_r) \cdot (1 - T_r)^3]},$$
$$P_{\text{НСНО}}^0 = 10^{-\frac{1,5348}{0,732} [1 - 0,732^2 + 0,483 \cdot (3 + 0,732) \cdot (1 - 0,732)^3]} = 0,089.$$

Взам. инв. №	
Подпись и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ФЮРА.066231.ПЗ	Лист
						33

Конечная концентрация НСНО в жидкости, кг/кг смеси:

$$x_k = \frac{\frac{\bar{x}_k}{M_{\text{НСНО}}}}{\frac{\bar{x}_k}{M_{\text{НСНО}}} + \frac{1}{M_{\text{H}_2\text{O}}}} = \frac{\frac{0,649}{30}}{\frac{0,649}{30} + \frac{1}{18}} = 0,28$$

Парциальное давление НСНО в газе, равновесном с жидкостью, вытекающей из абсорбера [4, стр. 15-16], МПа:

$$P_{\text{H}}^{\text{НСНО}} = 6,02 \cdot P_{\text{НСНО}}^0 \cdot x_k = 6,02 \cdot 0,089 \cdot 0,28 = 0,150.$$

Движущая сила процесса внизу колонны, МПа:

$$\Delta P_{\text{H}} = P_{\text{H}}^{\text{НСНО}} - P_{\text{H}}^{\text{НСНО}*} = 0,295 - 0,150 = 0,145.$$

Парциальное давление НСНО в газе, выходящем вверху из абсорбера, МПа:

$$P_{\text{B}}^{\text{НСНО}} = y_k \cdot P = 6,085 \times 10^{-3} \cdot 0,453 = 2,757 \times 10^{-3}.$$

Так как на орошение абсорбера подается деминерализованная вода, то парциальное давление НСНО в равновесном с водой газе равно нулю, МПа:

$$P_{\text{B}}^{\text{НСНО}*} = 0.$$

Движущая сила процесса вверху колонны, МПа:

$$\Delta P_{\text{B}} = P_{\text{B}}^{\text{НСНО}} - P_{\text{B}}^{\text{НСНО}*} = 2,757 \times 10^{-3} - 0 = 2,757 \times 10^{-3}.$$

Тогда средняя движущая сила абсорбции, МПа:

$$\Delta P_{\text{ср}} = \frac{\Delta P_{\text{H}} - \Delta P_{\text{B}}}{\ln \frac{\Delta P_{\text{H}}}{\Delta P_{\text{B}}}} = \frac{0,145 - 2,757 \times 10^{-3}}{\ln \frac{0,145}{2,757 \times 10^{-3}}} = 0,036.$$

2.4.2 Определение коэффициента массопередачи

Коэффициент распределения:

$$\varphi = \frac{6,02 \cdot P_{\text{НСНО}}^0 \cdot M_{\text{H}_2\text{O}}}{\rho_x} = \frac{6,02 \cdot 0,089 \cdot 18}{998} = 9,711 \times 10^{-3}.$$

Мольные объемы НСНО и H₂O, см³/моль:

$$v_{\text{НСНО}} = \frac{x_k \cdot M_{\text{НСНО}}}{\rho_x} \cdot \frac{10^6}{10^3} = \frac{0,28 \cdot 30}{988} \cdot \frac{10^6}{10^3} = 8,426;$$

$$v_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{(1 - x_k) \cdot M_{\text{H}_2\text{O}}}{\rho_x} \cdot \frac{10^6}{10^3} = \frac{(1 - 0,28) \cdot 18}{988} \cdot \frac{10^6}{10^3} = 12,981.$$

Коэффициент диффузии НСНО в газовой фазе при рабочих условиях, м²/с:

$$D_y = \frac{4,22 \cdot 10^{-8} \cdot T^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{\frac{1}{M_{\text{НСНО}}} + \frac{1}{M_{\text{H}_2\text{O}}}}}{P \cdot \left(v_{\text{НСНО}}^{\frac{1}{3}} + v_{\text{H}_2\text{O}}^{\frac{1}{3}} \right)^2} = \frac{4,22 \cdot 10^{-8} \cdot 433^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{\frac{1}{30} + \frac{1}{18}}}{0,435 \cdot \left(8,426^{\frac{1}{3}} + 12,981^{\frac{1}{3}} \right)^2} = 1,301 \times 10^{-5}.$$

Взам. инв. №	Инф. № подл.	Подпись и дата					Лист
			ФЮРА.066231.ПЗ				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			

Критерий Рейнольдса для газа:

$$Re_y = \frac{w \cdot d_э \cdot \rho_y}{V_{св} \cdot \mu_y} = \frac{1,672 \cdot 0,036 \cdot 1,637}{0,785 \cdot 1,424 \times 10^{-5}} = 8\,818.$$

Критерий Прандтля для газа:

$$Pr_y = \frac{\mu_y}{\rho_y \cdot D_y} = \frac{1,424 \times 10^{-5}}{1,637 \cdot 1,301 \times 10^{-5}} = 0,668.$$

Коэффициент массоотдачи со стороны газа:

$$\beta_y = \frac{0,167 \cdot D_y \cdot Re_y^{0,74} \cdot Pr_y^{0,33}}{d_э} \cdot \left(\frac{l_H}{d_э}\right)^{-0,47} \cdot \rho_y,$$
$$\beta_y = \frac{0,167 \cdot 1,301 \times 10^{-5} \cdot 8\,818^{0,74} \cdot 0,668^{0,33}}{0,036} \cdot \left(\frac{0,005}{0,036}\right)^{-0,47} \cdot 1,637 = 0,182,$$

где l_H – высота элемента насадки, м.

Коэффициент диффузии НСНО в жидкости при 20 °С, м²/с:

$$D_x^{20} = \frac{10^{-6} \cdot \sqrt{\frac{1}{M_{НСНО}} + \frac{1}{M_{H_2O}}}}{\sqrt{\mu_x} \cdot \left(\nu_{НСНО}^{\frac{1}{3}} + \nu_{H_2O}^{\frac{1}{3}}\right)^2} = \frac{10^{-6} \cdot \sqrt{\frac{1}{30} + \frac{1}{18}}}{\sqrt{1 \times 10^{-3}} \cdot \left(8,426^{\frac{1}{3}} + 12,981^{\frac{1}{3}}\right)^2} = 4,903 \times 10^{-7}.$$

Температурный коэффициент:

$$b_T = 0,2 \frac{\sqrt{\mu_x}}{\sqrt[3]{\rho_x}} = 0,2 \frac{\sqrt{1 \times 10^{-3}}}{\sqrt[3]{998}} = 6,329 \times 10^{-4}.$$

Коэффициент диффузии НСНО в воде, м²/с:

$$D_x = D_x^{20} \cdot b_T = 4,903 \times 10^{-7} \cdot 6,329 \times 10^{-4} = 3,103 \times 10^{-10}.$$

Критерий Рейнольдса для жидкости:

$$Re_x = \frac{4 \cdot L}{\sigma_H \cdot \mu_x \cdot S_K} = \frac{4 \cdot 5,933}{87,5 \cdot 1 \times 10^{-3} \cdot 2,545} = 106,581.$$

Критерий Прандтля для жидкости:

$$Pr_x = \frac{\mu_x}{\rho_x \cdot D_x} = \frac{1 \times 10^{-3}}{998 \cdot 3,103 \times 10^{-10}} = 3\,229.$$

Критерий Нуссельта для жидкости:

$$Nu_x = 0,0021 \cdot Re_x^{0,75} \cdot Pr_x^{0,5} = 0,0021 \cdot 106,581^{0,75} \cdot 3\,229^{0,5} = 3,958.$$

Коэффициент массоотдачи со стороны жидкости (жидкостной пленки):

$$\beta_x = \frac{Nu_x \cdot D_x}{\left(\frac{\mu_x^2}{\rho_x^2 \cdot g}\right)^{\frac{1}{3}}} = \frac{3,958 \cdot 3,103 \times 10^{-10}}{\left(\frac{(1 \times 10^{-3})^2}{998^2 \cdot 9,81}\right)^{\frac{1}{3}}} = 2,626 \times 10^{-5}.$$

Коэффициент массопередачи, кмоль/(м²·с·МПа):

$$K_{\Delta P} = \frac{1}{\frac{1}{\beta_y} + \frac{\varphi}{\beta_x}} = \frac{1}{0,182 + \frac{9,711 \times 10^{-3}}{2,626 \times 10^{-5}}} = 2,665 \times 10^{-3}.$$

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.066231.ПЗ

Лист

35

2.4.3 Определение высоты насадки и высоты всей колонны

Высота насадки, м:

$$H_n = \frac{G_{\text{НСНО}}}{M_{\text{НСНО}} \cdot S_k \cdot \sigma_n \cdot K_{\Delta P} \cdot \Delta P_{\text{ср}}} = \frac{3,851}{30 \cdot 2,545 \cdot 87,5 \cdot 2,665 \times 10^{-3} \cdot 0,036} = 6.$$

Для удобства загрузки и выгрузки насадки укладываем ее в три слоя по 2 м.

Расстояние между днищем и насадкой определяется необходимостью равномерного распределения газа по поперечному сечению колонны. Расстояние от верха насадки до крышки абсорбера зависит от размеров распределительного устройства для орошения насадки и высоты сепарационного пространства, в котором устанавливаются каплеотбойные устройства для предотвращения брызгоуноса из колонны.

В зависимости от диаметра колонны выбираем длины ее составных частей по [12].

Таблица 6 – Назначаемые высоты частей колонны

Параметр	Значение параметра, м
Высота нижней части колонны $h_{\text{н.ч}}$	2,0
Высота верхней части колонны $h_{\text{в.ч}}$	1,5
Высота разрыва между насадками $h_{\text{р.н}}$	1,25

Тогда высота колонны, м:

$$H_k = H_n + h_{\text{н.ч}} + h_{\text{в.ч}} + h_{\text{р.н}} = 6 + 2,0 + 1,5 + 1,25 \cdot 2 = 12.$$

2.5 Определение гидравлического сопротивления колонны с насадкой

Коэффициент теплопроводности газа:

$$\lambda_y = \frac{16}{Re_y^{0,2}} = \frac{16}{8818^{0,2}} = 2,6$$

Сопротивление сухой насадки на один метр высоты, Па·м:

$$R_{\text{с.н}} = \frac{\lambda_y \cdot \sigma_n \cdot w^2 \cdot \rho_y}{4 \cdot V_{\text{св}}^3 \cdot 2} = \frac{2,6 \cdot 87,5 \cdot 1,672^2 \cdot 1,637}{4 \cdot 0,785^3 \cdot 2} = 269,171.$$

Сопротивление орошаемой насадки [21, стр. 685], Па:

$$\Delta P_{\text{ор}} = H_n \cdot R_{\text{с.н}} \cdot \left\{ 1 + 5,15 \cdot \left[\left(\frac{L}{G} \right)^{1,8} \cdot \frac{\rho_y}{\rho_x} \cdot \left(\frac{\mu_x}{\mu_y} \right)^{0,2} \right]^{0,225} \right\},$$

$$\Delta P_{\text{ор}} = 6 \cdot 269,171 \cdot \left\{ 1 + 5,15 \cdot \left[\left(\frac{5,933}{5,964} \right)^{1,8} \cdot \frac{1,637}{988} \cdot \left(\frac{1 \times 10^{-3}}{1,424 \times 10^{-5}} \right)^{0,2} \right]^{0,225} \right\} = 3989.$$

Согласно [20, стр. 17, Т.1.1] принимаем скорость газового потока в пределах: $w_r = 5 \div 20$:

$$w_r = 20 \text{ м/с.}$$

Взам. инв. №	Инф. № подл.	Подпись и дата					Лист
			ФЮРА.066231.ПЗ				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			

Тогда диаметр газопровода, м:

$$D_{\Gamma} = \sqrt{\frac{G}{\frac{\pi}{4} \cdot \rho_{\gamma} \cdot w_{\Gamma}}} = \sqrt{\frac{5,964}{\frac{3,14}{4} \cdot 1,637 \cdot 20}} = 0,482.$$

По ГОСТ 10704-76 [20, стр. 103, Т.1] выбираем стандартный трубопровод диаметром и толщиной стенки $D_{\text{н.г}} \times \delta_{\Gamma} = 530 \times 9$ мм.

Тогда внутренний диаметр газопровода, м:

$$D_{\text{в.г}} = D_{\text{н.г}} - 2 \cdot \delta_{\Gamma} = 0,530 - 2 \cdot 0,009 = 0,512.$$

Критерий Рейнольдса в газопроводе:

$$Re_{\Gamma} = \frac{w_{\Gamma} \cdot D_{\text{в.г}} \cdot \rho_{\gamma}}{\mu_{\gamma}} = \frac{20 \cdot 0,512 \cdot 1,637}{1,424 \times 10^{-5}} = 1\,178\,000.$$

Площадь сечения газопровода, м:

$$S_{\Gamma} = \pi \left(\frac{D_{\text{в.г}}}{2} \right)^2 = 3,14 \left(\frac{0,512}{2} \right)^2 = 0,206$$

По отношению площадей сечений газопровода и колонны $\frac{S_{\Gamma}}{S_{\kappa}} = 0,081$ находим коэффициенты местных сопротивлений по [13, стр. 522]: коэффициент внезапного расширения $\xi_{\Gamma 1} = 0,81$; коэффициент внезапного сужения: $\xi_{\Gamma 6} = 0,45$.

Потеря давления на преодоление местных сопротивлений входа и выхода газового потока в колонне, Па:

$$\Delta P_{\Gamma 1,6} = (\xi_{\Gamma 1} + \xi_{\Gamma 6}) \frac{w_{\Gamma}^2 \cdot \rho_{\gamma}}{2} = (0,81 + 0,45) \frac{20^2 \cdot 1,637}{2} = 412,627$$

Фактическая скорость газового потока в насадке, м/с:

$$w_{\text{н}} = \frac{w}{V_{\text{св}}} = \frac{1,672}{0,785} = 2,13.$$

Критерий Рейнольдса для насадки:

$$Re_{\text{н}} = \frac{w_{\text{н}} \cdot d_{\text{э}} \cdot \rho_{\gamma}}{\mu_{\gamma}} = \frac{2,13 \cdot 0,036 \cdot 1,637}{1,424 \times 10^{-5}} = 8\,818.$$

Площадь свободного сечения насадки, м:

$$S_{\text{н.св}} = V_{\text{св}} \cdot S_{\kappa} = 0,785 \cdot 2,545 = 1,998.$$

По отношению площадей сечений насадки и колонны $\frac{S_{\text{н.св}}}{S_{\kappa}} = 0,785$ определяем коэффициенты местных сопротивлений [13, стр. 522]: коэффициент внезапного сужения при входе в насадку $\xi_{\text{н}2,4} = 0,2$; коэффициент внезапного расширения при выходе из насадки $\xi_{\text{н}3,5} = 0,16$.

Потеря давления на преодоление местных сопротивлений насадки (три входа и три выхода), Па:

$$\Delta P_{\text{н}2,4,3,5} = (3 \cdot \xi_{\text{н}2,4} + 3 \cdot \xi_{\text{н}3,5}) \frac{w_{\text{н}}^2 \cdot \rho_{\gamma}}{2} = (3 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,16) \frac{2,13^2 \cdot 1,637}{2} = 4,012.$$

Взам. инв. №	Инв. № подл.	Подпись и дата					Лист
			ФЮРА.066231.ПЗ				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			

Потеря давления на преодоление местных сопротивлений в колонне, Па:

$$\Delta P_{\text{м.с}} = \Delta P_{\text{г1,6}} + \Delta P_{\text{н2,4,3,5}} = 412,627 + 4,012 = 416,639.$$

Общее гидравлическое сопротивление насадочной колонны, Па:

$$\Delta P = \Delta P_{\text{ор}} + \Delta P_{\text{м.с}} = 3\,989 + 416,639 = 4\,406.$$

2.6 Расчет вспомогательного оборудования

2.6.1 Расчет газодувки

Общее давление, развиваемое газодувкой, Па:

$$P_{\text{г}} = 1,05 \cdot (P_{\text{изб}} \times 10^6 + \Delta P) = 1,05 \cdot (0,35 \times 10^6 + 4\,406) = 372\,100.$$

где 1,5 – коэффициент, учитывающий потери давления в подводящих газопроводах на 5 %.

КПД газодувки принимаем: $\eta = 0,6$.

Тогда мощность, потребляемая газодувкой, кВт:

$$N_{\text{г}} = \frac{V \cdot P_{\text{г}}}{10^3 \cdot \eta} = \frac{3,642 \cdot 372\,100}{10^3 \cdot 0,6} = 2\,259.$$

Выбираем газодувки с максимальной мощностью по [21, стр. 951, Т.3]: А–102–2 $N = 200$ кВт, $n = 2950$ об/мин. Для обеспечения работы абсорбера потребуется 12 газодувок.

2.6.2 Расчет насосной установки

В соответствии с расчетом и необходимой высотой абсорбционной колонны принимаем следующие исходные данные для расчета насосной установки.

Таблица 7 – Исходные данные для расчета насосной установки

Параметр, единица измерения	Значение параметра
Производительность по абсорбенту L , кг/с	5,933
Высота подъема $H_{\text{к}}$, м	12
Плотность абсорбента $\rho_{\text{х}}$, кг/м ³	998
Общий КПД насосной установки η	0,6
Скорость жидкости (в пределах 0,8 ÷ 2,5) $w_{\text{ж}}$, м/с	0,8

Примерная схема для расчета вспомогательного оборудования колонны представлена на рисунке 6.

Взам. инв. №	
Подпись и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.066231.ПЗ

Лист

38

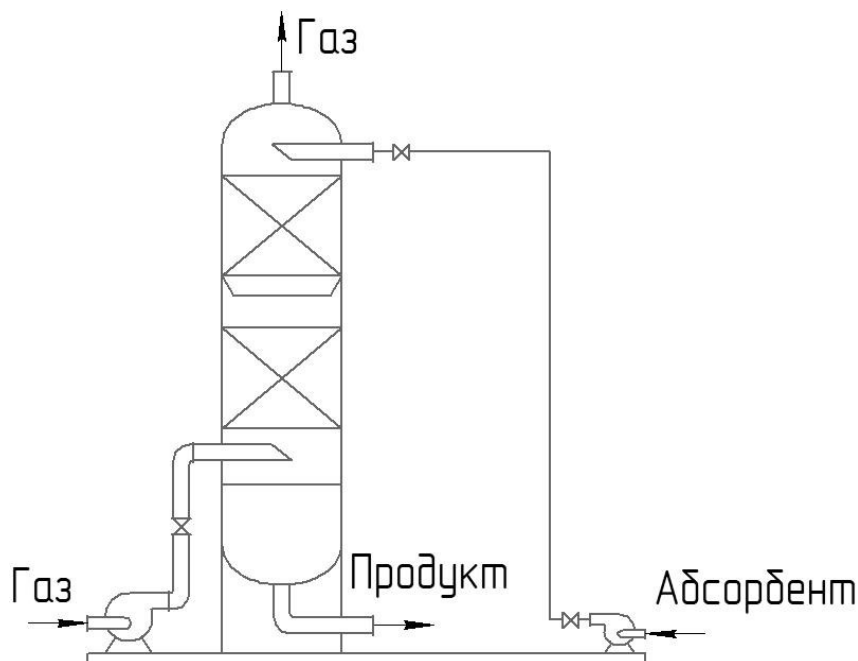


Рисунок 6 – Абсорбер и вспомогательное оборудование

Трубопровод имеет 2 вентиля и 2 колена под углом 90°.

Принимаем общую длину трубопровода, м:

$$l_{\text{тр}} = 20.$$

Диаметр трубопровода, м:

$$D_{\text{тр}} = \sqrt{\frac{4 \cdot L}{\pi \cdot \rho_x \cdot w_{\text{ж}}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 5,933}{3,14 \cdot 998 \cdot 0,8}} = 0,097.$$

Принимаем стандартный трубопровод по [21, стр.98, Т.1] диаметром и толщиной стенки $D_{\text{н.тр}} \times \delta_{\text{тр}} = 108 \times 5$ мм, шероховатость стенок 15 % от $\delta_{\text{тр}}$

Внутренний диаметр трубопровода, м:

$$D_{\text{в.тр}} = D_{\text{н.тр}} - 2 \cdot \delta_{\text{тр}} = 0,108 - 2 \cdot 0,005 = 0,098.$$

Действительная скорость движения жидкости, м/с:

$$w_{\text{д.ж}} = \frac{4 \cdot L}{\pi \cdot \rho_x \cdot D_{\text{в.тр}}^2} = \frac{4 \cdot 5,933}{3,14 \cdot 998 \cdot 0,098^2} = 0,788.$$

Затраты на скорость потока в трубопроводе, Па:

$$\Delta P_{\text{ск}} = \frac{w_{\text{д.ж}}^2 \cdot \rho_x}{2} = \frac{0,788^2 \cdot 998}{2} = 309,944.$$

Режим движения жидкости:

$$Re_{\text{тр}} = \frac{D_{\text{в.тр}} \cdot w_{\text{д.ж}} \cdot \rho_x}{\mu_x} = \frac{0,098 \cdot 0,788 \cdot 998}{1 \times 10^{-3}} = 77\,080.$$

Средняя высота выступов шероховатости на внутренней поверхности трубы, м:

$$e_{\text{тр}} = 0,15 \cdot \delta_{\text{тр}} = 0,15 \cdot 0,005 = 7,5 \times 10^{-4}.$$

Взам. инв. №	
Инв. № подл.	
Подпись и дата	

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.066231.ПЗ

Лист

39

В зависимости от величин $Re_{\text{тр}}$ и отношения $\frac{d_{\text{тр.в}}}{e_{\text{тр}}} = 130,667$ определяем коэффициент трения по [13, стр. 22]:

$$\lambda_{\text{тр}} = 0,045.$$

Площадь трубопровода, м:

$$S_{\text{тр}} = \pi \left(\frac{D_{\text{в.тр}}}{2} \right)^2 = 3,14 \left(\frac{0,098}{2} \right)^2 = 7,543 \times 10^{-3}.$$

В зависимости от отношения площадей трубопровода и колонны: $\frac{S_{\text{тр}}}{S_{\text{к}}} = 2,964 \times 10^{-3}$ находим коэффициенты местных сопротивлений трубопровода по [13, стр. 520-522]: вход в трубу с острыми краями – $\xi_{\text{тр1}} = 0,5$; выход из трубы – $\xi_{\text{тр2}} = 1$; вентиль нормальный (2 шт.) – $\xi_{\text{тр3}} = 2 \cdot 4,1 = 8,2$; отвод (при 90° и $\frac{R_0}{D_{\text{тр}}} = 1$, $\xi_{\text{тр4}} = \text{AB}$) (2 шт.) – $\xi_{\text{тр4}} = 2 \cdot 1 \cdot 0,21 = 0,42$; внезапное расширение – $\xi_{\text{тр5}} = 0,81$; внезапное сужение – $\xi_{\text{тр6}} = 0,45$.

Сумма коэффициентов местных сопротивлений:

$$\xi_{\text{тр}} = \sum \xi_i = 0,5 + 1 + 8,2 + 0,42 + 0,81 + 0,45 = 11,38.$$

Потеря давления на преодоление местных сопротивлений трения, Па:

$$\Delta P_{\text{тр.мс}} = \left(1 + \lambda_{\text{тр}} \frac{l_{\text{тр}}}{D_{\text{тр.в}}} + \sum \xi_{\text{тр}} \right) \cdot \Delta P_{\text{ск}} = \left(1 + 0,045 \cdot \frac{20}{0,098} + 11,38 \right) \cdot 309,944 = 6\,684.$$

Затрата давления на подъем жидкости, Па:

$$\Delta P_{\text{под}} = \rho_x \cdot g \cdot H_{\text{к}} = 998 \cdot 9,81 \cdot 12 = 117\,500.$$

Избыточное давление перед распылителем, Па:

$$\Delta P_{\text{изб}} = P_{\text{изб}} \times 10^6 = 0,35 \times 10^6 = 350\,000.$$

Давление, развиваемое насосом, Па:

$$P_{\text{н}} = \Delta P_{\text{ск}} + \Delta P_{\text{тр.мс}} + \Delta P_{\text{под}} + \Delta P_{\text{изб}} = 309,944 + 6\,684 + 117\,500 + 350\,000 = 474\,500.$$

Мощность, потребляемая насосом, кВт:

$$N_{\text{н}} = \frac{L \cdot P_{\text{н}}}{10^3 \cdot \rho_x \cdot \eta} = \frac{5,933 \cdot 474\,500}{10^3 \cdot 998 \cdot 0,6} = 4,701$$

По [21, стр.487, Т.3] подбираем центробежный насос X 80–50–1160–Д $N = 5,5$ кВт, $n = 2900$ об/мин.

2.7 Подбор диаметров трубопроводов для выхода газа и выхода продукта

Принимаем трубопроводы выхода газовой смеси и продукта из абсорбера по [21, Т.1]. Выбираем стандартный трубопровод с диаметром и толщиной стенки, мм: $D_{\text{вых}} \times \delta_{\text{вых}} = 219 \times 8$.

Взам. инв. №	Инф. № подл.	Подпись и дата					Лист
			ФЮРА.066231.ПЗ				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			

2.8 Расчет тепловой изоляции

В качестве изоляционного слоя принимаем минеральную вату. Максимальная температура в аппарате 160 °С, температура наружной поверхности изоляции не должна превышать температуру 40 °С. Расчеты производим по [13].

Примем температуру окружающего воздуха, °С:

$$t_0 = 20.$$

Суммарный коэффициент теплоотдачи в окружающую среду лучеиспусканием и конвекцией, Вт/(м²·К):

$$\alpha_{т.о.} = 9,74 + 0,07 \cdot \Delta t = 9,74 + 0,07 \cdot (40 - 20) = 11,14.$$

Удельный тепловой поток, Вт/м²:

$$q = \alpha_{т.о.} \cdot (t_{ст} - t_0) = 11,14 \cdot (40 - 20) = 222,8.$$

Принимая то, что все термическое сопротивление сосредоточено в слое изоляции, то:

$$q = K_{и} \cdot (t_{вн} - t_0) = \frac{\lambda}{\delta} \cdot (t_{вн} - t_0).$$

Тогда толщина слоя изоляции, м:

$$\delta_{и} = \frac{\lambda_{и}}{q} \cdot (t_{вн} - t_0) = \frac{0,052}{222,8} \cdot (160 - 20) = 0,03,$$

где $\lambda_{и}$ – коэффициент теплопроводности минеральной ваты, Вт/(м·К).

Таким образом, толщина теплоизоляционного слоя аппарата из минеральной ваты составит 3 см.

2.9 Результаты технологического расчета

В ходе технологического расчета были определены основные технологические характеристики аппарата и рассчитаны главные геометрические параметры: высота и диаметр колонны. Результаты технологического расчета представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Результаты технологического расчета

Параметр	Значение параметра
Диаметр колонны, мм	1 800
Высота цилиндрической части колонны, мм	12 000
Диаметр трубопровода для входа газа, мм	530×9
Диаметр трубопровода для входа абсорбента, мм	108×5
Диаметр трубопровода для выхода газа и продукта, мм	219×8
Теплоизоляция	Минеральная вата
Толщина теплоизоляционного слоя, см	3

Взам. инв. №	Инф. № подл.	Подпись и дата	ФЮРА.066231.ПЗ					Лист
			Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	41

3 МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

Механический расчет состоит в определении исполнительных и номинальных размеров аппарата (толщины стенки обечайки, фланцевого соединения, днищ и т.д.), которые должны обеспечить необходимую прочность и долговечность аппарату как во время его рабочих условий, так и во время гидравлических испытаний.

3.1 Выбор материалов

Материалы для изготовления аппарата выбираются в соответствии со спецификой его эксплуатации, учитывая при этом возможное изменение исходных физико-химических свойств материалов под воздействием рабочей среды, температуры и протекающих химико-технологических процессов.

Главным требованием для материалов химических аппаратов в большинстве случаев является коррозионная стойкость материала, так как она определяет долговечность химического оборудования. Так как формальдегид имеет высокую реакционную способность, всю аппаратуру, с которой взаимодействует формальдегид, следует изготавливать из антикоррозионной стали.

По рекомендации [14, с.340] выбираем сталь 10X17H13M2T. Крышка, днище, обечайка аппарата, штуцеры для подвода жидкости и отвода продукта, штуцеры загрузки и выгрузки насадки, штуцеры подвода и отвода газов, распределительная, перераспределительная решетка для насадки и каплеотбойное устройство изготавливаются из данной стали.

Опора аппарата и другие внешние его детали изготавливаются из стали 15ХМ.

3.2 Определение исходных данных для механического расчета

Примем срок эксплуатации аппарата, лет:

$$\tau = 20.$$

Скорость коррозии стали 10X17H13M2T от действия заданной среды, мм/год:

$$П = 0,05.$$

Прибавка для компенсации коррозии и эрозии, мм:

$$c_1 = П \cdot \tau = 0,05 \cdot 20 = 1.$$

Прибавку для компенсации минусового допуска и технологическую прибавку принимаем равными, мм:

$$c_2 = c_3 = 0.$$

Тогда прибавка к расчетным толщинам конструктивных элементов аппарата, мм:

$$c = c_1 + c_2 + c_3 = 1 + 0 + 0 = 1.$$

Расчетное значение внутреннего избыточного давления, МПа:

$$P_p = 0,35.$$

Взам. инв. №	
Инв. № подл.	
Подпись и дата	

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.066231.ПЗ

Лист

42

Допускаемое напряжение стали 10X17H13M2T при 160 °С по [22], МПа:

$$t = \left(\frac{150}{200}\right), \quad \sigma = \left(\frac{168}{160}\right), \quad [\sigma] = \text{linterp}(t, \sigma, t_c) \cdot \eta_{\text{ст}} = \text{linterp}(t, \sigma, 160) \cdot 1 = 166,$$

где $\eta_{\text{ст}} = 1$ – поправочный коэффициент для аппарата, изготавливаемого из листового проката.

Расчетные значения пределов текучести для стали 10X17H13M2T по [22], МПа:

$$R_{0,2/20} = 240, \quad R_{1,0/20} = 276.$$

Допускаемое напряжение для условий гидравлического испытания, МПа:

$$[\sigma]_{\text{и}} = \eta_{\text{ст}} \cdot \min\left(\frac{R_{0,2/20}}{n_{\text{T}}}; \frac{R_{1,0/20}}{n_{\text{T}}}\right) = 1 \cdot \min\left(\frac{240}{1,1}; \frac{276}{1,1}\right) = 218,$$

где $n_{\text{T}} = 1,1$ – коэффициент запаса прочности по пределу текучести для стали 10X17H13M2T в условиях гидравлического испытания.

Пробное давление при гидравлическом испытании с учетом гидростатического давления столба жидкости, МПа:

$$P_{\text{и}} = 1,25 \cdot (P_{\text{р}} + \rho_{\text{в}} \cdot g \cdot H \times 10^{-6}) \cdot \frac{[\sigma]_{\text{и}}}{[\sigma]} = 1,25 \cdot (0,35 + 998 \cdot 9,81 \cdot 12 \times 10^{-6}) \cdot \frac{218}{166} = 0,767,$$

где $\rho_{\text{в}}$ – плотность воды при гидравлических испытаниях, кг/м³; H – высота цилиндрической части колонны, м.

Для сварного соединения частей аппарата принимаем вид сварного шва: стыковой двусторонний с полным проплавлением, выполняемый автоматической и полуавтоматической сваркой при длине контролируемых швов от общей длины 100 %.

Коэффициент прочности сварного шва:

$$\phi = 1.$$

3.3 Определение толщин стенок аппарата

Определение толщин стенок аппарата и проверка их на прочность производится по ГОСТ 34233.2-2017 [23]

3.3.1 Определение толщины цилиндрической обечайки аппарата

Расчетная толщина стенки цилиндрической обечайки, мм:

$$s_{\text{р1}} = \max\left(\frac{P_{\text{р}} \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \phi - P_{\text{р}}}; \frac{P_{\text{и}} \cdot D}{2 \cdot [\sigma]_{\text{и}} \cdot \phi - P_{\text{и}}}\right),$$

$$s_{\text{р1}} = \max\left(\frac{0,35 \cdot 1800}{2 \cdot 166 \cdot 1 - 0,35}; \frac{0,767 \cdot 1800}{2 \cdot 218 \cdot 1 - 0,767}\right) = 3,174,$$

где D – диаметр обечайки, мм.

Исполнительная толщина стенки обечайки с учетом округления с точностью до 1 мм:

$$s_1 = s_{\text{р1}} + c = 3,174 + 1 = 5.$$

Взам. инв. №	
Подпись и дата	
Инв. № подл.	

					ФЮРА.066231.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43

В соответствии с [12, стр. 113] принимаем исполнительную толщину стенки обечайки диаметром 1 800 мм, мм:

$$s_1 = 10.$$

3.3.1.1 Проверка условия прочности цилиндрической обечайки аппарата

Допускаемое внутреннее избыточное давление для обечайки, МПа:

$$[P]_1 = \max \left[\frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \phi \cdot (s_1 - c)}{D + s_1 - c}; \frac{2 \cdot [\sigma]_{\text{н}} \cdot \phi \cdot (s_1 - c)}{D + s_1 - c} \right],$$

$$[P]_1 = \max \left[\frac{2 \cdot 166 \cdot 1 \cdot (10 - 1)}{1\,800 + 10 - 1} \quad \frac{2 \cdot 218 \cdot 1 \cdot (10 - 1)}{1\,800 + 10 - 1} \right] = 2,169.$$

Условие прочности цилиндрической обечайки выполняется при условии, если:

$$P_p \leq [P]_1 \wedge P_{\text{н}} \leq [P]_1.$$

Так как:

$$0,35 \leq 2,169 \wedge 0,767 \leq 2,169.$$

Условие прочности цилиндрической обечайки выполняется.

3.3.1.2 Проверка условия применения расчетных формул для обечайки

Расчетные формулы применимы при отношении толщины стенки к диаметру при диаметре аппарата $D \geq 200$ мм, если:

$$\frac{s_1 - c}{D} \leq 0,1.$$

Так как:

$$\frac{10 - 1}{1\,800} = 0,005, \quad 0,005 \leq 0,1.$$

Условие применения расчетных формул выполняется.

3.3.2 Определение толщины выпуклого днища и крышки аппарата

Расчетная схема выпуклого днища представлена на рисунке 7.

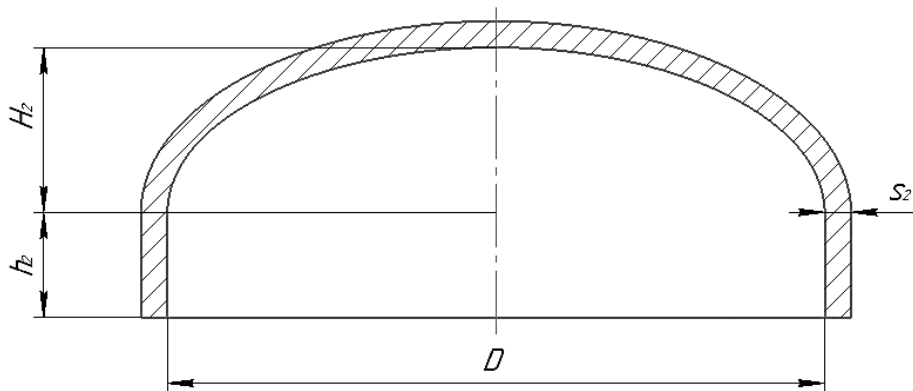


Рисунок 7 – Расчетная схема выпуклого днища (крышки)

Инф. № подл.	Взам. инв. №	Подпись и дата				ФЮРА.066231.ПЗ	Лист 44
			Изм.	Лист	№ докум.		

Высота выпуклой части по внутренней поверхности, мм:

$$H_2 = 0,25 \cdot D = 0,25 \cdot 1\,800 = 450$$

Расчетная толщина стенки выпуклого эллиптического днища (крышки), мм:

$$s_{p2} = \max\left(\frac{P_p \cdot H_2}{2 \cdot [\sigma] \cdot \phi - 0,5 \cdot P_p}; \frac{P_{и} \cdot H_2}{2 \cdot [\sigma]_{и} \cdot \phi - 0,5 \cdot P_{и}}\right),$$
$$s_{p2} = \max\left(\frac{0,35 \cdot 450}{2 \cdot 166 \cdot 1 - 0,5 \cdot 0,35}; \frac{0,767 \cdot 450}{2 \cdot 218 \cdot 1 - 0,5 \cdot 0,767}\right) = 0,475.$$

В соответствии с [5, 113] принимаем исполнительную толщину стенки, мм:

$$s_2 = 10.$$

Принимаем величину отбортованной части, мм:

$$h_2 = 100.$$

3.3.2.1 Проверка условия прочности выпуклого днища (крышки) аппарата

Допускаемое внутреннее избыточное давление для днища и крышки, МПа:

$$[P]_2 = \max\left[\frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \phi \cdot (s_2 - c)}{H_2 + 0,5 \cdot (s_2 - c)}; \frac{2 \cdot [\sigma]_{и} \cdot \phi \cdot (s_2 - c)}{H_2 + 0,5 \cdot (s_2 - c)}\right],$$
$$[P]_2 = \max\left[\frac{2 \cdot 166 \cdot 1 \cdot (10 - 1)}{450 + 0,5 \cdot (10 - 1)}; \frac{2 \cdot 218 \cdot 1 \cdot (10 - 1)}{450 + 0,5 \cdot (10 - 1)}\right] = 8,634.$$

Условие прочности эллиптических днища и крышки выполняется при условии, если:

$$P_p \leq [P]_2 \wedge P_{и} \leq [P]_2$$

Так как:

$$0,35 \leq 8,634 \wedge 0,767 \leq 8,634.$$

Условие прочности эллиптического днища и эллиптической крышки выполняется.

3.3.2.2 Проверка условия применения расчетных формул для днища и крышки

Расчетные формулы применимы при выполнении условий:

$$0,002 \leq \frac{s_2 - c}{D} \leq 0,1 \wedge 0,2 \leq \frac{H_2}{D} \leq 0,5.$$

Так как:

$$0,002 \leq \frac{10 - 1}{1\,800} \leq 0,1 \wedge 0,2 \leq \frac{450}{1\,800} \leq 0,5,$$
$$0,002 \leq 0,005 \leq 0,1 \wedge 0,2 \leq 0,25 \leq 0,5.$$

Условие применения расчетных формул выполняется.

Взам. инв. №	
Подпись и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.066231.ПЗ

Лист

45

3.4 Подбор штуцеров и люков

Для подачи потоков сырья и вывода продуктов из колонны конструкция аппарата оснащается штуцерами, подключенными к соответствующим трубопроводам. В соответствии с диаметрами трубопроводов, подбираем штуцера по АТК 24.218.06-90 [24].

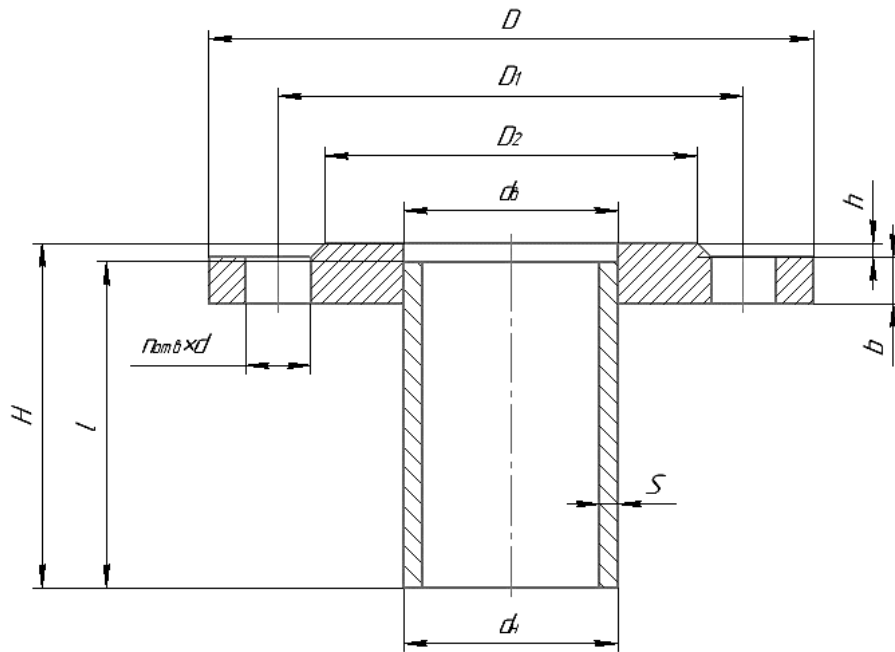


Рисунок 8 – Размеры штуцера с плоским фланцем

Таблица 9 – Размеры штуцеров с плоским фланцем, мм

Индекс	D_y	d_b	D	D_1	D_2	b	h	d	n	l	H	d_H	S
1	100	110	215	180	158	23	3	18	8	160	165	108	6
2	200	222	335	295	268	21	3	22	8	180	190	219	8
3	500	534	670	620	585	28	4	26	20	230	243	530	12

Для загрузки, выгрузки насадки и обслуживания колонны устанавливаем люки диаметром 500 мм (Люк 500-1 ОСТ 26-2001-83) [25].

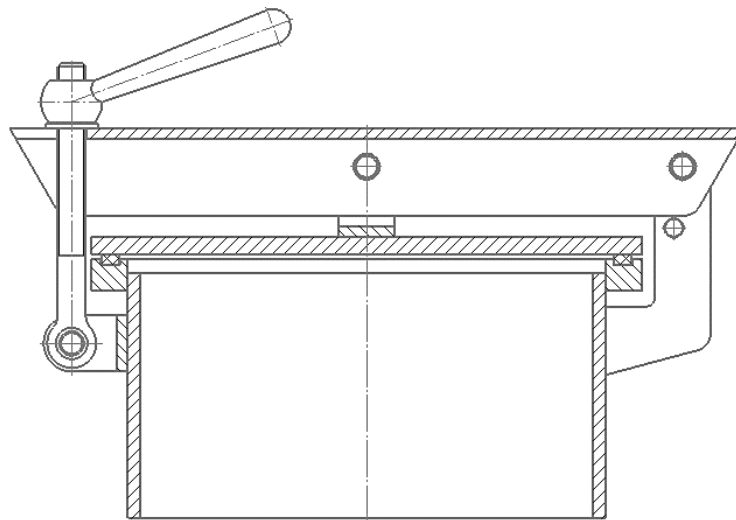


Рисунок 9 – Схема люка по ОСТ 26-2001-83.

Взам. инв. №	
Подпись и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.066231.ПЗ

Лист

46

3.4.1 Расчет укрепления отверстий

При креплении штуцеров к корпусу аппарата в месте их соединения возникают концентрации напряжений, которые могут снизить прочность изделия. Для определения ослабления обечайки аппарата производится расчет укрепления отверстий по ГОСТ 34233.3-2017 [26].

Расчетный диаметр укрепляемого элемента (цилиндрической обечайки), мм:

$$D_{p1} = D = 1\ 800.$$

Расчетный диаметр укрепляемого элемента (эллиптического днища/крышки), мм:

$$D_{p2} = \frac{D^2}{2 \cdot H_2} \cdot \sqrt{1 + 4 \cdot \frac{D^2 \cdot 4 \cdot H_2^2}{D^4} \cdot x^2} = \frac{1\ 800^2}{2 \cdot 450} \cdot \sqrt{1 + 4 \cdot \frac{1\ 800^2 \cdot 4 \cdot 450^2}{1\ 800^4} \cdot 0^2} = 3\ 600,$$

где x – расстояние от центра укрепляемого отверстия до оси эллиптического днища/крышки, мм.

Расчетные диаметры отверстий в стенках обечайки, мм:

$$d_{p1} = d_{н1} - 2 \cdot S_1 + 2 \cdot c = 108 - 2 \cdot 6 + 2 \cdot 1 = 98;$$

$$d_{p2} = d_{н2} + 2 \cdot c = 219 + 2 \cdot 1 = 221;$$

$$d_{p3} = d_{н3} - 2 \cdot S_3 + 2 \cdot c = 530 - 2 \cdot 12 + 2 \cdot 1 = 508.$$

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующего дополнительного укрепления при наличии исполнительной толщины стенки аппарата для штуцеров на обечайке, мм:

$$d_{01,03} = \min \left[2 \cdot \left(\frac{s_1 - c}{s_{p1}} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{D_{p1} \cdot (s_1 - c)}; D + 2 \cdot c \right],$$

$$d_{01,03} = \min \left[2 \cdot \left(\frac{10 - 1}{3,174} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{1\ 800 \cdot (10 - 1)}; 1\ 800 + 2 \cdot 1 \right] = 518,214.$$

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующего дополнительного укрепления при наличии исполнительной толщины стенки аппарата для штуцеров на днище/крышке, мм:

$$d_{02} = \min \left[2 \cdot \left(\frac{s_2 - c}{s_{p2}} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{D_{p2} \cdot (s_2 - c)}; 0,6 \cdot D + 2 \cdot c \right],$$

$$d_{02} = \min \left[2 \cdot \left(\frac{10 - 1}{0,475} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{1\ 800 \cdot (10 - 1)}; 0,6 \cdot 1\ 800 + 2 \cdot 1 \right] = 1\ 082.$$

Укрепление отверстия под штуцер необходимо если выполняется хотя бы одно из следующих условий:

$$d_{p1} > d_{01,03}, \quad d_{p2} > d_{02}, \quad d_{p3} > d_{01,03}.$$

Так как:

$$98 < 518,214, \quad 221 < 1\ 082, \quad 508 < 518,214.$$

Укрепление отверстий не требуется.

Взам. инв. №				
Инф. № подл.				
				Лист
ФЮРА.066231.ПЗ				47
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

3.4.2 Проверка условия применения расчетных формул

Расчетные формулы применимы для цилиндрических обечаек при выполнении условий:

$$\frac{d_{p1,p3} - 2 \cdot c}{D} \leq 1 \wedge \frac{s_1 - c}{D} \leq 0,1.$$

Так как:

$$\frac{98 - 2 \cdot 1}{1800} \leq 1 \wedge \frac{10 - 1}{1800} \leq 0,1, \quad \frac{508 - 2 \cdot 1}{1800} \leq 1 \wedge \frac{10 - 1}{1800} \leq 0,1,$$

$$0,0533 \leq 1 \wedge 0,005 \leq 0,1, \quad 0,2811 \leq 1 \wedge 0,005 \leq 0,1.$$

Условия применения формул для цилиндрической обечайки выполняются.

Расчетные формулы применимы для эллиптического днища/крышки при выполнении следующего условия:

$$\frac{d_{p2} - 2 \cdot c}{D} \leq 0,6 \wedge \frac{s_2 - c}{D} \leq 0,1.$$

Так как:

$$\frac{221 - 2 \cdot 1}{1800} \leq 0,6 \wedge \frac{10 - 1}{1800} \leq 0,1, \quad 0,1217 \leq 0,6 \wedge 0,005 \leq 0,1.$$

Условия применения формул для эллиптического днища выполняется.

3.5 Подбор фланцевого соединения

Для сборки аппарата и дальнейшего его обслуживания (например, во время ремонта) в местах соединения крупных частей аппарата (крышке, цилиндрической обечайке и днища) устанавливают фланцы. В соответствии с ГОСТ 28759.2-90 [27] подбираем фланцевое соединение с гладкой уплотнительной поверхностью, размеры которого представлены на рисунке 9 и в таблице 10.

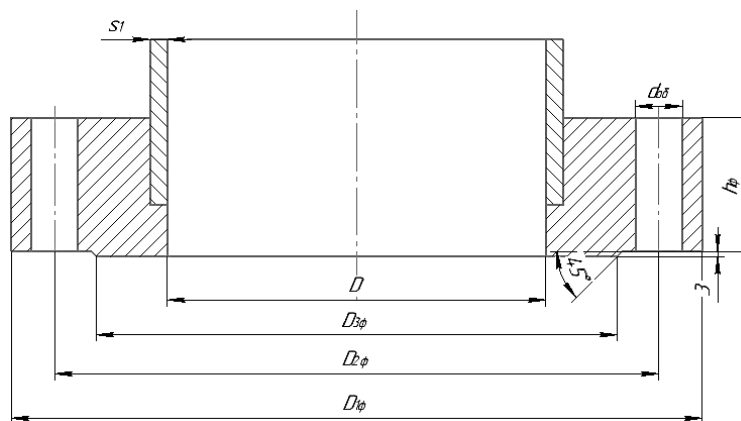


Рисунок 9 – Размеры плоского приварного фланца с гладкой уплотнительной поверхностью

Взам. инв. №					Лист
Инф. № подл.					ФЮРА.066231.ПЗ
	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	

Таблица 10 – Размеры плоского фланца типа соединительный выступ [27], мм

D	$D_{1\phi}$	$D_{2\phi}$	$D_{3\phi}$	h_{ϕ}	s_1	$d_{об}$	Болты, шпильки		P_y , МПа
							Диаметр	Кол-во	
1 800	1 980	1 930	1 882	80	10	27	M24	84	1,0

По рекомендациям ГОСТ 28759.6-90 [28] подбираем паронитовую прокладку исполнения 1, размеры которой представлены на рисунке 10 и в таблице 11.

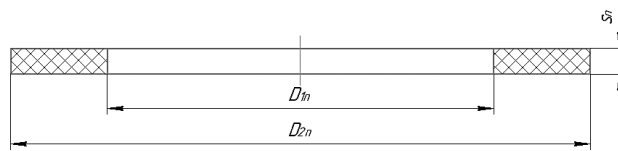


Рисунок 10 – Размеры прокладочного материала по ГОСТ 28759.6-90

Таблица 11 – Размеры прокладочного материала по ГОСТ 28759.6-90 [28], мм

Внутренний диаметр аппарата, D	$D_{1п}$	$D_{2п}$	$s_{п}$	P_y , МПа	Масса, кг
1 800	1 880	1 849	3	1,0	0,545

3.5.1 Расчет фланцевого соединения на прочность и герметичность

Фланцевые соединения наиболее ответственных деталей аппарата должны проверяться на прочность и герметичность с целью недопущения аварийных ситуаций на производстве. Произведем расчет фланцевых соединений на прочность и герметичность по ГОСТ 34233.4-2017 [29] в местах крепления днища и крышки к корпусу аппарата, расчетная схема которых представлена на рисунке 11.

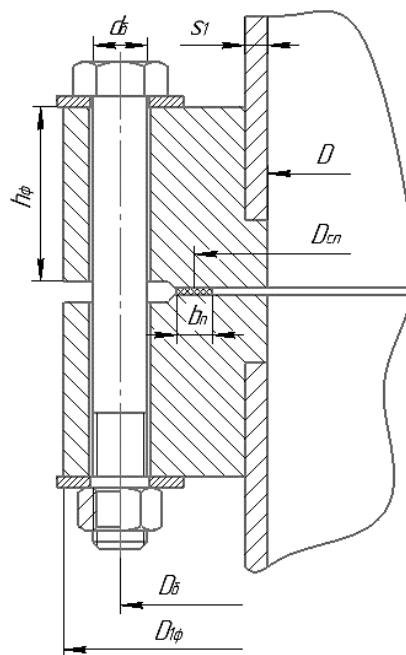


Рисунок 11 – Расчетная схема фланцевого соединения с гладкой уплотнительной поверхностью типа соединительный выступ

Взам. инв. №	
Подпись и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.066231.ПЗ

Лист

49

3.5.1.1 Основные расчетные значения для фланцевого соединения

Расчетные температуры для неизолированных плоских фланцев и болтов, °С:

$$t_{\phi} = 0,96 \cdot t_c = 0,96 \cdot 160 = 153,6;$$

$$t_{\sigma} = 0,95 \cdot t_c = 0,95 \cdot 160 = 152.$$

Таблица 12 – Справочные данные для дальнейшего расчета [22]

Параметр	Значение, МПа
Допускаемое напряжение болтов из стали 20Х13 при 20 °С $[\sigma]_6^{20}$	195
Модуль упругости болтов из стали 20Х13 при 20 °С E_6^{20}	$2,18 \times 10^5$
Модуль упругости фланцев из стали 10Х17Н13М2Т при 20 °С E_{ϕ}^{20}	$2,06 \times 10^5$

Допускаемое напряжение болтов из стали 20Х13 при расчетной температуре, МПа:

$$t = \left(\frac{100}{200}\right), \quad \sigma = \left(\frac{182}{165}\right), \quad [\sigma]_6 = \text{linterp}(t, \sigma, 152) = 173.$$

Модуль продольной упругости болтов из стали 20Х13 при расчетной температуре, МПа:

$$t = \left(\frac{100}{200}\right), \quad E = \left(\frac{2,14 \times 10^5}{2,08 \times 10^5}\right), \quad E_6 = \text{linterp}(t, E, 152) = 2,109 \times 10^5.$$

Коэффициент линейного расширения болтов из стали 20Х13 при расчетной температуре, МПа:

$$t = \left(\frac{100}{200}\right), \quad \alpha = \left(\frac{10,1 \times 10^{-6}}{11,2 \times 10^{-6}}\right), \quad \alpha_6 = \text{linterp}(t, \alpha, 152) = 10,67 \times 10^{-6}.$$

Допускаемое напряжение фланцев и обечайки из стали 10Х17Н13М2Т при расчетной температуре, МПа:

$$t = \left(\frac{150}{200}\right), \quad \sigma = \left(\frac{168}{160}\right), \quad [\sigma]_{\phi} = \text{linterp}(t, \sigma, 153,6) = 167.$$

Модуль продольной упругости фланцев и обечайки из стали 10Х17Н13М2Т при расчетной температуре, МПа:

$$t = \left(\frac{100}{200}\right), \quad E = \left(\frac{1,91 \times 10^5}{1,86 \times 10^5}\right), \quad E_{\phi} = \text{linterp}(t, E, 153,6) = 1,906 \times 10^5.$$

Коэффициент линейного расширения фланцев и обечайки из стали 10Х17Н13М2Т при расчетной температуре, МПа:

$$t = \left(\frac{100}{200}\right), \quad \alpha = \left(\frac{15,7 \times 10^{-6}}{16,1 \times 10^{-6}}\right), \quad \alpha_{\phi} = \text{linterp}(t, \alpha, 153,6) = 15,91 \times 10^{-6}.$$

Таблица 13 – Коэффициенты условий работы

Коэффициент	Значение коэффициента
– увеличения допускаемых напряжений при затяжке	$\xi = 1,20$
– для рабочих условий	$K_{y.p} = 1,00$
– для условий гидравлического испытания	$K_{y.и} = 1,35$

Взам. инв. №	
Подпись и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

ФЮРА.066231.ПЗ

Лист

50

Продолжение таблицы 13

– при обычной не контролируемой затяжке	$K_{y.z} = 1,00$
– учета нагрузки от температурных деформаций	$K_{y.T} = 1,30$

Допускаемое напряжение для болтов из стали 20Х13 при затяжке, МПа:

$$[\sigma]_6^M = \xi \cdot K_{y.p} \cdot K_{y.z} \cdot K_{y.T} \cdot [\sigma]_6^{20} = 1,20 \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot 1,30 \cdot 195 = 304,2$$

Допускаемое напряжение для болтов из стали 20Х13 в рабочих условиях, МПа:

$$[\sigma]_6^P = K_{y.p} \cdot K_{y.z} \cdot K_{y.T} \cdot [\sigma]_6^{20} = 1,00 \cdot 1,00 \cdot 1,30 \cdot 195 = 253,5$$

Допускаемое напряжение для болтов из стали 20Х13 в условиях гидравлического испытания, МПа:

$$[\sigma]_6^H = K_{y.и} \cdot K_{y.z} \cdot K_{y.T} \cdot [\sigma]_6^{20} = 1,35 \cdot 1,00 \cdot 1,30 \cdot 195 = 342,225$$

3.5.1.2 Расчет усилий, необходимых для смятия прокладки и обеспечения герметичности фланцевого соединения

Ширина прокладки, мм:

$$b_{\pi} = \frac{D_{1\pi} - D_{2\pi}}{2} = \frac{1\ 880 - 1\ 849}{2} = 15,5.$$

Эффективная ширина прокладки (для прокладок шириной > 15 мм), мм:

$$b_0 = 3,8 \cdot \sqrt{b_{\pi}} = 3,8 \cdot \sqrt{15,5} = 14,961.$$

Расчетный диаметр плоской прокладки, мм:

$$D_{\text{сп}} = D_{1\pi} - b_0 = 1\ 846 - 14,961 = 1\ 865.$$

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке, Н:

$$P_{\text{обж}} = 0,5 \cdot \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_0 \cdot q_{\text{обж}} = 0,5 \cdot 3,14 \cdot 1\ 865 \cdot 14,961 \cdot 20 = 876\ 600,$$

где $q_{\text{обж}}$ – удельное давление обжатия паронитовой прокладки, МПа.

Усилие на прокладке в рабочих условиях, необходимое для обеспечения герметичности фланцевого соединения, Н:

$$R_{\pi} = \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_0 \cdot m_{\pi} \cdot |P_p| = 3,14 \cdot 1\ 865 \cdot 14,961 \cdot 2,5 \cdot |0,35| = 76\ 700,$$

где m_{π} – прокладочный коэффициент паронитовой прокладки.

3.5.1.3 Расчет усилий в болтах фланцевого соединения при затяжке и в рабочих условиях

Суммарная площадь сечения болтов по внутреннему диаметру резьбы или наружному сечению наименьшего диаметра, мм²:

$$A_6 = n_{6.ф.} \cdot f_6 = 84 \cdot 324 = 27\ 220,$$

Взам. инв. №	
Инф. № подл.	
Подпись и дата	

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ФЮРА.066231.ПЗ	Лист
						51

где $n_{б.ф.}$ – количество болтов фланцевого соединения; f_6 – площадь поперечного сечения болта М24 без проточки по внутреннему диаметру резьбы или сечению наименьшего диаметра, мм².

Равнодействующая нагрузка от давления, Н:

$$Q_d = \frac{\pi}{4} \cdot D_{сп}^2 \cdot P_p = \frac{3,14}{4} \cdot 1865^2 \cdot 0,35 = 956200.$$

3.5.1.4 Расчет податливости прокладок и болтов

Податливость прокладки:

$$y_{п} = \frac{s_{п} \cdot K_{обж}}{E_{п} \cdot \pi \cdot D_{сп} \cdot b_{п}} = \frac{3 \cdot 0,9}{0,02 \cdot 3,14 \cdot 1865 \cdot 15,5} = 1,486 \times 10^{-3},$$

где $s_{п}$ – толщина прокладки, мм; $K_{обж}$ – коэффициент обжатия паронитовой прокладки; $E_{п}$ – условный модуль сжатия паронитовой прокладки, МПа.

Эффективная длина болта при определении податливости, мм:

$$L_6 = L_{60} + 0,28 \cdot d_6 = 1874 + 0,28 \cdot 24 = 1881,$$

где L_{60} – расстояние между опорными поверхностями гайки и головки болта, мм; d_6 – наружный диаметр болта, мм.

Податливость болтов:

$$y_6 = \frac{L_6}{E_6^{20} \cdot A_6} = \frac{1881}{2,18 \times 10^5 \cdot 27220} = 3,17 \times 10^{-7}.$$

3.5.1.5 Расчет угловой податливости фланцев

Параметр длины обечайки, мм:

$$l_0 = \sqrt{D \cdot s_1} = \sqrt{1800 \cdot 10} = 134,164.$$

Коэффициенты, зависящие от соотношения размеров тарелки фланца $K_{ф} = \frac{D_{1ф}}{D} = 1,1$:

$$\beta_T = \frac{K_{ф}^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \log K_{ф}) - 1}{(1,05 + 1,945 \cdot K_{ф}^2) \cdot (K_{ф} - 1)} = \frac{1,072^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \log 1,1) - 1}{(1,05 + 1,945 \cdot 1,1^2) \cdot (1,1 - 1)} = 1,875;$$

$$\beta_U = \frac{K_{ф}^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \log K_{ф}) - 1}{1,36 \cdot (K_{ф}^2 - 1) \cdot (K_{ф} - 1)} = \frac{1,072^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \log 1,1) - 1}{1,36 \cdot (1,1^2 - 1) \cdot (1,1 - 1)} = 22,347;$$

$$\beta_Y = \frac{0,69 + 5,72 \cdot \frac{K_{ф}^2 \cdot \log K_{ф}}{K_{ф}^2 - 1}}{(K_{ф} - 1)} = \frac{0,69 + 5,72 \cdot \frac{1,1^2 \cdot \log 1,1}{1,1^2 - 1}}{(1,1 - 1)} = 20,542;$$

$$\beta_Z = \frac{K_{ф}^2 + 1}{K_{ф}^2 - 1} = \frac{1,1^2 + 1}{1,1^2 - 1} = 10,524;$$

Коэффициенты для плоских фланцев:

$$\beta_F = 0,91, \quad \beta_V = 0,55, \quad f = 1.$$

Взам. инв. №					Лист
Инф. № подл.					ФЮРА.066231.ПЗ
	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	

Коэффициент для определения угловой податливости фланца при затяжке:

$$\lambda = \frac{\beta_F \cdot h_\phi + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_V \cdot h_\phi^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot s_1^2} = \frac{0,91 \cdot 80 + 134,164}{1,875 \cdot 134,164} + \frac{0,55 \cdot 80^3}{22,347 \cdot 134,164 \cdot 10^2} = 1,762,$$

где h_ϕ – высота тарелки фланца, мм.

Угловая податливость фланца при затяжке, $(\text{Н} \cdot \text{мм})^{-1}$:

$$y_\phi = \frac{0,91 \cdot \beta_V}{E_\phi^{20} \cdot \lambda \cdot l_0 \cdot s_1^2} = \frac{0,91 \cdot 0,55}{2,06 \times 10^5 \cdot 1,762 \cdot 134,164 \cdot 10^2} = 1,028 \times 10^{-10}.$$

3.5.1.6 Плечи действия сил и коэффициенты жесткости

Плечо действия усилий в болтах для плоских фланцев, мм:

$$b = 0,5 \cdot (D_6 - D_{\text{сн}}) = 0,5 \cdot (1\,930 - 1\,865) = 32,48,$$

где D_6 – диаметр болтовой окружности, мм.

Плечо усилия от действия давления на фланец, мм:

$$e = 0,5 \cdot (D_{\text{сн}} - D - s_1) = 0,5 \cdot (1\,865 - 1\,800 - 10) = 27,52.$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, Н/мм:

$$\gamma = \frac{1}{y_n + y_6 \cdot \frac{E_6^{20}}{E_6} + 2 \cdot b^2 \cdot y_\phi \cdot \frac{E_\phi^{20}}{E_\phi}}$$

$$\gamma = \frac{1}{1,486 \times 10^{-3} + 3,17 \times 10^{-7} \cdot \frac{2,18 \times 10^5}{2,109 \times 10^5} + 2 \cdot 32,48^2 \cdot 1,028 \times 10^{-10} \cdot \frac{2,06 \times 10^5}{1,906 \times 10^5}}$$

$$\gamma = 672,468.$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внутренним давлением:

$$\alpha = 1 - \frac{y_n - 2 \cdot e \cdot y_\phi \cdot b}{y_n + y_6 + 2 \cdot b^2 \cdot y_\phi} = 1 - \frac{1,486 \times 10^{-3} - 2 \cdot 27,52 \cdot 1,028 \times 10^{-10} \cdot 32,48}{1,486 \times 10^{-3} + 3,17 \times 10^{-7} + 2 \cdot 32,48^2 \cdot 1,028 \times 10^{-10}}$$

$$\alpha = 4,826 \times 10^{-4}.$$

Нагрузка, вызванная стесненностью температурных деформаций, Н:

$$Q_t = \gamma \cdot [2 \cdot \alpha_\phi \cdot h_\phi \cdot (t_\phi - 20) - 2 \cdot \alpha_6 \cdot b_\phi \cdot (t_6 - 20)],$$

$$Q_t = 672,468 \cdot [2 \cdot 1,591 \times 10^{-5} \cdot 80 \cdot (153,6 - 20) - 2 \cdot 1,067 \times 10^{-5} \cdot 80 \cdot (152 - 20)],$$

$$Q_t = 77,195.$$

Расчетная нагрузка на болты при затяжке, необходимая для обеспечения в рабочих условиях давления на прокладку, достаточного для герметизации фланцевого соединения, Н:

$$P_6^1 = \max(\alpha \cdot Q_d + R_n; \alpha \cdot Q_d + R_n - Q_t),$$

$$P_6^1 = \max(4,826 \times 10^{-4} \cdot 956\,200 + 76\,700; 4,826 \times 10^{-4} \cdot 956\,200 + 76\,700 - 77,195),$$

$$P_6^1 = 77\,160.$$

Взам. инв. №	Инф. № подл.	Подпись и дата					Лист
			ФЮРА.066231.ПЗ				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			

Расчетная нагрузка на болты при затяжке, необходимая для обеспечения обжатия прокладки и минимального начального натяжения болтов, Н:

$$P_6^2 = \max(P_{обж}; 0,4 \cdot A_6 \cdot [\sigma]_6) = \max(876\,600; 0,4 \cdot 27\,220 \cdot 173) = 1\,883\,000.$$

Расчетная нагрузка на болты фланцевого соединения при затяжке, Н:

$$P_6^M = \max(P_6^1; P_6^2) = \max(77\,160; 1\,883\,000) = 1\,883\,000.$$

Расчетная нагрузка на болты фланцевого соединения в рабочих условиях, Н:

$$P_6^P = P_6^M + (1 - \alpha) \cdot Q_d + Q_t = 1\,883\,000 + (1 - 4,826 \times 10^{-4}) \cdot 956\,200 + 77,195,$$

$$P_6^P = 2\,839\,000.$$

3.5.1.7 Проверка прочности болтов и прокладки

Расчетные напряжения в болтах при затяжке и при рабочих условиях, МПа:

$$\sigma_6^1 = \frac{P_6^M}{A_6} = \frac{1\,883\,000}{27\,220} = 69,2;$$

$$\sigma_6^2 = \frac{P_6^P}{A_6} = \frac{2\,839\,000}{27\,220} = 104,318.$$

Условие прочности болтов выполняется, если:

$$\sigma_6^1 < [\sigma]_6^M, \quad \sigma_6^2 < [\sigma]_6^P.$$

Так как:

$$69,2 < 304,2, \quad 104,318 < 253,5.$$

Условие прочности болтов выполняется.

Удельное давление на прокладку, МПа:

$$q_{\pi} = \frac{\max(P_6^M; P_6^P)}{\pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_{\pi}} = \frac{\max(1\,883\,000; 2\,839\,000)}{3,14 \cdot 1\,865 \cdot 15,5} = 31,262.$$

Допускаемое удельное давление на прокладку, МПа:

$$[q]_{\pi} = 130.$$

Условие прочности прокладки выполняется, если:

$$q_{\pi} \leq [q]_{\pi}.$$

Так как:

$$31,262 \leq 130,$$

Условие прочности прокладки выполняется.

Взам. инв. №	
Инв. № подл.	
Подпись и дата	

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.066231.ПЗ

Лист

54

3.5.2 Расчет фланцевого соединения на статическую прочность

Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между болтами:

$$C_F = \max \left(1; \sqrt{\frac{\frac{\pi \cdot D_6}{n_{б.ф.}}}{2 \cdot d_6 + \frac{6 \cdot h_\phi}{m_\phi + 0,5}}} \right) = \max \left(1; \sqrt{\frac{\frac{3,14 \cdot 1\,930}{84}}{2 \cdot 24 + \frac{6 \cdot 80}{2,5 + 0,5}}} \right) = 1.$$

Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец при затяжке, Н·мм:

$$M_M = C_F \cdot P_6^M \cdot b = 1 \cdot 1\,883\,000 \cdot 32,48 = 61\,770\,000.$$

Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец при рабочих условиях, Н·мм:

$$M_p = C_F \cdot \max(P_6^p \cdot b + Q_d \cdot e; |Q_d| \cdot e),$$

$$M_p = 1 \cdot \max(2\,839\,000 \cdot 32,48 + 956\,200 \cdot 27,52; |956\,200| \cdot 27,52) = 118\,500\,000.$$

3.5.2.1 Расчет напряжений во фланце при затяжке

Меридиональное изгибное напряжение в обечайке фланца, МПа:

$$\sigma_0^M = \sigma_1^M = \frac{M_M}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D} = \frac{61\,770\,000}{1,762 \cdot (10 - 1)^2 \cdot 1\,800} = 238,133.$$

Напряжения в тарелке фланца при затяжке:

– радиальное напряжение, МПа:

$$\sigma_R^M = \frac{1,33 \cdot \beta_F \cdot h_\phi + l_0}{\lambda \cdot h_\phi^2 \cdot l_0 \cdot D} = \frac{1,33 \cdot 0,91 \cdot 80 + 134,164}{1,762 \cdot 80^2 \cdot 134,164 \cdot 1\,800} = 5,189;$$

– окружное напряжение, МПа:

$$\sigma_T^M = \frac{\beta_Y \cdot M_M}{h_\phi^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^M = \frac{20,542 \cdot 61\,770\,000}{80^2 \cdot 1\,800} - 10,524 \cdot 5,189 = 54,473.$$

3.5.2.2 Расчет напряжений во фланце при рабочих условиях

Меридиональное изгибное напряжение в обечайке фланца, МПа:

$$\sigma_0^p = \sigma_1^p = \frac{M_p}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D} = \frac{118\,500\,000}{1,762 \cdot (10 - 1)^2 \cdot 1\,800} = 461,418.$$

Меридиональные мембранные напряжения в обечайке фланца, МПа:

$$\sigma_{0мм}^p = \sigma_{1мм}^p = \frac{\frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot P_p}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = \frac{\frac{3,14}{4} \cdot 1\,800^2 \cdot 0,35}{3,14 \cdot (1\,800 + 10) \cdot (10 - 1)} = 17,394$$

Окружные мембранные напряжения от действия давления в обечайке фланца, МПа:

$$\sigma_{0мо}^p = \frac{P_p \cdot D}{2 \cdot (s_1 - c)} = \frac{0,35 \cdot 1\,800}{2 \cdot (10 - 1)} = 35$$

Взам. инв. №	Инф. № подл.	Подпись и дата	ФЮРА.066231.ПЗ				Лист
							55
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			

Напряжения в тарелке фланца при рабочих условиях:

– радиальное напряжение, МПа:

$$\sigma_R^p = \frac{1,33 \cdot \beta_F \cdot h_\phi + l_0}{\lambda \cdot h_\phi^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_p = \frac{1,33 \cdot 0,91 \cdot 80 + 134,164}{1,762 \cdot 80^2 \cdot 134,164 \cdot 1800} \cdot 118\,500\,000 = 10,054;$$

– окружное напряжение, МПа:

$$\sigma_T^p = \frac{\beta_Y \cdot M_p}{h_\phi^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^p = \frac{20,542 \cdot 118\,500\,000}{80^2 \cdot 1800} - 10,524 \cdot 10,054 = 105,549.$$

3.5.2.3 Проверка условий статической прочности фланцевого соединения

3.5.2.3.1 Проверка условий статической прочности при рабочих условиях

Статическая прочность фланцев при рабочих условиях осуществляется, если:

$$\max(|\sigma_0^p - \sigma_{0MM}^p + \sigma_R^p|; |\sigma_0^p - \sigma_{0MM}^p + \sigma_T^p|; |\sigma_0^p - \sigma_{0MM}^p|) \leq K_T \cdot K_S \cdot [\sigma]_p,$$

где K_T – коэффициент увеличения допускаемых напряжений при расчете фланцев с учетом стесненности температурных деформаций; K_S – коэффициент учета размеров тарелки фланца; $[\sigma]_p = 3 \cdot [\sigma]_\phi$, – допускаемое значение суммарных общих и местных условных упругих мембранных и изгибных напряжений, МПа.

$$\max(|461,418 - 17,394 + 10,054|; |461,418 - 17,394 + 105,549|; |461,418 - 17,394|) = 549,572;$$

$$549,572 \leq 1,3 \cdot 1,2 \cdot 3 \cdot 167.$$

Так как:

$$549,572 < 781,56.$$

Статическая прочность фланцев при рабочих условиях выполняется.

3.5.2.3.2 Проверка условий статической прочности при затяжке

Статическая прочность фланцев при затяжке осуществляется, если:

$$\max(|\sigma_0^M + \sigma_R^M|; |\sigma_0^M + \sigma_T^M|) \leq K_T \cdot K_S \cdot [\sigma]_M,$$

где $[\sigma]_M = 1,5 \cdot [\sigma]_\phi$, – допускаемое значение общих мембранных и изгибных напряжений, МПа.

$$\max(|238,133 + 5,189|; |238,133 + 54,473|) \leq 1,3 \cdot 1,2 \cdot 1,5 \cdot 167.$$

Так как:

$$292,606 < 390,78.$$

Статическая прочность фланцев при затяжке выполняется.

Статическая прочность тарелок фланцев при затяжке осуществляется, если:

$$\max(|\sigma_R^M|; |\sigma_T^M|) \leq K_T \cdot [\sigma]_\phi.$$

$$\max(|5,189|; |54,473|) \leq 1,3 \cdot 167.$$

Взам. инв. №	Инв. № подл.	Подпись и дата					Лист
			ФЮРА.066231.ПЗ				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			

Так как:

$$54,473 < 217,1.$$

Статическая прочность тарелок фланцев при затяжке выполняется.

Статическая прочность тарелок фланцев при рабочих условиях осуществляется, если:

$$\max(|\sigma_R^p|; |\sigma_T^p|) \leq K_T \cdot [\sigma]_\phi.$$
$$\max(|10,054|; |105,549|) \leq 1,3 \cdot 167.$$

Так как:

$$105,549 < 217,1.$$

Статическая прочность тарелок фланцев при рабочих условиях выполняется.

3.5.3 Проверка углов поворота фланцев

Угол поворота фланца, рад:

$$\Theta = M_p \cdot y_\phi \cdot \frac{E_\phi^{20}}{E_\phi} = 118\,500\,000 \cdot 1,028 \times 10^{-10} \cdot \frac{2,06 \times 10^5}{1,906 \times 10^5} = 0,013.$$

Допустимый угол поворота фланца, рад:

$$[\Theta] = 0,013.$$

Условие поворота фланца выполняется при условии, если:

$$\Theta \leq [\Theta].$$

Так как:

$$0,013 = 0,013.$$

Условие поворота фланца выполняется.

3.6 Подбор тарелок и решеток для колонны

Для осуществления абсорбции по всей поверхности насадки устанавливаются вспомогательные устройства. В соответствии с ОСТ 26-705-73 [30] подбираем стандартные распределительную и перераспределительные тарелки для движения потоков жидкости и газа., параметры которых представлены на рисунках 12, 13 и в таблицах 14, 15.

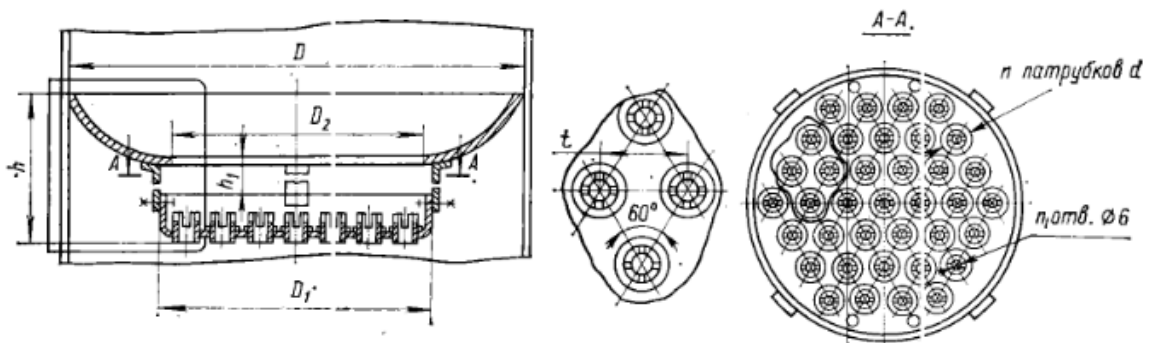


Рисунок 12 – Тарелка типа ТСН-2 [30]

Взам. инв. №	
Подпись и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.066231.ПЗ

Лист

57

Таблица 14 – Техническая характеристика тарелки типа ТСН-2 [30]

Диаметр колонны D , мм	Свободное сечение колонны, m^2	D_1 , мм	D_2 , мм	h , мм	h_1 , мм	Жидкостной патрубков				Масса тарелки из легированной стали, кг
						d , мм	t , мм	Количество n	Свободное сечение, m^2	
1 800	2,545	1 170	1 150	705	310	57	95	110	0,0022	45,1

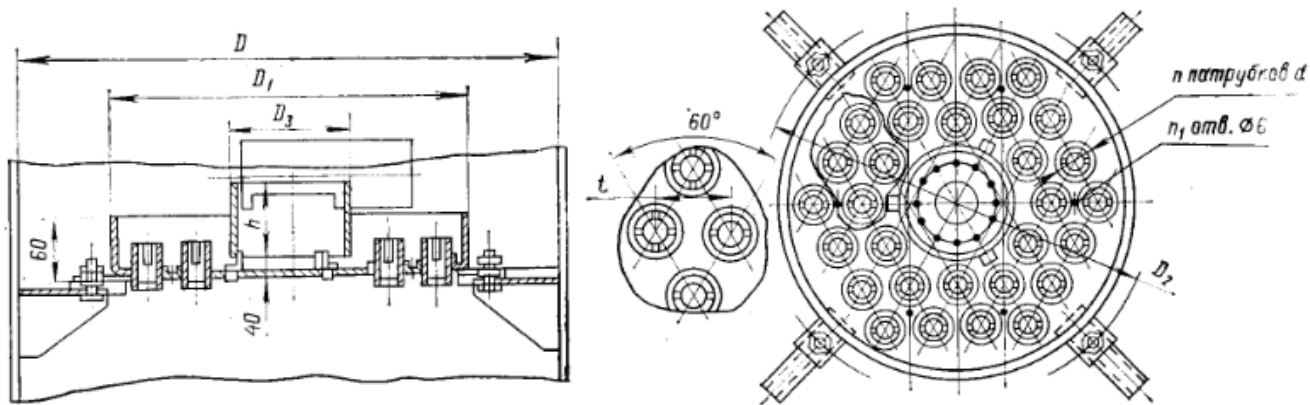


Рисунок 13 – Тарелка типа ТСН-3 [30]

Таблица 15 – Техническая характеристика тарелки типа ТСН-3 [30]

Диаметр колонны D , мм	Свободное сечение колонны, m^2	D_1 , мм	D_2 , мм	D_3 , мм	h , мм	Жидкостной патрубков				Масса тарелки из легированной стали, кг
						d , мм	t , мм	Количество n	Свободное сечение, m^2	
1 800	2,545	1 170	1 250	310	150	57	95	96	0,0022	34

3.7 Определение веса аппарата и подбор опоры

Для установки аппарата на месте его эксплуатации необходимо, чтобы аппарат имел опору, которая крепко крепится к фундаменту. Для подбора опоры необходимо знать минимальную и максимальную нагрузку аппарата. В данном случае максимальной нагрузкой является вес аппарата при гидравлическом испытании, когда все свободные части аппарата заполняются водой при проверке его на герметичность. В таблице 16 представлены данные для расчета массы аппарата.

Взам. инв. №	
Подпись и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

ФЮРА.066231.ПЗ

Таблица 16 – Данные для расчета массы аппарата

Параметр, единица измерения	Значение параметра
Плотность стали 10X17H13M2T $\rho_{ст}$, кг/м ³	7 900
Плотность воды при гидравлических испытаниях $\rho_{в}$, кг/м ³	998
Высота цилиндрической части аппарата H , м	12
Высота выпуклой части днища H_2 , м	0,450
Высота отбортованной части днища h_2 , м	0,100
Внутренний диаметр аппарата D , м	1,800
Толщина стенки аппарата s_1 (s_2), м	0,01
Высота насадки H_n , м	6
Плотность насадки $G_{нас}$, кг/м ³	530
Наружный диаметр фланца $D_{1ф}$, м	1,980
Высота фланца $h_{ф}$, м	0,08
Масса прокладки фланцевого соединения $G_{п}$, кг	0,545
Масса тарелки типа ТСН-2 $m_{ТСН2}$, кг	45,1
Масса тарелки типа ТСН-3 $m_{ТСН3}$, кг	34
Масса каплеуловителя $m_{ку}$, кг	128
Масса опорной решетки под слой насадки $m_{реш}$, кг	270

3.7.1 Определение массы и веса пустого аппарата

Масса цилиндрической части аппарата, кг:

$$m_{ц} = \frac{\pi}{4} \cdot H \cdot [(D + 2 \cdot s_1)^2 - D^2] \cdot \rho_{ст} = \frac{3,14}{4} \cdot 12 \cdot [(1,800 + 2 \cdot 0,01)^2 - 1,800^2] \cdot 7\,900 = 5\,391.$$

Масса эллиптических днищ (2 шт), кг:

$$m_{д} = m_{э} + m_{отб},$$

где $m_{э}$ – масса эллиптической части днищ, кг; $m_{отб}$ – масса отбортованной части днищ, кг;

$$m_{э} = \frac{\pi}{3} \cdot [(H_2 + s_2) \cdot (D + s_1)^2 - H_2 \cdot D^2] \cdot \rho_{ст},$$

$$m_{э} = \frac{3,14}{3} \cdot [(0,450 + 0,01) \cdot (1,800 + 0,01)^2 - 0,450 \cdot 1,800^2] \cdot 7\,900 = 541;$$

$$m_{отб} = \frac{\pi}{4} \cdot 2 \cdot h_2 \cdot [(D + 2 \cdot s_1)^2 - D^2] \cdot \rho_{ст},$$

$$m_{отб} = \frac{3,14}{4} \cdot 2 \cdot 0,100 \cdot [(1,800 + 2 \cdot 0,01)^2 - 1,800^2] \cdot 7\,900 = 90;$$

$$m_{д} = m_{э} + m_{отб} = 541 + 90 = 631.$$

Взам. инв. №	Инв. № подл.	Подпись и дата					Лист
			ФЮРА.066231.ПЗ				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			

Масса фланцевых соединений (4 фланца и 2 прокладки), кг:

$$m_{\phi} = 4 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot h_{\phi} \cdot [D_{1\phi}^2 - (D + 2 \cdot s_1)^2] \cdot \rho_{ст} + 2 \cdot G_{п},$$

$$m_{\phi} = 4 \cdot \frac{3,14}{4} \cdot 0,08 \cdot [1,980^2 - (1,800 + 2 \cdot 0,01)^2] \cdot 7\,900 + 2 \cdot 0,545 = 1\,208.$$

Таблица 17 – Массы люков и штуцеров

Наименование	Масса, кг
Люк 500-1 ОСТ 26-2001-83, $m_{л}$	48,9
Штуцер 100-1-1-1-160-10X17Н13М2Т АТК 24.218.06-90, $m_{шт1}$	7,10
Штуцер 200-1-1-1-180-10X17Н13М2Т АТК 24.218.06-90, $m_{шт2}$	15,50
Штуцер 500-1-1-1-230-10X17Н13М2Т АТК 24.218.06-90, $m_{шт3}$	63,00

Масса люков и штуцеров, кг:

$$m_{л+шт} = 6 \cdot m_{л} + m_{шт1} + 2 \cdot m_{шт2} + m_{шт3} = 6 \cdot 48,9 + 7,10 + 2 \cdot 15,50 + 63,00 = 379.$$

Масса насадки, кг:

$$m_{нас} = \frac{\pi}{4} \cdot H_{н} \cdot D^2 \cdot G_{нас} = \frac{3,14}{4} \cdot 6 \cdot 1,800^2 \cdot 530 = 8\,092.$$

Масса внутренних устройств колонны, кг:

$$m_{в.у.} = 2 \cdot m_{ТЧН2} + m_{ТЧН3} + 3 \cdot m_{реш} + m_{ку} = 2 \cdot 45,1 + 34 + 3 \cdot 270 + 128 = 1\,062$$

Масса пустого аппарата, кг:

$$M_1 = m_{ц} + m_{д} + m_{\phi} + m_{л+шт} + m_{нас} + m_{в.у.} = 5\,391 + 631 + 1\,208 + 379 + 8\,092 + 1\,062,2,$$

$$M_1 = 16\,763.$$

Вес пустого аппарата, МН:

$$G_1 = M_1 \cdot g \times 10^{-6} = 16\,763 \cdot 9,81 \times 10^{-6} = 0,164.$$

3.7.2 Определение массы и веса аппарата, заполненного водой

Масса воды при гидравлическом испытании, кг:

$$m_{в} = m_{в.ц} + m_{в.д} + m_{в.(л+шт)},$$

где $m_{в.ц}$ – масса воды, заполняющей цилиндрическую обечайку, кг; $m_{в.д}$ – масса воды, заполняющей днища, кг; $m_{в.(л+шт)}$ – масса воды, заполняющей штуцера и люки, кг;

$$m_{в.ц} = \frac{\pi}{4} \cdot H \cdot D^2 \cdot \rho_{в} = \frac{3,14}{4} \cdot 12 \cdot 1,800^2 \cdot 998 = 30\,480;$$

$$m_{в.д} = \left(\frac{\pi}{3} \cdot H_2 + \frac{\pi}{4} \cdot 2 \cdot h_2 \right) \cdot D^2 \cdot \rho_{в} = \left(\frac{3,14}{3} \cdot 0,450 + \frac{3,14}{4} \cdot 2 \cdot 0,100 \right) \cdot 1,800^2 \cdot 998 = 2\,032;$$

$$m_{в.(л+шт)} = \frac{\pi}{4} \cdot (6 \cdot d_{вн.л}^2 \cdot l_{вн.л} + d_{вн.шт1}^2 \cdot l_{вн.шт1} + 2 \cdot d_{вн.шт2}^2 \cdot l_{вн.шт2} + d_{вн.шт3}^2 \cdot l_{вн.шт3}) \cdot \rho_{в},$$

где $d_{вн.л}$, $l_{вн.л}$, $d_{вн.шт1}$, $l_{вн.шт1}$, $d_{вн.шт2}$, $l_{вн.шт2}$, $d_{вн.шт3}$, $l_{вн.шт3}$ – внутренний диаметр и длина внутренней части люков и штуцеров условного диаметра: 100, 200, 500 соответственно, м;

Взам. инв. №	Подпись и дата	Инф. № подл.					Лист
			ФЮРА.066231.ПЗ				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			

$$m_{в.(л+ш)} = \frac{\pi}{4} \cdot (6 \cdot 0,508^2 \cdot 0,199 + 0,096^2 \cdot 0,175 + 2 \cdot 0,203^2 \cdot 0,190 + 0,506^2 \cdot 0,253) \cdot 998,$$

$$m_{в.(л+ш)} = 306;$$

$$m_{в} = 30\,480 + 2\,032 + 306 = 32\,818.$$

Масса аппарата при гидравлическом испытании, кг:

$$M_2 = M_1 + m_{в} = 16\,763 + 32\,818 = 49\,581.$$

Вес аппарата при гидравлическом испытании, МН:

$$G_2 = M_2 \cdot g \times 10^{-6} = 49\,581 \cdot 9,81 \times 10^{-6} = 0,486.$$

3.7.3 Подбор опоры аппарата

В соответствии с весом заполненного аппарата подбираем опору: Опора 3-1800-0,63-0,32-2500 АТК 24.200.04-90.

Масса опоры, кг: $M_{опоры} = 1\,281$

3.8 Расчет колонны на ветровую и сейсмическую нагрузку

Расчет колонны на ветровую и сейсмическую нагрузку проводится с целью определения ее устойчивости в наиболее неблагоприятных погодных условиях, характерных для Томска. Если выясняется, что конструкция аппарата неустойчива, дают рекомендации по методам ее укрепления и повышения устойчивости в условиях эксплуатации. Расчет на ветровую и сейсмическую нагрузку проводится в соответствии с ГОСТ Р 51274-99 [31].

Высота аппарата вместе со всеми конструктивными элементами, м:

$$H_A = 15,5.$$

Условие необходимости проведения расчета на ветровую нагрузку аппарата:

$$\frac{H_A}{D} > K,$$

где $K = 1,5$ для аппаратов $H_A \geq 10$.

$$\frac{15,5}{1,800} > 1,5.$$

Так как:

$$8,61 > 1,5,$$

Необходим расчет аппарата на ветровую нагрузку.

Так как отношение высоты колонны к ее диаметру:

$$\frac{15,5}{1,800} < 15, \quad 8,61 < 15,$$

Расчетная схема аппарата представляется в виде заземленного стержня (рисунок 14).

Взам. инв. №	
Подпись и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.066231.ПЗ

Лист

61

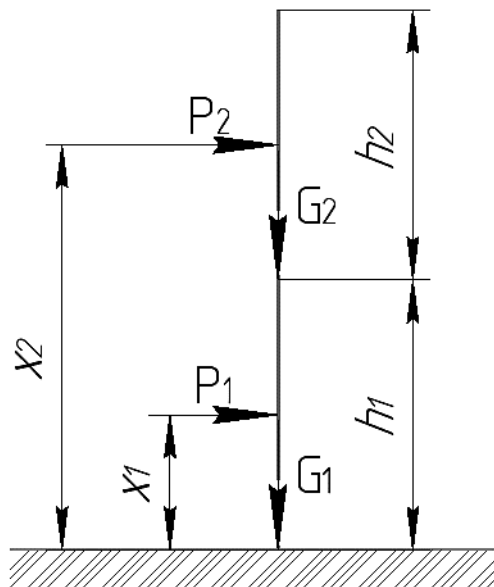


Рисунок 14 – Схема разбивки аппарата на участки при расчете его на ветровую нагрузку

Разбиваем аппарат по высоте на два участка, где первый и второй соответственно, м:

$$h_1 = 10; \quad h_2 = 5,5.$$

Высоты центров масс разбитых участков, м:

$$x_1 = \frac{h_1}{2} = \frac{10}{2} = 5; \quad x_2 = h_1 + \frac{h_2}{2} = 10 + \frac{5,5}{2} = 12,75.$$

Вес пустого аппарата с опорой и вес аппарата при гидравлическом испытании, Н:

$$G_{1.2} = (M_1 + M_{\text{опоры}}) \cdot g = (16\,763 + 1\,281) \cdot 9,81 = 177\,012;$$

$$G_{2.2} = (M_2 + M_{\text{опоры}}) \cdot g = (49\,581 + 1\,281) \cdot 9,81 = 498\,956.$$

Вес i -ых участков аппарата, Н:

$$G_{i1} = G_{2.2} \cdot 0,6 = 498\,956 \cdot 0,6 = 299\,374;$$

$$G_{i2} = G_{2.2} \cdot 0,4 = 498\,956 \cdot 0,4 = 199\,582.$$

Момент инерции верхнего основного металлического сечения аппарата относительно центральной оси, м⁴:

$$I = \frac{\pi \cdot D^3}{8} \cdot (s_1 - c) = \frac{3,14 \cdot 1,8^3}{8} \cdot (0,01 - 0,001) = 0,021.$$

Минимальный и максимальный периоды собственных колебаний (когда аппарат пустой и аппарат при гидравлическом испытании), с:

$$T_{\min} = 1,8 \cdot H_A \cdot \sqrt{\frac{G_{1.2} \cdot H_A}{g \cdot E \cdot I}} = 1,8 \cdot 15,5 \cdot \sqrt{\frac{177\,012 \cdot 15,5}{9,81 \cdot 2,06 \times 10^{11} \cdot 0,021}} = 0,226,$$

где E – модуль упругости стали при 20 °С, Па;

$$T_{\max} = 1,8 \cdot H_A \cdot \sqrt{\frac{G_{2.2} \cdot H_A}{g \cdot E \cdot I}} = 1,8 \cdot 15,5 \cdot \sqrt{\frac{498\,956 \cdot 15,5}{9,81 \cdot 2,06 \times 10^{11} \cdot 0,021}} = 0,380.$$

Определим скоростной напор ветра для аппарата предприятия в городе Томск.

Взам. инв. №	
Подпись и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.066231.ПЗ



Рисунок 15 – Карта с указанием географических районов для определения скоростных напоров ветра [21]

Таблица 18 – Нормативный скоростной напор ветра q для разных географических зон [21]

Районирование по скоростным напорам ветра	I	II	III	IV	V	VI	VII
Скоростной напор ветра q_0 , Н/м ²	270	350	450	550	700	850	1000

Коэффициенты для каждого участка:

$$\Theta_1 = \left(\frac{x_1}{10}\right)^{0,32} = \left(\frac{5}{10}\right)^{0,32} = 0,801, \quad K_1 = 0,7;$$

$$\Theta_2 = \left(\frac{x_2}{10}\right)^{0,32} = \left(\frac{12,75}{10}\right)^{0,32} = 1,081, \quad K_2 = 0,7.$$

Нормативное значение статической составляющей ветровой нагрузки в середине i -ых участков аппарата, Н/м²:

$$q_1^{CT} = q_0 \cdot \Theta_1 \cdot K_1 = 350 \cdot 0,801 \cdot 0,7 = 196,262,$$

где q_0 – скоростной напор ветра для зоны III, согласно таблице;

$$q_2^{CT} = q_0 \cdot \Theta_2 \cdot K_2 = 350 \cdot 1,081 \cdot 0,7 = 264,807.$$

Статическая составляющая ветровой нагрузки на каждом участке, Н/м²:

$$P_1^{CT} = q_1^{CT} \cdot (D + 2 \cdot s_1) \cdot h_1 = 196,262 \cdot (1,8 + 2 \cdot 0,01) \cdot 10 = 3\,572;$$

$$P_2^{CT} = q_2^{CT} \cdot (D + 2 \cdot s_1) \cdot h_2 = 264,807 \cdot (1,8 + 2 \cdot 0,01) \cdot 5,5 = 2\,651.$$

Коэффициенты динамичности при минимальном и максимальном периоде колебания:

$$\xi_1 = 1,1 + \sqrt{15,5 \cdot T_{\min} \cdot \frac{\sqrt{q_0}}{790}} = 1,1 + \sqrt{15,5 \cdot 0,226 \cdot \frac{\sqrt{350}}{790}} = 1,388;$$

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

ФЮРА.066231.ПЗ

$$\xi_2 = 1,1 + \sqrt{15,5 \cdot T_{\max} \cdot \frac{\sqrt{q_0}}{790}} = 1,1 + \sqrt{15,5 \cdot 0,380 \cdot \frac{\sqrt{350}}{790}} = 1,474.$$

Коэффициенты пульсаций скоростного напора:

$$m_1 = 0,76 \cdot \left(\frac{x_1}{10}\right)^{-0,15} = 0,76 \cdot \left(\frac{5}{10}\right)^{-0,15} = 0,843;$$

$$m_2 = 0,76 \cdot \left(\frac{x_2}{10}\right)^{-0,15} = 0,76 \cdot \left(\frac{12,75}{10}\right)^{-0,15} = 0,733.$$

Коэффициенты увеличения скорости напора при максимальном и минимальном весе:

$$\beta_{1.1} = 1 + \xi_2 \cdot m_1 = 1 + 1,474 \cdot 0,843 = 2,243;$$

$$\beta_{1.2} = 1 + \xi_2 \cdot m_2 = 1 + 1,474 \cdot 0,733 = 2,080;$$

$$\beta_{2.1} = 1 + \xi_1 \cdot m_1 = 1 + 1,388 \cdot 0,843 = 2,171;$$

$$\beta_{2.2} = 1 + \xi_1 \cdot m_2 = 1 + 1,388 \cdot 0,733 = 2,017.$$

Сила от ветровой нагрузки, действующая на каждый из участков аппарата при максимальном и минимальном весе аппарата, Н:

$$P_{1.1} = 0,6 \cdot \beta_{1.1} \cdot D \cdot q_1^{\text{CT}} \cdot x_1 = 0,6 \cdot 2,243 \cdot 1,8 \cdot 196,262 \cdot 5,00 = 2\,377;$$

$$P_{1.2} = 0,6 \cdot \beta_{1.2} \cdot D \cdot q_2^{\text{CT}} \cdot x_2 = 0,6 \cdot 2,080 \cdot 1,8 \cdot 264,807 \cdot 12,75 = 7\,584;$$

$$P_{2.1} = 0,6 \cdot \beta_{2.1} \cdot D \cdot q_1^{\text{CT}} \cdot x_1 = 0,6 \cdot 2,171 \cdot 1,8 \cdot 196,262 \cdot 5,00 = 2\,301;$$

$$P_{2.2} = 0,6 \cdot \beta_{2.2} \cdot D \cdot q_2^{\text{CT}} \cdot x_2 = 0,6 \cdot 2,017 \cdot 1,8 \cdot 264,807 \cdot 12,75 = 7\,356.$$

Изгибающий момент от ветровой нагрузки на аппарат относительно основания при максимальном и минимальном весе аппарата, Н·м:

$$M_{1.1}^B = P_{1.1} \cdot x_1 = 2\,377 \cdot 5,00 = 11\,880;$$

$$M_{1.2}^B = P_{1.2} \cdot x_2 = 7\,584 \cdot 12,75 = 96\,690;$$

$$M_{\max}^B = M_{1.1}^B + M_{1.2}^B = M_{1.1}^B + M_{1.2}^B = 108\,570;$$

$$M_{2.1}^B = P_{2.1} \cdot x_1 = 2\,301 \cdot 5,00 = 11\,500;$$

$$M_{2.2}^B = P_{2.2} \cdot x_2 = 7\,356 \cdot 12,75 = 93\,790;$$

$$M_{\min}^B = M_{2.1}^B + M_{2.2}^B = M_{2.1}^B + M_{2.2}^B = 105\,290.$$

Таблица 19 – Значения сейсмического коэффициента [21]

Расчетная сейсмичность, баллы	7	8	9
Значение сейсмического коэффициента K_c для средних грунтов	0,025	0,050	0,100

Величина сейсмической силы в середине i -го участка, Н:

$$P_1^C = \beta_{1.1} \cdot G_{i1} \cdot K_1 \cdot K_c \cdot \frac{G_{i1} \cdot K_1 + G_{i2} \cdot K_2}{G_{i1} \cdot K_1^2 + G_{i2} \cdot K_2^2},$$

где K_c – сейсмический коэффициент при наихудших условиях;

$$P_1^C = 2,243 \cdot 299\,374 \cdot 0,7 \cdot 0,1 \cdot \frac{299\,374 \cdot 0,7 + 199\,582 \cdot 0,7}{299\,374 \cdot 0,7^2 + 199\,582 \cdot 0,7^2} = 67\,140;$$

Взам. инв. №					Лист
Инв. № подл.					64
	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	
ФЮРА.066231.ПЗ					

$$P_2^c = \beta_{1.2} \cdot G_{i2} \cdot K_2 \cdot K_c \cdot \frac{G_{i1} \cdot K_1 + G_{i2} \cdot K_2}{G_{i1} \cdot K_1^2 + G_{i2} \cdot K_2^2}$$

$$P_2^c = 2,080 \cdot 199\,582 \cdot 0,7 \cdot 0,1 \cdot \frac{299\,374 \cdot 0,7 + 199\,582 \cdot 0,7}{299\,374 \cdot 0,7^2 + 199\,582 \cdot 0,7^2} = 41\,510.$$

Расчетный изгибающий момент, Н·м:

$$M_c = P_1^c \cdot x_1 + P_2^c \cdot x_2 = 67\,140 \cdot 5 + 41\,510 \cdot 12,75 = 864\,900.$$

Суммарный расчетный изгибающий момент, Н·м:

$$M_{\text{sum}} = M_c + 0,15 \cdot M_{\text{max}}^B = 864\,900 + 0,15 \cdot 108\,570 = 881\,186.$$

Опорная площадь опорного кольца, м²:

$$F_{0.к} = \frac{\pi}{4} \cdot (D_{30.к}^2 - D_{10.к}^2) = \frac{3,14}{4} \cdot (2,1^2 - 1,816^2) = 0,873,$$

где $D_{30.к}$, $D_{10.к}$ – наружный и внутренний диаметры фундаментного кольца.

Ширина опорного кольца, м:

$$L_{0.к} = D_{30.к} - D_{10.к} = 2,1 - 1,816 = 0,284.$$

Момент инерции опорного кольца, м⁴:

$$I_{0.к} = \frac{\pi}{8} \cdot D^3 \cdot L_{0.к} = \frac{3,14}{8} \cdot 1,8^3 \cdot 0,284 = 0,65.$$

Момент инерции подошвы фундамента относительно центральной оси, м⁴:

$$I_{п.ф} = 1,3 \cdot I_{0.к} = 1,3 \cdot 0,65 = 0,846.$$

Момент сопротивления опорной площадки кольца, м³:

$$W_{0.к} = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{D_{30.к}^4 - D_{10.к}^4}{D_{30.к}} = \frac{3,14}{32} \cdot \frac{2,1^4 - 1,816^4}{2,1} = 0,401.$$

Максимальное напряжение сжатия на опорной поверхности опорного кольца, Па:

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{G_{2.2}}{F_{0.к}} + \frac{M_{\text{sum}}}{W_{0.к}} = \frac{498\,956}{0,873} + \frac{881\,186}{0,401} = 2\,770\,000.$$

Необходимо внесение изменений в размеры внутреннего кольца опоры, если:

$$\sigma_{\text{max}} \leq [q]_{\text{опоры}},$$

где $[q]_{\text{опоры}}$ – допустимая удельная нагрузка на опорной поверхности бетона, Па.

Так как:

$$2\,770\,000 \leq 23\,000\,000.$$

Внесение изменений в размеры внутреннего кольца опоры не требуется.

Толщина опорного кольца, м:

$$s_{0.к} = 1,73 \cdot l \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{\text{max}}}{\sigma_{-1}}} = 1,73 \cdot 0,15 \cdot \sqrt{\frac{2\,770\,000}{0,44 \cdot 530\,000}} = 0,028,$$

где $l = \frac{D_{30.к} - D_{10.к}}{2}$ – номинальная расчетная толщина опорного кольца, м; $\sigma_{-1} = 0,44 \cdot \sigma_B$ – предел

выносливости стали, Па; σ_B – временное сопротивление стали, Па.

Взам. инв. №				
Подпись и дата				
Инв. № подл.				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
			ФЮРА.066231.ПЗ	
				Лист 65

Нагрузка на аппарат против опрокидывания от ветровой нагрузки, Па:

$$\sigma = \max\left(\frac{G_{2.2}}{F_{0.к}} + \frac{M_{\max}^B}{W_{0.к}}; \frac{G_{1.2}}{F_{0.к}} - \frac{M_{\min}^B}{W_{0.к}}\right) = \max\left(\frac{498\,956}{0,873} + \frac{108\,570}{0,401}; \frac{177\,012}{0,873} + \frac{105\,290}{0,401}\right),$$

$$\sigma = 842\,200.$$

Общая условная расчетная нагрузка на фундаментные болты, Па:

$$P_{\sigma} = \frac{\pi}{4} \cdot (D_{30.к}^2 - D_{10.к}^2) \cdot \sigma = \frac{3,14}{4} \cdot (2,1^2 - 1,816^2) \cdot 842\,200 = 735\,600.$$

Нагрузка на один болт, Па:

$$P_{\sigma}^1 = \frac{P_{\sigma}}{n_{a.б}} = \frac{735\,600}{8} = 91\,950,$$

где $n_{a.б}$ – количество анкерных болтов М36.

Относительные координаты центров тяжести участков, м:

$$\alpha_1 = \frac{x_1}{H_A} = \frac{5}{15,5} = 0,323;$$

$$\alpha_2 = \frac{x_2}{H_A} = \frac{12,75}{15,5} = 0,823.$$

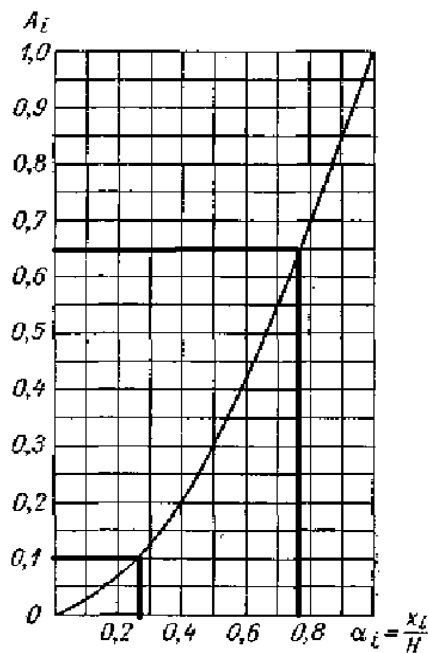


Рисунок 16 – Зависимость параметра перемещения от относительных координат центров тяжести участков [21]

Параметры, определяемые по графику в зависимости от относительных координат центров тяжести участков:

$$A_{t1} = 0,125, \quad A_{t2} = 0,7.$$

Угол поворота опорного сечения, рад:

$$\phi_{\text{опор}} = \frac{1}{C_{п.ф} \cdot I_{п.ф}} = \frac{1}{50\,000\,000 \cdot 0,846} = 2,365 \times 10^{-8},$$

где $C_{п.ф}$ – коэффициент неравномерного сжатия грунта, Па/м;

Взам. инв. №					
	Подпись и дата				
Инв. № подл.					
	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
ФЮРА.066231.ПЗ					
				Лист	66

Относительное перемещение центров тяжести участков:

$$K_1^{\text{пер}} = \frac{H_A \cdot A_{t1}}{3 \cdot E \cdot I} + \phi_{\text{опор}} \cdot \alpha_1 = \frac{15,5 \cdot 0,125}{3 \cdot 2,06 \times 10^{11} \cdot 0,021} + 2,365 \times 10^{-8} \cdot 0,323 = 7,782 \times 10^{-9};$$

$$K_2^{\text{пер}} = \frac{H_A \cdot A_{t2}}{3 \cdot E \cdot I} + \phi_{\text{опор}} \cdot \alpha_2 = \frac{15,5 \cdot 0,7}{3 \cdot 2,06 \times 10^{11} \cdot 0,021} + 2,365 \times 10^{-8} \cdot 0,823 = 2,031 \times 10^{-8};$$

Величина сейсмической силы в середине i -го участка, Н:

$$P_1^c = \beta_{1.1} \cdot G_{i1} \cdot K_1^{\text{пер}} \cdot K_c \cdot \frac{G_{i1} \cdot K_1^{\text{пер}} + G_{i2} \cdot K_2^{\text{пер}}}{G_{i1} \cdot K_1^{\text{пер}^2} + G_{i2} \cdot K_2^{\text{пер}^2}},$$

$$P_1^c = 2,243 \cdot 299\,374 \cdot 7,782 \times 10^{-9} \cdot 0,1 \cdot \frac{299\,374 \cdot 7,782 \times 10^{-9} + 199\,582 \cdot 2,031 \times 10^{-8}}{299\,374 \cdot (7,782 \times 10^{-9})^2 + 199\,582 \cdot (2,031 \times 10^{-8})^2} = 33\,200;$$

$$P_2^c = \beta_{1.2} \cdot G_{i2} \cdot K_2^{\text{пер}} \cdot K_c \cdot \frac{G_{i1} \cdot K_1^{\text{пер}} + G_{i2} \cdot K_2^{\text{пер}}}{G_{i1} \cdot K_1^{\text{пер}^2} + G_{i2} \cdot K_2^{\text{пер}^2}},$$

$$P_2^c = 2,080 \cdot 199\,582 \cdot 2,031 \times 10^{-8} \cdot 0,1 \cdot \frac{299\,374 \cdot 7,782 \times 10^{-9} + 199\,582 \cdot 2,031 \times 10^{-8}}{299\,374 \cdot (7,782 \times 10^{-9})^2 + 199\,582 \cdot (2,031 \times 10^{-8})^2} = 53\,570.$$

Расчетный изгибающий момент, Н·м:

$$M_c = P_1^c \cdot x_1 + P_2^c \cdot x_2 = 33\,200 \cdot 5 + 53\,570 \cdot 12,75 = 849\,000.$$

Суммарный расчетный изгибающий момент, Н·м:

$$M_{\text{sum}} = M_c + 0,15 \cdot M_{\text{max}}^B = 849\,000 + 0,15 \cdot 108\,570 = 865\,313.$$

Изгибающий момент от сейсмической нагрузки с учетом влияния высших форм колебаний, Н·м:

$$M'_c = 1,25 \cdot M_c = 1,25 \cdot 849\,000 = 1\,061\,000.$$

3.8.1 Проверка устойчивости колонны к ветровым нагрузкам

Коэффициент устойчивости колонны:

$$K_y = 0,42 \cdot \frac{G_{2.2} \cdot D_{30.к}}{M_{\text{max}}^B} = 0,42 \cdot \frac{498\,956 \cdot 2,1}{108\,570} = 4,053.$$

Аппарат устойчив к ветровым нагрузкам, если: $K_y > 1,5$.

Так как:

$$4,053 > 1,5$$

Аппарат устойчив к ветровым нагрузкам.

3.8.2 Проверка устойчивости колонны к сейсмическим нагрузкам

Аппарат сейсмически устойчив, если:

$$M_{\text{sum}} < M'_c;$$

$$865\,313 < 1\,061\,000.$$

Аппарат сейсмически устойчив.

Взам. инв. №	Инф. № подл.	Подпись и дата		
			Изм.	Лист

					ФЮРА.066231.ПЗ	Лист
						67
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

3.9 Результаты механического расчета

В результате механического расчета были определены исполнительные толщины стенок корпуса, днища и крышки. Подобраны технологические штуцера и произведен расчет укрепления отверстий, наиболее ответственное фланцевое соединение рассчитано на прочность и герметичность. Для аппарата была подобрана опора, способная выдержать всевозможные нагрузки при эксплуатации, определена устойчивость колонны к ветровым и сейсмическим нагрузкам. Основные полученные значения при расчетах занесены в таблицу 20.

Таблица 20 – Основные полученные значения при механическом расчете

Параметр, единица измерения	Значение параметра
Высота выпуклой части днища H_2 , м	0,450
Высота отбортованной части днища h_2 , м	0,100
Толщина стенки аппарата s_1 (s_2), м	0,010
Масса пустого аппарата, кг	18 044
Масса аппарата при гидравлическом испытании, кг	47 862

Взам. инв. №	Подпись и дата	Инф. № подл.				ФЮРА.066231.ПЗ	Лист
			Изм.	Лист	№ докум.		Подпись

4 РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ

Согласно технической документации предприятия, нестабильного формальдегида после абсорбции образуется порядка 4 400 кг/час и рецикловые газы направляются в куб второго абсорбера для повторной абсорбции. При использовании спроектированной колонны на производстве сокращается число технологических стадий: отсутствует потребность в повторном поглощении продукта, так как степень извлечения формальдегида по всей поверхности насадки составляет 99 %, а 1 % направится на обезвреживание. Производительность по нестабильному формалину в таком случае составит $\approx 42\,800$ кг/час, что почти в 10 раз выше имеющейся производительности. Использование более эффективного абсорбера позволяет снизить материалоемкость аппаратуры блока и энергозатраты (так как обеспечивается работа только одной единицы оборудования вместо двух), а также затраты на рабочую силу (снижается количество аппаратчиков).

Разработанное оборудование может эксплуатироваться на предприятии «Сибметакхим» при его модернизации или же другими предприятиями с похожей мощностью производства формалина или карбамидоформальдегидного концентрата (КФК).

Взам. инв. №	Подпись и дата	Инф. № подл.						Лист
			Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	69

ФЮРА.066231.ПЗ

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
4Г7Б	Лаптевой Валентине Алексеевне

Школа	ИШНПТ	Отделение школы (НОЦ)	НОЦ Н.М. Кижнера
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	18.03.01 Химическая технология

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Бюджет проекта – не более 150 000 руб., в т.ч. затраты по оплате труда – не более 100 000 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Значение показателя интегральной ресурсоэффективности – не менее 5 баллов из 6
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	В проекте используется Общая система налогообложения (ОСНО), отчисления во внебюджетные фонды составляют 30 %.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Анализ конкурентоспособности предприятия. SWOT-анализ проекта.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Определение трудоемкости для расчета бюджета проекта
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Производится по расчетам интегральных показателей: финансовой и ресурсной эффективности.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Диаграмма Ганта
4. График проведения и бюджет научных исследований
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности научных исследований

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОСГН ШБИП ТПУ	Спицына Любовь Юрьевна	к.э.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г7Б	Лаптева Валентина Алексеевна		

Введение

Данный раздел предназначен для обоснования целесообразности проведения проекта посредством определения его финансовой и ресурсной эффективности.

Целью данной ВКР является модернизация абсорбционной колонны для производства формалина предприятия ООО «Сибметакхим» города Томска, поэтому цель данного раздела – проектирование аппарата, отвечающего всем современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Написание раздела обеспечивается решением следующих задач:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- планирование научно-исследовательских работ;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

Взам. инв. №	Подпись и дата	Инв. № подл.				ФЮРА.066231.ПЗ	Лист
							71
			Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Так как потребителем данного инженерного решения является конкретное предприятие, а не сегмент рынка, необходимо проанализировать конкурентные технические решения.

5.1.1 Анализ конкурентных технических решений

В настоящее время формалин получают абсорбцией формальдегидсодержащих реакционных газов по трем широко распространенным способам в реакциях:

1. частичного окисления и дегидрирования под действием воздуха в присутствии кристаллов серебра, водяного пара и избытка метанола при 650–720 °С;
2. частичного окисления и дегидрирования под действием воздуха в присутствии кристаллического серебра или серебряной сетки, водяного пара и избытка метанола при 600–650 °С;
3. окисления метанола избытком воздуха в присутствии катализатора на основе оксидов железа, молибдена и ванадия при 250 – 400 °С.

Анализ конкурентных технических решений определяется путем составления оценочной карты, представленной в таблице 21. Предприятия – конкуренты оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция. Веса показателей в сумме составляют 1.

Конкурентоспособность каждого предприятия определяется по формуле:

$$K = \sum (B_i \cdot B_i),$$

где B_i – вес показателя (в долях); B_i – балл показателя.

Таблица 21 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б ₁	Б ₂	Б ₃	К ₁	К ₂	К ₃
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Конверсия метанола	0,25	5	5	4	1,25	1,25	1,00
2. Селективность процесса	0,18	5	5	4	0,90	0,90	0,90
3. Производительность	0,20	4	4	5	0,80	0,80	1,00
4. Энергоэкономичность	0,05	4	4	5	0,20	0,20	0,25
5. Металлоемкость	0,07	3	4	5	0,21	0,28	0,35

Взам. инв. №	
Подпись и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ФЮРА.066231.ПЗ	Лист 72
------	------	----------	---------	------	----------------	------------

Экономические критерии оценки эффективности							
1. Капитальные вложения	0,15	4	3	5	0,60	0,45	0,75
2. Конкурентоспособность продукта	0,10	5	5	5	0,50	0,50	0,50
Итого	1,00				4,46	4,38	4,75

где 1, 2, 3 – индексы предприятий с получением формальдегида по способам 1, 2 и 3, упомянутым выше, соответственно: 1 – ОАО «Метафракс»; 2 – ОАО «Акрон»; 3 – ОАО «Сибметахим».

Таким образом, преимуществом технологии получения формалина на оксидном катализаторе является более высокая чистота получаемого продукта, несмотря на то, что конверсия метанола при данном способе получения ниже, чем при использовании серебряного катализатора. Это позволяет снизить затраты на очистку продукта, но не значительно увеличивает расход сырья. Себестоимость такого продукта будет ниже, чем у конкурентов, а качество выше.

5.1.2 SWAT-анализ

SWAT-анализ применяется для исследования внешней и внутренней среды проекта с целью выявления сильных и слабых сторон производства.

Проводится в три этапа. Первый: описание сильных и слабых сторон проекта, выявление возможностей и угроз для его реализации. Второй: выявление соответствия сильных и слабых сторон проекта внешним условиям окружающей среды. Третий: составление итоговой матрицы с результатами анализа для сильных и слабых сторон проекта. Матрица SWAT проекта представлена в таблице 22.

Таблица 22 – Матрица SWAT

	Сильные стороны исследовательского проекта:	Слабые стороны исследовательского проекта:
	<p>С1. Высокая чистота продукта.</p> <p>С2. Достаточно высокая конверсия метанола и селективность процесса.</p> <p>С3. Безопасность технологии (каталитическое окисление непоглощенных водой газов).</p> <p>С4. Относительно низкие температура и давление всех процессов производства.</p>	<p>Сл1. Высокая металлоемкость аппаратуры.</p> <p>Сл2. Несовершенство аппаратуры.</p> <p>Сл3. Высокие энергозатраты.</p>

Взам. инв. №	
Подпись и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.066231.ПЗ

Продолжение таблицы 22

<p>Возможности:</p> <p>В1. Развитие новых технологий, повышение энерго- и ресурсоэффективности.</p> <p>В2. Повышение спроса на высококачественный продукт.</p> <p>В3. Увеличение объемов производства.</p>	<p>В2В3С1С2 Увеличение прибыли предприятия.</p>	<p>В1Сл1Сл2Сл3 Улучшение конструкции оборудования: увеличение площади массо-обмена, уменьшение потерь формальдегида при абсорбции, увеличение КПД абсорбционной колонны.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Появление конкурирующих технологий.</p> <p>У2. Снижение финансирования проекта.</p> <p>У3. Снижение спроса на формалин во всем мире.</p>	<p>У1С1С2С3С4 Совершенствование технологии производства с целью повышения конкурентоспособности.</p> <p>У2С1С2С3С4 Поиск стороннего финансирования для осуществления проекта.</p> <p>У3С3 При значительном снижении спроса на формалин – переход к производству востребованного продукта на имеющемся оборудовании предприятия.</p>	<p>У1Сл1Сл2Сл3 Оптимизация всех процессов производства, улучшение аппаратуры.</p>

Как видно из SWAT-анализа, у предприятия «Сибметакхим» достаточно много сильных сторон и возможностей для развития, но для устранения более высокотехнологичных производителей-конкурентов предприятию следует увеличить количество инновационных проектов в рамках модернизационной политики.

Взам. инв. №		Подпись и дата		Инв. № подл.		<table border="1"> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Изм.</td> <td>Лист</td> <td>№ докум.</td> <td>Подпись</td> <td>Дата</td> </tr> </table>						Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	<p>ФЮРА.066231.ПЗ</p>	<table border="1"> <tr> <td>Лист</td> </tr> <tr> <td>74</td> </tr> </table>	Лист	74
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата																
Лист																				
74																				

5.2 Планирование научно-исследовательских работ

5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для реализации данного проекта достаточна работа руководителя по проекту (научного руководителя) и инженера (бакалавра). Задачей руководителя является контроль и принятие ответственных решений в области развития проекта. Задачами инженера являются: поиск информации по теме, выполнение расчетов и составление конструкторской документации. Этапы работ по проекту представлены в таблице 23.

Таблица 23 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Исполнитель
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	3	Проведение патентных исследований	Инженер
	4	Выбор направления исследований	Руководитель, инженер
	5	Календарное планирование работ по теме	Руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Проведение теоретических обоснований	Инженер
	7	Построение модели и проведение расчетов	Инженер
	8	Сопоставление результатов расчетов с теоретическими исследованиями	Инженер
	9	Внесение правок	Руководитель, инженер
Обобщение и оценка результатов	10	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, инженер
Разработка технической документации и проектирование	11	Разработка блок-схемы, принципиальной схемы	Инженер
	12	Оценка эффективности производства и применения проектируемого изделия	Руководитель, инженер
	13	Составление пояснительной записки и чертежей	Инженер

5.2.2 Определение трудоемкости и продолжительности выполнения работ

Основную часть стоимости разработки в большинстве случаев составляют трудовые за-

Взам. инв. №	
Подпись и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ФЮРА.066231.ПЗ	Лист 75
------	------	----------	---------	------	----------------	------------

траты. Трудоемкость оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, так как зависит от множества факторов.

Ожидаемую трудоемкость определяют по формуле:

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{\min\ i} + 2t_{\max\ i}}{5},$$

где $t_{\min\ i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.; $t_{\max\ i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Это необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес заработной платы в общей сметной стоимости составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ож\ i}}{Ч_i},$$

где $Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Рассчитаем ожидаемую трудоемкость и продолжительность работы при проведении патентных исследований инженером.

В случае минимальной трудоемкости, проведение патентных исследований можно провести за один ($t_{\min\ i} = 1$) чел.-дн., когда у инженера есть доступ к многим системам поиска патентов и навыки работы с поисковыми системами. В случае максимальной трудоемкости инженеру потребуется порядка трех ($t_{\max\ i} = 3$) чел.-дн. для осуществления поиска нужной информации.

Тогда ожидаемая трудоемкость составит:

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{\min\ i} + 2t_{\max\ i}}{5} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 3}{5} = 1,8 \text{ чел. - дн.}$$

Тем самым продолжительность работы составит:

$$T_{pi} = \frac{t_{ож\ i}}{Ч_i} = \frac{1,8}{1} = 1,8 \text{ дней.}$$

5.2.3 Разработка графика проведения исследовательского проекта

Наиболее удобным и наглядным графиком проведения работ является Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, с датами начала и окончания выполнения работ. Для удобства построения графика длительность каждого из этапов переводят в календарные дни согласно формуле:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}},$$

где $k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности, который определяется по формуле:

Взам. инв. №	
Подпись и дата	
Инв. № подл.	

					<i>ФЮРА.066231.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		76

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}},$$

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.

Так, например, для работ, проводимых в 2021 году, для рабочего с шестидневной рабочей неделей коэффициент календарности составит:

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = \frac{365}{299} = 1,22$$

Все рассчитанные значения в календарных днях округляют до целого числа и вносят в таблицу. Временные показатели проектирования представлены в таблице 24.

Таблица 24 – Временные показатели проекта

Название работы	Трудоемкость работ						Длительность работ в рабочих дн. T_p		Длительность работ в календарных дн. T_k	
	t_{min} , чел.-дн.		t_{max} , чел.-дн.		$t_{\text{ож}}$, чел.-дн.		руководитель	инженер	руководитель	инженер
	руководитель	инженер	руководитель	инженер	руководитель	инженер				
Составление и утверждение технического задания	1	–	3	–	1,8	–	1,8	–	2	–
Подбор и изучение материалов по теме	–	7	–	14	–	9,8	–	9,8	–	12
Проведение патентных исследований	–	1	–	3	–	1,8	–	1,8	–	2
Выбор направления исследований	3	3	7	7	4,6	4,6	2,3	2,3	3	3
Календарное планирование работ по теме	2	–	4	–	2,8	–	2,8	–	3	–
Проведение теоретических обоснований	–	7	–	16	–	10,6	–	10,6	–	13
Построение модели и проведение расчетов	–	14	–	28	–	19,6	–	19,6	–	24
Сопоставление результатов расчетов с теоретическими исследованиями	–	2	–	4	–	2,8	–	2,8	–	3
Внесение правок	5	5	7	7	5,8	5,8	2,9	2,9	4	4
Оценка эффективности полученных результатов	2	2	5	5	3,2	3,2	1,6	1,6	2	2
Разработка блок-схемы, принципиальной схемы	–	5	–	7	–	5,8	–	5,8	–	7
Оценка эффективности производства и применения проектируемого изделия	3	3	6	6	4,2	4,2	2,1	2,1	3	3
Составление пояснительной записки и чертежей	–	14	–	28	–	19,6	–	19,6	–	24
Итого:							13,5	78,9	16	96

На основе предыдущей таблицы строится план-график по проекту с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. График представлен в таблице 25.

Взам. инв. №	
Инв. № подл.	
Подпись и дата	

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ФЮРА.066231.ПЗ	Лист
						77

Таблица 25 – Календарный план-график по проекту

№ работ	Вид работ	Исполнители	T _к кал. дн	Продолжительность проведения работ												
				Февраль		Март			Апрель			Май			Июнь	
				1	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Составление ТЗ	Руководитель	2	///												
2	Изучение материалов	Инженер	12	■	■											
3	Патентные исследования	Инженер	2		■											
4	Выбор направления исследований	Руководитель	3		///											
		Инженер	3		■											
5	Календарное планирование работ	Руководитель	3		///											
6	Теоретические обоснования	Инженер	13			■	■	■								
7	Модель, расчеты	Инженер	24			■	■	■	■	■						
8	Сопоставление результатов	Инженер	3							■						
9	Внесение правок	Руководитель	4							///						
		Инженер	4							■						
10	Оценка результатов эффективности	Руководитель	2							///						
		Инженер	2							■						
11	Разработка схем	Инженер	7								■					
12	Оценка применения проектируемого изделия	Руководитель	3								///					
		Инженер	3								■					
13	Составление ПЗ и чертежей	Инженер	24									■	■	■		

/// – руководитель; ■ – инженер.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.066231.ПЗ

5.2.4 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета научно-технического исследования необходимо полное обеспечение и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета используются следующие затраты по статьям:

- материальные затраты научно-исследовательской работы;
- затраты на специальное оборудование для экспериментов;
- основная заработная плата исполнительной темы;
- дополнительная заработная плата исполнительной темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы научно-исследовательской работы.

5.2.4.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

При проектировании оборудования задействовано минимальное количество материальных ресурсов, а именно: краска для принтера и бумага при печати дипломной работы. Остальные ресурсы, необходимые для работы являются нематериальными. Материальные затраты при проектировании с учетом минимальных цен в интернет-магазинах представлены в таблице 26.

Таблица 26 – Материальные затраты

Наименование	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, руб
Бумага для принтера	1 пачка	248	248
Картридж черный для принтера	1 шт.	1 080	1 080
Итого			1 328

С учетом транспортных затрат на товары в размере 25 % итоговая стоимость материальных затрат составит:

$$З_m = 1,25 \cdot (248 + 1080) = 1660 \text{ рублей.}$$

5.2.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

Основное оборудование для проведения проектных работ – ноутбук Lenovo 310-15ISK, приобретенный в марте 2017 года и принтер HP 2010 года. Амортизационный период ноутбука и принтера составляет 25 – 36 месяцев. Так как амортизационный период оборудования истек, то производить амортизационный расчет нет необходимости.

Взам. инв. №	Подпись и дата	Инв. № подл.					Лист
			ФЮРА.066231.ПЗ				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			

5.2.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В данной статье будет рассчитана основная заработная плата исполнителей проекта.

Зарботная плата исполнителя рассчитывается по формуле:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата, руб.; $Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата (15 % от $Z_{осн}$), руб.

Основная заработная плата исполнителя рассчитывается по формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p,$$

где $Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.; T_p – продолжительность работ, выполняемых исполнителем проекта, раб. дн.

Среднедневная заработная плата исполнителя рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d},$$

где Z_m – 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), при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца (6-дневная неделя); F_d – действительный годовой фонд рабочего времени исполнителей, раб. дн.

Таблица 27 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
– выходные дни	52	52
– праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
– отпуск	48	48
– невыходы по болезни	5	1
Действительный годовой фонд рабочего времени	246	250

Месячный должностной оклад работника рассчитывается по формуле:

$$Z_m = Z_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p,$$

где $Z_{тс}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.; $k_{пр}$ – премиальный коэффициент (равный 0,3); k_d – коэффициент доплат и надбавок (0,20 – для инженера и 0,25 – для руководителя); k_p – районный коэффициент, равный 1,3 для Томска

Тарифная заработная плата находится из произведения тарифной ставки работника 1-го разряда $T_{ci} = 600$ руб. на тарифный коэффициент k_t и учитывается по единой для бюджетных

Взам. инв. №	
Подпись и дата	
Инв. № подл.	

					ФЮРА.066231.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		80

организаций тарифной сетке.

Согласно «Положение об оплате труда», руководитель – доцент имеет оклад 31 000 руб., а инженер – бакалавр 17 000 руб.

Рассчитаем среднедневную заработную плату для исполнителей:

– для руководителя:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{31\,000 \cdot 10,4}{246} = 1\,310,57 \text{ руб.}$$

– для инженера:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{17\,000 \cdot 10,4}{250} = 707,20 \text{ руб.}$$

Рассчитаем основную заработную плату для исполнителей:

– для руководителя (количество рабочих дней составило 13,5):

$$Z_{\text{осн}} = 1\,310,57 \cdot 13,5 = 17\,692,70 \text{ руб.}$$

– для инженера (количество рабочих дней составило 78,9):

$$Z_{\text{осн}} = 707,20 \cdot 78,9 = 55\,798,08 \text{ руб.}$$

Таблица 28 – Расчет основной заработной платы исполнителей проекта

Исполнитель	$Z_{\text{м}}$, руб.	$Z_{\text{дн}}$, руб.	$T_{\text{р}}$, раб. дн.	$Z_{\text{осн}}$, руб.
Руководитель	31 000	1 310,57	13,5	17 692,70
Инженер	17 000	707,20	78,9	55 798,08
Итого				73 490,78

5.2.4.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате учитывают величину доплат за отклонение от нормальных условий труда и выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Дополнительная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}},$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Рассчитаем дополнительную заработную плату для исполнителей:

– для руководителя (15 % от $Z_{\text{осн}}$):

$$Z_{\text{доп}} = 0,15 \cdot 17\,692,70 = 2\,653,91 \text{ руб.}$$

– для инженера (15 % от $Z_{\text{осн}}$):

$$Z_{\text{доп}} = 0,15 \cdot 55\,798,08 = 8\,369,71 \text{ руб.}$$

Взам. инв. №					Инд. № подл.	ФЮРА.066231.ПЗ				Лист
										81
Подпись и дата					Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

Таблица 29 – Расчет дополнительной заработной платы исполнителей проекта

Исполнитель	$k_{\text{доп}}$	$Z_{\text{доп}}$, руб.
Руководитель	0,15	2 653,91
Инженер	0,15	8 369,71
Итого		11 023,62

5.2.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяются по формуле:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}),$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (ФСС, ПФ, ФОМС)

За 2021 год отчисления во внебюджетные фонды составляют: в ПФР – 22 %, в ФСС – 2,9 %, в ФОМС – 5,1 %.

Рассчитаем величину отчислений во внебюджетные фонды:

– для руководителя ($k_{\text{внеб}} = 30 \%$):

$$Z_{\text{внеб}} = 0,3 \cdot (17\,692,70 + 2\,653,91) = 6\,103,98 \text{ руб.}$$

– для инженера ($k_{\text{внеб}} = 30 \%$):

$$Z_{\text{внеб}} = 0,3 \cdot (55\,798,08 + 8\,369,71) = 19\,250,34 \text{ руб.}$$

Таблица 30 – Расчет отчислений во внебюджетные фонды

Исполнитель	$k_{\text{внеб}}$	$Z_{\text{внеб}}$, руб.
Руководитель	0,3	6 103,98
Инженер	0,3	19 250,34
Итого		25 354,32

5.2.4.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{\text{нр}},$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы (обычно берется в размере 16 %).

Примем величину накладных расходов на проект в размере 16 % от суммы остальных статей расходов проекта.

Взам. инв. №	
Подпись и дата	
Инв. № подл.	

					<i>ФЮРА.066231.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		82

5.2.4.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основной для формирования договора с заказчиком и защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

В предыдущих разделах был рассчитан бюджет проекта с минимальными затратами: без покупки более мощного оборудования и программ расчета и проектирования (исполнение 1).

В случае отсутствия какого-либо оборудования из использующихся в ходе проектирования, можно составить еще два альтернативных бюджета для затрат. В первом случае предусмотреть покупку нового принтера (исполнение 2), во втором – покупку нового более мощного компьютера (исполнение 3). Все они, с уже рассчитанным ранее, представлены в таблице 31.

Таблица 31 – Расчет бюджета затрат проекта

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	
1. Материальные затраты НТИ	1 328	1 328,00	1 328,00	Пункт 2.4.1
2. Затраты на специальное оборудование	0	9 999,00	36 499,00	Пункт 2.4.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей	73 490,78	73 490,78	73 490,78	Пункт 2.4.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей	11 023,62	11 023,62	11 023,62	Пункт 2.4.4
5. Отчисления во внебюджетные фонды	25 354,32	25 354,32	25 354,32	Пункт 2.4.5
6. Накладные расходы	17 791,48	19 391,32	23 631,32	Пункт 2.4.6
7. Бюджет затрат НТИ	128 988,20	140 587,04	171 327,04	Сумма ст.1-6

Таким образом, минимальный бюджет на реализацию данного проекта составляет 128 988,20 руб., максимальный бюджет составит 171 327,04 руб.

Взам. инв. №	Подпись и дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ФЮРА.066231.ПЗ	Лист
								83

5.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической 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 получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}},$$

где Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения; Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Рассчитаем интегральный финансовый показатель каждого исполнения:

$$\Phi_{p1} = 128\,988,20 \quad I_{\text{финр}}^{\text{исп.1}} = \frac{\Phi_{p1}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{128\,988,20}{171\,327,04} = 0,75$$

$$\Phi_{p2} = 140\,587,04 \quad I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}} = \frac{\Phi_{p2}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{140\,587,04}{171\,327,04} = 0,82$$

$$\Phi_{p3} = \Phi_{\text{max}} = 171\,327,04 \quad I_{\text{финр}}^{\text{исп.3}} = \frac{\Phi_{p3}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{171\,327,04}{171\,327,04} = 1$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения разработки определяется по формуле:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i,$$

где a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки; b_i – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности представлен в таблице 32.

Таблица 32 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения.

Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп. 1 $I_{p-исп1}$	Исп. 2 $I_{p-исп2}$	Исп. 3 $I_{p-исп3}$
Критерии				
1. Способствует росту производительности труда	0,2	4	5	5
2. Удобство в эксплуатации	0,2	5	5	5

Взам. инв. №	
Подпись и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ФЮРА.066231.ПЗ	Лист
						84

Продолжение таблицы 32

3. Энергосбережение	0,2	5	4	3
4. Надежность	0,2	4	5	5
5. Производительность	0,2	3	4	5
Итого	1	4,2	4,6	4,6

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{исп.}i} = \frac{I_{\text{р-исп}i}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}}$$

Рассчитаем интегральный показатель эффективности каждого варианта исполнения:

$$I_{\text{исп.1}} = \frac{I_{\text{р-исп1}}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп.1}}} = \frac{4,2}{0,75} = 5,60$$

$$I_{\text{исп.2}} = \frac{I_{\text{р-исп2}}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}}} = \frac{4,6}{0,82} = 5,61$$

$$I_{\text{исп.3}} = \frac{I_{\text{р-исп3}}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп.3}}} = \frac{4,6}{1,00} = 4,60$$

Дальнейшее сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения позволяет определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность вариантов исполнения определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{исп.1}}}{I_{\text{исп.2}}}$$

Таблица 33 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,75	0,82	1,00
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,2	4,6	4,6
3	Интегральный показатель эффективности	5,60	5,61	4,60
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,00	1,00	0,82

Таким образом, максимальная эффективность проекта наблюдается в двух случаях: в случае минимальных материальных затрат по проекту и в случае покупки более нового принтера, так как производительность работ по проекту увеличится.

Взам. инв. №	
Подпись и дата	
Инв. № подл.	

Выводы по разделу

В результате выполнения задач, поставленных для написания данного раздела:

1. Была выявлена максимальная конкурентоспособность среди всех способов получения продукта. Было выявлено, что преимуществом данной технологии является высокая чистота продукта. Это позволяет снизить затраты на очистку и себестоимость продукта.

2. В ходе комплексного планирования всех работ по проекту были определены этапы, трудоемкость и продолжительность выполнения работ, составлен график проведения проекта и определен его бюджет в случае минимальных и максимальных затрат.

3. Определены интегральные показатели эффективности проекта с учетом каждого исполнения и проведена сравнительная эффективность. Было установлено, что максимальная эффективность проекта наблюдается в двух случаях: в случае минимальных материальных затрат по проекту и в случае покупки более нового принтера, так как производительность работ по проекту увеличится.

Взам. инв. №	Подпись и дата	Инв. № подл.				ФЮРА.066231.ПЗ	Лист
							86
			Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа 4Г7Б	ФИО Лаптевой Валентине Алексеевне
----------------	--------------------------------------

Школа	ИШНПТ	Отделение (НОЦ)	НОЦ Н.М. Кижнера
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	18.03.01 Химическая технология

Тема ВКР:

Модернизация конструкции абсорбционной колонны с целью интенсификации процесса абсорбции формальдегида

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования: колонна для абсорбции формальдегида Область применения: производство формалина
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. ГОСТ 23000-78. Система «человек- машина». Пульты управления. Общие эргономические требования. ГОСТ 12.2.049-80 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие эргономические требования.
<p>2. Производственная безопасность:</p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</p> <p>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>Вредные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – повышенный уровень шума – пониженная температура воздуха среды <p>Опасные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – воздействие токсичных веществ на организм человека – поражение электрическим током датчиков контроля оборудования
<p>3. Экологическая безопасность:</p>	<p>Атмосфера: выброс CO₂ и не переработанных побочных продуктов реакции каталитического окисления (CO, CH₃OH, HCHO, CH₃OCH₃)</p> <p>Гидросфера: загрязнение подземных и сточных вод химическими веществами синтеза формальдегида</p> <p>Литосфера: загрязнение почв химическими веществами синтеза формальдегида</p>
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p>	<p>Возможные ЧС: взрыв от возникновения большого давления газов в трубопроводе, пожар от воспламенения ЛВЖ, большой выброс токсичных веществ, превышающих ПДК.</p> <p>Наиболее типичное ЧС: выброс токсичных веществ в атмосферу</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Черемискина Мария Сергеевна	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г7Б	Лаптева Валентина Алексеевна		

Введение

Выпускная квалификационная работа направлена на модернизацию уже имеющейся на предприятии города Томска ООО «Сибметакхим» колонны для абсорбции формальдегида водой из синтезированной смеси газов и получения 37 %-го раствора формалина. Исходя из этого, потенциальным пользователем проектируемого объекта является данное предприятие. Модернизация выполнена с помощью применения различных программ автоматизированного проектирования для выполнения более точных расчетов в конструировании аппарата.

На предприятии часто встречающиеся вещества – это технический формалин и метанол – горючие жидкости, пары которых при смешении с кислородом воздуха образуют пожаро-взрывоопасные смеси [16]. Именно поэтому предприятия производства формалина подвержены факторам риска, связанным с пожарами и взрывами высококонцентрированных сред.

Следующий фактор риска – это токсичность веществ, используемых в производстве. Формальдегид является веществом, оказывающим канцерогенное воздействие, а метанол – сильный кумулятивный яд, обладающий направленным действием на нервную и сосудистую системы, зрительные нервы, сетчатку глаз [16]. Также при синтезе формальдегида в побочной реакции образуется угарный газ, который затем окисляется до менее опасного – углекислого, но сбой в работе оборудования или утечка газа из узлов сети предприятия может стать причиной гибели сотрудников.

Таким образом, для минимизации воздействия вредных факторов, присущих такого рода предприятиям, необходимо создать совокупность мероприятий, а также план действий при наиболее возможных чрезвычайных ситуациях.

Изм. № подл.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ФЮРА.066231.ПЗ	Лист
						88
Взам. инв. №	Подпись и дата					

6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

6.1.1 Правовые нормы трудового законодательства

Согласно трудового кодекса РФ, условия труда на производстве формалина относят опасным, так как работники имеют высокий риск получения травм. В соответствии с этим, статьей 92 ТК РФ предусмотрена продолжительность рабочего времени не более 36 часов в неделю [32]. Продолжительность рабочего дня конкретного работника устанавливается трудовым договором и может быть увеличена не более чем до 40 часов в неделю с отдельно доплачиваемой компенсацией.

Оплата труда работников, занятых на работах с вредными или опасными условиями труда, в соответствии со статьей 147 ТК РФ производится в повышенном размере. Минимальный размер повышения оплаты труда составляет 4 % от оклада и устанавливается работодателем с учетом мнения профсоюзной организации [32]. Оплата труда на работах в местностях с особыми климатическими условиями (данный вид условий так же присущ для Томской области) по статье 148 ТК РФ производится в размерах, не ниже установленных трудовым законодательством. Таким образом, минимальная оплата труда работника складывается с учетом воздействия вредных условий труда и сурового климата.

При приеме на должность работника, его персональные данные должны быть защищены, храниться и обрабатываться в соответствии со статьей 86 ТК РФ, не нарушая Конституцию РФ.

6.1.2 Эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны

Для автоматизированного управления производством необходимо обеспечить эргономику рабочего места оператора. Согласно ГОСТ 22269-76 взаимное расположение элементов рабочего места должно обеспечивать возможность осуществления необходимых движений для обслуживания оборудования, учитывая ограничения, связанные со спецодеждой и снаряжением [33]. Наиболее важные и часто используемые органы управления должны располагаться в зоне легкой досягаемости, а последовательность действий оператора осуществляться слева направо и сверху вниз, обеспечивая равномерную нагрузку обеих рук и ног.

Средства отображения следует группировать по функционалу и последовательности использования, а также располагать в оптимальной зоне информационного поля. Согласно ГОСТ 21889-76 кресло оператора должно обеспечивать длительное поддержание физиологически рациональной рабочей позы [34]. Также оно должно способствовать ослаблению вибраций, присутствующих на производстве, быть достаточно прочным и выполнено из огнестойких и нетоксичных материалов.

Взам. инв. №	Подпись и дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ФЮРА.066231.ПЗ	Лист
								89

6.2 Производственная безопасность

На всех этапах производства формалина встречаются различные опасные факторы, кото-
рые по классификации с ГОСТ 12.0.003-2015 [35] представлены в таблице 34.

Таблица 34 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разра- ботка	Изготов- ление	Эксплуа- тация	
1. Воздействие высо- кой температуры ап- паратов		+	+	СП 61.13330.2012 Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов [36]
2. Повышенный уро- вень шума		+	+	СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, обще- ственных зданий и на территории жи- лой застройки. Санитарные нормы [77]. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Об- щие требования безопасности [38].
3. Поражение элек- трическим током	+	+	+	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробез- опасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов [39]. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Элек- тробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты [40].
4. Воздействие ток- сичных веществ			+	ГН 2.2.5.3532-18 Предельно допусти- мые концентрации (ПДК) вредных ве- ществ в воздухе рабочей зоны [41].

Взам. инв. №	Инд. № подл.
Подпись и дата	

					ФЮРА.066231.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		90

6.3 Анализ опасных производственных факторов и мероприятия по снижению их воздействий

Далее будут рассмотрены перечисленные производственные факторы с целью определения их источников возникновения и воздействия на организм. Помимо этого, будут обоснованы мероприятия для снижения воздействия факторов и приведены подходящие средства защиты.

6.3.1 Воздействие высокой температуры аппаратов на человека и мероприятия по его устранению

На предприятии по производству формалина некоторые операции выполняются при больших температурах, например, синтез формальдегида, абсорбция, каталитическое окисление непрореагировавших и побочных газов. Случайное соприкосновение с неизолированными частями аппаратов и трубопроводов может привести к ожогам различной степени. В соответствии с этим на предприятиях проводят ряд мер по минимизации воздействия высокой температуры на работника.

Для аппаратов и трубопроводов, которые имеют повышенные температуры устанавливают теплоизоляцию. Согласно СП 61.13330.2012 температура поверхности тепловой изоляции для изолируемой поверхности, температура которой 150 – 500 °С должна быть порядка 45 °С [36].

Помимо тепловой изоляции также ставят различные ограждения и знаки, особенно в тех местах, которые представляют собой совокупность близко расположенных друг к другу высокотемпературных аппаратов.

Не допускается приближение к аппаратам, имеющим высокую температуру, лиц без спецодежды. Для осмотра или починки такого оборудования работникам дополнительно предоставляют специальные термостойкие перчатки и обувь.

6.3.2 Повышенный уровень шума и меры борьбы с ним

Повышенный уровень шума на производстве оказывает раздражающее воздействие на работника, повышает утомляемость, а также может привести к ошибкам в работе, требующей повышенного внимания. Внезапные шумы могут вызвать различные нервные нарушения организма, а также повреждения слуховых органов [38].

С целью контроля уровня производственного шума для работников предприятий в соответствии с СН 2.2.4/2.1.8.562-96 утверждены: предельно допустимый уровень звукового давления, уровни звука и эквивалентные уровни звука, представленные в таблице 35.

Взам. инв. №	Подпись и дата	Инв. № подл.						Лист
			ФЮРА.066231.ПЗ					
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				

Таблица 35 – Предельно допустимый уровень звукового давления, уровни звука и эквивалентные уровни звука для работника предприятия [37]

Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
93	79	70	68	58	55	52	52	49	60

Наиболее сильный шум на предприятии производства формалина создают различные насосы и газодувки. Существует ряд мероприятий для предотвращения данного воздействия на работников.

В помещениях вблизи работы шумного оборудования производят изоляцию, которую учитывают еще на этапе проектирования помещения. В зависимости от мощности воздействия (звукового давления) рассчитывается толщина изоляционного слоя. При строительстве соблюдается целостность стен и качественная заделка стыков несущих конструкций.

Для помещений, в которых непосредственно располагается «шумная» аппаратура, обеспечивают условия повышенной звукоизоляции. Помимо перечисленных выше средств в дверных и оконных проемах устанавливают резиновые прокладки и запорные устройства, обеспечивающие более плотное прилегание без зазоров.

При непосредственном взаимодействии с оборудованием работника снабжают СИЗ – наушниками и/или берушами.

6.3.3 Поражение электрическим током и меры по снижению риска

Поражение током – довольно распространенный опасный фактор воздействия на автоматизированном предприятии, которое может послужить возникновению травмы или профессионального заболевания.

С целью предотвращения травм были утверждены предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов, протекающих через тело человека при нормальном режиме электроустановки, которые представлены в таблице 36.

Таблица 36 – Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов, протекающих через тело человека при нормальном режиме электроустановки

Род тока	Напряжение U, В	Сила тока I, мА
Переменный, 50 Гц	2,0	0,3
Переменный, 400 Гц	3,0	0,4
Постоянный	0,8	1,0

На случай аварийной ситуации на производстве осуществляют различные меры по защите

Взам. инв. №	
Подпись и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ФЮРА.066231.ПЗ	Лист
						92

оборудования. В случае получения производственной травмы разработан план действия по осуществлению первой помощи.

Для защиты от прямого воздействия электричества применяются различные средства защиты: оболочки аппаратов (приборов), ограждения и барьеры, средства индивидуальной защиты работников, соответствующие требованиям ГОСТ Р 12.1.019-2009 [40]. При проектировании осуществляется безопасное расположение токоведущих частей, наличие световой и звуковой сигнализации и блокировка или отключение системы в случае аварии.

6.3.4 Воздействие токсичных веществ и меры его предотвращения

Обычно на химических предприятиях стараются не допускать утечек токсичных веществ в окружающую среду, так как это может привести к огромным последствиям ухудшения здоровья человека и гибели окружающей среды. Именно поэтому еще на этапе конструирования оборудования его герметизации уделяют огромное внимание.

Наиболее опасными с точки зрения утечек являются соединительные и подверженные коррозии части оборудования. Для предотвращения появления коррозии аппараты изготавливают из легированных сталей, или же, если это более экономически выгодно, покрывают уже имеющееся оборудование защитным антикоррозионным слоем. Для предотвращения утечек из соединительных частей оборудования конструируют более герметичные фланцы (типа выступ-впадина или шип-паз), добавляя при этом прокладочный материал.

Чтобы отследить утечку и предотвратить ее на начальном этапе, устанавливают датчики давления, температуры и концентрации, а также различные системы предаварийной защиты.

Изм. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №						ФЮРА.066231.ПЗ	Лист
			Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		93

6.4 Экологическая безопасность

При синтезе формальдегида из метанола на данном производстве в ходе побочных реакций образуется диметиловый эфир (CH_3OCH_3) и угарный газ (CO) – опасные и ядовитые вещества. В результате каталитического окисления вместе с несорбированными веществами они образуют углекислый газ (CO_2) и пары воды, а затем уходят в атмосферу, тем самым внося свой вклад в увеличение парникового эффекта. Это не очень полезно для экологии, но более безопасно по сравнению с воздействием на окружающую среду не окисленных веществ.

Помимо загрязнения атмосферы, на предприятиях такого рода возможно загрязнение почв и водоемов, находящихся вблизи мест хранения и отгрузки сырья или продукции. Иногда это может оказать более сильное воздействие на окружающую среду в отличие от газообразных выбросов, поэтому для предотвращения протечек оборудования используют гидравлические и пневматические испытания перед непосредственной эксплуатацией.

Согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 [42] производство формалина на оксидном катализаторе, объемом до 200 тыс. тонн/год относится к III классу по санитарной классификации промышленных объектов и требует наличие санитарно-защитной зоны шириной 300 м.

На производстве встречаются токсичные вещества, характеристики воздействия и ПДК которых представлены в таблице 37.

Таблица 37 – Токсичные вещества производства формалина, характеристики воздействия и ПДК

Название токсичного вещества	Класс опасности	Характеристика воздействия на организм	ПДК, мг/м ³	
			Максимально разовая	Среднесуточная
Метанол технический	3	Воздействует на нервную и сосудистую системы, печень, почки, зрительные нервы и сетчатку глаз. Представляет собой опасность, вплоть до смертельного исхода, при поступлении через ЖКТ. Обладает слабовыраженным местным действием на кожу, может проникать через неповрежденные кожные покровы [16, 43].	15	5

Взам. инв. №	
Подпись и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

ФЮРА.066231.ПЗ

Лист

94

Продолжение таблицы 37

Формальдегид	2	Обладает резким запахом, при вдыхании вызывает слезотечение, першение в горле, нарушение ритма дыхания. При попадании на кожу вызывает зуд, легкую гиперемию. Впоследствии после воздействия наблюдаются аллергические дерматиты, заболевание ногтей [16].	0,05	0,01
Формалин 37 % масс.	2		–	0,5

В соответствии с ГОСТ 1625-2016 экологическая безопасность при производстве, транспортировании, хранении и применении технического формалина должна быть обеспечена герметизацией технологического оборудования и транспортной упаковки, устройством отсосов в местах возможных выделений вредных выбросов, обработкой загрязненных сточных вод на очистных сооружениях, улавливанием загрязненных газовых выбросов в абсорбционных установках [16].

Изм. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №						Лист
			ФЮРА.066231.ПЗ					
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				

6.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

При неаккуратной эксплуатации оборудования на производстве формалина могут возникнуть такие виды ЧС, как: пожар, взрыв или большой выброс токсичных веществ в атмосферу. Как правило, выброс токсичных веществ возможен при разгерметизации оборудования и сбоев в системе автоматизации.

Для предотвращения выброса веществ в атмосферу необходимо совершать периодические проверки герметичности оборудования и поверки датчиков контроля. Весь рабочий персонал должен иметь допуск на выполнение работ и образование, соответствующее своей должности. Рабочие места должны быть укомплектованы технологическими регламентами и планами ликвидации аварий.

Изм. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №						Лист
			ФЮРА.066231.ПЗ					
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				

Выводы по разделу

В данном разделе был проведен анализ опасных и вредных воздействий, присутствующих на предприятии по производству формалина ООО «Сибметакхим» и разработаны мероприятия по устранению этих воздействий. Также был проведен анализ влияния производства на окружающую среду и возможное влияние широко встречающихся веществ на организм человека. В связи с чем были составлены рекомендации для устранения воздействий на окружающую среду, а также мероприятия, проводимые при наиболее возможной ЧС.

Ознакомившись с технической документацией, можно удостовериться, что большинство рекомендуемых мероприятий уже совершаются на предприятии ООО «Сибметакхим» и оно полностью отвечает всем нормам производственной безопасности.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ФЮРА.066231.ПЗ	Лист
						97
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		
Инд. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №				

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения выпускной квалификационной работы был рассчитан и сконструирован насадочный абсорбер, имеющий большую производительность и меньшее ресурсопотребление с уже имеющимся на предприятии «Сибметахим». Данный аппарат может быть изготовлен для модернизации производства, или же для другого предприятия, имеющего подобную производительность.

С целью определения эффективности разработки были определены интегральные показатели эффективности с учетом каждого исполнения и проведена сравнительная эффективность. Было установлено, что максимальная эффективность проекта наблюдается в случае минимальных материальных затрат по проекту.

В результате определения опасных и вредных воздействий, присущих предприятию по производству формалина были разработаны мероприятия по их устранению. Также был проведен анализ влияния производства на окружающую среду и возможное влияние широко встречающихся веществ на организм человека. Были составлены рекомендации для устранения воздействий на окружающую среду и мероприятия, проводимые при наиболее возможной ЧС.

Изм. №	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ФЮРА.066231.ПЗ	Лист
						98
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		
Инд. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №				

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Временный технологический регламент производства карбамидоформальдегидного концентрата КФК-85 и формалина марки ФМ, 2015 – 349с.
- 2 Розанов В. Н. Формальдегид // Химическая энциклопедия: в 5 т. / Н. С. Зефирова (гл. ред.). – М.: Большая Российская энциклопедия, 1998. – Т. 5: Триптофан – Ятрохимия. – С. 115 – 116. – 783 с. – ISBN 5-85270-310-9.
- 3 The Chemical Journal Март 2016. – URL: <https://tcj.ru/journal/mart-2016/>, (дата обращения: 06.03.2021). Текст: электронный.
- 4 Огородников С.К. Формальдегид. – Л.: Химия 1984. – 280 с.
- 5 Анализ закономерностей процесса полимеризации формальдегида для решения экологических проблем в производстве формалина / К.А. Павлова [и др.] // Вестник технологического университета – 2015. Т.18, №24
- 6 Анализ способов интенсификации абсорбции формальдегида в производстве формалина / Т.А. Сайфутдинов [и др.] // Вестник технологического университета – 2015. Т.18, №24
- 7 Franz A. W., Kronemayer H., Pfeiffer D., Pilz R. D., Reuss G., Disteldorf W., Gamer A. O., Hilt A. Formaldehyde // Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. — Wiley, 2016. – DOI: 10.1002/14356007.a11_619.pub2.
- 8 Анализ способа получения формальдегида на железомолибденовых катализаторах и пути его интенсификации / Р.А. Мамадиев [и др.] // Вестник технологического университета – 2015. Т.18, №24
- 9 Патент № 4454354A United States, Formaldehyde process: опуб.12.06.1984
- 10 Патент № 94042817/04 Российская Федерация, МПК C08G 12/12 (2006.01) C07C 269/02 (2006.01). Способ получения концентрированных карбамидоформальдегидных продуктов: № 2102403: заявл. 05.12.1994: опубл. 20.01.1998 / Потапов В.Г., Дудичев А.Н.
- 11 Патент № 2005129172/04 Российская Федерация, МПК C07C 47/04 (2006.01) C07C 45/29 (2006.01) C07C 47/055 (2006.01) C08G 12/12 (2006.01). Способ получения формалина или карбамидоформальдегидного раствора: № 2287517: заявл. 21.09.2005: опубл. 20.11.2006 / Калужников В.В., Кочергин А.Н., Бондарь П.Ф., Кочергин Н.А.
- 12 Дытнерский Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию/ Г. С. Борисов, В. П. Брыков, Ю. И. Дытнерский и др. Под ред. Ю. И. Дытнерского, 2-е изд., - М.: Химия, 1991. – 496 с.
- 13 Павлов К.Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии / К.Ф. Павлов, П.Г. Романков, А.А. Носков. – Л: Химия, 1987. – 572 с. – ISBN 978-5-91872-031-8.

Взам. инв. №		Подпись и дата		Инв. № подл.						ФЮРА.066231.ПЗ	Лист
	Изм.				Лист	№ докум.	Подпись	Дата	99		

14 Лацинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры: Справочник – 3-е изд., – М.: ООО ИД «Альянс», 2008. – 752 с. – ISBN. 978-5-91872-013-4.

15 Беляев В.М. Расчет и конструирование основного оборудования отрасли: учебное пособие / В.М. Беляев, В.М. Миронов. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2020. – 292 с.

16 ГОСТ 1625-2016. Формалин технический. Технические условия: дата введения 01.07.2017. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200143258> (дата обращения: 06.05.2021). – Текст: электронный.

17 Леканова Т.Л. Расчет абсорбционных установок: методическое пособие по курсовому проектированию «Процессы и аппараты химических технологий», «Гидравлика и теплотехника» / Т.Л. Леканова, Е.Г. Кочева. – Сыктывкар, 2010 - 82 с.

18 Кафаров В.В. Основы массопередачи. Системы газ-жидкость, пар-жидкость, жидкость-жидкость: учебное пособие для вузов / В.В. Кафаров. – Москва: Высш. шк., 1962 – 656 с. – ISBN 5-7245-0236-4

19 Кикоин И.К. Таблицы физических величин: справочник / под ред. И.К. Кикоина. – М.: Атомиздат, 1976. – 1006 с.

20 Справочник химика / под ред. Б.П. Никольского, О.Н. Григорова, М.Е. Позина и др. – Т. V. – 2-е изд. – М.: Химия, – 1968. – 996 с. – ISBN. 978-5-458-50908-4.

21 Тимонин А.С. Основы конструирования и расчеты химико-технологического и природоохранного оборудования: справочник / А.С. Тимонин. – Калуга: Изд. Н. Бочкаревой, 2002. – Т.1. – 852 с.; Т.2. – 1028 с.; Т.3. – 968 с. – ISBN 5-89552-048-0

22 ГОСТ 34233.1-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования: дата введения 01.08.2018. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/556344844> (дата обращения: 15.05.2021). – Текст: электронный.

23 ГОСТ 34233.2-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек: дата введения 01.08.2018. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/556344845> (дата обращения: 15.05.2021). – Текст: электронный.

24 АТК 24.218.06-90 Штуцера для сосудов и аппаратов стальных сварных. Типы, основные параметры, размеры и общие технические требования: дата введения 01.12.1995. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200067272> (дата обращения: 16.05.2021). – Текст: электронный.

25 ОСТ 26-2001-83 Люки со скобой стальных сварных сосудов и аппаратов. Конструкция: дата введения 01.01.1994. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200035758> (дата обращения: 16.05.2021). – Текст: электронный.

Взам. инв. №	
Подпись и дата	
Инв. № подл.	

					ФЮРА.066231.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		100

26 ГОСТ 34233.3-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Укрепление отверстий в обечайках и днищах при внутреннем и наружном давлениях. Расчет на прочность обечаек и днищ при внешних статических нагрузках на штуцер: дата введения 01.08.2018. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/556344855> (дата обращения: 16.05.2021). – Текст: электронный.

27 ГОСТ 28759.2-90 Фланцы сосудов и аппаратов стальные плоские приварные. Конструкция и размеры: дата введения 01.01.1992. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200021746> (дата обращения: 16.05.2021). – Текст: электронный.

28 ГОСТ 28759.6-90 Прокладки из неметаллических материалов. Конструкция и размеры. Технические требования: дата введения 01.01.1992. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200021750> (дата обращения: 16.05.2021). – Текст: электронный.

29 ГОСТ 34233.4-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений: дата введения 01.08.2018. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/556344847> (дата обращения: 16.05.2021). – Текст: электронный.

30 ОСТ 26-705-73 Тарелки ТСН-2 и ТСН-3 колонных аппаратов. Конструкция и размеры: дата введения 01.01.1980. – URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293849/4293849762.htm> (дата обращения: 16.05.2021). – Текст: электронный.

31 ГОСТ Р 51274-99 Сосуды и аппараты. Аппараты колонного типа. Нормы и методы расчета на прочность: дата введения 01.01.2000. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200028130> (дата обращения: 17.05.2021). – Текст: электронный.

32 Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901807664> (дата обращения: 10.04.2021). – Текст: электронный.

33 ГОСТ 22269-76 Система «Человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования: дата введения 01.01.1978. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200012834> (дата обращения: 10.04.2021). – Текст: электронный.

34 ГОСТ 21889-76 Система «Человек-машина». Кресло человека-оператора. Общие эргономические требования (с Изменением N1): дата введения 01.07.1977. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200012832> (дата обращения: 10.04.2021). – Текст: электронный.

35 ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация: дата введения 01.03.2017. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200136071> (дата обращения: 10.04.2021). – Текст: электронный.

36 СП 61.13330.2012 Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов: дата введения 01.01.2013. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200091050> (дата обращения: 11.04.2021). – Текст: электронный.

Взам. инв. №	
Подпись и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.066231.ПЗ

37 СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные нормы: дата введения 01.12.1996. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901703278> (дата обращения: 11.04.2021). – Текст: электронный.

38 ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности: дата введения 01.11.2015. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200118606> (дата обращения: 12.04.2021). – Текст: электронный.

39 ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов: дата введения 01.07.1983. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/5200313> (дата обращения: 12.04.2021). – Текст: электронный.

40 ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты: дата введения 01.01.2011. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200080203> (дата обращения: 12.04.2021). – Текст: электронный.

41 ГН 2.2.5.3532-18 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны от 13.02.2018 – URL: <https://docs.cntd.ru/document/557235236> (дата обращения: 12.04.2021). – Текст: электронный.

42 СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов от 25.09.2007. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/902065388> (дата обращения: 12.04.2021). – Текст: электронный.

43 ГОСТ 2222-95 Метанол технический. Технические условия: дата введения 01.01.2001. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200020559> (дата обращения: 12.04.2021). – Текст: электронный.

Взам. инв. №	
Подпись и дата	
Инв. № подл.	

					<i>ФЮРА.066231.ПЗ</i>	Лист
						102
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		