

**РЕСПУБЛИКА УЗБЕКИСТАН
МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕСПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ**

Наманганский инженерно-педагогический институт

Технологический факультет

Кафедра «Технологические машины и оборудования»

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

**Тема дипломного проекта: Проект
ректификационной колонны с
гидрозатвором**

Проектировал (а): _____ студент(ка) группы 35-ТМЖ-11(р)
Зоиджонов Сатторжон

Руководитель: _____ доц. Б.С. Отаханов

Консультанты: _____

РЕФЕРАТ

Дипломный проект состоит из 154 страниц, 36 таблиц, 2 рисунка, 19 источников и 8 листов графического материала.

Тема дипломного проекта: "Проект производства формалина".

Цель проекта: довести мощность одной технической нитки до 126666 тонн/год и выполнить необходимые расчеты основного оборудования.

В дипломном проекте произведены: материальный, тепловой, технологический, механический, гидравлический расчеты при изменении производительности на основе существующих мощностей.

Рассмотрены вопросы выбора технологической схемы, безопасности и экологичности проекта, охраны окружающей среды, организации и экономики производства.

Итог дипломной работы: имеющееся оборудование справиться с новой нагрузкой и не требует замены. С увеличением мощности производства, себестоимость единицы продукции формалина снизилась, что привело к увеличению прибыльности производства.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение

1. Технико-экономический уровень и обоснование основных технических решений
2. Характеристика производимой продукции
 - 2.1 Характеристика исходного сырья, материалов и полупродуктов
3. Физико-химические основы технологического процесса
4. Выбор и обоснование технологического процесса
5. Описание технологического процесса и схемы
 - 5.1 Получение метанола-воздушной смеси
 - 5.2 Синтез формальдегида
 - 5.3 Получение формалина-"сырца"
 - 5.4 Ректификация формалина-"сырца"
6. Материальный баланс
7. Ежегодные нормы расхода основных видов сырья, материалов и энергоресурсов
8. Ежегодные нормы образования отходов производства
9. Нормы технологического режима
10. Компоновка оборудования
 - 10.1 Характеристика производственных помещений
11. Безопасность и экологичность проекта производства формалина
 - 11.1 Производственная санитария
 - 11.2 Техника безопасности
12. Охрана окружающей среды
 - 12.1 Охрана атмосферного воздуха
 - 12.2 Очистка сточных вод
 - 12.3 Твердые отходы
13. Защита человека в чрезвычайных ситуациях
 - 13.1 Производственные аварии

- 13.2 Стихийные бедствия
- 14. Организация и экономика производства
- 15. Материальный расчет
 - 15.1 Материальный баланс стадии ректификации
 - 15.2 Материальный баланс стадии абсорбции
 - 15.3 Материальный баланс стадии контактирования и спиртоиспарения
- 16. Тепловой расчет
- 17. Технологический расчет основного аппарата
 - 17.1 Технологический расчет реактора
 - 17.2 Технологический расчет подконтактного холодильника
- 18. Гидравлический расчет
- 19. Механический расчет
 - 19.1 Обоснование конструкции основного аппарата
 - 19.2 Выбор материала основных элементов аппарата
 - 19.3 Расчет диаметра патрубков
 - 19.4 Расчет толщины стенок обечайки и днища
 - 19.5 Расчет толщины днища подконтактного холодильника
 - 19.6 Расчет укрепления отверстий
 - 19.7 Расчет крышки аппарата
 - 19.8 Расчет трубной решетки подконтактного холодильника
 - 19.9 Расчет тепловой изоляции
 - 19.10 Расчет компенсатора подконтактного холодильника
 - 19.11 Расчет опорных лап
- 20. Подбор вспомогательного оборудования
- Заключение
- Список используемой литературы
- Спецификация

ВВЕДЕНИЕ

Среди многих сотен тысяч органических соединений, известных в настоящее время, формальдегиду, принадлежит особая роль.

Формальдегид – весьма активное химическое соединение, легко вступающее в реакцию с другими веществами с образованием большого класса новых соединений, многие из которых обладают важными свойствами. Благодаря реакционной способности формальдегид за сравнительно короткий промежуток времени превратился в один из незаменимых полупродуктов многотоннажного органического синтеза.

Формальдегид используется в промышленности в качестве сырья для производства синтетических смол, пластических масс, новых органических красителей, поверхностно-активных веществ, лаков, лекарственных препаратов и взрывчатых веществ. В сельском хозяйстве для протравливания семян, в кожевенной промышленности для дубления кожи, в медицине как антисептическое средство и в животноводстве. Круг применения формальдегида растет из года в год. В связи с этим растет и его производство.

В настоящее время основным потребителем формальдегида является промышленность синтетических смол: производство фенолформальдегидных, мочевиноформальдегидных смол; смол, модифицированных путем обработки формальдегидом; малорастворимых лаков, покрытий, клеев, слоистых пластиков.

Наибольшее распространение получил продукт, содержащий 35 – 37 % формальдегида и 6 – 11 % метанола, называемый формалином. Рецептатура формалина сформировалась исторически, под влиянием следующих факторов. Во-первых, метанол и вода сопутствуют формальдегиду на стадии его получения наиболее употребительным методом (метанол – сырье, вода – побочный продукт и абсорбент). Во-вторых, раствор указанного состава при положительных температурах вполне стабилен к выпадению полимера и

может храниться или транспортироваться в течении неопределенно долгого времени. В – третьих, в виде водно-метанольного раствора формальдегид может применяться в большинстве производственных синтезов, а также при непосредственном использовании. и, наконец, в-четвертых, именно формалин получается при окислительной конверсии метанола в присутствии металлических катализаторов на стадии абсорбции контактного газа; никаких дополнительных операций по приданию продукту товарных свойств (концентрирование, очистка и т. д.), как правило, не требуется.

В городе Томске на базе Томского нефтехимического комбината существует действующее производство формалина («Завод формалина и карбосмол») мощностью 120 тысяч тонн в год.

Основная цель проекта заключается в определении возможности расширения этого производства на примере установки синтеза формальдегида. Важным моментом является установление возможности обеспечения новой, повышенной производительности уже действующим оборудованием. Также необходимо рассмотреть вопросы, касающиеся технологического контроля, охраны труда и экологии в изменившихся условиях эксплуатации.

1. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ УРОВЕНЬ И ОБОСНОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

1.1.Обоснование выбора метода производства

Формальдегид получают из метанола, диметилового эфира, природного и попутных газов (газа коксохимического производства и нефтепереработки).

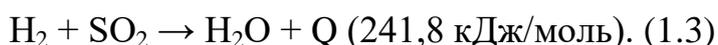
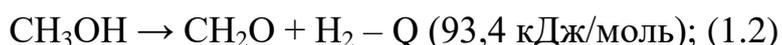
Промышленно освоенные способы получения формальдегида:

1) Каталитическое окисление метанола на металлических катализаторах.

2) Каталитическое окисление метанола на оксидных катализаторах.

3) Окисление природного газа и низших парафинов.

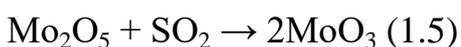
В первом случае катализатором чаще всего является серебро (можно использовать золото или платину), с целью экономии метанола серебро равномерно наносят на инертный носитель, например на пемзу. Сущность метода состоит в парофазном окислении гидрировании метанола кислородом воздуха в адиабатическом реакторе с последующим поглощением продуктов реакции водой. В процессе подается метанола-воздушная смесь состава выше верхнего предела взрываемости (36,4% - объемные доли) и с недостатками кислорода по химическому уравнению окисления метанола в формальдегид, т.к. катализатор – окислительно-дегидрирующий:



Вместе с тем протекают побочные реакции, что снижает выход формальдегида и повышает расход метанола. Выход формальдегида достигает 80 – 85%, при степени конверсии метанола 85 – 90%. Так как

окислительное дегидрирование проводят при недостатке кислорода, процесс глубокого окисления, не получает значительного развития. В то же время само дегидрирование, инициируемое кислородом, протекает быстрее, поэтому процент побочных реакций не велик. Этим способом можно получить формалин двух марок: ФМ – 37% с содержанием метанола до 10% и ФБМ – 50% с содержанием метанола менее 1%. Транспортировке и хранению подлежит формалин марки ФМ, т.к. метанол стабилизирует его.

Во втором способе катализатором является смесь оксидов железа и молибдена. Окисление метанола на оксидных катализаторах протекает по окислительно – восстановительному механизму:



Процесс осуществляется в избытке воздуха при $(350 - 430)^\circ\text{C}$ и обычном давлении, иначе под действием метанола и формальдегида катализатор быстро восстанавливается. Реакция протекает при соотношении метанола и воздуха ниже предела взрываемости (7 – 8% - объемные доли).

Процесс отличается высокой степенью конверсии метанола – 99%, а так же сильной экзотермичностью, что заставляет использовать трубчатые реакторы с охлаждением. Этот способ позволяет получать формалин – 37% с содержанием метанола не выше 0,5%. Применение технологий с оксидным катализатором заслуживает некоторого предпочтения, когда требуемая производительность не выше 8 – 10 тыс. т./год. Третий способ. С точки зрения доступности и дешевизны сырья, а также простоты технологии (получение формальдегида прямым окислением природного газа, состоящим в основном из метанола, кислородом воздуха) заслуживает предпочтения перед сравнительно сложными и много ступенчатыми синтезом через метанол (по схеме):

природный газ → синтез газ → метанол → формалин

Однако на практике возникает ряд трудностей, которые связаны с недостаточной устойчивостью формальдегида в условиях реакции. Окисление метанола происходит при 600°C, в то же время термическое разложение формальдегида наблюдается уже при 400°C. Выход формальдегида не превышает 3% при селективности 10 – 25%. Поэтому рассмотренный метод занимает весьма скромное место в балансе производства формалина и только в перспективе используется новые технологические приемы окисления (с учетом возрастания дефицитности метанола и сравнительной доступности природного газа).

Поэтому в выборе метода производства формалина заслуживают внимания первые два способа. Рассмотрим их в сравнении и выберем для себя нужный.

Сравнительная характеристика методов производства формалина в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Сравнительная характеристика методов производства формалина

Метод	Преимущества	Недостатки
1. Окисление на серебряном катализаторе	а) практически нет ограничений по единичной мощности установки б) простота конструкции реактора в) низкая метало – и энергоёмкость г) высокая производительность	а) высокий расходный коэффициент по сырью б) дорогостоящий катализатор в) наличие в формалине метанола до 5 – 10%
2. Окисление на оксидном катализаторе	а) низкий расходный коэффициент по сырью б) наличие метанола в формалине не более 0,6 – 1,0% и наличие НСООН не выше 0,02%	а) повышенный расход энергии и воздуха б) ограничение единичной мощности установки в) сложность в эксплуатации и ремонте г) повышенная металлоёмкость

Сравнивая экономические и производственные затраты, а также объем продукции (нам необходимо не менее 300 – 380 тыс.т./год) для нужд формалинопотребляющего производства – карбамидных смол (объем – 200 тыс.т./год) выбираем метод производства по окислительному дегидрированию метанола на серебряном катализаторе.

1.2 Выбор катализатора и его характеристика

В России на всех промышленных установках по получению формальдегида из метанола применяются трегерные серебряные контакты типа серебро на пемзе. Характеристика этого катализатора:

Внешний вид – серые блестящие зерна неправильной формы.

Размер зерен, мм – 2-5.

Массовый фракционный состав: %

Просев через сито 2 2 мм, не более 2,0;

Остаток на сите 5 5 мм, не более 5,0;

Удельная поверхность, м²/ч 0,5 – 1,0.

На большинстве зарубежных формалиновых производствах используют металлическое серебро без носителя (сетки, кристаллы, губчатое серебро и т.п.). По селективности образования формальдегида контактный и трегерный катализаторы являются практически равноценными. Основные различия трегерных и контактных катализаторов относятся к их эксплуатационным характеристикам. К преимуществам трегерных контактов относится следующее:

- 1) устойчивость по отношению к перегревам;
- 2) пониженная требовательность к чистоте сырья;
- 3) меньшая единовременная загрузка сырья.

Основным недостатком этого катализатора является небольшая длительность межрегенерационного цикла работы (3 – 4 месяца).

Использование контактного (ненанесенного) серебра имеет следующие

достоинства:

- 1) исключение комплекса вопросов, связанных с получением и подготовкой носителя;
- 2) «безреагентная» система приготовления катализатора;
- 3) практическое отсутствие потерь серебра за счет истирания и измельчения контакта.

При выборе той или иной формы серебряного катализатора решающее значение имеют такие факторы, как накопленный опыт и традиции.

Технология приготовления трегерного серебра включает в себя основные стадии:

- 1) пропитка или осаждение на поверхности носителя соли, содержащей серебро;
- 2) восстановление катиона серебра до свободного металлического состояния.

На практике содержание серебра в катализаторе СНП составляет около 40%. Катализаторы с меньшим содержанием серебра быстрее теряют активность и требуют «перенанесения».

Фирма Sumitomo взяла патент на использование трехслойного контактного катализатора. Два верхних слоя представляют собой кристаллы размером 0,8 – 1,0 мм, нижний слой – серебро в виде тонких нитей.

Фирма BASE предложила серебряный катализатор разделить на 4 слоя общей высотой 20 – 30 мм, а серебряное кольцо по периметру реактора выполняет функции 5-го слоя. Характерной особенностью является применение бидисперсных гранул серебра. Так, в нижней части слоя рекомендуется размещать гранулы с размером менее 0,3 мм, количество которых составляет 1/8 от общего количества серебра. Другая часть катализатора в виде гранул размером до 1 – 3 мм насыпается поверх мелких частиц. Мольный выход формальдегида равен 88%.

Применение двухслойного катализатора позволяет проводить процесс с конверсией метанола до 97,4% при мольной селективности 89 – 90%.

Сравнивая зарубежный опыт производства формалина на катализаторах в очень тонком слое, в виде металлических сит (серебряные сетки) предлагается перейти на аналогичный вид катализатора.

Характеристика катализатора из серебра (сита):

проволка ТУ 48 – 1 – 112 – 85;

толщина проволоки, мм – 0,22;

число ячеек на 1 см² – 225;

стоимость катализатора – 279384,17 руб.

Переход на серебряный сетки позволит сократить численность рабочих в катализаторном отделении (за счет упрощения приготовления катализатора), а следовательно повысить производительность труда. За счет более длительного срока службы (1 – 2 года) катализатора увеличивается эффективный фонд рабочего времени, произойдет наращивание мощности.

1.3 Обоснование места размещения предприятия

На территории Томской области сосредоточена богатые природные ресурсы: нефть, газ, лес, редкие металлы, торф и др.

Строительство производства формалина было обусловлено:

- Потребностью промышленности в формалине по стране в шести районах Сибири.

- Наличие сырья – производство метанола мощностью 750 тыс.т./год.

- Наличие формалинопотребляющего производства карбамидных смол мощностью 200 тыс.т./год.

Обеспечение потребности действующего производства в паре, горячей воде на отопление, вентиляции и горячего водоснабжения, предусмотрено установкой двух водогрейных котлов типа КВГМ - 100 производительностью 100 Гкал/ч каждый.

Обеспечение производства в электроэнергии от ГПП – 1 и ГПП – 2, установленных на территории ТНХК.

Водоснабжение производственной водой осуществляется насосной станцией 1-го подъема (НС – 1), установленный на берегу реки Томь и насосной станцией 2-го подъема (НС – 2), расположенный на территории ВОС ТНХК. Водоснабжение хозяйственной питьевой водой обеспечивается НСВ – 4, расположенной на территории ВОС ТНХК.

1.4. Основные технологические решения

Получение формальдегида предусмотрено методом парофазного окисления – дегидрирования метанола кислородом воздуха на пемзосеребрянном катализаторе, в мягких температурных условиях (550 – 600)°С, либо жестком режиме (660 – 700)°С с поглощением формальдегида водой и последующим выделением непрореагировавшего метанола вакуум – ректификацией. Выделенный метанол возвращается в процесс. Процесс ведется при давлении 0,76 атм. В жестком режиме предусмотрено разбавление метанола водой в соотношении $\text{CH}_3\text{OH}:\text{H}_2\text{O}$ кА 70:30.

За счет соотношения реакций окисления и дегидрирования (55%:45%) процесс проводится в реакторе адиобатического типа, что значительно упрощает его конструкцию и эксплуатацию.

Анализ работы действующих производств формалина на пемзосеребрянном катализаторе показывает, что основным недостатком его является сравнительно небольшой срок службы (3 - 4) месяца. Приходится отстаивать технологическую нитку для выгрузки отработанного катализатора и загрузки свежего. Технологическая остановка на трое суток.

Поэтому предлагается перейти на кристаллическое серебро – пакет сеток из серебряной проволоки, ТУ 48 – 1 – 112 – 85. срок работы такого катализатора (1 - 2) года. Сокращается время технологических остановок: место 3 - 4 в год одна, либо одна в два года. А для процесса, оформленного в виде трех параллельных ниток, это значительное увеличение эффективного времени работы оборудования, а значит наращивание мощности.

1.5. ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОИЗВОДИМОЙ ПРОДУКЦИИ

Выпускаемый готовый продукт - формалин технический.

Предусмотрен выпуск товарного формалина, с массовой долей формальдегида 37 %, соответствующего ГОСТ 1625-89, а также концентрированного формалина, с массовой долей формальдегида до 50 %, используемого для внутреннего потребления в производстве карбосмол.

Формалин является водным раствором формальдегида и метанола в воде.

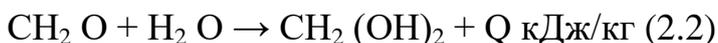
Эмпирическая формула формальдегида: CH_2O .

Структурная формула формальдегида: O

Молярная масса 30 кг/моль.

При охлаждении газообразный формальдегид переходит в жидкость, которая кипит при -19°C , а при -118°C замерзает, превращаясь в твердое кристаллическое вещество.

Как в жидком, так и в газообразном состоянии формальдегид неустойчив и легко полимеризуется, особенно в присутствии влаги. Поэтому формальдегид транспортируется и хранится либо в растворах, либо в виде полимера. Формальдегид хорошо растворяется в воде и спиртах. В водных растворах формальдегид не сохраняется в мономерной форме, а вступает в химическое взаимодействие с водой с образованием гидратов (метиленгликолей):



При обычных температурах водные растворы формальдегида мутнеют, вследствие выпадения в осадок продуктов полимеризации - полиоксиметиленгликолей.

Для предохранения концентрированных растворов формальдегида от полимеризации к ним добавляют стабилизаторы. Основным промышленным

стабилизатором служит метанол.

По физико-химическим показателям технический формалин должен соответствовать требованиям и нормам, указанным в таблице 2.1.

Таблица 2.1 - Нормы требования технического формалина по физико-химическим показателям

Наименование показателей	Норма для марки	
	ФМ ГОСТ 1625-89	
	Высший сорт ОКП 241731 0120	Первый сорт ОКП 241731 0130
1. Внешний вид	Бесцветная прозрачная жидкость. При хранении допускается образование мути или белого осадка, растворимого при температуре не выше 40°C.	
2. Массовая доля формальдегида, %	37,2 + 0,3	37,0 + 0,5
3. Массовая доля метанола, %	4 – 8	4 - 8
4. Массовая доля кислот в пересчете на муравьинную кислоту, %, не более	0,02	0,04
5. Массовая доля железа, %, не более	0,0001	0,0005
6. Массовая доля остатка после прокаливания, %, не более	0,008	0,008

Физические свойства технического формалина зависят от содержания в нем формальдегида и метанола и меняются в пределах:

Плотность, кг/м³ 1077 – 1116

Температура кипения, °С 98,9

Удельная теплоёмкость, Дж/(кг К) 3352

Вязкость, сП 2,45 - 2,58

1.6 Характеристика исходного сырья, материалов и полупродуктов

Характеристика исходного сырья, материалов и полупродуктов в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Характеристика исходного сырья, материалов и полупродуктов

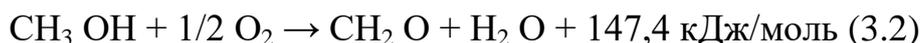
Наименование сырья, материалов и полупродуктов	Государственный или отраслевой стандарт, СТП, ТУ, регламент	Показатели по стандарту, обязательные для проверки	Регламентируемые показатели с допустимыми отклонениями
1. Метанол - яд синтетический	ГОСТ 2222-95	1.1. Плотность,	0,791-0,792
2. Вода деминерализованная	Технологический регламент №4 производства тепла, пара и воды.	2.1. Жесткость, ммоль/дм ³ 2.2. Содержание железа, мг/дм ³ 2.3. рН	не более 0,005 не более 0,05 6,5 – 7,5
3. Кислота азотная концентрированная	ГОСТ 701-89	3.1. Массовая доля азотной кислоты, %	98,2
4. Едкий натр	ГОСТ 2263-79	4.1. Массовая доля едкого натра (марка «РР»), %	не менее 42
5. Обратная вода.	Технологический регламент установки обратного водоснабжения.	5.1. Содержание взвешенных частиц, мг/дм ³ 5.2. Общая жесткость, ммоль/дм ³	не более 20 не более 5
6. Пар	Технологический регламент производства тепла, пара и воды.	6.1. Давление, кгс/см ² 6.2. Температура, °С	18 - 25 + 350
5. Природный газ.		1. Состав, объемная доля, %: - метан - этан - пропан - бутан - азот - двуокись углерода 2. Плотность кг/м ³	86 - 97 1,5 - 4 1 - 6 0 - 4 1 - 2 0 - 1 0,741

II. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

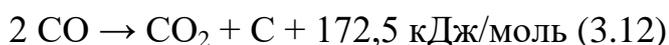
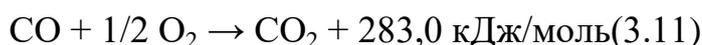
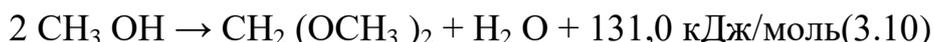
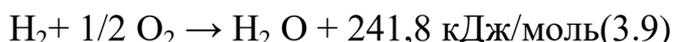
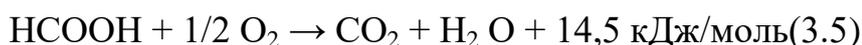
2.1. Химизм процесса

Образование формальдегида происходит при прохождении метанола - воздушной смеси через слой катализатора "серебро на носителе" при температуре в зоне контактирования: (550 - 600)°С при работе в "мягком" режиме, (660 - 700)°С при работе в "жестком" режиме.

Образование формальдегида осуществляется в результате протекания параллельных реакций простого и окислительного дегидрирования метанола:



Наряду с этими реакциями в системе протекает целый комплекс побочных превращений.



Реакции (3.3) и (3.4) являются равновесными. Доля метанола израсходованного по реакции (3.4) составляет около 60 %, а остальное, по

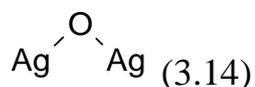
реакции (3.3).

Превращение метанола в формальдегид происходит в результате контакта молекул спирта с кислородом, хемосорбированным на атомах серебра, т.е. активными центрами катализатора являются поверхностные окислы серебра. Процесс получения формальдегида в целом сопровождается выделением тепла, за счет которого поддерживается необходимая температура в зоне контактирования и равновесие реакции дегидрирования смещается вправо.

Побочные реакции снижают выход формальдегида и определяют состав выхлопных газов (абгазов).

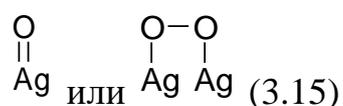
2.2 Механизм процесса

Ключевые превращения осуществляются на поверхности катализатора. Метанол адсорбируется на поверхности окисленного серебра. На поверхности свободного неокисленного серебра метанол адсорбируется очень слабо, причем с ростом температуры, количество поглощенного продукта уменьшается. Превращение поглощенного продукта уменьшается молекул спирта с кислородом, хемосорбированным на атомах серебра, т.е. активными центрами катализатора являются поверхностные окислы серебра. В процессе хемосорбции кислорода на атомах серебра на адсорбированный кислород, происходит его диссоциация на атомные ионы (атомарная адсорбция). Выделяют 3 типа (области) адсорбции в зависимости от степени окисления серебра. При степени окисления до $0,1 - 0,12 \text{ см}^3 \text{ O}_2/\text{м}^2 \text{ Ag}$, т.е. в пределах покрытия поверхности монослоем кислорода, один атом кислорода связан с двумя поверхностными атомами серебра ($\text{Ag}_2^{\text{S}}\text{O}$):

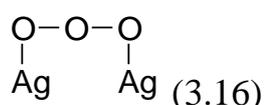


С увеличением степени окисления до $(0,22-0,26) \text{ см}^3 \text{ O}_2/\text{м}^2 \text{ Ag}$

преобладает соединение, в котором атом кислорода связан с одним атомом поверхностного серебра ($\text{Ag}^{\text{S}}\text{O}$ или $\text{Ag}_2^{\text{S}}\text{O}_2$):



При дальнейшем окислении возникает структура с большим содержанием кислорода на атом серебра:



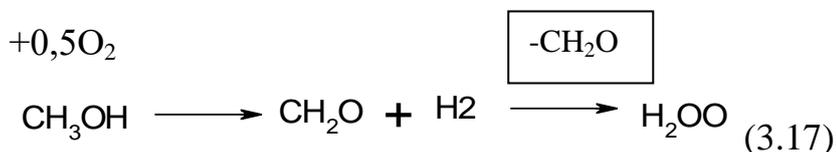
Каталитическая специфичность серебра обуславливается особым состоянием кислорода на серебре. В то время как на других металлах при активированной адсорбции кислорода образуется только атомные ионы O^- или O^{2-} , вызывающие сгорание исходного продукта до углекислого газа, на серебре образуются поверхностные молекулярные ионы типа O_2^- или O_2^{2-} . Поверхностный ион в состав поверхностного оксида $\text{Ag}^{2+}\text{O}^{2-}$. Атомные ионы, образующие с серебром активные центры при адсорбции метанола на них ослабляют или полностью разрывают химические связи в адсорбированной молекуле. Дальнейшие взаимодействия протекают между двумя хемосорбированными частицами, находящимися на соседних активных центрах или между хемосорбированной частицей и физически адсорбированной или налетающей из объема молекулой.

2.3 Термодинамика реакций

Реакции окислительного дегидрирования имеют тепловой эффект, зависящий от доли реакций окисления и особенно дегидрирования. Так как окисление протекает с выделением тепла, введением тех или иных количеств

кислорода, можно широко вальировать эффект суммарного превращения. Это является одним из преимуществ окислительного дегидрирования – устраняется эндотермичность процесса и необходимость в постоянном подогреве реакционной массы. Практически для получения формальдегида для поддержания необходимой температуры в зоне контактирования, с учетом возмещения потерь тепла в окружающую среду. Необходимо, чтобы процесс шел на 55% через окисление и на 45% через дегидрирование. Тогда процесс можно осуществлять в реакторе адиабатического типа, не имеющего поверхности теплообмена. При таком соотношении реакций дегидрирования и окисления исходная паро-воздушная смесь должна содержать около 40% (объемные доли) метанола, что находится за верхним пределом взрываемости метанола в воздухе [36,5%].

Смещения равновесия реакций окислительного дегидрирования вправо обусловлено связыванием части водорода в воду, которая не принимает участия в равновесии реакций гидрирования – дегидрирования.



Разбавление метанола на 10 - 12% водой также смещает равновесие в сторону выхода формальдегида, за счет подавления побочных реакций. Образованию побочных реакций препятствует недостаток кислорода в процессе, т.к. глубокое окисление не получает значительного развития. Выход формальдегида на пропущенное сырье достигает 80-85% при степени конверсии метанола 85-90%. При дегидрировании ввиду отщепления водорода всегда происходит увеличение объемов газа, поэтому повышение степени конверсии благоприятствует низкое давление. Поэтому для процессов дегидрирования выбирают давление, близкое к атмосферному, а в некоторых случаях процесс осуществляют в вакууме. В места вакуума можно применять разбавление реакционной массы водяным паром.

В производстве формалина метанол разбавляют на 10 - 12% водяным паром.

Наличие водяных паров в реакционной массе ведет к снижению парциальных давлений реагентов и росту равновесной степени конверсии.

2.4 Кинетика реакций

При температуре 600 - 700°C скорость превращения метанола в формальдегид лимитируется подводом реагентов к поверхности катализатора, т.е. процесс протекает во внедиффузионной области. Кинетическая область протекания реализуется при температуре ниже 300°C. Признаки превращения метанола в формальдегид наблюдается уже при температуре 200 - 240°C. Выход формальдегида формальдегида в этих условиях составляет примерно 1% при конверсии метанола 1,5 - 2%.

При температуре 200°C выход формальдегида 3,6% при конверсии метанола 4,6%. Реакции протекают в этом случае по окислительному механизму. При температуре 290 - 300°C реакция смещается в переходную область. При 300°C происходит «зажигание» катализатора. Температура самопроизвольно повышается до 600 - 700°C, соответствующей заданному соотношению $O_2:CH_3OH$. Обратному переходу процесса в кинетическую область способствует снижению температуры до 350°C за счет увеличения скорости потока реагентов. В этом случае формальдегид является промежуточным продуктом реакции: при времени контакта $(5 - 10) \cdot 10^{-3}$ секунд происходит накапливание его, а при дальнейшем времени контакта наблюдается его расходование. Конечный продукт реакции – углекислый газ. При 370 - 400°C процесс перемещается в область внешней диффузии. Протекание процесса в диффузионной области обуславливается значительной разности концентраций реагентов и продуктов реакции на поверхности серебра и в потоке. Само химическое взаимодействие между молекулами метанола и кислорода происходит очень быстро и разогрев

катализатора настолько велик, что он оказывается достаточным для поддержания высокой температуры реакции. Конверсия кислорода резко возрастает. На промышленных установках при $(600 - 700)^{\circ}\text{C}$ селективность достигает значений 91 - 93%. Объемное содержание водорода в газообразных продуктах 18 - 20%. То есть проведение реакции в диффузионной области преимущественней, т.к. резко возрастает активность и селективность катализатора, что приводит к значительному повышению производительности катализатора (на 1,5-2,0 порядка) и исключает необходимость подвода тепла извне для поддержания температуры в реакторе. Максимальная селективность образования формальдегида 90% происходит при значении соотношения $\text{O}_2:\text{CH}_3\text{OH}$ в пределах 0,68:0,7. При движении горячей реакционной смеси от слоя катализатора происходит нарастание количества углекислого газа и водорода с одновременным уменьшением формальдегида. Для снижения этого процесса необходимо охлаждение реакционной смеси поверхностью с температурой не выше 170°C . Это осуществляется в подконтактном холодильнике.

2.5. ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ

Выбор технологической схемы обусловлен мощностью производства формалина и назначением готового продукта. Мощность производства составляет 380 тыс. тонн в год 37% формалина. Процесс оформлен в виде трех технологических ниток, единичной мощности 126,6 тыс. тонн в год, каждая. С целью снижения металлоемкости и принятых технологических решений ряд узлов выполнен общим для трех ниток: узел подготовки сырья, узел очистки годовых выбросов, узел очистки, опорожнения, продувки.

Процесс получения формалина представлен в виде трех параллельных ниток, состоящих из следующих узлов:

- подготовка сырья и получения метанола-воздушной смеси;
- синтез формальдегида;

- получение формалина - "сырца" (абсорбция формалина);
 - ректификация формалина - "сырца",
- и узлов, выполненных общими для трех ниток:
- сбор и переработка некондиционных и дренируемых продуктов,
 - факельная установка,
 - очистка газовых выбросов,
 - теплопункт,
 - получение катализатора.

Некоторые заводы не включают в технологическую схему процесс ректификации, но как показывает практика затраты на эту стадию полностью себя оправдывают. Во-первых, исключается возможность получения нестандартного продукта; во-вторых, получается возможность получать как безметанольный продукт, так и формалин высокой концентрации.

Исходя из рассмотренных стадий получения технического формалина, характеризуем каждую из них по технологической схеме цеха производства формалина.

III. ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

3.1 Получение метанола-воздушной смеси

Метанол из емкости поступает через обратные клапаны к I, II, III технологическим ниткам на "метанольные гребенки", где к "свежему" метанолу добавляется "возвратный" метанол с узлов ректификации. Метанол (для одной технологической нитки) от "метанольной гребенки" предварительно подогревается в 2-х нижних встроенных теплообменниках абсорбционной колонны поз.К1 до 65°C, и поступает для образования спиртовоздушной смеси в спиртоиспаритель. Чтобы снизить побочные реакции процесса получения формальдегида, метанол в смесителе поз.Х2

смешивается с деминерализованной или надсмольной водой.

Спиртоиспаритель состоит из испарителя поз.Е2а, выносной греющей камеры - теплообменника поз.Т1 и смонтированного под ней отстойника поз.Е2б.

Воздух из атмосферы, предварительно очищенный от пыли на фильтре поз.Ф1, подается воздуходувками поз.М1/1-3, с давлением (0,5 - 0,8) кгс/см² и температурой (30 - 70)°С и расходом (3000 - 11000) м³/ч через обратный клапан в верхнюю часть выносной греющей камеры поз.Т1. На каждую технологическую нитку предусмотрено по три воздуходувки производительностью 6000 м³/ч каждая - две в работе, одна в резерве или ремонте.

Метанола - водяная смесь из смесителя поз.Х2 с температурой (20 - 65)°С и расходом (6 - 14) м³/ч подается в отстойник спиртоиспарителя поз.Е2б, где в конической части отделяются и собираются механические примеси.

Уровень в испарителе поз.Е2а поддерживается подачей метанола. При уровне метанола в испарителе поз.Е2а 20% воздуходувки поз.М1/1-3 отключаются.

Метанол в спиртоиспарителе подогревается паром давлением 2 кгс/см², подаваемым из паросборника поз.Е4 в выносную греющую камеру теплообменника спиртоиспарителя поз.Т1. Температура метанола в испарителе поз.Е2а поддерживается (52-85)°С в зависимости от концентрации метанола.

Образование метанола - воздушной смеси происходит в верхней части выносной греющей камеры поз.Т1, куда через барботер подается воздух от воздуходувок поз.М1/1-3. Затем в испарителе поз.Е2а жидкий метанол отделяется, с помощью каплеотбойника, и метанола - воздушная смесь поступает в перегреватель поз.Т2.

Метанола - воздушная смесь в перегревателе поз.Т2 перегревается до (90 - 145)°С паром 6 кгс/см², подаваемым в межтрубное пространство, для

предотвращения конденсации и попадания жидкого метанола на катализатор, который при этом зауглероживается и снижает свою активность. Перегретая метанола - воздушная смесь, пройдя огнепреградитель поз.ХЗ, заполненный фарфоровыми шариками и кольцами Рашига, которые служат для предотвращения попадания открытого огня в спиртоиспаритель, поступает в верхнюю часть контактного аппарата поз.Р1.

3.2 Синтез формальдегида

Образование формальдегида из метанола происходит в контактном аппарате поз.Р1 при прохождении метанола - воздушной смеси через слой катализатора при температуре (550 - 600)°С ("мягкий режим") или с добавлением воды при температуре (650 - 700)°С ("жесткий режим").

Контактный аппарат поз.Р1 представляет собой вертикальный цилиндрический аппарат, в нижней части которого расположен кожухотрубный теплообменник, в межтрубное пространство которого подается водяной конденсат, а по трубному пространству проходят реакционные газы. Катализатор укладывается на 2 слоя нержавеющей сетки, (10x10) мм и (1x1) мм, высотой (120-150) мм, а сверху помещается электрозапал.

Разогрев контактной массы, при пуске, до температуры (300 - 350)°С, при которой начинается реакция превращения метанола в формальдегид, осуществляется включением электрозапала, а дальнейший подъем температуры происходит за счет тепла реакций.

Температура в слое катализатора поддерживается автоматически, подачей пара в греющую камеру поз.Т1 спиртоиспарителя, и сопровождается световой и звуковой сигнализацией при температуре в слое катализатора 620°С – в "мягком режиме" и 720°С – в "жестком режиме". При достижении температуры в слое катализатора в "мягком режиме" – 650°С, а в "жестком режиме" – 750°С происходит автоматическое отключение воздуходувки

поз.М1/1-3.

В результате реакций, протекающих в слое катализатора, из метанола - воздушной смеси образуются контактные газы, в состав которых входят: формальдегид, водород, углекислый газ, окись углерода, азот, пары воды, непрореагировавший метанол.

Для предотвращения термического разложения образовавшегося формальдегида и прекращения побочных реакций, контактные газы, выходящие из зоны контактирования, резко охлаждаются в подконтактном холодильнике до температуры не более 200°С за счет испарения водного конденсата, поступающего из паросборника поз.Е4 в межтрубное пространство подконтактного теплообменника. Образовавшаяся в подконтактном холодильнике паро-водяная смесь за счет естественной циркуляции поступает в паросборник поз.Е4, где отделяется пар от конденсата. Давление пара в паросборнике поз.Е4 (1,8-2)кгс/см², поддерживается паром подаваемым в паросборник поз.Е4 из теплопункта от коллектора.

Конденсат из теплообменника поз.Т1 спиртоиспарителя собирается в конденсатосборник поз.Е3, откуда насосами поз.Н1/1-2 через обратный клапан подается в паросборник поз.Е4.

3.3 Получение формалина - "сырца"

Контактные газы, охлажденные в подконтактном холодильнике реактора, поступают в поглотительную систему, состоящую из абсорбционной колонны поз.К1, аппарата воздушного охлаждения поз.Х4, пластинчатых теплообменников поз.Т3, Т4, Т6, Т5 и циркуляционных насосов поз.Н2/1-3, Н3/1-3.

Абсорбционная колонна поз.К1 представляет собой вертикальный цилиндрический аппарат переменного сечения: нижняя кубовая часть диаметром 2800 мм с шестью встроенными теплообменниками, с 24

тарелками (1,7,13, 19 тарелки – глухие, с 21 по 24 – колпачковые, остальные – жалюзийно-клапанного типа). В верхней части колонны для предотвращения уноса капель жидкости предусмотрен каплеотбойник.

В кубе абсорбционной колонны поз.К1 происходит охлаждение контактных газов, конденсация паров воды и метанола, а также хемосорбция водой значительной части формальдегида. Несконденсировавшиеся пары и газы из куба поднимаются вверх по колонне навстречу орошающей жидкости.

Орошение абсорбционной колонны осуществляется водой, поступающей на 24 тарелку расходом до 6 м³/ч и охлажденной в теплообменнике поз.Т6 до температуры не более 25°С. Для оперативного изменения концентрации формальдегида в кубе колонны предусмотрена подача жидкости до 6 м³/ч от насосов поз.Н1/2,3 в куб колонны поз.К1.

Уровень в кубе колонны поз.К1 поддерживается (20-80)% и в зависимости от нагрузки и давления в системе регулируется отбором формалина на питание ректификационной колонны поз.К2.

При стабильном режиме узлов синтеза абсорбции возможна работа технологической нитки без узла ректификации. Остановка узла ректификации производится при массовой доле метанола (6-8)% и формальдегида (37 - 38)% в кубе абсорбционной колонны поз.К1.

Дополнительно при этом осуществляется отвод жидкости с 13-й «глухой» тарелки в емкость. Уровень на 13-й тарелке поддерживается (20 - 80)% и регулируется отбором жидкости с расходом (0,5 - 3)м³/ч от насоса поз.Н3/2,3 в емкость.

Уровень в кубе колонны поз.К1, в зависимости от нагрузки, давления в системе и массовой доли метанола, поддерживается (10-80)% и регулируется, отбором формалина в стандартизаторы.

Часть тепла, выделяющаяся в кубе колонны, снимается в 4-х верхних встроенных теплообменниках оборотной водой, в 2-х нижних – метанолом, поступающим в процесс, а остальная часть тепла снимается циркуляцией

формалина через аппарат воздушного охлаждения поз.Х4. Дополнительно сьем тепла реакционных газов, теплоты поглощения и конденсации в колонне поз.К1 осуществляется охлаждением слабого формалина, выводимого с глухих тарелок, в выносных пластинчатых теплообменниках по контурам:

1 контур-1-я тарелка-насос Н2/2,3-теплообменник Т3-6-я тарелка.

2 контур-7-я тарелка-насос Н3/1,2-теплообменник Т4-12-я тарелка.

3 контур-13-я тарелка-насос Н3/2,3-теплообменник Т5-18-я тарелка.

4 контур-дем.вода и надсмольная вода-теплообменник Т6-24-я тарелка.

Температура в абсорбционной колонне поз.К1 контролируется следующим образом:

на выходе из куба колонны - не более 70°С,

под первой тарелкой - не более 80°С,

на 9-й тарелке - не более 50°С,

на 18 тарелке - не более 30°С,

на 24 тарелке - не более 25°С,

вверху колонны - не более 25°С.

Охлаждение формалина в теплообменниках поз.Т3, Т4 производится оборотной водой до температуры не более 60°С и 30°С соответственно, а в теплообменниках поз.Т5 и Т6 оборотной водой до температуры не более 25°С.

Выхлопные газы с верха колонны поз.К1 с температурой не более 25°С направляются на установку термического обезвреживания, проходя через конденсаторборник поз.Х1, где отделяется и самотеком сливается в стандартизатор сконденсировавшаяся жидкость.

Выхлопные газы, которые не может принять УТО и во время аварийных остановок поступают для сжигания на факельную установку.

Состав выхлопных газов в объемных долях, %:

СО₂ - не более 5,

СО - не более 5,

H₂ - 16-26,
O₂ - не более 1,2,
CH₄ - не более 1,
метанол - не более 7 г/м³,
формальдегид - не более 4 г/м³,
азот - по разности.

По составу выхлопных газов можно судить о работе катализатора, о наличии отклонений от норм технологического режима.

Повышение содержания суммы углеродосодержащих газов свидетельствует об усилении побочных реакций. В частности, увеличение объемной доли двуокси углерода свыше 5% свидетельствует об избытке кислорода в метаноле - воздушной смеси.

Увеличение содержания окиси углерода в выхлопных газах – результата перегрузки и отравления катализатора.

Объемная доля метана более 1% бывает при высокой температуре в нижних слоях катализатора, где нет уже кислорода, кроме этого содержание метана увеличивается при отравлении каталитической массы железом или его солями, при попадании асбеста (от прокладки), что сопровождается выделением сажи.

Объемная доля водорода ниже 16% указывает на малую конверсию, если температура низка, и на избыток кислорода при повышенной температуре.

Увеличение объемной доли водорода в газах (свыше 20%) указывает на повышение степени полезной конверсии и на уменьшение побочных реакций.

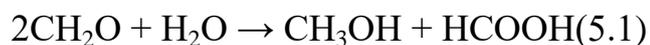
Давление верха колонны поз.К1 не более 0,34 кгс/см², в кубе – не более 0,67 кгс/см².

При повышении давления выхлопных газов из колонны поз.К1 выше 0,38 кгс/см² открывается электрозадвижка поз.К1-36 "на свечу".

3.4 Ректификация формалина - "сырца"

Формалин - "сырец" с массовой долей метанола до 20% и формальдегида не более 38% из куба абсорбционной колонны поз.К1 насосами поз.Н2/1-2 подается на ректификацию, где вверху отделяется метанол.

Ректификация метанольного формалина ведется в колонне поз.К2 под вакуумом. Проведение ректификации под вакуумом позволяет снизить температуру, что предотвращает повышение кислотности формалина за счет уменьшения протекания реакции Канницарро:



Ректификационная колонна представляет собой вертикальный цилиндрический аппарат диаметром 2900 мм, высотой 52000 мм и 70-ю колпачковыми тарелками с радиальным сливом.

Вакуум в ректификационной колонне поз. К2 создается вакуум-насосом поз. Н6/1-2 и поддерживается в кубе (минус 0,2 ч минус 0,60) кгс/см², а вверху колонны (минус 0,44 ч минус 0,70) кгс/см².

Обогрев колонны поз.К2 осуществляется через кипятильник поз.Т7 паром давлением 2 кгс/см². Температура формалина в кубе колонны поз. К32 поддерживается (75-95)°С, вверху колонны поз.К2 – (40-50)°С, в укрепляющей части (60 - 70)°С, в исчерпывающей – (70 - 80)°С.

Формалин - "сырец" из абсорбционной колонны поз.К1 расходом (10-21) м³/ч, некондиционный формалин, подаваемый из стандартизаторов с расходом до 8 м³/ч поступает на 34, 42, 52 тарелки ректификационной колонны.

Пары метанола и формальдегида нагретые внизу колонны поднимаются вверх, а сверху (навстречу парам) подается почти чистый жидкий метанол. При соприкосновении поднимающихся паров со стекающей

жидкостью происходит частичная конденсация формалина из формалина-"сырца" и частичное испарение метанола. Таким образом, стекающая жидкость обогащается формальдегидом, а поднимающиеся пары обогащаются метанолом, в результате чего выходящие из колонны пары представляют собой почти чистый метанол. Эти пары поступают в аппараты воздушного охлаждения поз. X5/1-2, где охлаждаются до температуры не более 50°C, конденсируются и отделяются в газоотделителе поз.Х6 от жидкости. Жидкий метанол сливается в емкость поз.Е5, а газовая фаза дополнительно охлаждается в теплообменнике поз.Т9 оборотной водой и поступает в газоотделитель поз.Х7. Жидкая фаза после газоотделителя поз. Х7 сливается в емкость поз.5, а несконденсировавшиеся пары и инертны направляются к вакуум-насосу поз.Н6/1,2.

Выбросы от вакуум-насоса поз.Н6 направляются в верхнюю часть абсорбционной колонны поз.К1, где отмываются водой от большей части метанола, и вместе с выхлопными газами абсорбционной колонны поступают на сжигание.

Метанол из емкости поз. Е5 с массовой долей формальдегида до 6% и метанола не менее 92 % насосом поз.Н5/1,2, с расходом (5 - 15) м³/ч, подается в виде флегмы в колонну поз.К2, а избыток, с расходом до 6,5 м³/ч, направляется в процесс через смеситель поз.Х2 для получения метаноловоздушной смеси.

Уровень в емкости поз.Е5 поддерживается (30-70)% отбором метанола, направляемого в смеситель поз.Х2.

Формалин массовой долей метанола не более 8% и формальдегида не более 50% забирается из куба колонны поз.К2, насосом поз.Н6/1-2, охлаждается в холодильнике поз.Т8 до температуры (40 - 65)°С и поступает в стандартизаторы.

Уровень в кубе колонны поз. К2 поддерживается (30 - 70)% отбором формалина в стандартизаторы.

В случае выхода из строя вакуум-насосов поз. Н6/1,2 ректификацию

можно вести непродолжительное время под азотным дыханием с давлением 0,3 кгс/см², но при этом возрастает кислотность формалина, и температура в кубе колонны поз. К2 будет (95 - 110)°С, а вверху – (60 - 66)°С.

Емкости поз.Е5 и газоотделители поз.Х7 соединены с "азотным дыханием" давлением 0,3 кгс/см².

IV. МАТЕРИАЛЬНЫЙ БАЛАНС

Материальный баланс в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Материальный баланс

Приход			Расход		
Состав	кг/ч	Массовая доля, %	Состав	кг/ч	Массовая доля, %
1	2	3	4	5	6
<u>Ректификация</u>					
1.Формалин-"сырец"	20425	100	1.Формалин-товарный	15833,33	100
в т.ч.:			в т.ч.:		
формальдегид	5880,36	28,79	формальдегид	5858,33	37
метанол	5563,77	27,24	метанол	1108,33	7
вода	8980,87	43,97	вода	8866,66	56
			2.метанол-ректификат	4591,67	100
			в т.ч.:		
			метанол	4453,92	97
			формальдегид	22,96	0,5
			вода	114,79	2,5
итого	20425	100	итого	20425	100
<u>Абсорбция</u>					
1.Контактные газы,	25302,74	100	1.формалин-сырец,	20425	100
т.ч.:			в т.ч.:		
формальдегид	5880,36	23,24	формальдегид	5880,36	28,79
метанол	5566,60	22	метанол	5563,77	27,24
вода	3228,63	12,76	вода	8980,87	43,97
углекислый газ	807,16	3,19			
водород	146,76	0,58	2.Выхлопные газы,	12112,55	100
окись углерода	83,50	0,33	в т.ч.:		

Ежегодные нормы расхода основных видов сырья, материалов и энергоресурсов в таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Ежегодные нормы расхода основных видов сырья, материалов и энергоресурсов по производству 37%-го формалина

Наименование сырья, материалов и энергоресурсов	По проекту
1. Метанол, кг	508,41
2. Вода деминерализованная, м ³	369,89
3. Катализатор «серебро не пемзе», кг	18,37
- в пересчете на серебро, кг	7,35
- безвозмездные потери, г	0,20
4. Вода оборотная, м ³	43,00
5. Пар давлением 18 кгс/см ² (1,8 МПа), т	0,43
6. Воздух технологический 6 кгс/см ² , (0,6 МПа), м ³	0,060
7. Воздух КИП 5 кгс/см ² , м ³	4,44
8. Азот 4 кгс/см ² , м ³	0,44
9. Электродэнергия, кВт/ч	37,00

4.2. ЕЖЕГОДНЫЕ НОРМЫ ОБРАЗОВАНИЯ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА

Ежегодные нормы образования отходов производства 37%-го формалина в таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Ежегодные нормы образования отходов производства 37%-го формалина

Наименование отхода, аппарат или стадия образования	Характеристика, состав	Направление использование, метод очистки или уничтожения	Нормы образования отходов	
			По проекту кг/т	1998г. кг/т
1	2	3	4	5
1. Выхлопные газы после абсорбционной колонны поз.К1	Состав, об. доля, %: - водород: 16-26; - окись углерода: не более 5,0; - двуокись углерода: не	Поступают на установку	677,50	677,50

	более 1,0; - кислород: не более 1,2; - метан: не более 1,0; - азот: по разности; - метанол: не более 7,0 г/м ³ ; - формальдегид: не более 4,0 г/м ³	термического обезвреживания (УТО)		
2. Факельная установка	Продукты сгорания абгазов: - оксид углерода; - оксиды азота; - углеводороды	Рассеивание в атмосфере	0,2464 0,0369 0,0062	0,160 0,024 0,004
3. Дымовая труба	Продукты термического обезвреживания абгазов: - оксид углерода; - оксиды азота; - метанол; - формальдегид	Рассеивание в атмосфере	1,266 0,507 - -	0,0610 0,0052 0,0005 0,0003
4. Сточные воды от производства формалина		На очистные сооружения	0,3579	1,085
5. Отработанный катализатор (в персчете на серебро), г		Сдается на завод драгоценных металлов	6,98	

4.3. НОРМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА

Нормы технологического режима в таблице 9.1.

Таблица 9.1 – Нормы технологического режима

Наименование стадии и потоков реагентов	Наименование технологических показателей			
	Скорость подачи реагентов	Температура, °С	Давление, кгс/см ²	Прочие показатели

1	2	3	4	5
1. Спиртоиспарение (на одну технологическую нитку)				
1.1.Метанол, подаваемый в смеситель поз.Х2.	(6-14) м ³ /ч	20-65	2,8-3,2	
1.2.Деминерализованная или надсмольная вода в смеситель	(2-5) м ³ /ч			Соотношение массовых долей метанола и воды – [(70 – 75) – (25 – 30)]%. Плотность метанола – водной смеси не более 850кг/м ³
1.3.Атмосферный воздух в испаритель поз.Е2а	(3000-11000) м ³ /ч	30-70	0,5-0,8	
1.4.Испаритель поз.Е2: - жидкая фаза; - газообразная фаза.		52-90 52-85	0,4-0,75	Уровень (40 – 60)% Массовая доля метанола в жидкой фазе, -при пуске – не менее 97% - при работе – не менее 20%
1.5.Метанола-воздушная смесь: - после перегревателя поз.Т2; - после огнепреградителя поз.Х3.		90-145 90-145	перепад, не более 0,1	
2. Синтез формальдегида (на одну технологическую нитку)				
2.1.Контактный аппарат поз.Р1: - при работе в "мягком режиме":		550-600 650-700	2,8-3,2	Толщина слоя катализатора (120-150) мм
2.2. Контактные газы на выходе из подконтактного холодильника поз.Р1.		160-200	перепад, не более 0,1	
2.3. Паросборник поз.Е4.			1,8-2,0	Уровень (30-70) %
3. Получение формалина -"сырца"				
3.1.Формалин в кубе		не более 70		Уровень (12-80) %.

колонны поз.К1				Состав: массовая доля - формальдегида – Не более 38 %, - метанола, Не более 20%
3.2.Циркуляционные контуры колонны п..К1; -с куба под 1-ю тарелку, после поз.Х4; - с 1 – ой тарелки на 6-ю; после теплообменника поз.Т3; - с 7 –ой тарелки на 12-ю, После теплообменника поз.Т4; - с 13-ой тарелки на 18-ю, После теплообменника поз.Т5.		не более 70 не более 60 не более 30 не более 25		
3.3.Деминерализованная или надсмольная вода на орошение колонны поз.К1 теплообменника поз.Т6.	(1-6) м ³ /ч	не более 25		Расходы корректируется в зависимости массовой доли формальдегида в кубе колонны.
3.4.Выхлопные газы из абсорбционной колонны поз.К1		не более 25	0,06-0,34	Состав, объемная доля: - двуокись углерода, не более 5,0% - окись углерода, не более 5,0%; - кислород, не более 1,2% - метан, не более 1,0%; - водород, (16 – 26)%; - азот, по разности
				- метанола, не более 7,0 г/м ³ - формальдегида, не более 4,0 г/м ³
4. Ректификация формалина - "сырца"(на одну технологическую нитку)				
4.1. Ректификационная колонна поз.К2 -Ректификация под				

вакуумом: куб верх -Ректификация под атмосферным давлением: куб верх		85 – 95 40 – 50 95 – 11 60 - 66		Флегмовое число 1-4
4.2. Флегма на орошение колонны поз.К2	(5 – 15) м ³ /ч			
4.3. Формалин – «сырец» из абсорбционной колонны поз.К1 в колонну поз.К2	(10 – 21) м ³ /ч			
4.4. Формалин из ректификационной колонны поз.К2 после теплообменника поз.Т8		(35 – 55) в зависимости от массовой доли формальдегида		Состав, массовая доля: - формальдегида, до 50%, - метанола, не более 8%

4.4.Методика проведения аналитического контроля

Определение массовой доли формальдегида

Метод заключается в титровании гидроокиси натрия, образующейся в результате реакции формальдегида с нейтральным раствором сернистокислого натрия.

Приготовление раствора сернистокислого натрия: (126,0 ± 0,1)г безводного или (252,0 ± 0,1)г 7-водного сернистокислого натрия растворяют в воде в мерной колбе вместимостью 1 дм³, и перемешивают. Раствор годен в течении 5 суток.

1,5 – 1,8г анализируемого продукта взвешивает в колбе с пришлифованной пробкой, содержащей 10 см³ дистиллированной воды. В другую колбу помещают 50 см³ раствора сернистокислого натрия, добавляют 3 – 4 тимолфталейна и нейтрализуют раствором соляной или серной кислоты (0,1 моль/дм³) до исчезновения голубой окраски.

Нейтральный раствор сернистокислого нитрия переливают в колбу с навеской продукта, перемешивают в течении 2 минут, титруют раствором

соляной или серной кислоты до исчезновения голубой окраски.

Массовую долю формальдегида (x, %) определяют по формуле:

$$X = \frac{V \cdot 0,003003 \cdot 100}{m};$$

где, V – объем раствора HCl, H₂SO₄, израсходованного на титрование см³; 0,003003 – масса формальдегида, соответствующая 1 см³ раствора HCl, г; m – масса навески, г.

Проводят два параллельных анализа. За результат анализа принимается среднее арифметическое значение между двумя результатами параллельных анализов.

Определение массовой доли метанола

Метод основан на определении по найденным значениям плотности раствора формалина и массовой доли формальдегида в формалине.

Плотность анализируемого продукта марки ФМ определяют по ГОСТ 18995.1 с помощью пикнометра ПЖ-2 или ПЖ-3 вместимостью 25 или 50 см³ с помощью ареометра марки ФБМ – с помощью пикнометра.

Массовую долю метанола определяют по формуле:

$$X = \frac{(1,1123 + (X - 37,0) \cdot 0,0030) - \rho}{0,0025};$$

где, 1,1123 – плотность раствора формальдегида с массовой долей 37%, не содержащего метанол при температуре 20°C, г/м³; X – массовая доля формальдегида в анализируемом формалине; 0,0030 – разность плотностей двух растворов формалина, имеющих одинаковую массовую долю метанола, а массовая доля формальдегида которых отличается на 1%, г/см³; ρ – плотность анализируемого формалина, г/см³. Проводят два параллельных анализа.

Определение массовой доли кислот (в пересчете на муравьиную)

Метод основан на титровании кислот в формалине раствором гидроокиси натрия с использованием бромтимолового синего в качестве индикатора. 100 г анализируемого продукта взвешивают в колбе с пришлифованной пробкой. К навеске добавляют 4 капли раствора индикатора и титруют раствором гидроокиси натрия до появления синей окраски. Массовую долю кислот определяют по формуле:

$$X = \frac{V \cdot 0,0046 \cdot 100}{m};$$

где, V – объем раствора гидроокиси натрия ($0,1$ моль/дм³), израсходованный на титрование, см³; $0,0046$ – масса муравьиной кислоты, соответствующая 1 см³ раствора гидроокиси натрия; m – масса навески, г.

Проводят два параллельных анализа.

V. КОМПОНОВКА ОБОРУДОВАНИЯ

5.1. Размещения

При размещении оборудования учитываются следующие технологические требования: удобство обслуживания оборудования и возможность демонтажа аппаратов и их деталей при ремонтах; обеспечение максимально коротких трубопроводов между аппаратами при необходимости самотека; рациональное решение внутризаводского транспорта. При этом необходимо соблюдать строительные нормы, требования естественной освещенности, технику безопасности и охрану труда, санитарные нормы [5].

Компоновка оборудования на открытых площадках сокращает капитальные затраты на строительство, уменьшает загазованности и влияние тепловыделений, снижает взрыво- и пожароопасность. Установка аппаратуры на открытых площадках создает также предпосылки для укрупнения агрегатов, позволяет во многих случаях отказаться от членения на части (царги) аппаратуры (преимущественно колонной) и, кроме того, улучшает

условия монтажа оборудования.

На открытых площадках химическая аппаратура устанавливается или на этажерках- железобетонных и металлических – или самостоятельно- на индивидуальных и групповых фундаментах. Аппараты малого диаметра и большой высоты устанавливаются в этажерках.

При размещении технологического оборудования на открытых площадках, руководствуются перечнем технологического оборудования химической промышленности, устанавливаемого на открытых площадках, и характеристикой климатического района.

Размеры пролетов, расположение разбивочных осей и высоты зданий принимаются по строительным нормам СНИП-II-M2-62.

В зданиях и на открытых площадках для монтажа, эксплуатации, демонтажа и ремонта оборудования устанавливают подъемно-транспортные устройства.

Для технологического обслуживания большого количества и разнообразного по характеру оборудования, устанавливаемого на открытой площадке, требующей частой разборки или демонтажа, загрузки и выгрузки катализатора, применяются передвижные краны.

При размещении оборудования предусмотрены проходы, обеспечивающие безопасное обслуживание оборудования, движения людей и транспорта, а также удобную очистку рабочих поверхностей оборудования.

Машины и аппараты, обслуживаемые подъемными кранами, размещают в зоне приближения крюка крана.

Все насосы в насосном отделении, создающие на рабочих местах вибрации и шум, устанавливаются на специальных фундаментах.

Для выполнения работ по монтажу, демонтажу, чистке и замене трубных пучков подогревателей, холодильников, конденсаторов, коммуникаций предусматриваются соответствующие средства механизации.

Максимально механизирована загрузка и выгрузка ядовитых и взрывоопасных веществ, а также подача веществ в опасные зоны. В

производстве исключены ручные операции при транспортировке и погрузочно-разгрузочных работах.

В качестве безрельсового транспорта применяются автопогрузчики, тележки, платформы.

При размещении оборудования руководствуются действующими правилами и нормами по технике безопасности, противопожарной безопасности, указаниями по выносу оборудования на открытые площадки в химической промышленности и другими действующими указаниями, правилами и нормами, обеспечивая нормальные условия обслуживающему персоналу и безаварийную работу оборудования

5.2. Характеристика производственных помещений

1. Насосное отделение

Расположено на отметке 0,00 м. Помещение закрытого типа, размером 78×12 м, высотой 6 метров. Категория взрывопожарной опасности помещения – А. Класс взрывоопасной зоны для выбора и установки электрооборудования – В-Ia.

Расстояние от длинных сторон фундаментальных плит стен не менее 1,5 – 2 м. Центральный проход шириной 3 м.

2. Воздуходувное отделение

Расположено на отметке 0,00 м. Помещение закрытого типа, размером 36×12 м, высотой 6 метров. Категория взрывопожарной опасности помещения – Д.

При определении свободной площади вокруг каждого аппарата, руководствуются теми же соображениями, которые были приняты при проектировании насосного зала.

3. Аппаратные отделения

К ним относятся: реакторное отделение, отделение абсорбции и отделение ректификации. Все отделения находятся на открытой площадке.

Размер площадки 84×12 м, 12 м. Отделение абсорбции и ректификации расположены на отметке 0,00 м, 6,00 м, 12,0 м, а реакторное отделение – на отметке 6,00 м и 12,0 м. Класс взрывоопасной зоны открытой установки по всем отметкам – В-Г.

4. Тепловой пункт

Теплопункт расположен на отметке 0,00 м. Помещение закрытого типа, размером 12×10 м, высотой 6 метров. Категория взрывопожарной опасности помещения – Д. Класс взрывоопасной зоны для выбора и установки электрооборудования – В-Іа.

Предусматривается в составе цеха в тех случаях, когда по технологическим соображениям необходимо понизить давление и степень перегрева пара из общезаводских сетей. Для этого на тепловом пункте устанавливаются редуционно-охладительные установки (РОУ), где пар подвергается дросселированию и увлажнению. Здесь же устанавливаются сборники для приема отработанного конденсата и насосы, перекачивающие его в общезаводскую систему очистки и возврата на ТЭЦ.

5. Паро-коллекторная

Отделение находится на отметке 0,00 м. Помещение закрытого типа, размером 24×12 м, высотой 6 м. Категория взрывопожарной опасности помещения – Д. Класс взрывоопасной зоны для выбора и установки электрооборудования – В-Іа.

Так как в производстве формалина используется пар нескольких параметров, то необходимо предусмотреть паро-коллекторное отделение. На вводе пара имеется большое количество отключающей и переключающей запорной арматуры. Вследствие недостаточной плотности арматуры возможны пропуски пара через сальники и значительное увлажнение окружающего воздуха. Поэтому такие вводы желательно сконцентрировать в отдельном небольшом помещении. При этом в помещении должен оставаться проход шириной не менее 1 м.

В отдельном здании расположены:

6. Операторное помещение

Из операторного отделения производится управление всеми процессами производства. Помещение находится в отдельном 3-х этажном здании, на 3-ем этаже.

7. Анализаторная

Анализаторная расположена в этом же помещении. Здесь устанавливаются датчики непрерывно действующих автоматических анализаторов. К датчикам подведены пробоотборные трубки от соответствующих технологических трубопроводов, размещенных во взрывоопасных помещениях. Изменение концентраций анализируемых веществ преобразуется в датчиках в соответствующие пневматические или электрические сигналы, передаваемые вторичным приборам автоматики, расположенным в операторной.

8. Цеховая контрольная лаборатория

Предназначена для анализов сырья, промежуточных и конечных продуктов. При лаборатории предусматривается комната для хранения проб, оборудованная мощной системой вентиляции.

9. Цеховые ремонтные мастерские

Оборудование мастерской состоит из токарного, сверлильного верстака и стеллажей для инструментов. Ориентировочные размеры мастерской составляют 12×6 м.

10. Кладовые

В кладовых хранятся комплекты изготовления прокладок, запас обтирочных материалов.

11. Бытовые помещения

В их состав входят гардеробные, помещения для сушки, обезвреживания и обеспыливания рабочей одежды, уборные, умывальные, душевые, помещения для личной гигиены женщин, курительные, прачечные и помещения для обогрева рабочих. Кроме того, в бытовых помещениях могут быть организованы медицинский пункт и комната для приема пищи.

12. Административно-конторские помещения

К ним относятся кабинет начальника цеха, кабинет технолога цеха, кабинет цеха, контора и красный уголок.

Все рассмотренные помещения соединяются между собой с помощью коридоров, лестничных клеток, галерей и тамбуров.

VI. БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ПРОЕКТА ПРОИЗВОДСТВА ФОРМАЛИНА

Химическое производство относится к отрасли промышленности, которая представляет потенциальную опасность профессиональных заболеваний и отравлений работающих. Число отравлений и профессиональных заболеваний, несмотря на рост химизации промышленности, непрерывно снижается; однако отдельные случаи отравлений и профессиональных заболеваний еще имеются, и предупреждение их остается важнейшей задачей гигиены труда.

Работа в цехе формалина характеризуется следующими опасностями:

- Газоопасностью. Метанол, формальдегид, природный газ, азотная кислота могут создать загазованность и служить причиной отравления при вдыхании их паров.

- Взрыво-и пожароопасностью. Возможно образование взрывоопасных смесей метанола, формальдегида и природного газа с воздухом. Например, в случае снижения концентрации метанола в спиртовоздушной смеси, а также при пропусках метанола, формалина и природного газа через неплотности оборудования и коммуникаций. Азотная кислота в определенных условиях нитрует материалы, повышая их пожароопасность.

- Возможностью получения химических ожогов едким натром, азотной кислотой и формалином при попадании их на кожу.

- Возможностью получения термических ожогов паровым конденсатом или при соприкосновении с нагретыми поверхностями оборудования и

трубопроводов.

- Возможностью поражения электрическим током при соприкосновении с токоведущими частями электрооборудования или при неисправности изоляции электрооборудования и электропроводки.

- Возможностью получения механических травм при проведении работ на высоте, при обслуживании оборудования и ремонте механизмов.

Несмотря на мероприятия, исключающие попадание вредных веществ в воздух рабочей зоны, в производстве возможен контакт обслуживающего персонала с вредными веществами по следующим причинам:

- при разгерметизации оборудования, трубопроводов, арматуры;
- при ремонте и чистке аппаратов;
- при замене контактной массы.

Учитывая выше изложенное, в целях предупреждения профессиональных заболеваний и улучшения условий труда для работающих, в производстве формалина предусмотрены льготы, которыми пользуются работники аналогичных производств:

1. Согласно "Перечню производств, профессий и должностей, работы в которых дают право на бесплатное получение лечебно-профилактического питания в связи с особо вредными условиями труда" 1977 года пункт 141, рабочие и ИТР получают питание по рациону N 2.

2. Согласно "Списку производств, цехов, профессий и должностей с вредными условиями труда, работа в которых дает право на дополнительный отпуск и сокращенный рабочий день", 1976 год, пункт 223, рабочие и ИТР имеют право на дополнительный отпуск.

6.1 Производственная санитария

Воздушная среда характеризуется на химические загрязнения и метеоусловия. Характеристика химического загрязнения, ПДК и их влияния на организм человека, приведены в таблице 12.1.

Химические загрязнения представляют угрозу для жизни человека, для его здоровья и для окружающей среды. Чтобы предотвратить загрязнение, необходимо принимать меры по защите окружающей среды, а также меры коллективной и индивидуальной защиты.

Таблица 11.1 – Токсические свойства, ПДК, класс опасности сырья, полупродуктов, готовой продукции и отходов производства (ГН 2.2.4.586 – 98)

Наименование сырья, полупродуктов, готовой продукции, отходов производства	Класс опасности ГОСТ 12.1.007 -76	Характеристика токсичности (воздействие на человека)	ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны производственных помещений ГОСТ 12.1.005-88
1	2	3	4
Метанол	3	Яд нервного и сосудистого действия с резко выраженным коммуля-тивным действием	5мг/м ³
Формалин (по формальдегиду)	2	Токсичен. Раздражает слизистые оболочки, вызывает дерматит.	0,5 мг/м ³ по формальдегиду
Едкий натр	2	При попадании на кожу вызывает ожоги	0,5 мг/м ³ аэрозоль
Надсмольная вода	-	Токсичность определяется содержанием в ней метанола и формальдегида	
Азотная кислота	3	При попадании на кожу вызывает химические ожоги	5мг/м ³
Азотнокислое серебро		Действует прижигающе на кожу и слизистые оболочки. Вызывает воспалительные	

		заболевания кожи. При многолетней работе серебро накапливается в организме	
Окислы азота	3	Раздражают дыхательные пути, вызывают удушье, конъюнктивиты и поражают роговицы глаз.	5мг/м ³
Выхлопные газы (абгазы)	3	Токсичность определяется содержанием формальдегида и метанола	29мг/м ³
Природный газ (по метану)	3	Оказывает наркотическое действие	300мг/м ³

Санитарная характеристика производственных зданий, помещений и наружных установок в таблице 12.2.

Таблица 11.2 – Санитарная характеристика производственных зданий, помещений и наружных установок

Наименование производственных зданий, помещений, установок.	Группа производственных процессов по санитарной характеристике (СНИП 2 09 04-87)
Наружная установка	3-а
Стандартизация формалина.	3-а
Насосное отделение	3-а
Воздуходувное отделение	1-б
Теплопункт	1-б
Факельная установка	3-б

В связи с применением вредных и ядовитых веществ на производстве формалина, средства индивидуальной защиты и аварийный запас принят в

соответствии с действующими отраслевыми нормами согласно ГН 2.2.5.686 – 99.

Средства коллективной защиты, в зависимости от назначения, делятся на следующие классы:

- средства нормализации воздушной среды производственных помещений и рабочих мест;
- средства нормализации освещения производственных помещений и рабочих мест;
- средства защиты от ионизирующих, инфракрасных, ультрафиолетовых и электромагнитных излучений;
- средства защиты от магнитных и электрических полей;
- средства защиты от излучения лазеров;
- средства защиты от шума, вибрации и ультразвука;
- средства защиты от поражения электрическим током;
- средства защиты от статического электричества;
- средства защиты от высоких и низких температур окружающей среды;
- средства защиты от воздействия механических, химических и биологических факторов.

Для индивидуальной защиты органов дыхания от вредных веществ используются противогазы марки А, БКФ, респираторы марки РПГ-67;А; КД. Противогазовый респиратор представляет собой резиновую полумаску с двумя резиновыми муфтами по бокам. В муфты вставлены сменные цилиндрические патроны из картона или пластмассы, снаряженные сорбентом. Респираторы снабжены патронами марок А и КД, каждый из которых используется строго по назначению.

Для защиты рук от агрессивных химических веществ применяют резиновые перчатки. Для защиты глаз применяют защитные очки, выпускаемые в соответствии с требованиями ГОСТ 12.4.013 – 85Е «Очки защитные».

В местах работы с кислотами и щелочами установлены аптечки с нейтрализующими растворами.

Средства защиты применяют для предотвращения или уменьшения воздействия на работающих опасных и вредных производственных факторов. К средствам защиты предъявляют следующие требования: они должны обеспечивать высокую степень защитной эффективности и удобство при эксплуатации; должны создавать наиболее благоприятные для человека соотношения с окружающей внешней средой и обеспечивать оптимальные условия для трудовой деятельности.

С целью защиты работающих от воздействия формалина, метанола, паров кислоты и щелочи производственные помещения снабжены системой приточной и вытяжной вентиляции.

В производственных помещениях и на открытых установках производства предусмотрены датчики сигнализации предельных концентраций углеводородов типа СТМ-10.

Все виды ремонтных работ и работ по обслуживанию оборудования производятся в спецодежде, спец.обуви и в каске.

6.2.Производственные метеорологические условия

Метеоусловия – сочетание параметров микроклимата, которое при длительном воздействии на человека обеспечивает сохранение нормального состояния организма. Метеоусловия должны обеспечивать сохранение ощущение теплового комфорта и создавать наиболее благоприятные условия для высокой работоспособности.

Метеорологические условия производственной среды (рабочих помещений, производственных цехов, открытых рабочих площадок и др.) зависят от физического состояния воздушной среды и характеризуются такими метеорологическими элементами как: температура, влажность и скорость движения воздуха, а также тепловым излучением от нагретых поверхностей оборудования. Совокупность этих факторов, характерных для

данного производственного участка, называется производственным микроклиматом.

Так, увеличение движения воздуха ослабляет неблагоприятное действие высокой температуры и усиливает и усиливает действие низкой; повышение влажности воздуха усугубляет действие как высокой, так и низкой температуры. Следовательно, в одних случаях сочетание метеорологических факторов создает благоприятные условия для нормального протекания жизненных функций организма, а в других – неблагоприятные, что может привести к нарушению терморегуляции организма.

Производственные метеоусловия регламентируются "Санитарными нормами проектирования промышленных предприятий СанПиН 2.2.4.548 – 96

Чтобы в зимний период рабочие могли обогреться, а в местах укрыться от зноя и осадков, в помещении создается специальный микроклимат. В теплый период года температура воздуха должна быть 20 – 22°C, а в холодный период 22 – 24°C, относительная влажность воздуха 30 – 60 %, скорость воздуха 0,2 – 0,7 м/с.

Для обеспечения нормальных метеорологических условий и поддержания теплового равновесия между телом человека и окружающей средой, в цехе проводится ряд мероприятий:

- механизация и автоматизация тяжелых и трудоемких работ, выполнение которых сопровождается избыточным теплообразованием в организме человека;

- дистанционное управление теплоизлучающими процессами и аппаратами (гетерогенно каталитическое окисление метанола в контактном аппарате), что исключает необходимость пребывания работающих в зоне инфракрасного излучения;

- рациональное размещение и теплоизоляция оборудования, аппаратов, коммуникаций и других источников, излучающих на рабочие места

конвекционное и лучистое тепло.

Теплоизлучающее оборудование установлено на открытой площадке. Теплоизоляция осуществлена с таким расчетом, чтобы температура наружных стенок теплоизлучающего оборудования не превышала 45°C;

- источники интенсивного влаговыделения снабжены крышками;
- организация рационального водно-солевого режима с целью профилактики перегрева. Для этого к питьевой воде добавляют небольшое количество (0,2 – 0,5%) поваренной соли и насыщают ее углекислым газом (сатурируют). Питье подсоленной воды приводит к более быстрому восстановлению водно-солевого равновесия, утоляет жажду, компенсирует потоотделение и уменьшает потерю массы; углекислый газ придает воде вкус и улучшает секрецию желудочного сока;
- обеспечение рабочих рациональной спец.одеждой и спец.обувью.

6.3 Производственная освещенность

Одним из важнейших элементов благоприятных условий труда является рациональное освещение помещений и рабочих мест. При правильном освещении повышается производительность труда, улучшаются условия безопасности, снижается утомляемость. При недостаточном освещении рабочий плохо видит окружающие предметы и плохо ориентируется производственной обстановке. Успешное выполнение рабочих операций требует от него дополнительных усилий и большого зрительного напряжения. Неправильное и недостаточное освещение может привести к созданию опасных ситуаций. Наилучшие условия для полного зрительного восприятия создает солнечный свет.

Для освещения производственных, служебных, бытовых помещений используют естественный свет и свет от источников искусственного освещения.

Естественное освещение

Источник естественного (дневного) освещения – солнечная радиация,

т.е. поток лучистой энергии солнца, доходящей до земной поверхности в виде прямого и рассеянного света.

В дневное время производственные здания освещаются естественным светом. Естественный солнечный свет характеризуется большой интенсивностью, равномерностью освещения, относительно невысокой средней яркостью на единицу площади, изменением освещенности в течение суток.

Основной величиной для расчета и нормирования естественного освещения внутри помещений принят коэффициент $e, \%$, естественной освещенности (КЕО), представляющий собой отношение естественной освещенности внутри помещения $E_B, \text{лк}$, к одновременному значению наружной горизонтальной освещенности $E_H, \text{лк}$, создаваемой светом полностью открытого небосвода:

$$KEO = \frac{E_B}{E_H} \cdot 100. \quad (11.1)$$

Нормы естественного освещения промышленных зданий, сведенные к нормированию коэффициента естественной освещенности (КЕО) представлены в СНиП 23 – 05 – 95. СНиП 23 – 05 – 95 устанавливает требуемую величину КЕО в зависимости от точных работ, вида освещения и географического расположения производства. В таблице 12.3 приведены значения КЕО.

Таблица 11.3 – Значения коэффициента естественной освещенности для производственных освещений

Разряд работ	Характеристика зрительной работы		Значения КЕО	
	Виды работ по степени точности	Наименьший размер объекта различения, мм	При верхнем или комбинированном освещении	При боковом освещении в зоне с устойчивым снежным покровом

III	Высокой точности	0,3 – 0,5	5	1,6/2,0
-----	------------------	-----------	---	---------

Расчет естественного освещения заключается в определении площади световых проемов для помещения. Расчет ведем по формуле:

$$100 \cdot \frac{S_0}{S_n} = \frac{e_n \cdot K_3 \cdot \eta_0}{\tau_0 \cdot r_1} \cdot K_{зд}; \quad (11.2)$$

где, S_0 – суммарная площадь световых проемов окон (3 м 2,5 м = 7,5 м²); S_n – площадь пола помещения (8 м 4 м = 32 м²); e_n – нормированное значение КЕО (1,6); K_3 – коэффициент запаса ($K_3 = 1,2 – 2,0$); η_0 – световые характеристики окна (23); τ_0 – общий коэффициент светопропускания (0,4); r_1 – коэффициент, учитывающий отражение света при боковом и верхнем освещении (1,6); $K_{зд}$ – коэффициент, учитывающий затемнение окон противостоящими зданиями, ($K_{зд} = 1 – 1,7$).

При боковом естественном освещении площадь светового проема равна:

$$S_0 = \frac{e_n \cdot K_3 \cdot \eta_0}{\tau_0 \cdot r_1} \cdot K_{зд} \cdot \frac{S_n}{100} = \frac{1,6 \cdot 1,4 \cdot 15 \cdot 1,5 \cdot 32}{0,4 \cdot 1,6 \cdot 100} = 25,2 \text{ м}^2.$$

$S_0 = 25,2 \text{ м}^2$ площадь 3 окон, а одного окна равна 8,4 м².

Таким образом, площадь световых проемов (окна) соответствует допустимым нормам.

Искусственное освещение.

Искусственное освещение предусматривается в помещениях, в которых недостаточно естественного света, или для освещения помещения в часы суток, когда естественная освещенность отсутствует.

Искусственное освещение нормируется в единицах освещенности – люксах (Лк). Выбор освещенности производится в соответствии со СНиП 23 – 05 – 95. Освещенности помещений приняты по действующим нормам

искусственного помещения:

а) для освещения производственных отделений и открытых площадок с устанавливаемыми на них аппаратами не менее 30 люкс;

б) для освещения помещения КИП – 200 люкс (при люминесцентном освещении);

в) для освещения бытовых помещений – 30 люкс.

Так как по санитарным нормам на ЦПУ освещенность должна быть 200 Лк, то при этом используют люминесцентные лампы типа ЛБУ. Они создают в производственных помещениях искусственный свет, приближающийся к естественному, более экономичны в сравнении с другими лампами и создают освещение более благоприятное с гигиенической точки зрения.

Освещение территории цеха предусматривается светильниками наружного освещения типа УПМ-500, СХ-500.

Для освещения при работе внутри аппаратов предусмотрены светильники во взрывозащищенном исполнении. Подвесной светильник повышенной надежности против взрыва типа НОГЛ-80 с люминесцентной лампой мощностью 80 Вт используют для общего освещения взрывоопасных зон классов В-Iа, В-Iг.

В случае отключения рабочего освещения в производственных помещениях предусмотрено аварийное освещение.

Проводка для освещения производственных пожароопасных помещений и открытых площадок приняты типа СХ, подвешенные на трубных стойках (торшерах).

Для освещения нормальных помещений предусматриваются светильники типа "Универсаль", "Люцетта" и для освещения помещения КИП – люминесцентные светильники.

Проводка к светильникам в производственных пожароопасных помещениях предусматривается проводом марки АПРТО в газовых трубах и кабелем марки АВРГ.

Питающие кабели, идущие от трансформаторной подстанции до

распределительных пунктов предусматриваются марки АСБ со свинцовой оболочкой ввиду закисленности грунта.

6.4. Шумы и вибрация

Некоторые производственные процессы сопровождаются значительным шумом и вибраций. Источники интенсивного шума и вибрации являются машины и механизмы с неуравновешенными вращающимися массами, в отдельных кинематических парах которых возникают трение и соударения, а также технологические установки и аппараты, в которых движение газов и жидкостей происходит с большими скоростями и сопровождается пульсацией.

Повышение уровня шума и вибрации на рабочих местах оказывает вредное воздействие на организм человека.

В результате длительного воздействия шума нарушается нормальная деятельность сердечно-сосудистой и нервной системы, пищеварительных и кроветворных органов. Вибрация воздействует на центральную нервную систему, желудочно-кишечный тракт, органы равновесия, вызывает головокружение т.д.

Шум – это совокупность звуков различной частоты и интенсивности (силы), возникающих в результате колебательного движения частиц в упругих средах (твердых, жидких, газообразных).

При нормировании шумовых характеристик рабочих мест, как правило, регламентируют общий шум на рабочем месте независимо от числа источников шума в помещениях и характеристик каждого в отдельности.

"Санитарными нормами проектирования промышленных предприятий" (ГОСТ 12.1.003-88) определены допустимые уровни параметров шума и вибрации. Норма составляет 80 дБ.

При постоянном шуме на рабочем месте нормируется уровень звукового давления (в дБ) октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами 63, 125, 350, 500, 1000, 2000, 4000, 8000

Гц.

Наиболее шумным из помещений, где расположено оборудование производства формалина, является помещение воздуходувной, где уровень звукового давления во всех частотах превышает допустимые уровни для производственных помещений с постоянным пребыванием людей. Для воздуходувного отделения, где нет постоянного рабочего места и пребывание человека в смену не превышает один час, применяются индивидуальные средства защиты антифоны, "беруши".

Вибрация – это колебания твердых тел – частей аппаратов, машин, оборудования, сооружений, воспринимаемые организмом человека как сотрясения. Часто вибрации сопровождаются слышимым шумом. Местная вибрация характеризуется колебаниями инструмента и оборудования, передаваемыми к отдельным частям тела. При общей вибрации колебания передаются всему телу от работающих механизмов на рабочем месте через пол, сиденье или рабочую площадку. Наиболее опасная частота общей вибрации лежит в диапазоне 6 – 9 Гц, поскольку она совпадает с собственной частотой колебаний внутренних органов человека, в результате чего может возникнуть резонанс.

Гигиенические допустимые уровни вибрации регламентирует ГОСТ 12.1.012 – 96 «Вибрация. Общие требования безопасности». Нормируемыми параметрами общих вибраций являются среднеквадратичные величины колебательной скорости в октавных полосах частот со среднегеометрическими значениями.

Согласно этим нормам, уровень вибрации оценивается по спектру виброскорости в диапазоне частот от 11 до 2800 Гц в октавных полосах частот со следующими среднегеометрическими значениями: 5; 16; 31; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000 Гц.

Установлены предельно допустимые величины, ограничивающие общие вибрации: при частоте до 11 Гц – нормируемым параметром является смещение, при частоте от 11 до 355 Гц – виброскорость.

Для измерения вибрации применяются виброметры и шумомеры с дополнительным приспособлением – предусилителем, устанавливаемым вместо микрофона.

Одним из основных организационных мероприятий по борьбе с шумом и вибрацией является исключение из технологического процесса виброакустически-активного оборудования.

Основными техническими мероприятиями являются:

- правильное проектирование фундамента под нагнетатели воздуха с учетом динамических нагрузок;
- наличие виброоснования у вентиляционных установок;
- шумоглушение на всасывании и выхлопе вентиляционных систем.

С целью защиты обслуживающего персонала от шума и вибрации здания и сооружения выполнены согласно санитарным нормам, вентиляторы установлены на виброоснованиях и подсоединены к воздуховодам через мягкие вставки.

Защита от шума достигается качественным монтажом отдельных узлов машин, динамической их балансировкой и современным проведением планово-предупредительных ремонтов. Необходимо также своевременно проверять работу подшипников, устранять удары и биения деталей при возникновении зазоров в сочленениях, прочно закреплять кожухи, ограждения. Уменьшить шум на рабочих местах можно установкой звукопоглощающих конструкций близ источника шума или рабочего места. Конструкцию и материал звукопоглощающих облицовок выбирают, исходя из частотной характеристики шума и звукопоглощающих свойств материала.

Для защиты от вибрации широко используют вибропоглощающие и виброизолирующие материалы и конструкции. Виброизоляция – это снижение уровня вибрации защищаемого объекта, достигаемое уменьшением передачи колебаний от их источника.

6.5 Техника безопасности

Планировку промышленного района связывают с планировкой прилегающих районов города. Промышленные предприятия целесообразно проектировать объединенными в промышленные узлы с общими для предприятий вспомогательными производствами. Данное производство удобно расположено в плане источника сырья и сбыта готовой продукции.

Генеральные планы промышленных предприятий проектируют с соблюдением требований действующих СНиП, инструкций по разработке схем генеральных планов, санитарных норм проектирования промышленных предприятий, ГОСТов и других нормативных документов.

Производство формалина по противопожарным нормам Н-102-54 строительного проектирования относится к категориям «А» и «Б», а по санитарным нормам к классу I (воздуходувное отделение) и классу III (наружная установка). Ширина санитарно-защитной зоны 1000м.

Цех расположен на территории Томского Нефтехимического комбината и имеет подъездные пути с двух сторон.

По материалам инженерно-геологических изысканий грунты имеют следующую характеристику:

- 1) почвенный слой;
- 2) суглинок лессовидный – заболоченный;
- 3) грунтовая вода повсеместно на поверхности земли.

Грунтовые воды по отношению к бетону не являются агрессивными. Глубина промерзания грунта согласно НТУ-187-55 принимается 2,25 м от спланированной отметки территории комбината.

Технологический процесс определяется параметрами, при которых обеспечивается нормальное его функционирование. Технологическими параметрами называются измеримые величины, определяющие состояние веществ, образующихся в данном процессе. Наиболее важным для определения степени безопасности технологического процесса являются физико-химические параметры: давление, температура и концентрация

веществ.

Особоопасные стадии в производстве формалина является:

1. Приготовление метанола-воздушной смеси - в испарителе поз.Е2а возможно образование взрывоопасных смесей.

2. Синтез формальдегида - в контактном аппарате поз.Р1 возможен взрыв и термические ожоги.

3. Установка термического обезвреживания - процесс обезвреживания абгазов, для получения горячей воды с температурой до 140°C, протекает с применением в качестве топлива природного газа, способного образовывать взрывоопасные смеси с воздухом.

В целях исключения возникновения взрывов, пожаров, отравлений, ожогов, травм при эксплуатации производства должны соблюдаться следующие обязательные условия:

Ведение технологического режима осуществляют в строгом соответствии с требованиями и нормами технологического регламента. При этом необходимо контролировать и выдерживать в заданных пределах следующие параметры:

- Расход воздуха в спиртоиспаритель поз.Т1, Е2а. При изменении подачи воздуха изменяется состав спиртовоздушной смеси, производительность агрегата. При избытке воздуха увеличиваются побочные реакции с выделением углекислого газа, кроме того, может образоваться взрывоопасная концентрация метанола. При недостаточном количестве воздуха увеличиваются побочные реакции с образованием метана. При значительном недостатке воздуха возможно выделение свободного углерода.

- Температуру в спиртоиспарителе. Снижение температуры в испарителе поз.Е2а на 1°C ведет к повышению температуры в контактном аппарате поз.Р1 на 100°C, а повышение температуры в испарителе на 1°C ведет к снижению температуры в контактном аппарате на 100°C.

- Изменение уровня в испарителе поз.Е2а приведет к изменению интенсивности испарения метанола.

- Температуру спиртовоздушной смеси после теплообменника поз.Т2. Понижение температуры ведет к попаданию капель жидкости на катализатор, что ведет к потере его активности и замедлению реакции образования формальдегида.

- Температуру в контактном аппарате поз.Р1. Изменение температуры в сторону повышения ведет к образованию побочных реакций.

- Температуру реакционных газов на выходе из подконтактного холодильника. Пониженная температура способствует полимеризации формальдегида в трубках холодильника, повышенная - продолжению побочных реакций.

- Температуру в кубе абсорбционной колонны поз.К1. При высокой температуре ухудшается поглощение формальдегида, при низкой - происходит его полимеризация.

- Состав и температуру выхлопных газов. По составу абгазов определяется характер протекания реакции в контактном аппарате, температура влияет на состав выхлопов.

- Температуру в стандартизаторах. Понижение температуры вызывает полимеризацию формальдегида, повышение - приводит к его потерям и загрязнению атмосферы.

- Температуру куба ректификационной колонны поз.К2. Понижение температуры вызывает увеличение концентрации метанола в кубовой жидкости, повышение приводит к увеличению концентрации формальдегида в дистилляте.

- Вакуум в ректификационных колоннах. Понижение вакуума приводит к увеличению концентрации метанола в кубовой жидкости и повышению кислотности.

Чтобы избежать аварийных ситуаций в процессе получения формальдегида необходимо для следующих параметров строго соблюдать границы критических значений:

1. Снижение объемной доли метанола в метаноловоздушной смеси

менее 34,7% ведет к обеднению метанола-воздушной смеси и как следствие, к взрыву. Поэтому, объемная доля метанола в метанола-воздушной смеси должна быть (45-50) %, а массовая доля метанола в жидкой фазе испарителя поз.Е2а – не менее 20 % .

2. Уровень в испарителе поз.Е2а поддерживать не ниже 30 %.

3. Температуру метанола-воздушной смеси после огнепреградителя поз.Х3 поддерживать (100-180)°С.

4. Температуру в контактном аппарате поддерживать (550-600)°С при "мягком режиме" и (640-700)°С при "жестком режиме".

Процесс каталитического окисления метанола протекает в контактном аппарате. Рабочее давление в трубках аппарата 0,065МПа, в межтрубном пространстве – 0,2 МПа.

Межтрубное пространство контактного аппарата перед эксплуатацией подвергают гидравлическому давлению 0,2 МПа; трубное пространство после монтажа подвергают гидравлическому давлению 1,6 МПа.

Конструкция контактного аппарата должна быть герметична, так как нарушение герметичности является одной из основных причин аварии, пожаров и несчастных случаев. Образование неплотностей и связанных с этим утечек опасных газов и паров жидкостей возможно в разъемных соединениях крышек, люков, разъемных фланцевых и резьбовых соединениях, сальниковых устройствах.

Герметичность осуществляется за счет фланцевых уплотнений типа шип – паз и правильным подбором прокладок (паронит).

Надежная изоляция контактных аппаратов также ведет к безопасности производства.

Аппараты, контактирующие с агрессивной средой, изготовлены из высоколегированной стали марки 12Х18Н10Т.

Меры для предупреждения аварийной разгерметизации:

- Оборудование, содержащее формалин, сообщается с атмосферой через огнепреградители.

- Оборудование, работающее под давлением более 0,7 кгс/см² (согласно Ростехнадзору), обеспечивается установкой предохранительных клапанов (на паросборнике и конденсатосборнике). На паросборнике, помимо рабочего, устанавливается контрольный предохранительный клапан. В кубе ректификационной колонны поз.К2, имеющей 70 тарелок, установлено 2 предохранительных клапана.

- Для предотвращения повышения давления от перегрева метанола на аппарате получения метанола-воздушной смеси устанавливается предохранительный клапан.

На контактном аппарате установлена предохранительная мембрана для предотвращения разрыва аппарата.

- Во избежание образования взрывоопасной смеси метанола и формальдегида с воздухом для оборудования, содержащего метанол и формалин, предусматриваются системы "азотного дыхания".

- В помещении насосном, при выделении паров метанола и формальдегида выше 20 % от НКПВ, предусмотрена звуковая и световая сигнализация взрывоопасной концентрации, сброкированная с аварийной вентиляцией.

- Для уменьшения вредных выделений в помещении насосном предусмотрены бессальниковые герметичные электронасосы и насосы с двойными торцевыми уплотнениями.

- Аппараты и коммуникации тщательно герметизируются. Жидкие и газообразные продукты транспортируются по трубопроводам.

- Аппараты и трубопроводы, находящиеся в помещении с температурой выше плюс 45°С, а также все трубопроводы и емкости, находящиеся на улице, теплоизолированы.

- Перед ремонтом аппараты и трубопроводы опорожняются в подземные емкости, промываются и продуваются сжатым азотом и воздухом.

6.6. Электробезопасность

Электробезопасность – система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, статического электричества.

Изоляция

Исправность изоляции – основное условие, обеспечивающее безопасность эксплуатации и надежность электроснабжения электроустановок. В электроустановках применяются следующие виды изоляций: рабочая изоляция – электрическая изоляция токоведущих частей, обеспечивающая нормальную работу электроустановки и защиту от поражения электрическим током; дополнительная изоляция – электрическая изоляция, предусмотренная дополнительно к рабочей изоляции для защиты от поражения электрическим током в случае повреждения рабочей изоляции.

Регулярное наблюдение за состоянием изоляции электрических сетей – одна из основных мер, предотвращающих поражение человека электрическим током. Контроль сопротивления изоляции может быть периодическим и непрерывным. Сопротивление изоляции силовых и осветительных электропроводов должно быть не ниже 0,5 МОм.

Во взрывоопасных зонах всех классов с химически активными средами должны применяться провода и кабели с поливинилхлоридной изоляцией, а также провода с резиновой изоляцией и кабели с резиновой и бумажной изоляцией в свинцовой или поливинилхлоридной оболочке.

Чтобы обеспечить надежную работу электрооборудования в химически активных средах, необходимо исключить возможность проникновения химически активных реагентов в оболочки электрооборудования и применять специальные конструкционные материалы и защитные покрытия. Конструкция вводных устройств электрооборудования должна обеспечивать защиту токоведущих частей, изоляции и мест соединений от воздействия химически активных сред, для которых оно предназначено.

Статическое электричество

Заряды статического электричества могут возникнуть при соприкосновении или трении твердых материалов, при размельчении или пересыпании однородных и разнородных непроводящих материалов, при разбрызгивании диэлектрических жидкостей, при транспортировке сыпучих веществ по трубопроводам и др.

Продукты, используемые при производстве формалина имеют объемное сопротивление, что способствует возникновению статического электричества при их транспортировке, так как все трубопроводы и аппараты изготовлены из углеродистой и легированной стали.

Для предупреждения возможности накопления разрядов статического электричества на производстве формалина предусмотрены:

1. Заземление оборудования, трубопроводов.
2. Скорость транспортирования по трубопроводам метанола, формалина не должна превышать 10 м/с.

Одним из надежных методов снижения потенциалов статического электричества является заземление всех металлических частей оборудования, где возможна электризация. Заземлять следует не только те части оборудования, которые участвуют в регенировании зарядов, но и все другие изолированные проводники, которые могут зарядиться по индукции.

Оборудование следует считать электростатически заземленным, если сопротивление в любой точке при самых неблагоприятных условиях не превышает 10^6 Ом.

Заземление

Защитным заземлением называется преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением при замыкании на корпус и по другим причинам. Задача защитного заземления – устранение опасности поражения током в случае прикосновения к корпусу и другим токоведущим металлическим частям электроустановки, оказавшимся под напряжением.

Защита зданий, сооружений, оборудования, трубопроводов от прямых

ударов молнии, осуществляется путем присоединения корпусов отдельных аппаратов к заземляющему устройству и установкой молниеприемников. Защита аппаратов и трубопроводов от статической индукции и статического электричества осуществляется присоединением к контуру заземления.

Система устройства заземления состоит из внутреннего и внешнего контуров.

Внешний контур выполнен из электродов, изготовленных из стальных вертикальных стержней длиной 2,5 м и соединенных между собой полосовой сталью (4х40) мм. Внутренний контур заземления выполнен из полосовой стали (4х25) мм, (4х40) мм и присоединен к внешнему. Все соединения заземляющего устройства выполнены сваркой.

Все электрооборудование, пусковая аппаратура, оборудование, трубопроводы, а так же все металлические части, нормально не находящиеся под напряжением, но могущие под таковым оказаться вследствие нарушения изоляции, заземлены присоединением к контуру.

Металлические вентиляционные короба и кожухи теплоизоляции трубопроводов также присоединены к внутреннему контуру защитного заземления.

Заземление кабельных конструкций осуществляется с помощью строительных металлоконструкций, на которых они установлены.

Колонные и емкостные аппараты заземлены в двух точках.

6.6. Пожаровзрывобезопасность

Для максимального ограничения количества горючих веществ, которые могут поступать в окружающую среду при аварийной разгерметизации системы, производства формалина разделено на блоки, каждый из которых должен быть отключен от технологической схемы запорной арматурой без опасных изменений режима, приводящих к развитию аварии в смежной аппаратуре.

Оценка взрывоопасности блоков производства формалина произведена

в соответствии с "Общими правилами взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств" утвержденными Ростехнадзором СССР 06.09.88 г. АООТ "Сибхимпроект" (г.Новосибирск).

Расчетная категория взрывоопасности для всех блоков III, а так как формалин - вещество II класса опасности, то для всех блоков устанавливается II категория взрывоопасности в таблице 11.4.

Таблица 11.4 – Категории взрывоопасности для всех блоков

№ блока и наименование	Границы блока	Общий энергетический потенциал взрывоопасности E,кДж	Относительный энергетический потенциал взрываемости	Категория взрывоопасности	Радиус разрушения блока, м
1	2	3	4	5	6
1.Испарение метанола	Испаритель поз.Е2а, теплообменник поз.Т2, перегреватель поз.Т2, огнепреградитель поз.Х3	$7,67 \cdot 10^7$	25,7	III	5,5
2.Синтез формальдегида	Реактор поз.Р1	$2,35 \cdot 10^7$	25,7	II	2,8
3.Абсорбция формальдегида и метанола	Абсорбционная колонна поз.К1	$2,7 \cdot 10^7$	18,2	II	3,0
4.Охлаждение формалина	Теплообменник поз.Х4, насос поз.Н3/1,2	$1,0 \cdot 10^7$	13,0	II	1,5
5.Подача абгаза на сжигание	Трубопроводов абгазов от абсорбционной колонны поз.К1	$3,85 \cdot 10^7$	9,5	III	0,8
6.Ректификация формалина	Ректификационная колонна поз.К2, сборник поз.Е5, вакуум-насос поз.Н7/1,2	$3,03 \cdot 10^7$	18,9	II	3,3

7.Транспортировка метанола в испаритель	Насос поз.Н6/1,2	2,3 10 ⁷	17,2	III	2,8
8.Стандартизация	Стандатизатор	1,04 10 ⁷	6,1	II	-
9.Транспортировка формалина	Насос	0,78 10 ⁷	5,7	II	0,23
10.Прием и подача метанола в процесс	Трубопроводы метанола	5,06 10 ⁷	22,4	III	4,2
11.Опорожнение метанола	Емкость	4,88 10 ⁷	4,8	II	0,18
12.Хранение формалина	Емкость	5,06 10 ⁷	22,4	II	1,6
13.Перекачивание формалина в емкостях и налив в ж/д цистерны	Насосы	1,16 10 ⁷	16,8	II	1,2

Пожаровзрывоопасные свойства сырья, полупродуктов, готовой продукции и отходов производства представлены в таблице 12.5.

Таблица 12.5 – Пожаровзрывоопасные свойства сырья, полупродуктов, готовой продукции и отходов производства (ГН 2.2.4.586 – 98)

Наименование сырья, полупродуктов, готовой продукции, отходов производства	Класс опасности ГОСТ 12.1.007 -76	Температура, °С			Концентрационный предел воспламенения	
		ВСП	ВОСП	Само. ВОСП.	Нижний	Верхний
1	2	3	4	5	6	7
Метанол	3	8	13	464	6	34,7
Формалин (по формальдегиду)	2	56-85	62-80	435	7	73
Едкий натр	2	-	-	-	-	-
Надсмольная вода	-	63	-	610	-	-

Азотная кислота	3	Не горючая. При контакте с горючими веществами вызывает их самовозгорание.				
Азотнокислое серебро		Не горючее				
Окислы азота	3	Не горючие				
Выхлопные газы (абгазы)	3			по водороду		
				500	4	75
				по окиси углерода		
				610	12,5	74
Природный газ (по метану)	3			с воздухом		
				537	4,9	15,4
				с кислородом		
					5,6	6,1

Для обеспечения пожарной безопасности производство формалина оборудуется первичными противопожарными средствами согласно "Нормам первичных средств пожаротушения для производственных складских и жилых помещений".

Пожаротушение внутри помещений осуществляется от пожарных кранов, оборудованных рукавами и стволами - распылителями.

В помещении насосной предусмотрена автоматическая система пожаротушения, сблокированная с отключением вентиляции.

Для пожаротушения наружной установки предусмотрены лафетные установки и стояки – сухотрубы.

На лестничных клетках на входе в здание и у этажерки по периметру здания установлены пожарные извещатели.

Для обнаружения подачи сигнала пожарной тревоги, локализации и ликвидации возможного пожара, в насосной и на наружной установке предусмотрена установка автоматического пожаротушения. Огнегасящее вещество – тонко распыленная вода. Подача воды на установку осуществляется по трубопроводам из распределительного пункта по секциям.

Насосная формалина (секции 4-13, 26-28) обслуживается дренажной установкой, которая приводится в действие автоматически или дистанционно

(с ЦПУ), или вручную.

Наружная установка, секции (14-17), обслуживается до 30 м - лафетными стволами, а колонные аппараты выше 30 м – кольцами орошения. Секции (14-17) приводятся в действие дистанционно и вручную.

Узлами управления являются клапаны типа КМ и вентили с электромагнитным приводом.

Для хранения необходимого запаса воды предусмотрен резервуар емкостью 1000 м³.

До пожара элементы установок находятся в состоянии контроля, трубопроводы до узлов управления заполнены водой и находятся под давлением импульсного устройства, а от узлов управления до секций (4-17) - "сухотрубы".

Автоматический пуск установки: При возникновении пожара в секциях (4-13), (22-26) срабатывают электроизвещатели, и сигналы поступают на вскрытие вентиля с электромагнитным приводом и включение насосов. При вскрытии вентиля срабатывает узел управления установкой, пропуская огнетушащее вещество по трубопроводам через оросители на очаг пожара.

Дистанционный пуск установки: Производится от приемной станции ППС-1 в корпусе в случае, если не сработала автоматическая система пуска.

На пульте ППС-1 тумблер соответствующей секции переводится в положение "дистанционное управление" и после нажатия кнопки "пуск" осуществляется дистанционное включение насосов, поступает сигнал на срабатывание электромагнитного вентиля, вскрывается соответствующий клапан типа КМ-150 в распределительном пункте и поступает вода по трубопроводам через оросители на очаг пожара.

Ручной пуск осуществляется при отказе автоматического пуска и при проверке системы.

Для вызова пожарной части у входа в корпус производства формалина, на ЦПУ расположены пожарные извещатели и кнопки отключения приточной вентиляции. Взрывопожарная и пожарная опасность, санитарная

характеристика производственных зданий, помещений и наружных установок в таблице 11.6.

Таблица 11.6 – Взрывопожарная и пожарная опасность производственных зданий, помещений и наружных установок

Наименование производственных зданий, помещений, установок.	Категория взрывопожар.и пожароопасности помещений и зданий ОНТП 24-86	Классификация зон внутри помещений для выбора и установки электрооборудования (ПУЭ)	
		Класс взрывоопасности или пожароопасной зоны	Категория и группа взрывоопасных смесей
Наружная установка	-	В-1г	2В-Т1 2В-Т2 2А-Т2
Стандартизация формалина.	-	П-3	-
Насосное отделение	А	В-1а	2А-Т2 2В-Т2
Воздуходувное отделение	Д	норм.	-
Теплопункт	Д	норм.	-
Факельная установка	-	В-1г	2В-Т2

VII. ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Мероприятия, связанные с охраной окружающей среды:

- охрану атмосферного воздуха от загрязняющих веществ;
- снижение концентрации загрязняющих веществ в сточных водах

производства.

Твердых отходов в производстве формалина нет.

7.1 Охрана атмосферного воздуха

Возможными источниками загрязнения атмосферы являются:

- абсорбционная колонна поз.К1,

- вакуум-насосы поз.Н6 процесса ректификации,
- сальники насосов,
- воздушники от аппаратов,
- факельная установка,
- дымовая труба УТО,
- парк емкостей формалина и наливная эстакада,
- аппараты каталитического отделения.

Выбросы формальдегида и метанола на производстве сведены до минимума.

Абсорбционные газы с верха колонны поз.К1 при стабильном ведении процесса получения формалина подаются на установку термического обезвреживания в водогрейные котлы КВГМ-10-150, где сгорают с выделением тепла.

Избыток выхлопных газов с узла абсорбции при работе и при аварии сжигается на факельной установке.

При остановке УТО в течение продолжительного времени возможно сжигание абсорбционных газов на факеле.

При пуске в атмосферу выбрасывается воздух с парами метанола. При остановке технологической нитки абгазы выбрасываются в атмосферу в течение 0,5 часа.

Инертные газы, содержащие метанол и формальдегид, от вакуум-насосов поз.Н6/1-2 направляются в верхнюю часть колонны поз.К1 и далее на сжигание.

Загрязнение воздуха от сальников насосов уменьшается ввиду использования герметичных насосов и насосов с двойным торцевым уплотнением.

Ко всем аппаратам с метанолом и формалином подведено "азотное дыхание", которое объединяются в общий коллектор и направляется на сжигание.

На складе формалина выбросы от "дыхания" емкостей, при приеме и

перекачивании формалина, и выбросы с наливной эстакады при заполнении железнодорожных цистерн очищаются частично в ловушках. Выбросы в атмосферу в таблице 12.1.

Таблица 12.1 – Выбросы в атмосферу

Аппарат, диаметр и высота выброса	Количество источников выбросов	Суммарный объем отходящих газов, м ³ /ч	Периодичность, ч/сутки	Характеристика выбросов		
				Температура, °С	Состав выброса	Допустимое количество Нормируемых компонентов, кг/ч
1. Колонна абсорбционная поз. К1 Н-14 м, d-4 м	3	6660,0	6 ч/год	21	Формальдегид-4 г/м ³ метанол – 7,0 г/м ³ , окись углерода – 50 г/м ³	0,012 0,0082 0,0145
2. Факел поз. Ф1 Н-23,5 м, d-0,5 м	1	20000,0	24	20	Окись углерода - 0,561 г/м ³ , оксиды азота - 0,084 г/м ³ , метан – 0,014 г/м ³	11,232 1,6848 0,2808

7.2 Очистка сточных вод

Сточные воды от производства формалина, образующиеся при опорожнении промывке насосов, перед ремонтом собираются в подземную емкость и по мере заполнения перекачиваются азотом в стандартизатор и далее в процесс.

Сточные воды от смыва полов через приямок у II технологической нитки направляются в химически загрязненную канализацию.

Ливневые стоки с отметок наружной установки через приямки технологических ниток направляются в ливневую канализацию.

Стоки от катализаторного отделения после предварительной

нейтрализации растворенной азотной кислоты через подземную емкость направляются в химически загрязненную канализацию.

Стоки от продувки водогрейных котлов, содержащие соли жесткости (Na_2CO_3 , CaCO_3 , MgCO_3) направляются в ливневую канализацию.

Стоки от смыва полов на складе формалина направляются в химически загрязненную канализацию. Сточные воды в таблице 12.2.

Таблица 12.2 – Сточные воды

Наименование стока	Куда сбрасывается	Количество стоков, м ³ /сутки	Периодичность стоков	Состав сбросов, мг/м	Допустимое количество сбрасываемых вредных веществ, кг/сутки
1. Сточные воды от промывки насосов	В емкость	0,5	Периодически 1 раз в 3 дня	Формальдегид-2000 метанол - 2000	ДВП, мг/л формальдегид 1,0, метанол-12,5
2. Сточные воды от смыва полов и ливневые стоки	В химзагрязненную канализацию	не более 20 м ³ , на операцию	Периодически 2 раза в сутки	Формальдегид-1860 метанол-1550	Формальдегид-1,0, метанол-12,5

7.3 Твердые отходы

Твердые отходы в таблице 13.3.

Таблица 12.3 – Твердые отходы

Наименование отхода	Куда складывается	Количество отходов кг/сутки	Периодичность образования	Характеристика отхода	
				Химический состав	Физические показатели
1. Отработанный катализатор «серере-»	Сдается на завод регенерации	7,40	При перегрузках катализатора в реакторах 3 раза в	Металлическое серебро, нанесенное	

бро на пемзе»	драгоцен- ных метал- лов		год	на гранулы пемзы, заг- рязненное сажей (мас- совая доля до 40%)	
2.Пемза раз- мером зерен менее 2 мм	Сдается как строи- тельные отходы на полигон ТБО в р-не д.Михай- ловки	0,192	При просеивании гранулированной пемзы перед про- цессом наработки катализатора	SiO ₂ до 74%, AlO+FeO+TiO до 24%, Mg н/б 3%, CaO н/б 5%	Твердое ве- щество пем- за кусковая или грану- лированная

7.4. ЗАЩИТА ЧЕЛОВЕКА В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

В связи с тем, что в производстве формалина используются взрыво-пожароопасные метанол и формальдегид, возможны аварийные ситуации, которые могут привести к разрушению зданий, сооружений, технологического оборудования и несчастным случаям с технологическим персоналом, разработан план ликвидации аварийных ситуаций. Все аварийные ситуации выходят на уровень А.

Межблочная арматура, которая используется в аварийных ситуациях, перекрывается дистанционно или вручную.

Расчетное время для закрытия межблочной арматуры – дистанционно 50 секунд, вручную – 2-5 минут.

Меры безопасности при ведении технологического процесса, и производственных операций

Работать только на исправном оборудовании с исправными приборами КИП и средствами автоматизации и управления. Работа на неисправном или негерметичном оборудовании может создать условия для прорыва горючих, токсических паров или газов и образования взрывоопасных смесей. Работа с неисправными приборами КИП может привести к значительному

отклонению технологических параметров от норм, что, в свою очередь, может вызвать повышенную загазованность, взрыв или пожар.

Не допускать работы оборудования без ограждения движущихся частей и надежного заземления с целью защиты от статического электричества, грозы и вторичных проявлений молнии.

Технологический процесс вести только при нормально работающей вентиляции. Неисправность вентиляционных систем может привести к загазованности производственных помещений и, как следствие, вызвать отравление, пожар, взрыв.

Не допускать заполнения емкостей с ЛВЖ и ГЖ более, чем на 80 % объема во избежание проливов, утечек.

К работе с оборудованием, подведомственным органам Госгортехнадзора, допускаются лица, имеющие удостоверение о сдаче экзамена по "Правилам и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением".

Подвод азота, воздуха к аппаратам и трубопроводам для продувки осуществлять с помощью съёмных участков трубопроводов или гибких шлангов. Крепление шлангов к штуцерам производить с помощью хомутов.

Обслуживающий персонал должен находиться на рабочем месте в спецодежде установленной формы, иметь при себе индивидуальные средства защиты, знать расположение аварийных запасов противогазов и средств пожаротушения.

Курение, проведение постоянных огневых работ разрешается только в специально отведенных местах.

Возможные неполадки, аварийные ситуации и способы их ликвидации в таблице 13.1.

Таблица 13.1 – Возможные неполадки, аварийные ситуации и способы их ликвидации

Возможные неполадки,	Причины возникновения	Способы устранения
----------------------	-----------------------	--------------------

аварийные ситуации		
1	2	3
1.Понижение давления пара на паровом коллекторе или на РОУ	1.Неисправность клапана 2.Прекращение подачи пара с котельной	1.Отрегулировать давление пара вручную, открыв байпас на клапане 2.При снижении давления пара менее 1,75 кгс/см ² произвести аварийную остановку отделения согласно инструкции Ц-2
2.Понижение давления оборотной воды менее 2 кгс/см ²	Неисправность насоса или его остановка	1.Снизить нагрузку по воздуху на установку до (4000-5000) м ³ /ч 2.Включить резервный насос. При длительном отсутствии воды произвести аварийную остановку отделения согласно инструкции Ц-2
3.Понижение напряжения в сети	Кратковременное падение напряжения, менее 2 сек 2.Падение напряжения более 2 сек	1.Провести работоспособность всех эл.агрегатов. В случае отключения, произвести запуск 2.Произвести аварийную остановку отделения согласно инструкции Ц-2
4.Прекращение подачи метанола	Неполадки в работе насосов	Снизить нагрузку по воздуху до (4000-5000) м ³ /ч Откачать метанол из емкости (до уровня 30%) в испаритель поз.Е2а При длительном отсутствии метанола произвести аварийную остановку отделения согласно инструкции Ц-2
5.Массовая доля метанола в испарителе поз.Е2а менее 20%	Неисправен уровнемер поз.LIRCSA-11	Увеличить расход метанола для получения заданной по регламенту концентрации, отрегулировав уровень визуально по стеклам Закрыть арматуру у уровнемера поз.LIRCSA-11 и проверить работу Контроль вести визуально по стеклам

6. Возникновение местного пожара	Разгерметизация трубопроводов, оборудования (загорание пролитой жидкости)	Выключить приточно-вытяжную вентиляцию. Закрывать окна и двери, если пожар произошел в помещении. Вызвать пожарную охрану по телефону или по пожарному извещателю. Вызвать газоспасательную службу. Приступить к тушению пожара первичными средствами пожаротушения. Порядок дальнейших действий
		визуально определяется согласно «Плана ликвидации аварийных ситуаций».

Чтобы землетрясение и наводнение не наносили урон технологическому оборудованию, следует повышать механическую прочность вновь строящихся зданий и сооружений. Это достигается соответствующей планировкой, а также применением более прочных конструкций и материалов. Построенные здания и сооружения для повышения их прочности могут усиливаться металлическими стойками и балками. Кроме того, необходимо стремиться к уменьшению высоты производственных зданий.

Большинство толстостенных реакционных и ректификационных колонн, аппаратов довольно устойчивы к воздействию ударной волны. Наиболее характерным повреждением является их опрокидывание.

Емкости и хранилища, установленные внутри и снаружи зданий могут быть сброшены с фундаментов или разрушены вследствие отрыва днища или разрыва по швам. Наиболее эффективный способ повышения устойчивости этих сооружений – заглубление их на высоту с усилением крепления.

Емкости с сжиженными или газообразными веществами, находящиеся под давлением, устанавливаются на фундаментах с глубокими гнездами и мощной анкерровкой. Штуцера таких емкостей защищаются стальными колпаками.

Здания цехов, оборудование, емкости могут обкладываться мешками с песком для защиты от поражающих факторов землетрясения и падающих обломков разрушающих конструкций.

При строительстве новых предприятий необходимо предусматривать, чтобы запасы сильнодействующих и легколетучих веществ были рассредоточены по территории завода.

Для быстрой ликвидации последствий разлива ядовитых жидкостей необходимо заблаговременно создать запасы дегазирующих веществ и воды вблизи хранилищ.

Гражданская оборона

Гражданская оборона представляет собой систему общегосударственных мероприятий, осуществляемых в мирное и военное время для защиты населения и народного хозяйства от оружия массового поражения и других средств нападения противника, а также для проведения спасательных и неотложных аварийно-восстановительных работ в очагах поражения.

Необходимо повысить огнестойкость зданий и сооружений. Для этого здания и сооружения выполняют из железобетона. В целях уменьшения разрушения все основное оборудование расположено на открытой площадке на фундаментах. Компонировка выбрана так, что аппараты с веществами, представляющими наибольшую опасность, расположены на максимальном расстоянии от места нахождения персонала.

Повысить устойчивость зданий и сооружений можно следующим образом:

- увеличить механическую прочность зданий и сооружений установкой железобетонных каркасов, усилением металлическими балками и стойками;
- повысить устойчивость наиболее важных сооружений. Для этого их необходимо строить заглубленными или с уменьшением площадью стен и высотой, что значительно увеличивает сопротивляемость их ударной волне.

VIII. ОРГАНИЗАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ПРОИЗВОДСТВА

8.1. Анализ среды предприятия

1. Потребитель

1.1 Отрасль: производство карбамидоформальдегидных смол.

1.2 Текущее состояние этой отрасли: состояние роста.

1.3 Размер предприятия: крупное.

1.4 Тип производства: массовое.

1.5 Потребность в оборудовании и уровень автоматизации производства:

оборудование предприятия не нуждается в модернизации, производство полностью автоматизировано.

2. Конкуренты.

2.1 г.Томск Нефтехимический завод, Новомосковский химический завод.

$$K_{КС} = \frac{КС_{\phi}}{КС_{Сильконк}} = \frac{8,09}{7,61} = 1,06$$

$K_{КС} > 1$, предприятие конкурентоспособно.

Расчет производственной мощности

Требуемые производственные мощности для непрерывного производства рассчитываются следующим образом:

$$M = \Pi_{\text{час}} T_{\text{эфф}} n; \quad (15.1)$$

где, $\Pi_{\text{час}}$ – часовая производительность ведущего оборудования, час;

$T_{\text{эфф}}$ – эффективное время работы оборудования за год по выпуску данного вида продукции, час;

$$T_{\text{эфф}} = T_{\text{н}} - T_{\text{ппр}} - T_{\text{то}}; \quad (15.2)$$

$T_{\text{н}}$ – номинальный фонд рабочего времени оборудования, $T_{\text{н}} = 365$ дней;

$T_{\text{ппр}}$ – время простоя в ремонтах за расчетный период, которые определяются из графика ППР, который берем из технологического регламента;

$T_{\text{то}}$ – время технологических остановок;

$$T_{\text{н}} = 365 \text{ дней} = 8760 \text{ часов};$$

$$T_{\text{ппр}} = 18 \text{ дней} = 432 \text{ часа};$$

$$T_{\text{то}} = 3 \cdot 8 = 24 \text{ часа (3 дня по 8 часов на каждый год)};$$

$$T_{\text{эфф}} = 8760 - 360 - 72 - 24 = 8304 \text{ часов};$$

$$\Pi_{\text{час}} = 15,8 \text{ т/ч};$$

n – количество однотипного оборудования, $n=3$.

По формуле (15.1) определим производственную мощность:

$$M = 15,833 \cdot 3 = 393609,6 \text{ тонн/год.}$$

Производственная программа:

$$N_{\text{год}} = K_{\text{им}} \cdot M; (15.3)$$

где, $K_{\text{м}}$ – коэффициент используемой мощности.

$$K_{\text{им}} = K_{\text{экс}} \cdot K_{\text{инт}} \cdot K_{\text{нарк}}; (15.4)$$

$$K_{\text{экс}} = \frac{T_{\text{эф.об}}^{\phi}}{T_{\text{эф.об}}^{\text{нл}}} = \frac{8304}{8760} = 0,94795; (15.5)$$

$$K_{\text{инт}} = \frac{P_{\text{раб}}}{P_{\text{техн}}} = \frac{15,8}{16} = 0,9875. (15.6)$$

где, $P_{\text{раб}}$ – действительная производительность;

$P_{\text{техн}}$ – техническая, максимально возможная часовая производительность;

$$K_{\text{нарк}} = \frac{n_{\text{рабуст}}}{n_{\text{устан}}} = \frac{3}{3} = 1,00. (15.7)$$

$$K_{\text{им}} = 0,94795 \cdot 0,9875 \cdot 1 = 0,93609;$$

$$N_{\text{год}} = 0,93609 \cdot 393609,6 = 368456,33.$$

8.2. Потребность в основных фондах

Потребность в основных фондах в таблице 15.1.

Таблица 15.1 – Потребность в основных фондах

Основные фонды	1 год			2 год	
	Цена	Кол-во	Об.стоим.	Кол-во	Об.с
1. Здания, сооружен производственного назначения	45389762	3	136169286		1361
2. Передаточные устройства			10000000		1000
3. Машины и оборудования			101360000		1013
4. Транспортные средства	500000	6	3000000	8	4000
5. Инструменты со сроком службы более 1 года	1000	260	260000	300	3000

6. Производственный инвентарь и принадлежности			243000		2600
7. Хозяйственный инвентарь			647500		7384
Итого			251679786		2528

8.3. Планирование себестоимости продукции

Калькуляция себестоимости 1 тонны продукции в таблице 15.2

Таблица 15.2 – Калькуляция себестоимости 1 тонны продукции Nгод = 184228,16 тонн/год (на 1 год)

№ п/п	Наименование статей расхода	Затраты, тыс.руб	
		На 1 тонну	На N год
1	Сырье и основные материалы	1,08020	199002,94
2	Энергия всех видов	0,44818	82567,66
3	Заработная плата основных рабочих	0,01969	3627,83
4	Единый социальный налог	0,00512	943,24
5	Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования (РСЭО)	0,05217	9611,99
5.1.	Амортизация активной части основных фондов (АЧОФ)	0,03372	6212,35
5.2.	Затраты на ремонт АЧОФ	0,00169	310,62
5.3.	Заработная плата вспомогательных рабочих	0,01331	2451,60
5.4.	Единый социальный налог	0,00346	637,42
6	Цеховые расходы	0,14985	27607,07
6.1.	Амортизация пассивной части основных фондов (ПЧОФ)	0,01599	2945,28
6.2.	Заработная плата ИТР, МОП, руководителей	0,06376	11746,94
6.3.	Единый социальный налог	0,01658	3054,20
6.4.	Охрана труда и техника безопасности	0,01451	2673,96
6.5.	Вода на бытовые и хозяйственные нужды	0,02160	3979,49
6.6.	Отопление помещений	0,01688	3110,40
6.7.	Освещение помещений	0,00053	96,80
7	Цеховая себестоимость	1,75522	323360,73
8	Общезаводские расходы	0,35104	64672,15
9	Заводская себестоимость	2,10626	388032,88
10	Коммерческие расходы	0,26474	48772,01
10.1.	Реклама	0,00145	267,90

10.2.	Сбыт продукции	0,26328	48504,11
11	Проценты за кредит	0,57098	105190,45
	Полная себестоимость, вт.ч.:	2,94198	541995,33
	Условно-переменные затраты	1,79166	330074,72
	Условно-постоянные затраты	0,57934	106730,17

8.4. Расчет заработной платы

На предприятиях химической промышленности в зависимости от условий труда и степени вредности производства длительность рабочего дня составляет 12 часов. Поэтому возникает потребность в организации постоянной работы. Для этого на заводе организована 2-х сменная работа и составляется график сменности, т.к. работает 4 бригады (А, Б, В, Г) с дополнительными днями отдыха.

График сменности рабочих представлен в таблице 15.3

Таблица 15.3 - График сменности рабочих

Смена	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	пн	вт	ср	чт	пт	сб	вс	пн	вт	ср	чт	пт	сб	вс	пн
А	8	8				12	12		8	8				12	12
Б				12	12		8	8				12	12		8
В		12	12		8	8				12	12		8	8	
Г	12		8	8				12	12		8	8			

Примечание 2: 12 – смена, работающая с 8.00 до 20.00, 8 – смена, работающая с 20.00 до 8.00.

Из графика сменности можно рассчитать величину сменоборота:

$$T_{см-о} = a \cdot b; \quad (15.8)$$

где, $T_{см-о}$ - длительность сменоборота;

a - количество бригад;

b - количество дней, в течение которых бригада работает одну смену.

$$T_{см-о} = 4 \cdot 2 = 8 \text{ дней}.$$

Сменооборот позволяет нам определить количество выходных дней:

$$T_{вых} = \frac{T_{кал}}{T_{см-о}} \cdot n; \quad (15.9)$$

где, $T_{вых}$ - количество выходных за год;

$T_{кал}$ - время календарное;

n - количество выходных за один сменооборот.

$$T_{вых} = \frac{365}{8} \cdot 4 = 182,5 \text{ день}.$$

Зная количество выходных за год, можно определить эффективное время работы за год:

$$T_{эфф} = T_{кал} - T_{вых} - T_{отп} - T_{нев}, \quad (15.10)$$

где, $T_{эфф}$ - эффективное время рабочего;

$T_{нев}$ - количество невыходов.

$$T_{эфф} = 365 - 182,5 - 28 - 10 = 144,5 \text{ дня}.$$

Рассчитаем количество эффективного времени в часах:

$$T_{эфф} = 144,5 \cdot 12 = 1734 \text{ часов}.$$

Таблица 15.4 – Баланс эффективного времени одного среднесписочного

работника

№№ п/п	Показатели	Дни	Часы
1	Календарный фонд рабочего времени	365	4380
2	Нерабочие дни		
	выходные	182,5	2190
	праздничные		
3	Номинальный фонд рабочего времени	182,5	2190
4	Планируемые невыходы		
	очередные и дополнительные отпуска	28	336
	невыходы по болезни	10	120
	декретные отпуска		
	отпуск в связи с учебой без отрыва от производства	3	36
	выполнение гос. обязанностей	7	84
5	Эффективный фонд рабочего времени	144,5	1734
	время ночной работы, тнв	91	1092
	количество праздников в году, Тпраз	12	144
	количество дней невыходов на работу, Дн	38	456

8.5. Расчет годового фонда заработной платы цехового персонала

Тарифная заработная плата включает в себя:

$$ЗП_{тар} = T_{ст} \cdot T_{эфф}; \quad (15.11)$$

где, $T_{ст}$ - тарифная ставка данной категории рабочих;

$T_{эфф}$ - эффективное годовое время одного среднесписочного работника.

Премии рассчитываются по формуле:

$$D_{пр} = (20 - 80\%) З_{ТАР}. \quad (15.12)$$

Доплата за работу в ночное время определяется по формуле:

$$D_{н.вр} = 0,4 \cdot T_{ст} \cdot t_{н.вр};$$

где, $t_{н.вр}$ - время ночной работы, которое для каждого рабочего в год.

Доплата за работу в праздничные дни определяется по формуле:

$$D_{пр} = T_{пр} \cdot T_{ст} \cdot H_{яв}; \quad (15.13)$$

где, $T_{пр}$ - количество часов, отработанных в праздник;

$H_{яв}$ - явочная численность рабочих.

Доплата из фонда мастера рассчитывается по формуле:

$$D_{фм} = 0,03 \cdot Z_{мар}. \quad (15.14)$$

Доплату за бригадирство определяется по формуле:

$$D_{бр} = 0,15 \cdot ЗП_{мар}, \quad (15.15)$$

с учетом того, что в цехе доплата за бригадирство идет только работникам 6-ого разряда.

Зарботную плату рабочих за год определяется по формуле:

$$\Phi ЗП_{год} = (ЗП_{осн} + ЗП_{дон}) \cdot K_p; \quad (15.16)$$

где, $ЗП_{осн}$ - основная заработная плата;

$ЗП_{дон}$ - дополнительная плата за нерабочее время;

K_p - районный коэффициент (для Томска он равен 1,3).

$$ЗП_{осн} = ЗП_{тар} + Д_{прем} + Д_{н.вр.} + Д_{праз} + Д_{бр}; \quad (15.17)$$

$$ЗП_{доп} = (t_{отп} + t_{зос.об} + t_{уч}) \cdot ЗП_{осн} / T_{эфф}, \quad (15.18)$$

где, $ЗП_{тар}$ - зарплата по тарифу; $Д_{прем}$ - доплата премиальная;

$Д_{н.вр.}$ - доплата за ночное время;

$Д_{праз}$ - доплата за работу в праздничные дни;

$Д_{бр}$ - доплата за бригадирство.

Заработная плата рабочих рассчитанная по формулам, изложенным выше, в таблице 15.5. Сумма амортизационных отчислений (АО) определяется по формуле:

$$АО = C_{оф} \cdot Н / 100\%; \quad (15.19)$$

где, $C_{оф}$ – среднегодовая стоимость основных фондов, руб;

$Н$ – норма амортизационных отчислений на полное восстановление основных фондов, % к их балансовой стоимости.

8.6. Основные технико-экономические показатели

1. Рентабельность – относительная прибыль, она показывает, какой доход приносит один рубль вложений в используемые ресурсы. Коэффициенты рентабельности показывают отношение полученной прибыли к величине производимых затрат.

1.1 Рентабельность производства продукции:

$$R_{прод} = \frac{ПР}{С} \cdot 100\%; \quad (15.20)$$

где, $ПР$ – прибыль от реализации;

$С$ – полная себестоимость продукции.

1.2 Рентабельность продаж:

$$R_{\text{продаж}} = \frac{\text{ЧП}}{B} \cdot 100\%; \quad (15.21)$$

где, ЧП – чистая прибыль;

B – выручка от реализации.

2. Фондоотдача – выпуск продукции на 1 руб. стоимости основных производственных фондов по предприятию. Она определяется по формуле:

$$\Phi_{\text{отд}} = \frac{\text{ВП}}{C_{\text{ОФ}}}; \quad (15.22)$$

где, ВП – объем выпущенной продукции;

C_{ОФ} – среднегодовая стоимость основных фондов, руб.

3. Фондоёмкость – показатель, обратный фондоотдаче и характеризующий стоимость основных фондов для выполнения единицы объема работ. Она определяется по формуле:

$$\Phi_{\text{емк}} = \frac{1}{\Phi_{\text{отд}}}. \quad (15.23)$$

4. Производительность труда – показатель экономической эффективности трудовой деятельности работника. Рассчитывается по формуле:

$$\text{ПТ} = \frac{Q}{\text{Ч}}, \quad (15.24)$$

где, Q – количество выпущенной продукции;

Ч – численность работников, выпустивших данный объем продукции.

5. Затраты на 1 руб. продукции:

$$З = \frac{C}{B}. \quad (15.25)$$

6. Чистый дисконтированный доход (ЧДД) – по международной терминологии NPV – или интегральный эффект:

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=0}^T (R_t - S_t) \frac{1}{(1+n)^t}; \quad (15.26)$$

где, R_t – результаты, достигнутые на t-шаге расчета;

$$R_t = \text{Пр} + A;$$

Пр – чистая прибыль;

A – амортизационные отчисления;

S_t – затраты, осуществляемые на том же шаге;

T – горизонт расчета, равный номеру шага расчета, на котором производится ликвидация объекта, т.е. последнему году жизненного цикла проекта;

n – норма дисконта.

Сумма дисконтированных капиталовложений вычисляется как:

$$K' = \sum_{t=0}^T K_t (1+n)^{-t}; \quad (15.27)$$

где, t - год вложения средств.

Тогда:

$$ЧДД = \sum_{t=0}^T \frac{Пр_t + A_t}{(1+n)^t} - \sum_{t=0}^T K_t (1+n)^{-t} \cdot (15.28)$$

Если ЧДД > 0, то проект является эффективным (при данной норме дисконта). Чем больше ЧДД, тем проект эффективнее.

7. Индекс доходности ИД или индекс рентабельности капиталовложений:

$$ИД = \frac{\sum_{t=0}^T (Пр_t + A_t)(1+n)^{-t}}{\sum_{t=0}^T K_t (1+n)^{-t}} (15.29)$$

Если ИД < 1, то проект отвергается.

8. Внутренняя норма доходности ВНД равна ставке дисконтирования $n_{вн}$, при которой ЧДД проекта равен нулю. ВНД вычисляется из равенства:

$$\sum_{t=0}^T (Пр_t + A_t)(1+n_{вн})^{-t} = \sum_{t=0}^T K_t (1+n_{вн})^{-t} (15.30)$$

Если ВНД > нормы дохода на вкладываемый капитал, то проект целесообразен. 9. Анализ безубыточности – определение точки безубыточности, т.е. минимального объема продаж, начиная с которого предприятие не несет убытков. Это означает, что выручка от реализации продукции (В) должна быть равна общим затратам на производство и реализацию продукции:

$$В = З_{пост} + З_{пер} (15.31)$$

10. Срок окупаемости проекта ($T_{ок}$) – минимальный временной интервал (от начала осуществления проекта), за пределами которого ЧДД становится положительным. Срок окупаемости находится из равенства:

$$\sum_{t=0}^T \frac{Pr_t + A_t}{(1+n)^t} = \sum_{t=0}^T K_t (1+n)^{-t} \quad (15.32)$$

Основные технико-экономические показатели в таблице 15.7.

Таблица 15.7 – Основные технико-экономические показатели

1.Объем продаж	тонн/год	184228,16
2.Цена за 1 тонну	тыс.руб	3,6481
3.Выручка	тыс.руб	672074,21
4.Себестоимость год.выпуска	тыс.руб	541995,33
5.Стоимость основных фондов	тыс.руб	20973,32
6.Чистая прибыль	тыс.руб	85365,96
7.Прибыль от реализации	тыс.руб	130078,88
8.Рентабельность произв-ва прод-ии	%	24
9.Рентабельность продаж	%	13
10.Фондоотдача	руб/руб	8,7839314
11.Фондоёмкость	руб/руб	0,1138442
12.Производительность труда	т/ год	1510,07
13.Затраты на 1 руб. продукции	тыс.руб	0,8064
14.ЧДД	тыс.руб	694606,12
15.ИД		2,35
16.ВНД		0,45
17.Срок окупаемости, Ток	лет	5 лет
18.Точка безубыточности	тонн	65000

Финансово – экономическая целесообразность проекта характеризуется следующими показателями:

$K_{кс} > 1$ – предприятие является конкурентно способным.

Срок окупаемости проекта 5 лет.

Индекс доходности предприятия равен $2,35 > 1$

Внутренняя норма доходности равна ставке дисконтирования $n = 0,45$,

при которой чистый дисконтированный доход (ЧДД) проекта равен нулю.

На основании всего вышеперечисленного можно сделать вывод, что проект эффективен, так как все критерии эффективности отвечают условиям положительности проекта.

8.7.. МАТЕРИАЛЬНЫЙ РАСЧЕТ

Целью материального расчета является составление материальных балансов стадии образования метанола-воздушной смеси, контактирования, абсорбции и ректификации.

Расчеты проводим для получения формалина с массовой долей формальдегида 37 % для одной технологической нитки.

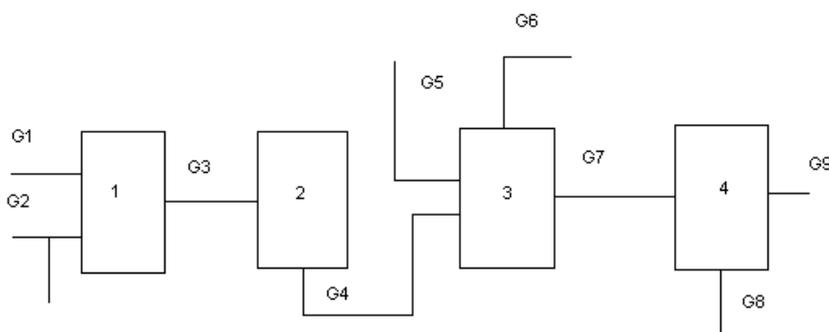


Рис. 16.1 Блок – схема материальных потоков 1 – приготовление метанола - воздушной смеси; 2 – контактирование; 3 – абсорбция; 4 – ректификация.

- G1 – воздух;
- G2 – метанол со склада;
- G3 – спирто - воздушная смесь;
- G4 – контактные газы;
- G5 – вода на орошение;
- G6 – абсорбционные газы;

G7 – формалин – "сырец";

G8 – производционный формалин;

G9 – метанол – ректификат.

Исходные данные

Годовая производительность одной технологической нитки производства - 126666,6 тонн, годовой фонд рабочего времени – 8000 ч.

Массовая доля формальдегида, (%):

- в производционном формалине, 37,4;

- в формалине – «сырце», 28,79.

Потери формальдегида на стадиях производства – 0,4%.

Степень конверсии метанола – 0,665.

Доля превращенного метанола:

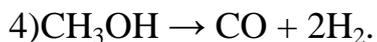
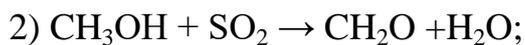
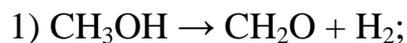
по реакции 1 – 0,26;

по реакции 2 – 0,6;

по реакции 3 – 0,12;

по реакции 4 – 0,02;

Протекающие реакции:



Часовая производительность колонны ректификации (по формалину):

$$G_8 = \frac{126666,6 \cdot 1000}{8000} = 15833,33 \text{ кг/ч};$$

по формальдегиду:

$$G = \frac{15833,33 \cdot 37}{100} = 5858,33 \text{ кг/ч};$$

или 195,28 кмоль/ч.

$M(\text{CH}_2\text{O}) = 30 \text{ г/моль}$.

С учетом потерь необходимо получить в контактном аппарате формальдегида $5858,33 \cdot 1,004 = 5881,76 \text{ кг/ч}$ или 196,06 кмоль/ч.

8.8. Материальный баланс стадии ректификации

Обозначим массовый расход формалина - "сырца" - G_7 , массовый расход товарного формалина – G_8 , массовый расход метанола - ректификата - G_9

Материальный баланс:

$$G_F = G_g + G_w; (16.1)$$

$$G_F = G_7; G_g = G_9; G_w = G_8; (16.2)$$

$$G_7 x_F = G_9 x_g + G_8 x_w. (16.3)$$

где, G_F , G_g , G_w – массовые расходы: питания, дистиллята и кубового остатка, соответственно.

x_F , x_g , x_w – содержание формальдегида в питании, дистилляте и кубовом остатке соответственно, %.

Решим систему уравнений

$$\begin{cases} G_7 = G_9 + G_8; \\ G_7 x_F = G_9 x_g + G_8 x_w; \end{cases} (16.4)$$

$$G_9 = G_7 - G_8.$$

$$\begin{cases} G_7 x_F = (G_7 - G_8) x_g + G_8 x_w; \\ G_7 = G_9 + G_8. \end{cases}$$

$$G_7 x_F = G_7 x_g - G_8 x_g + G_8 x_w;$$

$$G_7 x_F - G_7 x_g = G_8 x_w - G_8 x_g;$$

$$G_7 (x_F - x_g) = G_8 (x_w - x_g).$$

$$G_7 = G_8 \cdot \left(\frac{x_w - x_g}{x_F - x_g} \right).$$

$$G_7 = 15833,33 \cdot \left(\frac{0,37 - 0,005}{0,2879 - 0,005} \right) = 15833,33 \cdot 3,41 = 20425 \text{ кг/ч};$$

$$G_8 = 15833,33 \text{ кг/ч};$$

$$G_9 = G_7 - G_8 = 20425 - 15833,33 = 4591,67 \text{ кг/ч}.$$

Товарный формалин:

содержание воды: 56% т.к. формальдегида 37% и метанола 7%.

Материальный баланс стадии ректификации в таблице 16.1.

Таблица 16.1 – Материальный баланс стадии ректификации

Приход			Расход		
Состав	кг/ч	Массовая доля, %	Состав	кг/ч	Массовая доля, %
1	2	3	4	5	6
[G ₇]			[G ₈]		
1. Формалин «сырец» в т.ч.:	20425	100	1. Формалин	15833,33	100
формальдегид	5880,36	28,79	товарный в т.ч.:		
метанол	5563,77	27,24	формальдегид	5858,33	37
вода	8980,87	43,97	метанол	1108,33	7
			вода	8866,66	56
			[G ₉]	4591,67	100
			2. метанол		
			ректификат в т.ч.:		
			метанол	4453,92	97
			формальдегид	22,96	0,5
			вода	114,79	2,5

Итого:	20425	100	Итого:	20425	100
--------	-------	-----	--------	-------	-----

8.9. Материальный баланс стадии абсорбции

Объемная доля водяных паров в выхлопных газах: $1740 \cdot 100 / 1,422 \cdot 10^4$;

где, 1740 – парциальное давление водяных паров, Па;

$1,422 \cdot 10^4$ – общее давление выхлопных газов, Па.

Материальный баланс:

$$G_4 + G_5 = G_6 + G_7. \quad (16.5)$$

Решим систему уравнений:

$$\begin{cases} G_4 + G_5 = G_6 + G_7; \\ G_4 x_1^\phi + G_5 x_2^\phi = G_6 x_3^\phi + G_7 x_4^\phi; \\ G_4 x_1^{H_2O} + G_5 x_2^{H_2O} = G_6 x_3^{H_2O} + G_7 x_4^{H_2O}. \end{cases} \quad (16.6)$$

$$\begin{cases} G_4 \cdot 0,2324 + G_5 \cdot 0 = G_6 \cdot 0 + G_7 \cdot 0,2879; \\ G_4 \cdot 0,1276 + G_5 \cdot 1 = G_6 \cdot 0,1224 + G_7 \cdot 0,4397. \end{cases}$$

$$\begin{cases} G_4 \cdot 0,2324 = G_7 \cdot 0,2879; \\ G_4 \cdot 0,1276 + G_5 = G_6 \cdot 0,1224 + G_7 \cdot 0,4397. \end{cases}$$

$$\begin{cases} G_4 = 25302,74; \\ G_5 = G_6 + G_7 + G_4. \end{cases}$$

$$\begin{cases} G_4 \cdot 0,1276 + (G_6 + G_7 - G_4) = G_6 \cdot 0,1224 + G_7 \cdot 0,4397; \\ G_6 \cdot (1 - 0,1224) = G_7 \cdot (0,4397 - 1) + G_4 \cdot (1 - 0,1276). \end{cases}$$

$$G_6 = \frac{(-G_7 \cdot 0,5603 + G_4 \cdot 0,8724)}{(1 - 0,1224)};$$

$$G_6 = \frac{(-11444,13 + 22074,11)}{0,8776} = 12112,55 \text{ кг/ч};$$

$$G_5 = 12112,55 + 20425 - 25302,74 = 7234,81 \text{ кг/ч}.$$

Количество формальдегида и метанола в контактных газах соответственно 5880,36 кг/ч и 5563,77 кг/ч.

Материальный баланс абсорбционной колонны в таблице 16.2.

Таблица 16.2 – Материальный баланс абсорбционной колонны

Приход			Расход		
Состав	кг/ч	Массовая доля, %	Состав	кг/ч	Массовая доля, %
1	2	3	4	5	6
[G ₄]			[G ₇]		
1. Контактные газы, в т.ч.:	25302,74	100	1. Формалин – «сырец» в т.ч.:	20425	100
формальдегид	5880,36	23,24	формальдегид	5880,36	28,79
метанол	5566,60	22	метанол	5563,77	27,24
вода	3228,63	12,76	вода	8980,87	43,97
углекислый газ	807,16	3,19			
водород	146,76	0,58	[G ₆]	12112,55	100
окись углерода	83,50	0,33	2. Выхлопные газы, в т.ч.:	8461,83	69,86
азот	9589,74	37,9	азот	1480,15	12,22
			водород	591,09	4,88
[G ₅]			углекислый газ	96,90	0,8
2. Вода на орошение	7234,81	100	окись углерода	1482,58	12,24
			вода		
Итого:	32537,55	100	Итого:	32537,55	100

8.10. Материальный баланс стадии контактирования и спиртоиспарения

На 1 моль формальдегида расходуется 1 моль метанола, т.е. $196,012 \cdot 32 = 6272,38$ кг/ч.

Расход метанола с учетом побочных реакций находим: $196,012/0,86 = 227,92$ кмоль/ч или 7293,47 кг/ч;

где 0,86 – доля метанола, превращенного в формальдегид по 1^{ой} и 2^{ой} реакциям.

Подают метанол с учетом степени конверсии равной 0,567.

$227,92/0,567 = 401,96$ кмоль/ч или 12862,72 кг/ч;

$401,96 - 227,92 = 174,04$ кмоль/ч или 5569,28 кг/ч.

По реакции первой расходуется метанола: $227,92 \cdot 0,26 = 59,26$ кмоль/ч или 189632 кг/ч.

Образуется:

формальдегида: 59,26 кмоль/ч или 1777,8 кг/ч;

водорода: 59,26 кмоль/ч или 118,52 кг/ч.

По реакции второй расходуется метанола: $227,92 \cdot 0,6 = 136,75$ кмоль/ч или 3882,56 кг/ч;

кислорода: $136,75 \cdot 0,5 = 68,38$ кмоль/ч или 2188,16 кг/ч.

Образуется:

формальдегида: 136,75 кмоль/ч или 4102,56 кг/ч;

воды: 136,752 кмоль/ч или 2461,54 кг/ч.

По реакции третьей расходуется метанола: $227,92 \cdot 0,12 = 27,35$ кмоль/ч или 875,21 кг/ч;

кислорода: $27,35 \cdot 1,5 = 41,03$ кмоль/ч или 1316,16 кг/ч.

Образуется:

диоксида углерода: 27,35 кмоль/ч или 1203,4 кг/ч;

воды: $27,35 \cdot 2 = 54,7$ кмоль/ч или 984,6 кг/ч.

По реакции четвертой расходуется метанола: $227,92 \cdot 0,02 = 4,56$ кмоль/ч или 145,92 кг/ч.

Образуется:

оксида углерода: 4,56 кмоль/ч или 127,68 кг/ч;

водорода: $4,56 \cdot 2 = 9,12$ кмоль/ч или 18,24 кг/ч.

Всего образуется:

водорода: $9,12 + 59,26 = 68,38$ кмоль/ч или 136,76 кг/ч;

воды: $136,752 + 54,7 = 191,452$ кмоль/ч или 3446,14 кг/ч.

Общий расход кислорода: $68,38 + 41,03 = 109,41$ кмоль/ч или 3501,12 кг/ч.

Расход сухого воздуха:

объемная доля кислорода в воздухе, %, 20,7;

$109,41 \cdot 100 / 20,7 = 528,55$ кмоль/ч.

объемная доля водяных паров в воздухе:

$3230 \cdot 100 / (0,17 \cdot 10^6) = 1,8$ %;

где, 3230 – парциальное давление водяных паров в воздухе, Па;

$0,17 \cdot 10^6$ – общее давление воздуха, Па.

Количество водяных паров в воздухе: $528,55 \cdot 1,8 / 100 = 9,51$ кмоль/ч или 171,18 кг/ч.

Количество воды в техническом («свежем») метаноле:

а) с учетом разбавления метанолом ректификатом

$12862,72 - 4453,92 = 8408,8$ кг/ч – количество метанола;

б) количество воды $8408,8 \cdot 0,01 / 99,9 = 8,42$ кг/ч;

где, 0,1 – массовая доля воды «свежем» метаноле, %.

Суммарное количество водяных паров в спирто - воздушной смеси:

$171,18 + 114,79 + 8,42 = 294,39$ кг/ч.

Расход воздуха:

$$25302,74 - 4591,67 - 8417,22 = 12293,85 \text{ кг/ч};$$

где, 25302,74 кг/ч, 4591,67 кг/ч и 8417,22 кг/ч расход спирто-воздушной смеси, метанола - ректификата и «свежего» метанола, соответственно.

Количество азота в воздухе:

$$12293,85 - 3501,12 - 171,18 = 8621,55 \text{ кг/ч};$$

где, 3501,12 кг/ч и 171,18 кг/ч количество кислорода и воды в воздухе.

Содержание метанола в спирто-воздушной смеси:

$$25302,74 \text{ кг/ч или } 840,71 \text{ кмоль/ч}^{-1};$$

$$840,71 - 100\%$$

$$401,96 - x\%$$

$x = 47,81\%$, что соответствует оптимальному технологическому режиму.

Материальный баланс стадии контактирования и спиртоиспарения в таблице 16.3.

Таблица 16.3 – Материальный баланс стадии контактирования и спиртоиспарения

Приход				Расход			
Состав	кг/ч	кмоль/ч	Массовая доля, %	Состав	кг/ч	кмоль/ч	Массовая доля, %
1	2	3	4	5	6	7	8
Контактирование							
[G ₃]			100	[G ₄]			
1. Смесь	25302,74	836,39		1 Контактные	25302,74	986,76	100
воздух –				газы, в т.ч.:			
метанол, в				формальдегид	5880,36	196,2	23,24

т.ч.:				метанол	5566,60	173,97	22
формальдегид	22,96	0,77	0,09	вода	3228,63	179,37	12,76
метанол	12862,72	401,96	50,84	углекислый газ	807,16	18,34	3,19
вода	294,39	16,34	1,16	окись углерода	83,50	2,98	0,33
азот	8621,55	307,91	34,07	водород	146,76	73,4	0,58
кислород	3501,12	109,41	13,84	азот	9589,74	342,5	37,9
Итого:	25302,74	836,39	100	Итого:	25302,74	986,76	100
Спиртоиспарение							
[G ₂]			100	[G ₃]			
1. Метанол «свежий» в т.ч.:	8417,22	263,27		1. Смесь воздух – метанол, в т.ч.:	25302,74	836,39	100
метанол	8408,80	262,8	99,9	формальдегид			
вода	8,42	0,47	0,1	метанол	22,96	0,77	0,09
2. Метанол – ректиф., в т.ч.:	4591,67	146,34	100	вода	12862,72	401,96	50,84
метанол	4453,92	139,19	97	азот	294,39	16,34	1,16
формальдегид	22,96	0,77	0,5	кислород	8621,55	307,91	34,07
вода	114,79	6,38	2,5		3501,12	109,41	13,84
[G ₁]			100				
3. Воздух, в т.ч.:	12293,85	432,1	20,7				
кислород	2544,83	79,53	77,5				
азот	9527,73	340,28	1,8				
вода	221,29	12,29					
Итого:	25302,74		100	Итого:	25302,74		100

Сводная таблица материального баланса в таблице 16.4.

Таблица 16.4 – Сводная таблица материального баланса

Потоки	Приход			Расход		
	G ₁	G ₂	G ₅	G ₆	G ₈	G ₉
Компоненты	кг/ч	кг/ч	кг/ч	кг/ч	кг/ч	кг/ч
CH ₂ O		22,96			5858,33	22,96
CH ₃ OH		12862,72			1108,33	4453,92
H ₂ O	221,29	123,21	7234,81	1482,58	8866,66	114,79
N ₂	9527,73			8461,83		

O ₂	2544,83					
CO ₂				591,09		
CO				96,90		
H ₂				1480,15		
Σ(комп.)	12293,85	13008,89	7234,81	12112,55	15833,32	4591,67
Итого:	32537,55			Итого:	32537,55	

Рассчитаем состав выхлопных газов в объемных долях и определим степень конверсии метанола в формальдегид по составу, пользуясь формулой:

$$\alpha = 100 - 100 \cdot \frac{C_{CO_2} + C_{CO}}{0,567 \cdot C_{N_2} + C_{H_2} - C_{CO} - 2 * C_{CO_2}}; \quad (16.7)$$

CO – 2,98 кмоль/ч 0,48 %;

CO₂ – 18,34 кмоль/ч 2,97 %;

N₂ – 342,5 кмоль/ч 55,55 %;

H₂ – 73,4 кмоль/ч 11,9 %;

H₂O – 179,37 кмоль/ч 29,1 %.

$$\alpha = 100 - 100 \cdot \frac{2,97 + 0,48}{0,567 \cdot 55,55 + 11,9 - 0,48 - 2 * 2,97} = 90,67\%.$$

Расчет основных расходных коэффициентов

1. Расходный коэффициент по метанолу:

$$K_{CH_3OH} = \frac{G_{CH_3OH}}{G_{CH_2O}} = \frac{8408,80}{15833,33} = 0,53 \text{ кг/кг.}$$

2. Расходный коэффициент по воде:

$$K_{H_2O} = \frac{G_{H_2O}}{G_{CH_2O}} = \frac{7234,81}{15833,33} = 0,46 \text{ кг/кг.}$$

3. Расходный коэффициент по воздуху:

$$K_{\text{возд.}} = \frac{G_{\text{возд.}}}{G_{\text{CH}_2\text{O}}} = \frac{12293,85}{15833,33} = 0,78 \text{ кг/кг.}$$

IX. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ОСНОВНОГО АППАРАТА

9.1 Технологический расчет реактора

Главной целью технологического расчета секции контактирования является определение высоты слоя катализатора, при которой может быть обеспечена новая производительность. Расчеты будем проводить согласно методике, предложенной в [9], где рассматривается аналогичный случай.

Процесс каталитического окислительного дегидрирования метанола в формальдегид происходит в реакторе поверхностного контакта при $P = 0,76 \cdot 10^5$ Па.

Реактор (контактный аппарат) предназначен для окислительного дегидрирования метанола в формальдегид в газовой фазе на пемзосеребряном катализаторе. Для расчета выбран вертикальный стальной цилиндрический аппарат, смонтированный непосредственно над верхней трубной решеткой подконтактного холодильника. В нижней части аппарата на свободно лежащую решетку, покрытую двумя слоями сеток, засыпан катализатор. Над слоем катализатора предусмотрено распределительное устройство, имеющее 24 щели размером 200×500 мм для равномерного распределения потока спиртовоздушной смеси. Разогрев катализатора производят двумя нихромовыми электроспиральями ($d = 0,4$ м, $U = 220$ В).

Аппарат снабжен штуцером входа спиртовоздушной смеси $D_y = 600$ мм, $P_y = 0,6$ МПа, одним предохранительным устройством $D_y = 350$ мм, $P_y =$

0,6 МПа, люком-лазом $D_y = 500$ мм, $P_y = 1,6$ МПа.

Определяющим эталоном является диффузия.

Состав исходного газа [таблица 16.3]

CH_3OH – 50,84%; O_2 – 13,84%;

CH_2O – 0,09%; N_2 – 34,07%.

H_2O – 1,16 %;

Состав контактного газа:

CH_3OH – 22%; CO – 0,33%;

CH_2O – 23,24%; H_2 – 0,58% ;

H_2O – 12,76 %; N_2 – 37,9%.

CO_2 – 3,19%;

Плотности и вязкости компонентов смеси в таблице 18.1.

Таблица 18.1 – Плотности и вязкости компонентов смеси

t, °C	константа	Компоненты газовой смеси							
		CH_3OH	CH_2O	O_2	H_2O	N_2	H_2	CO	CO_2
100	с	1,04	0,925	1,04	0,588	0,913			
	м	0,864		0,104	0,0028	0,0748			
650	с	0,4216	0,3952		0,237	0,368	0,026	0,368	0,605
	м	0,082	0,0926		0,107	0,131	0,0658	0,131	0,13

Вязкости взяты [4, с. 294, таб. 10] и [7, с. 596, рис. 5]

Плотности веществ определяются по формуле:

$$\rho = \rho_0 \frac{T_0 P}{T P_0} = \frac{M}{22.4} \cdot \frac{273 P}{T P_0}, \text{ кг / м}^3. \quad (18.1)$$

Среднее значение молекулярных масс M и плотностей газов определяют по правилу аддитивности:

$$\rho_{см} = n_1\rho_1 + n_2\rho_2 + n_3\rho_3 + \dots + n_n\rho_n; \quad (18.2)$$

$$M_{см} = n_1M_1 + n_2M_2 + n_3M_3 + \dots + n_nM_n. \quad (18.3)$$

где, n – доли компонентов смеси;

$$M'_{см} = 0,5084 \cdot 32 + 0,0009 \cdot 30 + 0,016 \cdot 18 + 0,1384 \cdot 32 + 0,3407 \cdot 28 = 16,27 + 0,027 + 0,288 + 4,4288 + 9,5396 = 30,53;$$

$$M''_{см} = 0,22 \cdot 32 + 0,2324 \cdot 30 + 0,1276 \cdot 18 + 0,0319 \cdot 44 + 0,0033 \cdot 28 + 0,0058 \cdot 2 + 0,379 \cdot 28 = 7,04 + 6,972 + 2,2968 + 1,4036 + 0,0924 + 0,0116 + 10,612 = 28,43;$$

$$c'_{см} = 0,5084 \cdot 1,04 + 0,0009 \cdot 0,925 + 0,016 \cdot 0,588 + 0,1384 \cdot 1,04 + 0,3407 \cdot 0,913 = 0,5271 + 0,0008325 + 0,009408 + 0,143936 + 0,3110591 = 0,9923 \text{ [кг/м}^3\text{]};$$

$$c''_{см} = 0,22 \cdot 0,4216 + 0,2324 \cdot 0,3952 + 0,1276 \cdot 0,237 + 0,0319 \cdot 0,605 + 0,0033 \cdot 0,368 + 0,0058 \cdot 0,026 + 0,379 \cdot 0,368 = 0,092752 + 0,09184448 + 0,0302412 + 0,0192995 + 0,0012144 + 0,0001508 + 0,139472 = 0,3749 \text{ [кг/м}^3\text{]}.$$

На входе (100°C): $M = 30,53$;

$$c_{100} = 0,9923.$$

На выходе (650°C): $M = 28,43$;

$$c_{650} = 0,3749.$$

Степень превращения метанола в формальдегид 0,9067.

Температура исходной смеси 100°C , температура выхода смеси в подконтактный холодильник 650°C .

Материальный баланс реактора [таб. 16.3]

Приход спирто-воздушной смеси [$\text{м}^3/\text{ч}$] составляет:

$$V = \frac{m}{\rho}; \quad (18.4)$$

$$V = 25302,74/0,9923 = 25499,08 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Зададимся линейной скоростью исходной газовой смеси $w = 0,8$ м/с

Определяем диаметр реакционной зоны:

$$V = w \cdot S \cdot 3600; \quad (18.5)$$

где, $S = 0,785 D^2$ – площадь поперечного сечения реакционной зоны, м²;

D – диаметр реактора, м.

$$D = \sqrt{\frac{V}{w \cdot 0,785 \cdot 3600}} = \sqrt{\frac{25499,08}{0,8 \cdot 0,785 \cdot 3600}} = \sqrt{\frac{25499,08}{2260,8}} = \sqrt{11,27} = 3,34.$$

Принимаем $D = 3,00$ м.

Площадь сечения реактора $S_p = 0,785 \cdot 3,0^2 = 7,065$ м².

Реакторы с катализатором в очень тонком слое в виде металлических сит используют для проведения реакций, протекающих с большой скоростью.

Установлено, что скорость процесса определяется скоростью диффузии от контактной поверхности катализатора. Это явление было описано Андрусовым, который сравнивая количество реагирующего метанола и метанола, проникающего путем диффузии до поверхности серебряных сит, установил, что они равны между собой.

Количество метанола, диффундирующего к поверхности катализатора, можно рассчитать, если известен коэффициент переноса массы, допустив при этом, что концентрация метанола на поверхности контакта равна нулю, т.е. скорость реакции настолько велика, что метанол непосредственно достигает контакта с серебром.

Расчет проводится для слоя катализатора с сечением 1 см² и толщиной 1 образованный рядами сеток из серебряной проволоки.

Характеристика катализатора из серебра (сита):

проволоки ТУ 48 – 1 – 112 – 85;

толщина проволоки, мм – 0,22;

число ячеек на 1 см² – 225.

Для определения коэффициентов диффузии устанавливаем с помощью материального баланса состав конечной газовой смеси. Рассчитаем производительность реактора на 1 м² поверхности катализатора.

Производительность по метанолу составит:

$$\frac{12862,72}{7,065} = 1820,63 \text{ кг} / \text{м}^2 \cdot \text{ч}.$$

Массовая скорость всей газовой смеси:

$$\frac{25302,74}{7,065} = 3581,42 \text{ кг} / \text{м}^2 \cdot \text{ч}.$$

Результаты расчета в таблице 18.2.

Таблица 18.2 – Конечный состав газовой смеси

Приход	кг/м ² ч	%	Расход	кг/м ² ч	%
Контактирование					
Смесь воздух –	3581,42	100	Контактные газы, в т.ч.:	3581,42	100
метанол, в т.ч.:			формальдегид	832,32	23,24
формальдегид	3,22	0,09	метанол	787,91	22
метанол	1820,63	50,84	вода	456,99	12,76
вода	41,54	1,16	углекислый газ	114,25	3,19
азот	1220,19	34,07	окись углерода	11,82	0,33
кислород	495,67	13,84	водород	20,77	0,58
			азот	1357,36	37,9

Для определения высоты слоя катализатора воспользуемся методом расчета скорости каталитического процесса, лимитируемого массообменом.

По этому методу определяем высоту единицы переноса CH₃OH (ВЕП) и число единиц переноса (Z) по формулам:

$$BEIS_{y\partial} = \frac{(P_r^1)^{2/3}}{k_M}; \quad (18.6)$$

где, $S_{уд}$ – удельная поверхность катализатора, $[м^2/м^3]$;

k_M – коэффициент массопередачи, $[м/ч]$;

P_r – критерий Прандля .

С этой целью находим физико – химические константы исходной и конечной газовой смеси – плотности ρ_r $[кг/м^3]$, динамические коэффициенты вязкости μ_r $[кг/мч]$, коэффициенты диффузии D $[см^2/с]$.

Значение плотностей и вязкостей компонентов смесей при начальной температуре и температуре в зоне реакции в таблице 18.1.

Коэффициенты диффузии находим последующим соотношениям, определяемым общими закономерностями диффузии газов. Для диффузии газа А в газ В.

$$D_{AB} = 0,0043 \frac{T^{2/3}}{P(\nu_A^{1/3} + \nu_B^{1/3})^2} \sqrt{\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B}}, \text{ см}^2 / \text{с}; \quad (18.7)$$

где, x_A, x_B – мольные объемы газов А и В, $[см^3/моль]$;

M_A, M_B – молекулярные массы газов А и В;

P – общее давление.

Для расчета принимаем следующие значения мольных объемов $[см^3/моль]$, [1, с. 288, таб. 6.3]:

CH_3OH – 37; N_2 – 31,2;

CH_2O – 29,37; H_2 – 14,3;

H_2O – 18,9; CO – 29,6;

O_2 – 25,6; CO_2 – 34.

Коэффициенты диффузии $D_{Acм}$ для газа А, диффундирующего через смесь газов (В + С), вычисляем по формуле:

$$D_{Acм} = \frac{1 - N_A}{\frac{N_B}{D_{AB}} + \frac{N_C}{D_{AC}}}; \quad (18.8)$$

где, N_A, N_B, N_C – мольные доли компонентов в газовой смеси;

D_{AB}, D_{AC} – коэффициенты диффузии для бинарных газовых смесей.

Рассчитанные таким путем коэффициенты диффузии метанола и других компонентов исходного и конечного газов процесса окисление метанола в бинарных газовых смесях, а так же значение коэффициентов диффузии метанола D_{CH_3OH} [см²/с] в начальной и конечной газовой смеси в таблице 18.3.

Таблица 18.3 – Коэффициенты диффузии

D_{CH_3OH, O_2} 0,0714	D_{CH_3OH} 0,0688		D_{CH_3OH, H_2O} 0,0912		100°C
D_{O_2, N_2} 0,0785	D_{N_2, H_2O} 0,103		D_{O_2, H_2O} 0,105		
$D_{CH_3OH} \rightarrow (O_2, N_2, H_2O) = 0,0747$					
D_{CH_3OH, CH_2O} 0,250	$D_{CO_2, CO}$ 0,387	D_{CH_2O, CO_2} 0,252	D_{CO, N_2} 0,294	D_{H_2O, N_2} 0,389	650°C
$D_{CH_3OH, CO}$ 0,271	D_{CO, H_2} 1,03	$D_{CH_2O, N}$ 0,293	D_{CH_3OH, CO_2} 0,230	D_{H_2O, CO_2} 0,344	
D_{CH_2O, H_2} 1,048	D_{CH_3OH, H_2O} 0,355	D_{H_2O, H_2} 1,26	D_{CH_3OH, N_2} 0,271	D_{H_2O, H_2} 1,02	
$D_{H_2O, CO}$ 0,356	D_{CH_3OH, H_2} 0,710	D_{CO_2, N_2} 0,255	$D_{CH_2O, CO}$ 0,292	D_{H_2, N_2} 1,04	
$D_{CH_3OH} \rightarrow (CH_2O, H_2O, CO_2, CO, H_2, N_2) = 0,166$					

Среднюю вязкость газовой смеси рассчитываем по уравнению:

$$\mu_{см} = \frac{\mu_1}{1 + \frac{1,38}{N_1 \rho_1} \left(\frac{N_2}{D_{1,2}} + \frac{N_3}{D_{1,3}} + \dots \right)} + \frac{\mu_2}{1 + \frac{1,38}{N_2 \rho_2} \left(\frac{N_1}{D_{2,1}} + \frac{N_3}{D_{2,3}} + \dots \right)} + \dots \quad (18.9)$$

где, N_1, N_2, N_3, \dots - мольные доли компонентов в газе.

Получаем m_r [Па г]

при $100^\circ\text{C} - 7 \cdot 10^{-2}$;

при $650^\circ\text{C} - 8,75 \cdot 10^{-2}$.

Для расчета величин ВЕП и Z принимаем, что слой сеток серебряного катализатора подобен слою насадки колец Рашига с $d = h = 0,22$ мм (аналогично диаметру проволоки) для таких колец эквивалентный диаметр

$$d_\varepsilon = \sqrt{1,5d} = 0,574 \text{ мм} = 5,74 \cdot 10^{-4} \text{ м}. \quad (18.10)$$

Удельная поверхность колец $S_{уд} = 7,8419 \cdot 10^3 \text{ м}^2/\text{м}^3$.

Для расчета ВЕП определяем значения критерия Рейнольдса Re и диффузного критерия Прандтля Pr :

$$Re = \frac{Gr \cdot d_\varepsilon}{\mu_{см}}; \quad (18.11)$$

$$Pr = \frac{\mu}{(\rho_r \cdot D_{CH_3OH})}. \quad (18.12)$$

Подставляя наши данные, имеем:

$$Re_{100} = \frac{3581,42 \cdot 5,74 \cdot 10^{-4}}{7 \cdot 10^{-2}} = 29,36;$$

$$Re_{650} = \frac{3581,42 \cdot 5,74 \cdot 10^{-4}}{8,75 \cdot 10^{-2}} = 23,49;$$

$$Pr_{100} = \frac{7 \cdot 10^{-2}}{0,0779 \cdot 0,0747} = 0,958.$$

$$\text{Pr}_{650} = \frac{8,75 \cdot 10^{-2}}{0,3753 \cdot 0,166} = 1,405.$$

Коэффициент массопередачи находим по формуле:

$$k_M = 1,82 \cdot \text{Re}^{-0,51}; \quad (18.13)$$

$$k_{M100} = 1,82 \cdot 29,36^{-0,51} = 0,3247;$$

$$k_{M650} = 1,82 \cdot 23,49^{-0,51} = 0,3638.$$

По нашим данным находим ВЕП:

$$\text{ВЕП} = \frac{\frac{\sqrt{\text{Pr}_{100}^2}}{k_{M100}} + \frac{\sqrt{\text{Pr}_{650}^2}}{k_{M650}}}{2 \cdot S_{y0}}; \quad (18.14)$$

$$\text{ВЕП} = \frac{\frac{0,958}{0,3247} + \frac{1,405}{0,3638}}{2 \cdot 7,8419 \cdot 10^3} = \frac{2,95 + 3,86}{15683,8} = 0,0004 \text{ м.}$$

Число единиц переноса массы Z:

$$Z = C_{\text{СР.ПОР}} \lg \frac{C_{\text{CH}_3\text{OH}_{\text{вх}}} (1 + \beta_{\text{CH}_3\text{OH}_{\text{вх}}})}{C_{\text{CH}_3\text{OH}_{\text{вых}}} (1 + \beta_{\text{CH}_3\text{OH}_{\text{вх}}})} \quad (18.15)$$

где, v – изменение числа молей в результате реакции рассчитанное на 1 моль метанола;

$C_{\text{CH}_3\text{OH}_{\text{вх}}}$, $C_{\text{CH}_3\text{OH}_{\text{вых}}}$ – концентрация метанола в газе, на входе и выходе из реактора, мол. доли.

$$Z = 1 \cdot 2,31 \lg \frac{0,5084 \cdot (1 + 0,22)}{0,22(1 + 0,5084)} = 1,231 \lg \frac{0,553}{0,265} = 1 \cdot 2,31 \lg 2,09 = 1 \cdot 2,3 \cdot 0,31 = 0,73.$$

Принимаем $Z \approx 1$, тогда высота слоя катализатора равна:

$$H = \text{ВЕП } Z = 0,41 = 0,4 \text{ м. (18.16)}$$

Приняв коэффициент запаса $\zeta_3 = 1,5$ (с учетом того, что доступная для реагентов поверхность слоя из колец больше приблизительно в 1,5 раза поверхности проволочных сеток), получим:

$$H = 0,4 \cdot 1,5 = 0,6 \text{ м.}$$

При диаметре проволоки 0,22 мм достаточно $0,6/0,22 = 2,73$ сетки.

На практике берут с запасом, хотя в работе нужны 4 сетки. Берут еще одну сетку, т.к. верхняя сетка быстро прогорает вследствие уноса серебра.

9.2 Технологический расчет подконтактного холодильника

Целью расчета является определение запаса поверхности теплопередачи при новой производительности. Расчеты будем проводить согласно методике, предложенной в [9], где рассматривается аналогичный случай.

Подконтактный холодильник предназначен для быстрого охлаждения контактного газа до температуры 140 – 200°C во избежании разложения образовавшегося формальдегида.

Для установки выбран стальной вертикальный кожухотрубчатый теплообменник с противоточным движением теплоносителя в межтрубном пространстве и контактного газа в трубном пространстве. Теплоноситель – паровой конденсат ($P = 0,3,2 \text{ МПа}$, $t = 133^\circ\text{C}$).

В холодильнике предусмотрено шахматное расположение труб (по вершинам правильных шестиугольников). Температурные напряжения, вызываемые разностью температур между кожухом и трубами, могут

привести к разрушению аппарата; во избежании этого на корпусе установлен линзовый компенсатор.

Аппарат снабжен штуцером выхода контактного газа $D_y = 800$ мм, $P = 0,6$ МПа, шестью штуцерами входа конденсата $D_y = 100$ мм, $P_y = 1,0$ МПа и шестью штуцерами выхода пароводяной эмульсии $D_y = 200$ мм, $P_y = 1,0$ МПа.

Принимаем агрегатную схему компоновки оборудования – контактный аппарат смонтирован непосредственно на подконтактном холодильнике.

Исходные данные:

Расход охлаждаемого контактного газа $25302,74/3600 = 7,03$ кг/с.

Расход охлаждающей жидкости – воды: $8,7$ кг/с.

на входе:

температура контактного газа 650°C ;

температура воды 90°C .

на выходе:

температура контактного газа 180°C ;

температура воды 123°C ;

Температурная схема процесса:

$650 \rightarrow 180$

$123 \leftarrow 90$

$\Delta t_6 = 527^\circ\text{C}$ $\Delta t_m = 90^\circ\text{C}$

$$\Delta t_{cp} = \frac{527 - 90}{2,31g \frac{527}{90}} = 232,32^\circ\text{C}. \quad (18.17)$$

Средняя температура контактных газов:

$$t_{cp} = \frac{650 + 180}{2} = 415^\circ\text{C}. \quad (18.18)$$

Теплофизические параметры контактных газов при 415С в таблице 18.4.

Таблица 18.4– Теплофизические параметра контактных газов при 415°С

Состав	с, кг/м ²	С, Дж/кг К	м (м с)/м ²	√М Т _{кр}
CH ₂ O	0,547		514 10 ⁻⁷	111,47
CH ₃ OH	0,583		226 10 ⁻⁷	89,33
H ₂ O	0,327		232 10 ⁻⁷	108
CO	0,51		309 10 ⁻⁷	61,4
CO ₂	0,801		299 10 ⁻⁷	115,5
H ₂	0,036		154 10 ⁻⁷	8,13
N ₂	0,51		311 10 ⁻⁷	59,5
смесь	0,487	1,743 10 ³	250 10 ⁻⁷	-

Плотность компонентов определена по формуле:

$$\rho = \rho_0 \frac{T_0 P}{T P_0}, \text{ кг / м}^3. \quad (18.19)$$

Плотность смеси по правилу аддитивности. Вязкость компонентов взята из [4, с. 430 таб. 6].

Вязкость смеси определена по формуле:

$$\mu_{см} = \frac{\mu \cdot m_1 \cdot \sqrt{M_1 \cdot T_{кр}} + \dots + \mu_n \cdot m_n \sqrt{M_n \cdot T_{кр.n}}}{m_1 \cdot \sqrt{M_1 \cdot T_{кр1}} + \dots + m_n \sqrt{M_n \cdot T_{кр.n}}}; \quad (18.20)$$

где, $m_1 \dots m_2$ - объемные доли компонентов;

$M_1 \dots M_n$ – молекулярные массы компонентов;

$T_{кр1} \dots T_{кр.n}$ - критические температуры.

Теплоемкость смеси:

$$Cp_{см} = \frac{Q}{G_{см} (t_{вх} - t_{вых})}; \quad (18.21)$$

где, Q – количество теплоты, отданное контактными газами при охлаждении от 650°C до 180°C .

$$Q = \frac{20548747,66 \cdot 10^3}{3600} = 5708,1 \cdot 10^3 \text{ Вт};$$

где, $G_{см}$ – расход контактных газов, кг/с;

$t_{вх}$, $t_{вых}$ – температуры входа и выхода контактных газов, $^{\circ}\text{C}$.

$$Cp_{см} = \frac{5708,1 \cdot 10^3 * 3600}{25302,74 \cdot (650 - 180)} = 1728,9 \approx 1,728 \cdot 10^3 \text{ Дж / кг} \cdot \text{ м}.$$

Определим критерий Прандтля.

Наибольший процент в смеси составляют многоатомные газы. Принимаем приблизительное значение Pr для смесей такое же, как для трехатомных газов, $Pr = 0,8$ [2, с. 187].

Теплопроводность смеси ($\lambda_{см}$)

$$\lambda_{см} = \frac{Cp_{см} \cdot \mu_{см}}{Pr} = \frac{1,734 \cdot 10^3 \cdot 250 \cdot 10^{-7}}{0,8} = 0,0545 \text{ Вт / м} \cdot \text{ К}. \quad (18.22)$$

Так как диаметр реактора равен $3,0$ м, принимаем диаметр обечайки подконтактного холодильника $D_{хвн} = 3,0$ м с трубами d - 3842 мм и рассчитаем необходимое количество труб:

$$n = \frac{KПД_{вн}^2}{3,47 \cdot t^2}; \quad (18.23)$$

где, K – коэффициент заполнения трубной решетки, принимаем $K = 0,7$;
 t – шаг.

$$t = 1,25 d_H = 1,25 \cdot 0,038 = 0,048 \text{ м};$$

$$n = \frac{0,7 \cdot 3,14 \cdot 3^2}{3,47 \cdot 0,048^2} = 2475.$$

Скорость движения газа:

$$\omega = \frac{\frac{G_{см}}{3600}}{0,785 \cdot d_{вн}^2 \cdot n \cdot \rho_{см}} = \frac{7}{0,785 \cdot 0,034^2 \cdot 2475 \cdot 0,487} = 6,4 \text{ м/с}; \quad (18.24)$$

$$Re = \frac{\omega \cdot d_{вн} \cdot \rho_{см}}{\mu} = \frac{6,4 \cdot 0,034 \cdot 0,487}{250 \cdot 10^{-7}} = 4238,19. \quad (18.25)$$

переходный режим

$$Nu = 0,021 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43} = 0,021 \cdot 4238,19^{0,8} \cdot 0,8^{0,43} = 15,22; \quad (18.26)$$

$$\alpha_{см} = \frac{Nu \cdot \lambda_{см}}{d_{вн}} = \frac{15,22 \cdot 0,0545}{0,034} = 24,4 \text{ Вт/м}^2 \text{ К}. \quad (18.27)$$

коэффициент теплоотдачи для воды в межтрубном пространстве.

Принимаем теплообменник с поперечными перегородками в межтрубном пространстве. Расстояние между перегородками равно 0,9 м. Площадь поперечного сечения между соседними соединениями соседних перегородок, считая его по диаметру кожуха.

$$S_{м\text{тр}} = D h (t-d) [1, \text{ с. } 64]; \quad (18.28)$$

$$S_{м\text{тр}} = 3,0 \cdot 0,9 (0,048 - 0,038) = 0,577 \text{ м}^2.$$

Скорость движения воды при поперечном обтекании:

$$\omega = \frac{G}{\rho \cdot S_{\text{мпр}}}, \text{ м/с. (18.29)}$$

Средняя температура воды:

$$t_{\text{cp}} = \frac{90 + 123}{2} = 106,5^{\circ}\text{C}.$$

Теплофизические параметры воды при $t_{\text{cp}}=106,5^{\circ}\text{C}$ в таблице 18.5.

Таблица 18.5 – Теплофизические параметры воды при $t_{\text{cp}}=106,5^{\circ}\text{C}$

С, Дж/кг К	С кг/м ³	μ, Па с	λ, Вт/м К
4,23	954	226·10 ⁻⁶	0,684

$$\text{Re} = \frac{\omega \cdot d_3 \cdot \rho}{\mu}. \text{ (18.30)}$$

$$d_3 = \frac{4 \cdot (0,86 \cdot t^2 - \frac{\pi \cdot d^2}{4})}{\pi \cdot d} = \frac{4 \cdot (0,86 \cdot 0,048^2 - \frac{3,14 \cdot 0,0382}{4})}{3,14 \cdot 0,038} = 0,0334 \text{ м. (18.31)}$$

$d_3 = 0,0334 \text{ м}$ [1, стр. 81].

$$\omega = \frac{8,7}{954 \cdot 0,577} = 0,016 \text{ м/с}; \text{ (18.32)}$$

$$\text{Re} = \frac{0,016 \cdot 0,0334 \cdot 954}{226 \cdot 10^{-6}} = 2819,79. \text{ (18.33)}$$

- переходный режим

$$\text{Nu} = 0,24 \text{ Re}^{0,6} \text{ Pr}^{0,43}; \text{ (18.34)}$$

$$\text{Pr} = 4,23 \cdot 10^3 \cdot 226 \cdot 10^{-6} / 0,684 = 1,397; \text{ (18.35)}$$

$$\text{Nu} = 0,24 \cdot 2819,79^{0,6} \cdot 1,397^{0,43} = 32,56;$$

$$\alpha_6 = \frac{Nu \cdot \lambda}{d_3} = \frac{32,567 \cdot 684 \cdot 10^{-3}}{0,0334} = 666,94 \text{ Вт} / \text{м}^2 \text{ К}. \quad (18.36)$$

Коэффициент теплопередачи:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{cm}} + \frac{1}{\alpha_6} + \sum r_{cm1}}; \quad (18.37)$$

где $r_{ст}$ – термическое сопротивление стальной сетки и ее загрязнений, $\text{м}^2\text{К}/\text{Вт}$.

$$\sum r_{ст} = r_{загр.К.Г.} + r_{загр.В.} \quad (18.38)$$

Принимаем

$$\frac{1}{r_{загр.К.Г.}} = \frac{1}{r_{загр.В}} = \frac{1}{5800} \text{ Вт} / \text{м}^2 \text{ К}; \quad [2, \text{табл. XXX}] \quad (18.39)$$

$$\sum r_{cm} = 0,00041 \text{ м}^2\text{К}/\text{Вт};$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{24,4} + \frac{1}{666,94} + 0,00041} = 23,31 \text{ Вт} / \text{м}^2 \text{ К}.$$

Поверхность теплообмена:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{cp}} = \frac{5708,1 \cdot 10^3}{23,31 \cdot 232,32} = 1054,05 \text{ м}^2. \quad (18.40)$$

С учетом запаса 10% $F = 1160 \text{ м}^2$, $L_{тр} = 5 \text{ м}$.

Расстояние между трубными решетками:

$$l_1 = \frac{F}{\pi \cdot d_{cp} \cdot n \cdot Z}; \quad (18.41)$$

где Z – число ходов, $Z = 1$.

$$l_1 = \frac{1160}{3,14 \cdot 0,036 \cdot 2475 \cdot 1} = 4,2 \text{ м.}$$

Принимаем $l_1 = 4$ м.

Общая высота холодильника:

$$H = l_1 + h_1; \quad (18.42)$$

где, h_1 – высота нижней камеры, м.

принимаем $h_1 = 0,8$ м.

$$H = 4 + 0,8 = 4,8 \text{ м.}$$

9.4. ГИДРАЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

Целью расчета является определение величины гидравлического сопротивления.

Исходные данные:

внутренний диаметр обечайки – 3 м;

количество труб – 24,75 $d = 3842$ мм;

длина – 5 м;

диаметр внутренний входного штуцера – 0,15 м;

диаметр внутренний выходного штуцера – 0,6 м;

количество перегородок в межтрубном пространстве – 3 (шт).

Расход воды – 8,7 кг/с при $t_{cp} 106,5^\circ\text{C}$, $c = 854$ кг/м³.

Расход контактного газа – 7 кг/с при $t_{cp} = 415^{\circ}\text{C}$, $c = 0,487 \text{ кг/м}^3$.

Высота слоя катализатора – 0,6 мм.

Общее гидравлическое сопротивление определим по формуле:

$$\Delta P = \Delta P_{\text{к.ап.}} + \Delta P_{\text{тр}}, \quad (19.1)$$

где, $\Delta P_{\text{к.ап.}}$ - гидравлическое сопротивление слоя катализатора, Па;

$\Delta P_{\text{тр}}$ – гидравлическое сопротивление трубного пространства подконтактного холодильника, Па.

$$\Delta P_{\text{к.ап.}} = \frac{2f}{\varepsilon^2} \cdot \frac{g_0^2}{\rho_g \cdot g} \cdot \frac{H}{d_g}; \quad (19.2)$$

где, f – функция Re , для турбулентного режима и насыпной насадки $f = 3,8/Re^{0,2}$;

ε – порозность слоя, $\varepsilon = 0,4$;

g_0 – удельная массовая скорость газа, рассчитанная на сечение пустого аппарата, $\text{кг/м}^2\text{с}$.

$$g_0 = \frac{3581,42}{3600} = 0,995 \text{ кг/м}^2\text{с}; \quad (19.3)$$

ρ_g – плотность газа, кг/м^3 ;

g – ускорение свободного падения – 9,81 м/с²;

Re – 4238,19 [технологич. расчет].

$$f = \frac{3,8}{4238,19^{0,2}} = 1,07. \quad (19.4)$$

$$\Delta P_{\text{к.ап.}} = \frac{2 \cdot 1,07}{0,42} \cdot \frac{0,995^2 \cdot 0,00006}{0,487 \cdot 9,81 \cdot 0,0334} = \frac{0,000127119}{0,025530799} = 3,43 \text{ Па}.$$

$$\Delta P_{\text{тр}} = \Delta P_1 + \Delta P_2, \text{ Па} \quad (19.5)$$

где, ΔP_1 – потеря давления на входе в трубки, в трубках, на выходе из них, Па;

ΔP_2 – потеря давления на входе в выходной патрубков, Па.

$$\Delta P_1 = (\varepsilon_1 + \lambda \frac{l'}{d} + \varepsilon_2) * \frac{\omega^2 \cdot \rho}{2}, \text{Па. (19.6)}$$

Коэффициент сопротивления на входе в трубку принимаем $\varepsilon_1 = 0,5$ $d = 38\text{Ч}2$ мм, $Re = 4238,19$.

Относительная шероховатость:

$$\frac{l}{d_l} = \frac{0,1}{3,4} = 0,0029 \text{мм. (19.7)}$$

Размер выступов шероховатости принимаем равным 0,1 мм.

Коэффициент трения λ для $Re = 4238,19$ и $l/d = 0,0029$ находим [7, с. 445], $\lambda = 0,045$.

Коэффициент сопротивления на входе из трубок принимаем $0,5 - \varepsilon_n$.

$$\Delta P_1 = (0,5 + 0,045 \cdot 0,0001/0,034 + 0,5) \cdot \frac{6,4^2 \cdot 0,487}{2} = 117,98;$$

$$\varepsilon = (1 - S_{\text{м.тр.}}/S_p)^2 = (1 - 0,577/7,065)^2 = 0,843; \text{ (19.8)}$$

$$\Delta P_2 = \varepsilon \cdot \frac{\omega^2 \cdot \rho}{2} = 0,843 \cdot \frac{6,4^2 \cdot 0,487}{2} = 572,3; \text{ (19.9)}$$

$$\Delta P_{\text{тр}} = 117,98 + 572,3 = 690,28 \text{ Па};$$

$$\Delta P = 3,43 + 690,28 = 693,71 \text{ Па.}$$

Определение гидравлического сопротивления межтрубного пространства подконтактного холодильника [1, с. 446, рис. 3]:

$$\Delta P_{\text{м.тр.}} = \lambda \cdot \frac{D \cdot (n+1)}{d_3} \cdot \frac{\omega^2 \cdot \rho}{2}; \quad (19.10)$$

где, D – внутренний диаметр кожуха, м;

n – число перегородок в межтрубном пространстве;

ω – скорость движения жидкости, м/с;

d_3 – эквивалентный диаметр межтрубного пространства, $d_3 = 0,0334$;

ρ – плотность жидкости, кг/м³;

λ – коэффициент трения, $\lambda = 0,6$ [1, с. 446].

$$\Delta P_{\text{м.тр.}} = 0,6 \cdot \frac{3 \cdot (3+1)}{0,0334} \cdot \frac{0,016^2 \cdot 954}{2} = 26,42 \text{ Па.}$$

Затраты давления на подъем охлаждающей жидкости:

$$\Delta P = \rho \cdot q \cdot h; \quad (19.11)$$

$$\Delta P_{\text{под}} = 954 \cdot 9,81 \cdot 12 = 112304,88 \text{ Па};$$

$$\Delta P = \Delta P_{\text{м.тр.}} + \Delta P_{\text{под}} = 26,42 + 112304,88 = 112331,3 \text{ Па.} \quad (19.12)$$

X. МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

Цель расчета – определение размеров отдельных элементов, обеспечивающих безопасную эксплуатацию аппарата за счет установочной механической прочности, плотности расчетных соединений, устойчивости к сохранению формы и необходимой долговечности.

10.1 Обоснование конструкции основного аппарата

Реактор (контактный аппарат поз.Р1) предназначен для окислительного дегидрирования метанола в формальдегид в газовой фазе на пемзосеребряном катализаторе. Реактор представляет собой стальной вертикальный цилиндрический аппарат, разделенный на две секции: верхнюю (секция контактирования) и нижнюю (подконтактный холодильник). В нижней части секции контактирования на свободно лежащую решетку, покрытую двумя слоями сеток, засыпан катализатор. В этой секции происходит, непосредственно, синтез формальдегида. Разогрев контактной массы, при пуске, до температуры 300ч350°С, при которой начинается реакция превращения метанола в формальдегид, осуществляется включением электрозапала, представляющего собой три нихромовые спирали (диаметром 0,4 мм), уложенные поверх слоя катализатора. Дальнейший подъем температуры происходит за счет выделяющегося тепла реакций. Секция контактирования снабжена штуцером для подвода метанола-воздушной смеси, люком-лазом (для загрузки и выгрузки катализатора). В связи с тем, что метанола-воздушная смесь взрывоопасна, на случай аварийных ситуаций, секция контактирования снабжена, также, двумя взрывными мембранами. Для контроля температуры в слое катализатора имеются два штуцера, предназначенных для подсоединения датчиков температуры.

Синтез формальдегида протекает с выделением тепла при температурах 550ч700°С. При таких температурах формальдегид неустойчив и возможно его необратимое разложение, поэтому требуется быстрое охлаждение (закалка) контактных газов до температуры не выше 200°С. По этой причине непосредственно под верхней секцией контактного аппарата (в нижней секции) смонтирован теплообменник (подконтактный холодильник). Подконтактный холодильник представляет собой кожухотрубчатый одноходовой теплообменник, по трубному пространству которого движутся контактные газы, а в межтрубном пространстве происходит кипение водного конденсата. Для равномерной подачи конденсата и отвода водяного пара

имеется по шесть штуцеров, расположенных радиально, соответственно в нижней и верхней частях межтрубного пространства. В нижней части холодильника имеются: штуцер для отвода контактных газов, люк-лаз (для регламентных работ), дренажный штуцер. Для компенсации температурных напряжений на корпусе подконтактного холодильника предусмотрен линзовый компенсатор. Контактный аппарат устанавливается на несущие балки металлоконструкции с помощью юбочной цилиндрической опоры.

10.2 Выбор материала основных элементов аппарата

На выбор конструкционных материалов для изготовления аппаратов химической промышленности влияет ряд факторов, таких как:

- агрессивность среды, с которой контактирует материал;
- температура;
- давление;
- стоимость материала;
- легкость его обработки и т.д.

Главными из этих условий являются агрессивность среды и температура.

В контактном аппарате рассматриваемой конструкции можно выделить три группы деталей и узлов: детали, соприкасающиеся с контактным газом и метано-воздушной смесью (обечайка, крышка и днище, трубы подконтактного холодильника, трубные решетки т.д.); детали, соприкасающиеся с водяным паром и конденсатом (штуцера для подвода конденсата и отвода пара, трубчатка подконтактного холодильника и т.д.); детали, находящиеся в контакте только с внешней средой (монтажные штуцера, опора и т.д.).

Контактный газ является агрессивной средой и имеет достаточно высокую температуру, до 700°C, поэтому узлы и детали, соприкасающиеся с ним, следует изготавливать из жаропрочных материалов с высокой

коррозионной стойкостью. Этим условиям удовлетворяют высоколегированные стали типа 12X18H10T (ГОСТ 5632 – 61). Эта сталь обладает хорошими прочностными свойствами, жаропрочна при температурах 700°C, характеризуется высокой коррозионной стойкостью во многих агрессивных средах, технологична в обработке, хорошо деформируется в горячем и холодном состояниях, хорошо сваривается всеми видами сварки и не требует обязательной термической обработки изделия после сварки. Единственный недостаток этого материала – высокая стоимость [17, с.79].

Другая группа деталей и узлов находится в контакте с водяным паром и конденсатом при температурах порядка 100ч150°C. Вода является менее агрессивной средой по сравнению с контактными газами, поэтому для изготовления узлов и деталей, контактирующих с водой, можно использовать стали с меньшей коррозионной и жаростойкостью, такие как углеродистые или низколегированные стали. В конструкции действующих контактных аппаратов для изготовления деталей контактирующих с водой применяется низколегированная сталь марки 09Г2С (ГОСТ 5520 – 62). Сталь этой марки характеризуется повышенной прочностью и ударной вязкостью, хорошо деформируется и обрабатывается резанием, легко сваривается всеми видами сварки, однако, неустойчива во многих агрессивных средах. Использование этой стали выгоднее и с финансовой точки зрения в виду ее дешевизны. [17, с.69].

Детали, находящиеся в контакте только с внешней средой, следует изготавливать из возможно более дешевых материалов, обладающих, однако, достаточной механической прочностью. В конструкции действующего контактного аппарата для изготовления такого рода деталей используется углеродистая сталь Ст.3сп. (ГОСТ 380 – 60). Сталь этой марки характеризуется хорошим сочетанием механических свойств, позволяющим применять ее для изготовления ответственных деталей и узлов, хорошо обрабатывается резанием и давлением, хорошо сваривается всеми видами

сварки, однако, как и сталь марки 09Г2С неустойчива во многих агрессивных средах [17, с.68].

В качестве прокладочного материала в действующих контактных аппаратов используется паронит марки ПОН-Б (ГОСТ 481 – 80). Этот материал может использоваться в агрессивных средах при рабочих давлениях среды до 6 МПа и температурах до 500°С [17, с.240], следовательно, выбор его оправдан.

10.3 Расчет диаметра патрубков

Подбор патрубков и фланцев будем проводить по условному проходу и условному давлению.

Расчет диаметра патрубков рассчитывается по формуле:

$$d_y = \sqrt{\frac{4G}{\pi \cdot 3600 \cdot \omega \cdot \rho}}, \quad (20.1)$$

где, G – расход продукта, кг/ч;

щ – скорость движения продукта, м/с;

с – плотность продукта, кг/м³.

Значение скоростей движения продуктов в таблице 20.1 [1, с.100].

Таблица 20.1 – Значение скоростей движения продуктов

Продукты	Назначение патрубка	Температура, °С	Плотность, кг/м ³	Скорость, м/с	Расход, кг/с
Конденсат	вход	90	996	1,6	10,5
Конденсат	выход	123	954	50	10,5
Спирто – воздушная смесь	вход	100	0,940	30	7
Контактные газы	выход	180	0,818	30	7

Результаты расчета в таблице 20.2.

Таблица 20.2 – Результаты расчета

Продукты	Диаметр по расчету, м	Принятый диаметр, м
Конденсат	0,168	0,2
Конденсат	0,0918	0,1
Спирто – воздушная смесь	0,563	0,6
Контактные газы	0,739	0,8

Диаметры патрубков принимаем согласно ГОСТ 28759.2 – 90.

Основные размеры подобранных фланцев к патрубкам в таблице 20.3.

Таблица 20.3 – Основные размеры подобранных фланцев к патрубкам

Пат-руб-бок	D	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅	S	h	h ₀	d	Z	a	a ₁
1	100	205	170	148	108	-	-	11	4	16	8	-	-
2	200	315	280	258	219	-	-	15	4	16	4	-	-
3	600	720	680	644	652	643	8	30	-	23	24	14	12
4	800	920	880	842	852	841	8	35	-	23	32	14	12

Для входа и выхода конденсата используют плоский-приварной фланец, а для входа спирто-воздушной смеси и выхода контактных газов - тип фланцевого соединения "шип-паз".

10.4 Расчет толщины стенок обечайки и днища

Толщина стенки обечайки реактора

Исходные данные:

материал – сталь 12Х18Н10Т;

температура – 650°С;

диаметр – 3,0 м;

расчетное давление – 0,3 МПа;

нормативно допустимое напряжение $\sigma^* = 113$ МПа [1, с. 33, таб. 1.4];

толщину обечайки рассчитываем по формуле:

$$S = \frac{P \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma_{\text{дон}} - P} + C + C_1; \quad (20.2)$$

где, $\varphi = 1$ – коэффициент прочности сварного шва;

$\sigma_{\text{дон}}$ – допустимое напряжение, МПа;

$$\sigma_{\text{дон}} = \eta \cdot \sigma^*; \quad (20.3)$$

$\eta = 1$ – поправочный коэффициент [1, с. 31];

$$\sigma_{\text{дон}} = 1 \cdot 113 \text{ МПа} = 113 \text{ МПа.}$$

C – прибавка на компенсацию коррозии, м;

C_1 – дополнительная прибавка на округление размеров, м;

$$C_1 = 0,62 \text{ см.}$$

$$C = P \cdot \tau = 0,0002 \cdot 10 = 0,002 \text{ м}; \quad (20.4)$$

где, P – коррозионная проницаемость слоев для среды, содержащий формальдегид и метанол, $P = 0,2$ мм/год;

τ – амортизационный срок службы, $\tau = 10$ лет.

$$S = \frac{0,3 \cdot 3,0}{2 \cdot 1 \cdot 113 - 0,3} + 0,002 + 0,0062 = 0,012 \text{ м.}$$

Допускаемое давление:

$$P_{\text{дон}} = \frac{2 \cdot \varphi \cdot \sigma_{\text{дон}} \cdot (S - C)}{D + S - C}; \quad (20.5)$$

$$P_{\text{дон}} = \frac{2 \cdot 1 \cdot 113 \cdot (0,012 - 0,002)}{3 + 0,012 + 0,002} = 0,751 \text{ МПа.}$$

Формулы применимы для выполнения условия:

$$\frac{S-C}{D} \leq 0,1; \quad (20.6)$$

$$\frac{0,012-0,002}{3} = 0,003 < 0,1.$$

Прочность обечайки обеспечена.

Толщина стенки обечайки подконтактного холодильника

Исходные данные:

материал – сталь 09Г2С;

температура – 106,5°С;

диаметр – 3,0 м;

расчетное давление 0,2 МПа;

нормативно допускаемое напряжение.

$$y^* = 151,6 \text{ МПа}; y_{\text{доп}} = 1 \cdot 151,6 = 151,6 \text{ МПа.}$$

$$S = \frac{P \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma_{\text{дон}} - P} \Rightarrow \frac{0,2 \cdot 3,0}{2 \cdot 1 \cdot 151,6 - 0,2} + 0,002 + 0,004 = 0,009 \text{ м.} \quad (20.7)$$

$$P_{\text{дон}} = \frac{2 \cdot 1 \cdot 151,6 \cdot (0,009 - 0,002)}{3 + 0,009 - 0,002} = 0,332 \text{ МПа.}$$

Условия применимости расчетных формул:

$$\frac{S-C}{D} \leq 0,1; \quad (20.8)$$

$$\frac{0,009-0,002}{3,0} = 0,0023 < 0,1.$$

Прочность обечайки обеспечена.

10.5 Расчет толщины днища подконтактного холодильника

(выбираем крышку эллиптической формы):

Исходные данные:

материал – сталь 12Х18Н10Т;

температура – 180°С;

диаметр – 3,0 м;

расчетное давление – 0,3 МПа;

нормативно допускаемое напряжение $y^* = 113$ МПа.

Допускаемое напряжение $y_{\text{доп}} = 1 \cdot 113 = 113$ МПа.

Исполнительную толщину стенки определяем по формуле:

$$P_{\text{дон}} = \frac{2 \cdot (S_1 - C) \cdot \varphi \cdot \sigma_{\text{дон}}}{R + (S_1 - C) \cdot 0,5} = \frac{2 \cdot (0,01 - 0,002) \cdot 1 \cdot 113}{3 + (0,01 - 0,002) \cdot 1,5} = 0,504 \text{ МПа}. \quad (20.9)$$

Формулы применимы когда:

$$\frac{S_1 - C}{D} \leq 0,1; \quad (20.10)$$

$$\frac{H}{D} \geq 0,2. \quad (20.11)$$

Условия прочности обеспечены.

10.6 Условия укрепления отверстий

Расчетный диаметр для эллиптического днища:

$$D_R = 2 \cdot S_1 + D \cdot \sqrt{1 - 3 \cdot \left(\frac{x}{D}\right)^2}; \quad (20.12)$$

$$D = 3 \text{ м} = 300 \text{ см}, S = 100 \text{ см}.$$

где, x – расстояние от центра укрепляемого отверстия до оси эллиптического днища, $x = 0$.

$$D_R = 1 \cdot 2 + 300 \cdot \sqrt{1 - 3 \cdot \left(\frac{0}{D}\right)^2} = 302 \text{ см} = 3,02 \text{ м}$$

Расчетный диаметр отверстия в днище:

$$d_R = d + 2 \cdot S_{\text{ст.ш.}}; \quad (20.12)$$

где, d – диаметр штуцера, 0,6 м [1, таб. 77];

$S_{\text{ст.ш.}}$ – толщина стенки штуцера;

$$S_{\text{ст.ш.}} = C_1 + C_2; \quad (20.13)$$

где, C_1 – прибавка на коррозию, м;

C_2 – минусовой допуск по толщине листа штуцера, м.

$$S_{\text{ст.ш.}} = 0,002 + 0,008 = 0,01 \text{ м};$$

$$D_R = 0,6 + 2 \cdot 0,01 = 0,62 \text{ м}.$$

Условия применения формул для днища [2, с. 498]:

$$\frac{S_{\text{ст.ш.}}}{d_R} \leq 0,05; \quad \frac{0,01}{0,62} = 0,02 \leq 0,05. \quad (20.14)$$

$$\frac{d_R}{D_R} \leq 0,6; \quad \frac{0,62}{3,02} = 0,205 \leq 0,6. \quad (20.15)$$

Условия выполняются, укрепление отверстия не нужно.

10.7 Расчет крышки аппарата

Исходные данные:

материал – сталь 12Х18Н10Т;

нормативное допускаемое напряжение $\sigma_{\text{доп}} = \varphi \cdot \sigma^* = 1 \cdot 113 = 113$ МПа.

Исполнительная толщина стенки:

$$S_2 = \frac{P \cdot R}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma_{\text{доп}} - 0,5 \cdot P} + C + C_1; \quad (20.16)$$

$$R = \frac{D^2}{4 \cdot H} = \frac{3^2}{4 \cdot (0,25 \cdot 3)} = 3 \text{ м}. \quad (20.17)$$

$$S_2 = \frac{0,3 \cdot 3}{2 \cdot 1 \cdot 113 - 0,5 \cdot 0,3} + 0,002 + 0,0062 = 0,01 \text{ м}.$$

Допускаемое давление:

$$P_{\text{доп}} = \frac{2 \cdot (S_2 - C) \cdot \varphi \cdot \sigma_{\text{доп}}}{R + (S_2 - C)} = \frac{2 \cdot (0,01 - 0,002) \cdot 1 \cdot 113}{3 + (0,01 - 0,002)} = 0,504 \text{ МПа}. \quad (20.18)$$

Применимость формул:

$$\frac{S_2 - C}{D} \leq 0,1; \quad (20.19)$$

$$\frac{H}{D} = 0,2. \quad (20.20)$$

$$\frac{0,75}{3} = 0,25 \geq 0,2; \quad \frac{0,01 - 0,002}{3} = 0,0027 \leq 0,1.$$

Условия прочности обеспечены.

Выбираем тип конструкции крышки:

сварная стальная при $P_{\text{доп}} \leq 25 \text{ кг/см}^2$ [77, с. 569, рис. 23.10].

10.8 Расчет трубной решетки подконтактного холодильника

Трубные решетки по конструкции представляют собой эллиптические днища. Такие трубные решетки применяются в кожухотрубчатых аппаратах при относительно больших диаметров аппарата $D = > 1200 \text{ мм}$.

Исходные данные:

материал – сталь 12Х18Н10Т;

количество труб в решетки 2475, $d - 38\text{Ч}2$;

нормативно допускаемое напряжение $y^* = 113 \text{ МПа}$;

допускаемое напряжение $y_{\text{доп}} = 113 \text{ МПа}$ [2, с. 33, таб.1,4];

диаметр обечайки, $D_{\text{об}} = 3,0 \text{ м}$;

температура – 650°C ;

Выбираем конструкцию решетки 2 – го типа [2, с. 633, рис. 25,].

Способ закрепления труб в трубных решетках:

выбираем способ гладкой развальцовки.

Расчетная высота снаружи (h_1):

$$h_1 = K_1 \cdot D \cdot \sqrt{\frac{P}{\sigma_{\text{доп}}} + C + C_1}; \quad (20.21)$$

где, K_1 – коэффициент, $K_1 = 0,36$ [2, с. 637, таб. 25.3];

$$h_1 = 0,36 \cdot 3,0 \cdot \sqrt{0,2/113 + 0,002 + 0,004} = 0,051 \text{ м.}$$

Расчетная высота решетки а середине (h_2):

$$h_2 = K_2 \cdot D \cdot \sqrt{\frac{P}{\varphi_0 \cdot \sigma_{дон}}}; \quad (20.22)$$

где, $K_2 = 0,45$ [2, стр. 637, таб. 25.3];

φ_0 – коэффициент ослабления решетки отверстиям;

$$\varphi_0 = \frac{D - z \cdot d_H}{D}; \quad (20.23)$$

где, z – количество труб в решетки по диаметру.

$$z = 2 \cdot \sqrt{\frac{n-1}{3} + 0,25} = 2 \cdot \sqrt{\frac{2475-1}{3} + 0,25} = 57; \quad (20.24)$$

$$\varphi_0 = \frac{3,0 - 57 \cdot 0,038}{3} = 0,278;$$

$$h_2 = 0,45 \cdot 3,0 \cdot \sqrt{\frac{0,2}{0,278 \cdot 113}} = 0,10771.$$

С прибавками на коррозию:

$$h_2 = 0,10771 + 0,001 = 0,10871 \text{ м.}$$

10.9 Расчет тепловой изоляции реактора

Исходные данные:

Аппарат расположен на отдельной площадке.

температура воздуха – $t_6 = 5^\circ\text{C}$;

температура поверхности изоляции – 40°C ;

температура рабочей среды – 650°C ;

теплоизоляционный материал – асбест;

коэффициент теплопередачи воздуха – $21 \text{ Вт/м}^2\text{К}$.

Удельный тепловой поток:

$$q = B_B (t_n - t_B) = 21 (40 - 5) = 735 \text{ Вт/м}^2. \quad (20.25)$$

Теплопроводность асбеста при $t_{cp} \Rightarrow t_{cp} = (650 + 40)/2 = 340^\circ\text{C}$:

$$\lambda = 0,13 + 0,000186 t_{cp}; \quad (20.26)$$

$$\lambda = 0,13 + 0,000186 \cdot 340 = 0,189 \text{ Вт/м К [3, ст. 604].}$$

Толщину изоляции находим:

$$\delta_{из} = \frac{\lambda^* (t_{cp} - t_{из})}{q} = \frac{0,189 \cdot (650 - 40)}{735} = 0,144 \text{ м}. \quad (20.27)$$

Принимаем толщину изоляции $d_{из} = 14,4 \text{ см}$.

10.10 Расчет компенсатора подконтактного холодильника

В кожухотрубчатых аппаратах развивается весьма значительные напряжения за счет неодинакового температурного удлинения жесткосоединенных между собой деталей (например, труб, кожуха). Для ликвидации этого аппарат снабжают компенсатором.

Исходные данные:

диаметр обечайки $D = 3,0 \text{ м}$;

длина обечайки $l = 4 \text{ м}$;

давление в межтрубном пространстве $P_m = 0,222 \text{ МПа}$;

давление в трубном пространстве $P_{тр} = 0,666 \text{ МПа}$;

температура трубок $t_{тр} = 232^\circ\text{C}$;

температура обечайки $t_{об} = 73,25^\circ\text{C}$;

толщина обечайки $S_{об} = 0,009 \text{ м}$;

количество труб $z = 2475$, $d - 38\text{Ч}2$;

коэффициент линейного расширения стали:

при $t_1 = 232^\circ\text{C}$; $\beta_{\text{тр}} = 13,5 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$.

при $t_2 = 73,25^\circ\text{C}$; $\beta_{\text{об}} = 12,6 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$.

температура воды $t_{\text{ср}} = 106,5^\circ\text{C}$.

Требуемое для компенсации перемещение.

$$\Delta K = L \cdot (\alpha_{\text{тр}} \cdot t_1 - \alpha_{\text{от}} \cdot t_2); \quad (20.28)$$

где, L – длина труб между трубными решетками, $L = 4,2 \text{ м}$;

$$\Delta K = (13,5 \cdot 10^{-6} \cdot 232 - 12,6 \cdot 10^{-6} \cdot 73,25) = 0,009 \text{ м} = 9 \text{ мм}.$$

Разница между t_1 и t_2 составит $232 - 73,25 = 158,75^\circ\text{C}$, что больше 50°C , следовательно, необходимо наличие компрессора на обечайке.

По таблице 26.2 [2, с. 649] находим компенсатор.

$$D = 3386 \text{ мм};$$

$$S = 3 \text{ мм};$$

$$\Delta L = 8 \text{ мм};$$

$$P_{\text{об}} = 0,15 \text{ МПа};$$

$$P_{\text{р}} = 0,158 \text{ МПа}.$$

Расчетное количество линз в компенсаторе:

$$Z' = \frac{2 \cdot \Delta K}{\Delta L} = \frac{29}{8} = 2,25 \quad (20.29)$$

Принимаем $Z' = 2$.

10.11 Расчет опорных лап

Контактный аппарат по конструкции представляет собой вертикальный цилиндрический аппарат, установленный на открытой площадке. В таких случаях применяются опоры, которые размещаются снизу аппарата

Расчет опорных лап проводим по максимальной силе тяжести аппарата при заполнение его водой для проведения его гидравлического испытания.

Определим массу аппарата.

Вес обечайки реактора и подконтактного холодильника:

$$G_{об} = \frac{\pi}{4} \cdot (D_n^2 - D_g^2) \cdot H \cdot j; \quad (20.30)$$

где, D_n и D_b наружный и внутренний диаметры обечайки, м;

$$D_n = D_b + 2S = 3,0 + 2 \cdot 0,009 = 3,018 \text{ м.}$$

$j = 7900 \text{ кг/м}^3$ – плотность стали 12Х18Н10Т;

$j = 7800 \text{ кг/м}^3$ – плотность стали 02Г2С.

$$G_{об.хол.} = \frac{\pi}{4} \cdot (3,018^2 - 3,0^2) \cdot 4,78 \cdot 7800 = 3846,95 \text{ кг.} \quad (20.31)$$

$$G_{об.ап.} = \frac{\pi}{4} \cdot (3,018^2 - 3,0^2) \cdot 1,8 \cdot 7900 = 1209,8 \text{ кг.} \quad (20.32)$$

Вес трубных решеток:

$$G_{тр.р.} = \frac{\pi}{2} \cdot [D_{об}^2 \cdot h_2 + (D_{тр}^2 - D_{об}^2) \cdot h_1 - h_2 \cdot n \cdot d_n^2] \cdot j = \frac{3,14}{2} \cdot [3^2 \cdot 0,10871 + (3,018^2 - 3^2) \cdot 0,051 - 0,10871 \cdot 2475 \cdot 0,038^2] \cdot 7800 = 3536 \text{ кг.}$$

Вес днища и крышки стандартен и равен:

$$G_d = 217 + 217 = 434 \text{ кг.}$$

Вес люков стандартен и равен:

$$G_{\text{л}} = 4 \cdot 304 = 1216 \text{ кг.}$$

Вес патрубков стандартен и равен:

$$G_{\text{п}} = 104 + 163 + 8,31 + 4,15 \cdot 2 = 283,61 \text{ кг.}$$

Вес фланцев обечаек стандартен и равен:

$$G_{\text{ф}} = 398 \cdot 8 = 3184 \text{ кг.}$$

Вес труб холодильника:

$$G_{\text{тр}} = n \cdot \alpha \cdot 0,632; \quad (20.33)$$

где, α – высота трубки, масса одной трубы равна 0,63 кг;

$$G_{\text{тр}} = 2475 \cdot 5 \cdot 0,632 = 7821 \text{ кг.}$$

Вес теплоизоляции обечайки теплообменника:

$$G_{\text{из}} = \frac{\pi}{4} \cdot (D_{\text{н.из.}}^2 - D_{\text{в.из.}}^2) \cdot H \cdot j_1; \quad (20.34)$$

где, $D_{\text{в.из.}}$ и $D_{\text{н.из.}}$ – диаметры внутреннего и внешнего слоя изоляции;

H – высота изоляционной части.

$$D_{\text{н.из.}} = D_{\text{в.из.}} + 2 \cdot \delta_{\text{из}} = 3,018 + 2 \cdot 0,144 = 3,306 \text{ м.} \quad (20.35)$$

j_1 – плотность асбеста, $j_1 = 350 \text{ кг/м}^3$.

$$G_{уз} = \frac{3,14}{4} \cdot (3,306^2 - 3,018^2) \cdot 5,8 \cdot 350 = 2903,8 \text{ кг}.$$

Общий вес аппарата:

$$\sum G = 24435,18 \text{ кг} = 24,44 \text{ тонны}.$$

Определим массу воды в аппарате:

$$G_{H_2O} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot H \cdot j_{H_2O}; \quad (20.36)$$

где, H – высота аппарата;

j_{H_2O} – плотность воды.

$$G_{H_2O} = \frac{3,14 \cdot 3,0^2}{4} \cdot 7,6 \cdot 1000 = 53721,23 \text{ кг}.$$

Максимальная масса аппарата:

$$\sum G + G_{H_2O} = 53721,23 + 24435,18 = 78156,41 \text{ кг}. \quad (20.37)$$

Определим расчетную толщину ребра опоры:

$$S_{оп} = \frac{2,24 \cdot G}{k \cdot n \cdot z \cdot l \cdot \sigma_c}; \quad (20.38)$$

где, G – максимальная масса аппарата, кг;

n – число лап ($n = 4$);

z – число ребер в одной лапе ($z = 2$);

y_c – допускаемое напряжение на сжатие принимаем $y_c = 1000 \text{ кгс/см}^2$;

l – высота опоры, принимаем $l = 0,2 \text{ м}$;

k – коэффициент, $k = 0,6$.

$$S_{оп.} = \frac{2,24 \cdot 78156,41}{0,6 \cdot 4 \cdot 2 \cdot 20 \cdot 1000} + 0,002 = 1,826 \text{ см.}$$

$$S_{оп.} = 0,01826 \text{ [м]} = 18,26 \text{ [мм]}.$$

Определим высоту лапы:

$$h = \frac{l}{0,5} = 0,4 \text{ м.} \quad (20.39)$$

Проверка: $l/13 \leq 0,019 \text{ [м]}$.

$$0,2/13 = 0,015 \leq 0,019.$$

Следовательно, $S_{оп.}$ определяем расчетной.

Общая длина сварного шва.

$$L_{ш.} = 4 (h + S_{оп.}) = 4 (0,4 + 0,01826) = 1,673 \text{ м} \quad (20.40)$$

Прочность сварного шва:

$$G/n \leq 0,7 \cdot L_{ш.} \cdot h_{ш.} \cdot \tau_{ш.с.}; \quad (20.41)$$

где, $h_{ш.}$ – катет сварного шва, $0,008 \text{ м}$;

$\tau_{ш.с.}$ – допускаемое напряжение материала на срез, 800 кг/см^2 .

$$\frac{78156,41}{4} = 19539,1 \leq 0,7 \cdot 1,673 \cdot 0,8 \cdot 800 = 74950,4.$$

$$19539,1 \leq 74950,4.$$

Условия прочности выполнены. Принимаем опору ГОСТ 26 – 467 – 82.

XI. ПОДБОР ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

11.1. Ректификационная колонна K2

Ректификационная колонна предназначена для разделения формалина от метанола.

Определение диаметра тарельчатой ректификационной колонны производится по формуле:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{0,785 \cdot \omega}}; \quad (21.1)$$

где, G – массовый расход проходящего по колонне пара, 20425 кг/ч или 5,67 кг/с;

ω - скорость потока, м/с.

Скорость потока определяется по формуле:

$$\omega = c \cdot \sqrt{\frac{\rho_{ж}}{\rho_{п}}}; \quad (21.2)$$

где, c – коэффициент, определяемый по рис.7.2 [6, 17], $c = 0,065$;

$\rho_{ж}$ – плотность жидкой фазы, кг/м³ ($\rho_{ж} = 714,75$ кг/м³);

$\rho_{п}$ – плотность пара, кг/м³ ($\rho_{п} = 0,279$ кг/м³).

$$\omega = 0,065 \cdot \sqrt{\frac{714,75}{0,279}} = 3,29 \text{ м/с.}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 5,67}{0,785 \cdot 3,29}} = 2,9 \text{ м.}$$

Высота колонны:

$$H_m = (n - 1) \cdot h; \quad (22.3)$$

где, n – число тарелок в колонне, $n = 70$;

h – расстояние между тарелками, $h = 750$ мм.

$$H_m = (70 - 1) \cdot 750 = 51750 \text{ мм.}$$

Принимаем $H_T = 52000$ мм = 52 м.

11.2. Абсорбционная колонна К1

Абсорбционная колонна предназначена для поглощения формальдегида деминерализованной водой.

Определение диаметра тарельчатой ректификационной колонны производится по формуле:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{0,785 \cdot \omega}};$$

где, G – расход проходящего по колонне газа, 32537,55 кг/ч или 9,04 кг/с;

ω – рабочая скорость газа, м/с;

$$\omega = 0,5 \cdot \omega_{np};$$

принимаем $w_{пр} = 6,05$ м/с, тогда

$$\omega = 0,5 \cdot 6,05 = 3,025 \text{ м/с.}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 9,04}{0,785 \cdot 3,035}} = 2,8 \text{ м.}$$

Высота абсорбционной колонны:

$$H_{абс} = (n - 1) \cdot h;$$

где, n – число тарелок в колонне, $n = 24$;

h – расстояние между тарелками, $h = 600$ мм.

$$H_{абс} = (24 - 1) \cdot 600 = 13800 \text{ мм} = 13,8 \text{ м.}$$

11.3. Испаритель E2a

Вертикальный сварной аппарат со встроенным секционным объемно-сетчатым брызгоулавителем. Материал – Ст09Г2С.

$$D = 2800 \text{ мм}; H = 7550 \text{ мм}; V = 32 \text{ м}^3.$$

Требуемый объем испарителя определяем по формуле:

$$V = \frac{G \cdot \tau}{K \cdot \rho}; \quad (22.4)$$

где, G – расход выходящей из него метанола-воздушной смеси, $G = 25302,74$ кг/ч;

τ – время, на которое рассчитывается расход продукта (берется по технологическим соображениям), $\tau = 0,5$ ч;

K – коэффициент заполнения емкости, $K = 0,6 - 0,8$;

ρ – плотность смеси, $\rho = 800$ кг/м³.

$$V = \frac{25302,74 \cdot 0,5}{0,8 \cdot 800} = 19,8 \text{ м}^3.$$

Требуемый объем меньше, значит, аппарат справиться с нагрузкой.

3. Теплообменник Т2

Горизонтальный кожухотрубный аппарат. Материал – сборный:
Ст16ГС, Ст10, Ст20.

Диаметр – 1000 мм; длина 4170 мм; площадь теплообмена 221 м².

Назначение: для перегрева метанола – воздушной смеси.

Рабочие условия:

Трубное пространство: Р = 0,07 МПа, Т = 150°С, среда – метанол.

Межтрубное пространство: Р = 0,6 МПа, Т = 180°С, среда – водяной пар.

Температурная схема теплообмена:

$$160^\circ\text{C} \rightarrow 160^\circ\text{C};$$

$$65^\circ\text{C} \rightarrow 125^\circ\text{C}.$$

$$\Delta t_{\text{г}} = 160 - 65 = 95^\circ\text{C};$$

$$\Delta t_{\text{м}} = 160 - 125 = 35^\circ\text{C}.$$

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{\Delta t_{\text{г}} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln(\Delta t_{\text{г}}/\Delta t_{\text{м}})}; \quad \Delta t_{\text{ср}} = \frac{95 - 35}{\ln \frac{95}{35}} = 60^\circ\text{C}.$$

Принимаем значение коэффициента теплопередачи $K = 60 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ (от конденсирующего пара к газу) [2, с. 365 таб. 4.8]:

$$\sum Q = Q_{\text{мет}} + Q_{\text{возд}}, \quad (22.5)$$

$$C_{\text{мет}} (\text{при } 60^\circ\text{C}) = 2703 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К},$$

$$C_{\text{возд.}} = 866 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}.$$

$$Q = G \cdot C \cdot t. \quad (22.6)$$

$$Q_{мет} = \frac{12862}{3600} \cdot 2703 \cdot (125 - 65) = 627719,19 \text{ Вт.}$$

$$Q_{возд} = \frac{3501,12}{3600} \cdot 866 \cdot (125 - 65) = 54743,9 \text{ Вт.}$$

$$\Sigma Q = 627719,19 + 54743,9 = 682463,09 \text{ Вт.}$$

Поверхность теплообмена:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{cp}} = \frac{682463,09}{60 \cdot 60} = 189,57 \text{ м}^2. \quad (22.7)$$

Подбираем из [2, с. 51 таб. 2.3] по ГОСТ 15118 – 79.

диаметр кожуха $D_{кож.} = 800$ мм;

общее число труб $n_{тр.} = 404$ шт;

длина труб $L_{тр.} = 6,0$ м;

площадь поверхности теплообмена $F = 190 \text{ м}^2$;

диаметр труб $D_{тр} - 25Ч2$ мм.

11.4. Теплообменники Т3, Т4, Т5, Т6

Пластинчатый теплообменник Т3.

Теплообменник служит для охлаждения формалина, отводимого из куба колонны.

Рабочие условия:

Полость хладагента: $P = 0,45$ МПа, $T = (28 - 38)^\circ\text{C}$, среда – вода обратная.

Полость горячего продукта: $P = 0,25$ МПа, $T = 40^\circ\text{C}$, среда – раствор формалина.

Температурная схема теплообмена:

$70^\circ\text{C} \rightarrow 40^\circ\text{C}$;

$38^\circ\text{C} \leftarrow 28^\circ\text{C}$.

Средняя разность температур: $Dt_6 = 70 - 38 = 32^\circ\text{C}$; $Dt_m = 40 - 28 =$

12°C.

$$\Delta t_{\text{cp}} = \frac{(32-12)}{\ln(32/12)} = 20,4^{\circ}\text{C}.$$

$$\Delta T_{\text{cp}} = 20,4 \text{ К}.$$

Требуемая поверхность теплообмена:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta T_{\text{cp}}};$$

где, Q – тепловая нагрузка, Вт;

K – коэффициент теплоотдачи, принимаем $K = 800 \text{ Вт/м}^3$ [12, табл. 2.1, с.47];

ΔT_{cp} – средняя разность температур, К.

$$Q = \frac{40533017,4 \cdot 15}{100} = 6079952,61 \text{ Вт}.$$

$$F = \frac{6079952,61}{800 \cdot 20,4} = 372 \text{ м}^2.$$

$F = 372 \text{ м}^2$, так как 3 теплообменника, то $F = 123 \text{ м}^2$ каждый.

Принимаем по ГОСТ 15518 – 83 площадь поверхности теплообмена $F = 125 \text{ м}^2$, число пластин $N = 242$ шт, масса аппарата $M = 2662$ кг, площадь одной пластины $f = 0,5 \text{ м}^2$.

4.2 Пластинчатый теплообменник Т4.

Теплообменник служит для охлаждения раствора формалина, отводимого с глухой тарелки абсорбера.

Рабочие условия:

Полость хладагента: $P = 0,45 \text{ МПа}$, $T = (5 - 15)^{\circ}\text{C}$, среда – вода захоложенная.

Полость горячего продукта: $P = 0,35$ МПа, $T = 35^{\circ}\text{C}$, среда – раствор формалина.

Температурная схема теплообмена:

$$50^{\circ}\text{C} \rightarrow 35^{\circ}\text{C};$$

$$5^{\circ}\text{C} \leftarrow 15^{\circ}\text{C}.$$

Средняя разность температур: $\Delta t_{\text{г}} = 50 - 5 = 45^{\circ}\text{C}$; $\Delta t_{\text{м}} = 35 - 15 = 20^{\circ}\text{C}$.

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{(45 - 20)}{\ln(45/20)} = 31^{\circ}\text{C}.$$

$$\Delta T_{\text{ср}} = 31 \text{ К}.$$

Требуемая поверхность теплообмена:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta T_{\text{ср}}};$$

где, Q – тепловая нагрузка, Вт;

K – коэффициент теплоотдачи, принимаем $K = 800 \text{ Вт/м}^3$ [12, табл. 2.1, с.47];

$\Delta T_{\text{ср}}$ – средняя разность температур, К.

$$Q = \frac{40533017,4 \cdot 15}{100} = 6079952,61 \text{ Вт}.$$

$$F = \frac{6079952,61}{800 \cdot 31} = 245,16 \text{ м}^2.$$

$F = 245,16 \text{ м}^2$, так как 3 теплообменника, то $F = 81,7 \text{ м}^2$ каждый.

Принимаем по ГОСТ 15518 – 83 площадь поверхности теплообмена $F = 80 \text{ м}^2$, число пластин $N = 154$ шт, масса аппарата $M = 2040$ кг, площадь одной пластины $f = 0,6 \text{ м}^2$.

Пластинчатый теплообменник Т5.

Теплообменник служит для охлаждения деминерализованной воды, отводимой с глухой тарелки абсорбера.

Рабочие условия:

Полость хладагента: $P = 0,45$ МПа, $T = (5 - 15)^\circ\text{C}$, среда – вода захлажденная.

Полость горячего продукта: $P = 0,3$ МПа, $T = 25^\circ\text{C}$, среда – деминерализованная вода.

Температурная схема теплообмена:

$$50^\circ\text{C} \rightarrow 35^\circ\text{C};$$

$$5^\circ\text{C} \leftarrow 15^\circ\text{C}.$$

$$\text{Средняя разность температур: } \Delta t_6 = 50 - 5 = 45^\circ\text{C}; \Delta t_m = 20 - 5 = 15^\circ\text{C}.$$

$$\Delta t_{cp} = \frac{(40-15)}{\ln(40/15)} = 21^\circ\text{C}.$$

$$\Delta T_{cp} = 21 \text{ К}.$$

Требуемая поверхность теплообмена:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta T_{cp}};$$

где, Q – тепловая нагрузка, Вт;

K – коэффициент теплоотдачи, принимаем $K = 800 \text{ Вт/м}^3$ [12, табл. 2.1, с.47];

ΔT_{cp} – средняя разность температур, К.

$$Q = \frac{40533017,4 \cdot 10}{100} = 4053301,74 \text{ Вт}.$$

$$F = \frac{4053301,74}{800 \cdot 21} = 24,13 \text{ м}^2.$$

$F = 24,13 \text{ м}^2$, так как 3 теплообменника, то $F = 8,04 \text{ м}^2$ каждый.

Принимаем по ГОСТ 15518 – 83 площадь поверхности теплообмена $F = 8 \text{ м}^2$, число пластин $N = 30$ шт, масса аппарата $M = 362$ кг, площадь одной пластины $f = 0,3 \text{ м}^2$.

4.4 Пластинчатый теплообменник Т6.

Теплообменник служит для охлаждения деминерализованной воды, отводимой с глухой тарелки абсорбера.

Рабочие условия:

Полость хладагента: $P = 0,45 \text{ МПа}$, $T = (5 - 15)^\circ\text{C}$, среда – вода захлажденная, обратная вода

Полость горячего продукта: $P = 0,3 \text{ МПа}$, $T = 25^\circ\text{C}$, среда – раствор слабого формалина.

Расчет теплообменника проводится аналогично предыдущему. Данный теплообменник справится с нагрузкой, так как его поверхность теплообмена составляет 180 м^2 , что больше необходимой.

5. Насос поз.Н2

Техническая характеристика насоса: поз.Н2/1,2:

Насос центробежный, консольный, типа 1ЦГ100/32а – К – 11 – 5: $Q = 156 \text{ м}^3/\text{ч}$, $H = 49 \text{ м}$, среда – метанол. Материал – 12Х18Н10Т, 12Х13Н10.

Работа любого насоса характеризуется напором и мощностью при заданной подаче насоса (расходе жидкости). Полезную мощность насоса рассчитываем по формуле:

$$N = \frac{V_{\tau} \cdot \rho \cdot g \cdot H}{\eta \cdot 1000}; \quad (22.8)$$

где, N – мощность, потребляемая насосом, кВт;

V_{τ} - подача насоса, $\text{м}^3/\text{с}$;

ρ – плотность перекачиваемой жидкости, $\text{кг}/\text{м}^3$;

g – ускорение свободного падения, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

z – общий КПД насоса, доли ед.

Подача насоса рассчитывается по формуле:

$$V_{\tau} = \frac{m_{\tau}}{(3600 \cdot \rho)};$$

где, V_{τ} - массовый расход перекачиваемой жидкости;

ρ – плотность перекачиваемой жидкости, кг/м^3 .

$$\text{Тогда, } N = \frac{m_{\tau} \cdot \rho \cdot g \cdot H}{(3600 \cdot \rho) \cdot (\eta \cdot 1000)} = \frac{m_{\tau} \cdot g \cdot H}{\eta \cdot 3600 \cdot 1000}.$$

$$N = \frac{20425 \cdot 9,81 \cdot 24}{0,8 \cdot 3600 \cdot 1000} = 1,7 \text{ кВт.}$$

Мощность электродвигателя принимаем с запасом 25%, тогда его требуемая мощность составит:

$$N_{\text{дв}} = 1,25 \cdot N = 1,25 \cdot 1,7 = 2,125 \text{ кВт.}$$

Электродвигатель типа ВАО – 82 – 2У2: $N = 55 \text{ кВт}$, $n = 3000 \text{ об/мин}$,
 $U = 380 \text{ В}$, исполнение ВЗГ.

Данные насосы справляются с заданной мощностью.

Третий насос, предназначенный тоже для перекачки формалина – "сырца" можно установить с меньшей мощностью.

Насос центробежный, герметический, консольный, типа 1ЦГ100/32а – К – 11 – 5: $Q = 160 \text{ м}^3/\text{ч}$, $H = 29 \text{ м}$.

Среда – формалин.

Электродвигатель типа В18ОМ4: $N = 30 \text{ кВт}$, $n = 1500 \text{ об/мин}$,
 $U = 380 \text{ В}$, исполнение ВЗГ.

6. Расчет насоса поз.Н4

Техническая характеристика насоса: поз.Н4/1,2:

Насос центробежный, консольный, типа ЦГ 625/80К – 15 – 5 – У2: $Q = 25 \text{ м}^3/\text{ч}$, $H = 80 \text{ м}$, среда – формалин. Материал – 12Х18Н10Т, 12Х21Н5Т.

Электродвигатель моноблочный насосом: $N = 4,5 \text{ кВт}$, $n = 3000 \text{ об/мин}$.

Полезную мощность насоса рассчитываем по формуле:

$$N = \frac{V_{\tau} \cdot \rho \cdot g \cdot H}{\eta \cdot 1000};$$

где, N – мощность, потребляемая насосом, кВт;

V_{τ} - подача насоса, $\text{м}^3/\text{с}$;

ρ – плотность перекачиваемой жидкости, $\text{кг}/\text{м}^3$;

g – ускорение свободного падения, $g = 9,81 \text{ м}/\text{с}^2$;

η – общий КПД насоса, доли ед.

Подача насоса рассчитывается по формуле: $V_{\tau} = \frac{m_{\tau}}{(3600 \cdot \rho)}$,

где, m_{τ} - массовый расход перекачиваемой жидкости;

ρ – плотность перекачиваемой жидкости, $\text{кг}/\text{м}^3$.

$$\text{Тогда, } N = \frac{m_{\tau} \cdot \rho \cdot g \cdot H}{(3600 \cdot \rho) \cdot (\eta \cdot 1000)} = \frac{m_{\tau} \cdot g \cdot H}{\eta \cdot 3600 \cdot 1000}.$$

$$N = \frac{15833 \cdot 9,81 \cdot 12}{0,8 \cdot 3600 \cdot 1000} = 0,65 \text{ кВт}.$$

Мощность электродвигателя принимаем с запасом 25%, тогда его требуемая мощность составит:

$$N_{\text{дв}} = 1,25 \cdot N = 1,25 \cdot 0,65 = 0,81 \text{ кВт}.$$

Данные насосы справляются с заданной мощностью.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные расчеты показали, что у производственных мощностей, реакторов и аппаратов есть весьма солидный технологический запас по увеличению мощности производства. На примере одной технологической нитки были проведены материальный, тепловой расчеты, а также поверочные расчеты вспомогательного оборудования. Большим плюсом оказалось, что увеличение мощности производства не требует внедрения нового оборудования или замены существующего, а следовательно и не понесет за собой практически никаких убытков. Экономические расчеты показали, что увеличение мощности производства формалина снижает себестоимость продукции, что делает продукцию конкурентоспособной. Это, в свою очередь приведет к увеличению прибыли от реализации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Огородников С.К. Формальдегид. – Л: Химия, 1984. – 280 с.
- 2 Технологический регламент производства формалина "Завода формалина и карбосмол" Томского Нефтехимического комбината.
- 3 Лебедев Н.Н. Химия и технология основного и нефтехимического синтеза: Учебник для вузов. – М: Химия, 1981. – 608 с.
- 4 Охрана труда в химической промышленности. Под ред. Г.В. Макарова. М: Химия, 1989. – 476 с.
- 5 Криницына З. В. Менеджмент. Томск ТПУ, 2002. – 54 с.
- 6 Иванов Г.Н., Ляпков А.А., Бочкарев В.В. Учебное пособие – Томск: изд. ТПУ – 2002. – 113 с.
- 7 Гутник С.П. Расчеты по технологии органического синтеза. М: Химия, 1988. – 272 с.
- 8 Справочник нефтехимика. Под ред. С.К. Огородникова – Л: Химия, 1978. Т.2. – 592 с.

- 9 Основные процессы и аппараты химической технологии. Пособие по проектированию. Под ред. Ю.И. Дытнерского М: Химия 1991. – 496 с.
- 10 Павлов. К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. – Л: Химия, 1987. – 576 с.
- 11 Лащинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. Справочник. – Л: Машиностроение, 1970. – 752 с.
- 12 Краснощеков Е.А., Сукомел А.С. Задачник по теплопередаче. – М: Энергия, 1969. – 264 с.
- 13 Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. – М: Наука, 1972. – 653 с.
- 14 Иоффе И.Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии: Учебник для техникумов. – Л: Химия, 1991. – 352 с.
- 15 Основы проектирования. Под ред. Лащинского А.А. – М: Химия, 1971. – 466 с.
- 16 Бочкарев В.В., Ляпков А.А. Основы проектирования предприятий органического синтеза. Методические указания к выполнению дипломного проекта. – Томск: ТПУ, 2002. – 52 с.
- 17 Анурьев В.И. Справочник конструктора – машиностроителя. М: Машиностроение, 1980. Т.3. – 557 с.
- 18 Викторов М.М. Методы вычисления физико-химических величин и прикладные расчеты: Л: Химия, 1977. – 360с.