

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

**«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**(СПбГЭУ)**

Факультет туризма и гостеприимства

Кафедра «Гостиничного и ресторанного бизнеса»

**К У Р С О В А Я Р А Б О Т А**

по дисциплине: «Процессы и аппараты пищевых производств»

Выполнила:

студентка группы № Тпзг-1301 \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Князева П. А.

 (подпись)

Руководитель  : д.т.н., профессор

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ / И.И. Воронцов/

 (подпись)

«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2017 г.

 (число) (месяц)

Санкт-Петербург

2017

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

**«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**(СПбГЭУ)**

Факультет туризма и гостеприимства

Кафедра «Гостиничного и ресторанного бизнеса»

**ЗАДАНИЕ**

**на курсовую работу**

по дисциплине: «Процессы и аппараты пищевых производств»

Студенту группы № Тпзг-1301

Князевой Полине Алексеевне

Тема курсовой работы:

Выпарная установка для выпаривания нитрата натрия NaNO3

Задание выдал: д.т.н., профессор \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ / И.И. Воронцов/

 (подпись)

«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2017 г.

 (число) (месяц)

Санкт-Петербург

2017

**Аннотация**

Инв. № подп

Подп. и дата

Взам. инв. №

Инв. № дубл.

Подп. и дата

Лит

Лист

Листов

СПбГЭУ

«Проект сервисного центра по обслуживанию автовладельцев Приморского района города Санкт-Петербург. Разработка услуги по предпродажной подготовке автомобилей модельного ряда Skoda Octavia с пробегом»

ДП.ЗО.100100.720ПЗ

Лит

№ докум.

Изм.

Подп.

Дата

Демьяненко С.

Разраб.

Воронцов И.И.

Пров.

Т. контр.

Н. контр.

Морозов А.Г.

Утв.

Инв. № подп

Подп. и дата

Взам. инв. №

Инв. № дубл.

Подп. и дата

Лит

Лист

Листов

1

СПбГЭУ

*«Выпарная установка для выпаривания нитрата натрия NaNO3».*

КР Тпзг-1301 ПЗ

Лит

№ докум.

Изм.

Подп.

Дата

Князева П.А.

Разраб.

Воронцов И.И.

Пров.

Т. контр.

 *Воронцов И.И.* И.И.

Н. контр.

Утв.

В данной курсовой работе представлена выпарная установка для выпаривания нитрата натрия NaNO3.

В исследовательской части произведен анализ существующих технических средств многокорпусной выпарной установки.

В технологической части проведено обоснование устройства позволяющее сделать выпаривание нитрата натрия NaNO3.

Курсовая работа выполнена на 35 страницах машинописного текста, содержит 3 рисунка, 2 таблицы, список использованных источников из 10 наименований. Общий объем работы составил 35 страниц.

 ᅟ

 **Содержание**

Введение

1. Теоретические основы процесса выпаривания 4

 2. Мотивировка выбора установки и типа конструкции основного оборудования 8

2.1 Многокорпусные выпарные установки

 3. Описание технологической схемы установки с контрольно-измерительными приборами, выбор конструкционных материалов 13

 4. Технологическая часть 15

4.1Технологическая схема

4.2 Расчет выпарного аппарата

4.3 Уточненный расчет поверхности теплопередачи

4.4 Расчет барометрического конденсатора

4.5 Расчет производительности вакуум-насоса

 5. Механический расчет 29

5.1 Расчет толщины трубной решетки

5.2 Расчет толщины стенки обечатки

5.3 Расчет толщины днища

5.4 Подбор штуцеров, фланцев, прокладок

 6. Методы интенсификации процесса 33

Заключение

Список использованных источников

Изм.

Лист

№ документа

Подпись

Дата

Лист

 2

*КР Тпзг-1301 ПЗ*

 Введение

 Выпаривание – это процесс концентрирования растворов твердых нелетучих веществ путем частичного испарения растворителя при кипении жидкости.

Выпаривание применяют для концентрирования растворов нелетучих веществ, выделения из растворов чистого растворителя (дистилляция) и кристаллизации растворенных веществ, т.е. нелетучих веществ в твердом виде. При выпаривании обычно осуществляется частичное удаление растворителя из всего объема раствора при его температуре кипения. Поэтому выпаривание принципиально отличается от испарения, которое, как известно, происходит с поверхности раствора при любых температурах ниже температуры кипения. В ряде случаев выпаренный раствор подвергают последующей кристаллизации в выпарных аппаратах, специально приспособленных для этих целей.

В данном курсовом проекте для расчетов принята прямоточная трехкорпусная выпарная установка. Конструкция выпарного аппарата: с естественной циркуляцией и вынесенной греющей камерой. Выбор конструкции обусловлен малой вязкостью выпариваемого раствора, повышенной интенсивностью выпаривания не только за счет увеличения разности плотностей жидкости и парожидкостной смеси в циркуляционном контуре, но и за счет увеличения длины кипятильных труб.

Изм.

Лист

№ документа

Подпись

Дата

Лист

 3

*КР Тпзг-1301 ПЗ*

Нитрат натрия (чилийская селитра) применяют как удобрение, в производстве солей Na и нитритов, как компонент закалочных ванн в металлообрабатывающей промышленности, теплоаккумулирующих составов, окислитель в ВВ, в ракетных топливах, пиротехнических составах, в производстве стекла, как компонент жидких солевых хладагентов (селитряной смеси), консервант пищевых продуктов.

 1.  Теоретические основы процесса выпаривания

Изм.

Лист

№ документа

Подпись

Дата

Лист

 4

*КР Тпзг-1301 ПЗ*

Выпариванием называется концентрирование растворов практически нелетучих или малолетучих веществ в жидких летучих растворителях.

Выпариванию подвергают растворы твердых веществ ( водные растворы щелочей, солей и др.), а также высококипящие жидкости, обладающие при температуре выпаривания весьма малым давлением пара — некоторые минеральные и органические кислоты, многоатомные спирты и др. Выпаривание иногда применяют также для выделения растворителя в чистом виде: при опреснении морской воды выпариванием образующийся из нее водяной пар конденсируют и воду используют для питьевых или технических целей.)

При выпаривании обычно осуществляется частичное удаление растворителя из всего объема раствора при его температуре кипения. Поэтому выпаривание принципиально отличается от испарения, которое, как известно, происходит с поверхности раствора при любых температурах ниже температуры кипения. В ряде случаев выпаренный раствор подвергают последующей кристаллизации в выпарных аппаратах, специально приспособленных для этих целей.

Получение высококонцентрированных растворов, практически сухих и кристаллических продуктов облегчает и удешевляет их перевозку и хранение.)

Тепло для выпаривания можно подводить любыми теплоносителями, применяемыми при нагревании. Однако в подавляющем большинстве случаев в качестве греющего агента при выпаривании используют водяной пар, который называют греющим, или первичным.

Первичным служит либо пар, получаемый из парогенератора, либо отработанный пар, или пар промежуточного отбора паровых турбин.

Пар, образующийся при выпаривании кипящего раствора, называется вторичным.

Изм.

Лист

№ документа

Подпись

Дата

Лист

 5

*КР Тпзг-1301 ПЗ*

Тепло, необходимое для выпаривания раствора, обычно подводится через стенку, отделяющую теплоноситель от раствора. В некоторых производствах концентрирование растворов осуществляют при непосредственном соприкосновении выпариваемого раствора с топочными газами или другими газообразными теплоносителями.

Процессы выпаривания проводят под вакуумом, при повышенном и атмосферном давлениях. Выбор давления связан со свойствами выпариваемого раствора и возможностью использования тепла вторичного пара.

Выпаривание под вакуумом имеет определенные преимущества перед выпариванием при атмосферном давлении, несмотря на то что теплота испарения раствора несколько возрастает с понижением давления и соответственно увеличивается расход пара на выпаривание 1 кг растворителя (воды).

При выпаривании под вакуумом становится возможным проводить процесс при более низких температурах, что важно в случае концентрирования растворов веществ, склонных к разложению при повышенных температурах. Кроме того, при разрежении увеличивается полезная разность температур между греющим агентом и раствором, что позволяет уменьшить поверхность нагрева аппарата (при прочих равных условиях). В случае одинаковой полезной разности температур при выпаривании под вакуумом можно использовать греющий агент более низких рабочих параметров (температура и давление). Вследствие этого выпаривание под вакуумом широко применяют для концентрирования высококипящих растворов, например растворов щелочей, а также для концентрирования растворов с использованием теплоносителя (пара) невысоких параметров.

Применение вакуума дает возможность использовать в качестве греющего агента, кроме первичного пара, вторичный пар самой выпарной установки, что снижает расход первичного греющего пара. Вместе с тем при применении вакуума удорожается выпарная установка, поскольку требуются дополнительные затраты на устройства для создания вакуума (конденсаторы, ловушки, вакуум-насосы), а также увеличиваются эксплуатационные расходы.

Изм.

Лист

№ документа

Подпись

Дата

Лист

 6

*КР Тпзг-1301 ПЗ*

При выпаривании под давлением выше атмосферного также можно использовать вторичный пар как для выпаривания, так и для других нужд, не связанных с процессом выпаривания.

Вторичный пар, отбираемый на сторону, называют экстра-паром. Отбор экстра-пара при выпаривании под избыточным давлением позволяет лучше использовать тепло, чем при выпаривании под вакуумом. Однако выпаривание под избыточным давлением сопряжено с повышением температуры кипения раствора. Поэтому данный способ применяется лишь для выпаривания термически стойких веществ. Кроме того, для выпаривания под давлением необходимы греющие агенты с более высокой температурой.

При выпаривании под атмосферным давлением вторичный пар не используется и обычно удаляется в атмосферу. Такой способ выпаривания является наиболее простым, но наименее экономичным.

Выпаривание под атмосферным давлением, а иногда и выпаривание под вакуумом проводят в одиночных выпарных аппаратах (однокорпусных выпарных установках). Однако наиболее распространены многокорпусные выпарные установки, состоящие из нескольких выпарных аппаратов, или корпусов, в которых вторичный пар каждого предыдущего корпуса направляется в качестве греющего в последующий корпус. При этом давление в последовательно соединенных (по ходу выпариваемого раствора) корпусах снижается таким образом, чтобы обеспечить разность температур между вторичным паром из предыдущего корпуса и раствором, кипящим в данном корпусе, т. е. создать необходимую движущую силу процесса выпаривания. В этих установках первичным паром обогревается только первый корпус. Следовательно, в многокорпусных выпарных установках достигается значительная экономия первичного пара по сравнению с однокорпусными установками той же производительности.

Изм.

Лист

№ документа

Подпись

Дата

Лист

 7

*КР Тпзг-1301 ПЗ*

2. Мотивировка выбора установки и типа конструкции основного оборудования

Изм.

Лист

№ документа

Подпись

Дата

Лист

 8

*КР Тпзг-1301 ПЗ*

В разрабатываемом процессе используются выпарные аппараты, обогреваемые конденсирующимся водяным паром, в частности аппараты, с вынесенной греющей камерой. При размещении нагревательной камеры вне корпуса аппарата имеется возможность повысить интенсивность выпаривания не только за счёт увеличения разности плотностей жидкости и паро-жидкостной смеси в циркуляционном контуре, но и за счёт увеличения длины кипятильных труб.

Аппарат работает при более интенсивной естественной циркуляции, обусловленной тем, что циркуляционная труба не обогревается, а подъёмный и опускной участки циркуляционного контура имеют значительную высоту.

Выносная греющая камера легко отделяется от корпуса аппарата, что облегчает и ускоряет ее чистку и ремонт. Ревизию и ремонт греющей камеры можно производить без полной остановки аппарата (а лишь при снижении его производительности), если присоединить к его корпусу две камеры.

Конструкция теплообменных аппаратов выбирается на основе расчета по определению поверхности теплопередачи. До температуры кипения исходный раствор подогревается в отдельном теплообменнике за счет тепла греющего пара, что позволяет избежать увеличения поверхности. Кожухотрубчатые теплообменники относятся к числу наиболее часто применяемых, который состоит из корпуса и приваренного к нему трубных решеток. В теплообменнике одна среда движется внутри труб, а другая в межтрубном пространстве. Среды направляются противотоком друг к другу. Раствор подаётся снизу вверх, а насыщенный водяной пар в противоположном направлении. Такое направление движения каждой среды совпадает с направлением, в котором стремится двигаться данная среда под влиянием изменения её плотности при нагревании. Кроме того, при указанном направлении движения сред достигается более равномерное распределение скоростей и идентичные условия теплообмена по площади поперечного сечения аппарата.

Изм.

Лист

№ документа

Подпись

Дата

Лист

 9

*КР Тпзг-1301 ПЗ*

Вторичный пар из последнего корпуса (в данном случае второго) отводится в барометрический конденсатор, в котором при конденсации пара создается требуемое разряжение. Сухой полочный барометрический конденсатор работает при противоточном движении охлаждающей воды и пара. Воздух и неконденсирующиеся газы, попадающие в установку главным образом с охлаждающей водой (в конденсаторе), а также через неплотности трубопроводов отсасываются через ловушку-брызгоулавливатель вакуум-насосом.

С помощью вакуум-насоса поддерживается также устойчивый вакуум, так как остаточное давление в конденсаторе может изменяться с колебанием температуры воды, поступающей в конденсатор.

2.1 Многокорпусные выпарные установки

Изм.

Лист

№ документа

Подпись

Дата

Лист

 10

*КР Тпзг-1301 ПЗ*

В современных выпарных установках выпариваются очень большие количества воды. Выше было показано, что в однокорпусном аппарате на выпаривание 1 кг воды требуется более 1 кг греющего пара. Это привело бы к чрезмерно большим расходам его. Однако расход пара на выпаривание можно значительно снизить, если проводить процесс в многокорпусной выпарной установке. Как указывалось, принцип действия ее сводится к многократному использованию тепла греющего пара, поступающего в первый корпус установки, путем обогрева каждого последующего корпуса (кроме первого) вторичным паром из предыдущего корпуса.

Схема многокорпусной вакуум-выпарной установки, работающей при прямоточном движении греющего пара и раствора, показана на рис. 1.



*Рис. 1*. Многокорпусная прямоточная вакуум-выпарная установка:

1-3 - корпуса установки; 4 — подогреватель исходного раствора; 5 — барометрический конденсатор; 6 — ловушка; 7 — вакуум-насос.

Установка состоит из нескольких (в данном случае трех) корпусов. Исходный раствор, обычно предварительно нагретый до температуры кипения, поступает в первый корпус, обогреваемый свежим (первичным) паром. Вторичный пар из этого корпуса направляется в качестве греющего во второй корпус, где вследствие пониженного давления раствор кипит при более низкой температуре, чем в первом.

Изм.

Лист

№ документа

Подпись

Дата

Лист

 11

*КР Тпзг-1301 ПЗ*

Ввиду более низкого давления во втором корпусе раствор, упаренный в первом корпусе, перемещается самотеком во второй корпус и здесь охлаждается до температуры кипения в этом корпусе. За счет выделяющегося при этом тепла образуется дополнительно некоторое количество вторичного пара. Такое явление, происходящее во всех корпусах установки, кроме первого, носит название *самоиспарения* раствора.

Аналогично упаренный раствор из второго корпуса перетекает самотеком в третий корпус, который обогревается вторичным паром из второго корпуса.

Предварительный нагрев исходного раствора до температуры кипения в первом корпусе производится в отдельном подогревателе 4, что позволяет избежать увеличения поверхности нагрева в первом корпусе.

Вторичный пар из последнего корпуса ( в данном случае из третьего) отводится в барометрический конденсатор 5, в котором при конденсации пара создается требуемое разрежение. Воздух и неконденсирующиеся газы, попадающие в установку с паром и охлаждающей водой (в конденсаторе), а также через неплотности трубопроводов и резко ухудшающие теплопередачу, отсасываются через ловушку - брызгоулавливатель 6 вакуум-насосом 7.

С помощью вакуум-насоса поддерживается также устойчивый вакуум, так как остаточное давление в конденсаторе может изменяться с колебанием температуры воды, поступающей в конденсатор. Необходимым условием передачи тепла в каждом корпусе должно быть наличие некоторой полезной разности температур, определяемой разностью температур греющего пара и кипящего раствора.

Вместе с тем, давление вторичного пара в каждом предыдущем корпусе должно быть больше его давления в последующем. Эти разности давлений создаются при избыточном давлении в первом корпусе, или вакууме в последнем корпусе, или же при том и другом одновременно.

Изм.

Лист

№ документа

Подпись

Дата

Лист

 12

*КР Тпзг-1301 ПЗ*

Применяемые схемы многокорпусных выпарных установок различаются по давлению вторичного пара в последнем корпусе. В соответствии с этим признаком установки делятся на работающие под разрежением и под избыточным давлением.

3. Описание технологической схемы установки, выбор конструкционного материала

Изм.

Лист

№ документа

Подпись

Дата

Лист

 13

*КР Тпзг-1301 ПЗ*

Конструкция выпарного аппарата должна удовлетворять ряду общих требований, к числу которых относятся: высокая производительность и интенсивность теплопередачи при возможно меньших объёме аппарата и расходе металла на его изготовление, простота устройства, надёжность в эксплуатации, легкость очистки поверхности теплообмена, удобство осмотра, ремонта и замены отдельных частей.

Вместе с тем выбор конструкции и материала выпарного аппарата определяется в каждом конкретном случае физико-химическими свойствами выпариваемого раствора (вязкость, температурная депрессия, кристаллизуемость, термическая стойкость, химическая агрессивность и др.)

Как указывалось, высокие коэффициенты теплопередачи и большие производительности достигаются путём увеличения скорости циркуляции раствора. Однако одновременно возрастает расход энергии на выпаривание и уменьшается полезная разность температур, т. к. при постоянной температуре греющего пара с возрастанием гидравлического сопротивления увеличивается температура кипения раствора. Противоречивое влияние этих факторов должно учитываться при технико-экономическом сравнении аппаратов и выборе оптимальной конструкции.

Ниже приводятся области преимущественного использования выпарных аппаратов различных типов.

Для выпаривания растворов небольшой вязкости ~8 10-3 Па с, без образования кристаллов чаще всего используются вертикальные выпарные аппараты с многократной естественной циркуляцией. Из них наиболее эффективны аппараты с выносной нагревательной камерой и с выносными необогреваемыми циркуляционными трубами.

Выпаривание некристаллизующихся растворов большой вязкости, достигающей порядка ~0.1 Па с, производят в аппаратах с принудительной циркуляцией, реже – в прямоточных аппаратах с падающей плёнкой или в роторных прямоточных аппаратах.

Изм.

Лист

№ документа

Подпись

Дата

Лист

 14

*КР Тпзг-1301 ПЗ*

В роторных прямоточных аппаратах, как отмечалось, обеспечиваются благоприятные условия для выпаривания растворов, чувствительных к повышенным температурам.

Аппараты с принудительной циркуляцией широко применяются для выпаривания кристаллизующихся или вязких растворов. Подобные растворы могут эффективно выпариваться и в аппаратах с вынесенной зоной кипения, работающих при естественной циркуляции. Эти аппараты при выпаривании кристаллизирующихся растворов могут конкурировать с выпарными аппаратами с принудительной циркуляцией.

Для сильно пенящихся растворов рекомендуется применять аппараты с поднимающейся пленкой.

Выбираем конструкционный материал, стойкий в среде кипящего раствора NaNO3 в интервале изменения концентраций от 10 до 27 %. В этих условиях подходит сталь марки X17 с коэффициентом теплопроводности λст = 25,1 Вт/м˚К. Скорость коррозии ее менее 0,1 мм/год.

4. Технологическая часть

Изм.

Лист

№ документа

Подпись

Дата

Лист

 15

*КР Тпзг-1301 ПЗ*

 4.1 Технологическая схема



1-емкость исходного раствора; 2, 9-насосы; 3, 4, 5-выпарные аппараты; 6-емкость упаренного раствора; 7-гидрозатвор; 10-барометрический конденсатор

|  |
| --- |
| Основные условные обозначения: |
| с – теплоемкость, Дж/(кг·К); | r – теплота парообразования кДж/кг; |
| d – диаметр, м; | T, t – температура, град; |
| D – расход греющего пара, кг/с; | W, ω – производительность по испаряемой воде, кг/с; |
| F – поверхность теплопередачи, м2 ; | x – концентрация, % (масс.); |
| G – расход, кг/с; | α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м2 ·К); |
| g – ускорение свободного падения, м/с2 ; | ρ – плотность, кг/м3 ; |
| H – высота, м; | μ – вязкость, Па·с; |
| I – энтальпия пара, кДж/кг; | λ – теплопроводность, Вт/(м·К); |
| i – энтальпия жидкости, кДж/кг; | σ – поверхностное натяжение, Н/м; |
| К – коэффициент теплопередачи, Вт/(м2 ·К); | Re – критерий Рейнольдса; |
| Р – давление, МПа; | Nu – критерий Нуссельта; |
| Q – тепловая нагрузка, кВт; | Pr – критерий Прандтля; |
| q – удельная тепловая нагрузка, Вт/м2 ; |  |
| Индексы: |
| 1, 2, 3 – первый, второй, третий корпус выпарной установки; | ж – жидкая фаза; |
| бк – барометрический конденсатор; | к – конечный параметр; |
| в – вода; | н – начальный параметр; |
| вп – вторичный пар; | ср – средняя величина; |
| г – греющий пар; | ст – стенка. |

###

### 4.2 Расчёт выпарного аппарата

Изм.

Лист

№ документа

Подпись

Дата

Лист

 16

*КР Тпзг-1301 ПЗ*

**1)**Определяем общее количество выпаренной воды из уравнения материального баланса:





**2)**В первом приближении количество выпаренной воды по кор­пусам принимаем равным, т.е.





**3)**Конечная концентрация раствора по корпусам



Таблица 1. Данные выпарного аппарата

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| № | Наименование | Обозначение | Размерность | Кол-во |
| 1 | Производительность по исходному раствору | ***GH*** | ***кг/* *c*** | *2,778* |
| 2 | Начальная концентра­ция раствора | ***XH*** | ***вес.дол.,%*** | *10* |
| 3 | Конечная концентра­ция раствора | ***XK*** | ***вес.дол.,%*** | *27* |
| 4 | Давление греющего пара | ***P*** | ***Па*** | *392266* |
| 5 | Давление в барометрическом конденсаторе | ***PK*** | ***Па*** | *19613,3* |
| 6 | Количество выпарен­ной воды общее | ***W*** | ***кг/* *c*** | *1,7489* |
| в первом корпусе | ***W1*** | ***кг/* *c*** | *0,583* |
| во втором корпусе | ***W2*** | ***кг/* *c*** | *0,583* |
| в третьем корпусе | ***W3*** | ***кг/* *c*** | *0,583* |
| 7 | Конечная концентра­ция раствора |  |
| в первом корпусе | ***XK1*** | ***вес.дол.,%*** | *12,657* |
| во втором корпусе | ***XK2*** | ***вес.дол.,%*** | *17,235* |
| в третьем корпусе | ***XK3*** | ***вес.дол.,%*** | *27,005* |

####

#### Определение температур кипения растворов

Общий предел давлений в установке:



Давления греющих паров в корпусах:

Изм.

Лист

№ документа

Подпись

Дата

Лист

 17

*КР Тпзг-1301 ПЗ*









По давлениям паров находим их температуры и энтальпии:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Давление пара, МПа | Температура, ˚С | Энтальпия пара, кДж/кг |
| Рг1 =0,392 | tг1 =142,9 | I1 =2744 |
| Рг2 =0,267 | tг2 =132,9 | I2 =2730 |
| Рг3 =0,142 | tг3 =108,7 | I3 =2693 |
| Рбк =0,017 | tбк =59,7 | Iбк =2607 |

Гидродинамическая депрессия , обусловлена потерей давления пара на преодоление гидравлических сопротивлений трубопроводов при переходе из корпуса в корпус. Примем для каждого корпуса Δ´´´ = 1 град. Температуры вторичных паров в корпусах:

˚С

˚С

˚С

Сумма гидродинамических депрессий:

˚С

По температурам вторичных паров определим их давления:

|  |  |
| --- | --- |
| Температура, ˚С | Давление пара, МПа |
| tвп1 =133,9 | Рвп1 =0,3131 |
| tвп2 =109,7 | Рвп2 =0,1433 |
| tвп3 =60,7 | Рвп3 =0,0199 |

Гидростатическая депрессия . Давление в среднем слое кипящего раствора каждого корпуса: 

Изм.

Лист

№ документа

Подпись

Дата

Лист

 18

*КР Тпзг-1301ПЗ*

По ГОСТу [2] аппарат с естественной циркуляцией, сносной греющей камерой и кипением раствора в трубках имеют высоту кипятильных труб Н=4 м при диаметре труб dН = 38 мм и толщине стенки σСТ = 2 мм.

При пузырьковом (ядерном) режиме кипения паронаполнение составляет ε=0,4 - 0,6. Примем ε = 0,5. Плотность водных растворов NaNO3 [3] по корпусам при t = 20℃ равна: ρ1 =1067кг/м3 , ρ2=1143кг/м3 , ρ3 =1209кг/м3

Давление в среднем слое кипятильных труб:







Этим давлениям соответствуют следующие температуры кипения и теплоты испарения растворителя:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Давление, \*104 Па | Температура,℃ | Теплота испарения, кДж/кг |
| Рср1 =32,36 | tср1 =132,9 | rвп1 =2171 |
| Рср2 =15,45 | tср2 =112,7 | rвп2 =2227 |
| Рср3 =3,18 | tср3 =68,7 | rвп3 =2336 |

Гидростатическая депрессия по корпусам:

˚С

˚С

˚С

Сумма гидростатических депрессий:

˚С

Температурная депрессия ∆ определяется по уравнению:

Изм.

Лист

№ документа

Подпись

Дата

Лист

 19

*КР Тпзг-1301ПЗ*



Температурная депрессия при атмосферном давлении [3]:



Температурная депрессия по корпусам:

˚С

˚С

˚С

Сумма температурных депрессий равна:



Температуры кипения растворов в корпусах:

˚С

˚С

˚С

#### Расчет полезной разности температур

Общая полезная разность температур:



Полезные разности температур по корпусам:

˚С

˚С

˚С

˚С

Проверка суммарной полезной разности температур:

Изм.

Лист

№ документа

Подпись

Дата

Лист

 20

*КР Тпзг-1301 ПЗ*



℃

#### Определение тепловых нагрузок

Расход греющего пара в 1-й корпус, производительность каждого корпуса по выпаренной воде и тепловые нагрузки по корпусам определим путем совместного решения уравнений тепловых балансов по корпусам и уравнения баланса по воде для всей установки:









1,03 – коэффициент, учитывающий 3% потерь тепла в окружающую среду. При решении этих уравнений можно принять: *I* *вп1 ≈* *I* *г2 ; I* *вп2 ≈* *I* *г3 ; I* *вп3 ≈* *I* *бк*. Теплоемкости растворов: сн =3,91 Дж/(кг·К); с1 =3,84 Дж/(кг·К); с2 =3,61Дж/(кг·К), св =4,19Дж/(кг∙К)









Решение системы уравнений дает следующие результаты:

D=0,651 кг/с; ω1 =0,628 кг/с; ω2 =0,567 кг/с; ω3 =0,554 кг/с; Q1 =1413 кВт;

Q2 =1404 кВт; Q3 =1337 кВт;

Параметры растворов и паров по корпусам:

 Таблица 2. Параметры корпусов выпарной установки

Изм.

Лист

№ документа

Подпись

Дата

Лист

 21

*КР Тпзг-1301 ПЗ*

|  |  |
| --- | --- |
| Параметр | Корпус |
| 1 | 2 | 3 |
| Производительность по испаряемой воде ω, кг/с | 0,628 | 0,567 | 0,554 |
| Концентрация растворов x, % | 12,67 | 17,24 | 27,00 |
| Давление греющих паров Рг , 104 Па | 39,2 | 26,7 | 14,2 |
| Температура греющих паров tг , ˚С | 142,9 | 132,9 | 108,7 |
| Температура кипения раствора tк , ˚C | 136,4 | 112,7 | 72,3 |
| Полезная разность температур Δtп , град | 6,5 | 17,4 | 36,4 |
| Тепловая нагрузка Q, кВт | 1413 | 1404 | 1337 |

####

#### Расчет коэффициентов теплопередачи

1) Коэффициент теплопередачи для первого корпуса:



Примем, что суммарное термическое сопротивление равно термическому сопротивлению стенки и накипи. Термическое сопротивление загрязнений со стороны пара не учитываем. Получим:



Физические свойства кипящих растворов NaNO3 и их паров:

|  |  |
| --- | --- |
| Параметр | Корпус |
| 1 | 2 | 3 |
| Теплопроводность раствора λ, Вт/(м·К) | 0,61 | 0,62 | 0,63 |
| Плотность раствора ρж , кг/м3 | 1089,3 | 1119,9 | 1200,1 |
| Теплоемкость раствора с, Дж/(кг·К) | 3910 | 3840 | 3610 |
| Вязкость раствора μ, мПа·с | 0,1 | 0,28 | 0,4 |
| Поверхностное натяжение σ\*10-3 , Н/м | 72,8 | 74,7 | 76 |
| Теплота парообразования rв , кДж/кг | 2171 | 2227 | 2336 |
| Плотность пара ρп , кг/м3 | 1,618 | 0,898 | 0,1876 |
| Плотность пара при 1 атм., ρ0 , кг/м3 | 0,579 | 0,579 | 0,579 |

Коэффициент теплопередачи от конденсирующегося пара к стенке:



Расчет α1 ведем методом последовательных приближений. Примем Δt1 =0,98℃, A(при р=4атм)=10650Вт/м2

Изм.

Лист

№ документа

Подпись

Дата

Лист

 22

*КР Тпзг-1301ПЗ*



Для установившегося процесса передачи тепла справедливо уравнение:



Перепад температур на стенке:

℃

℃

Коэффициент теплоотдачи от стенки к кипящему раствору для пузырькового кипения в вертикальных кипятильных трубах при условии естественной циркуляции раствора равен:





Проверим равенство приближения по равенству удельных тепловых нагрузок:









2) Далее рассчитываем коэффициент теплоотдачи для *второго корпуса*: ∆t1 =8,9℃









Изм.

Лист

№ документа

Подпись

Дата

Лист

 23

*КР Тпзг-1301 ПЗ*









3) Коэффициент теплопередачи для третьего корпуса : ∆t1 =25,4℃

















####

#### Распределение полезной разности температур

Полезные разности температур в корпусах установки находим из условия равенства их поверхностей теплопередачи:









Изм.

Лист

№ документа

Подпись

Дата

Лист

 24

*КР Тпзг-1301ПЗ*

Проверим общую полезную разность температур установки:



Поверхность теплопередачи выпарных аппаратов:







Сравнение распределенных из условия равенства поверхностей теплопередачи и предварительно рассчитанных значений полезных разностей температур:

|  |  |
| --- | --- |
|  | Корпус |
| 1 | 2 | 3 |
| Распределенные в первом приближении значения Δtп , ˚С | 10,6 | 19,75 | 29,86 |
| Предварительно рассчитанные значения Δtп , ˚С | 6,5 | 17,4 | 36,4 |

Как видно, полезные разности температур, рассчитанные из условия равного перепада давления в корпусах и найденные в первом приближении из условия равенства поверхностей теплопередачи в корпусах, существенно различаются. Поэтому необходимо заново перераспределить температуры и давления между корпусами установки. Основой перераспределения являются полученные полезные разности температур, найденные из условия равенства поверхностей теплообмена.

#### 4.3 Уточненный расчет поверхности теплопередачи .

В связи с тем, что существенное изменение давлении, по сравнению с рассчитанным в первом приближении, происходит только в 1-м и 2-м корпусах, где суммарные потери незначительны, во втором приближении принимаем такие же значения, ∆1 , ∆11 и ∆111 как в первом приближении.

|  |  |
| --- | --- |
| ПараметрИзм.Лист№ документаПодписьДатаЛист 25*КР Тпзг-1301ПЗ* | Корпус |
| 1 | 2 | 3 |
| Производительность по испаряемой воде ω, кг/с | 0,628 | 0,567 | 0,554 |
| Концентрация растворов x, % | 12,67 | 17,24 | 27,00 |
| Давление греющих паров Рг , 104 Па | 39,2 | 26,7 | 14,2 |
| Температура греющих паров tг , ˚С | 142,9 | - | - |
| Полезная разность температур Δtп , град | 10,69 | 19,75 | 29,86 |
| Температура кипения раствора tк =tг -tп , ˚C | 132,2 | 123,15 | 113,04 |
| Температура вторичного пара, tВ =tК -(∆/ +∆// ),℃ | 112,27 | 103,22 | 93,11 |
| Давление вторичного пара, PВ , Па | 1,5925 | 1,1325 | 0,7885 |
| Удельная энтальпия пара, I, кДж/кг | 2700 | 2683 | 2666 |
| Температура греющего пара, tГ =tВ -∆/// ,℃ | 109,27 | 120,15 | 90,11 |
| Тепловая нагрузка Q, кВт | 1413 | 1404 | 1337 |

Рассчитаем тепловые нагрузки:













Расчет коэффициентов теплопередачи приводит к следующим результатам:

К1 =1716,49; К2 =744б78; К3 =449,52.

Распределение полезной разности температур:







Проверка суммарной полезной разности температур:

Изм.

Лист

№ документа

Подпись

Дата

Лист

 26

*КР Тпзг-1301 ПЗ*



Поверхность теплопередачи выпарных аппаратов:







Сравнение значений полезных разностей температур, полученных в первом и втором приближениях:

|  |  |
| --- | --- |
|  | Корпус |
| 1 | 2 | 3 |
| Значения Δtп во втором приближении, ˚С | 10,69 | 19,75 | 29,86 |
| Значения Δtп в первом приближении, ˚С | 10,6 | 19,75 | 29,86 |

Различия между полезными разностями температур по корпусам не превышают 5%. Расчетная поверхность теплопередачи выпарных аппаратов составляет F=83,307 м2. По ГОСТ 11987-81 выбираем выпарной аппарат со следующими характеристиками:

|  |  |
| --- | --- |
| Номинальная поверхность теплообмена Fн | 100 м2 |
| Диаметр труб d | 38х2 мм |
| Высота труб H | 4000 мм |
| Диаметр греющей камеры dк | 1000 мм |
| Диаметр сепаратора dс | 1800 мм |
| Диаметр циркуляционной трубы dц | 600 мм |
| Общая высота аппарата На | 13000 мм |
| Масса аппарата Ма |  |

##

## 4.4 Расчет барометрического конденсатора

### Определение расхода охлаждающей воды

Расход охлаждающей воды определим из теплового баланса конденсатора:



Изм.

Лист

№ документа

Подпись

Дата

Лист

 27

*КР Тпзг-1301 ПЗ*

Конечную температуру воды tк на выходе из конденсатора принимают на 3-5 град ниже температуры конденсации паров:

˚С



### Расчет диаметра барометрического конденсатора

Диаметр барометрического конденсатора определяют из уравнения расхода:



Принимаем скорость паров равной 20 м/с.



По нормалям НИИХИММАШа подбираем конденсатор диаметром равным расчетному или ближайшему большему. Определяем его основные размеры. Выбираем барометрический конденсатор диаметром 500 мм.

Расчет высоты барометрической трубы:

В соответствии с нормалями внутренний диаметр барометрической трубы dбт равен 0,125м. Скорость воды в барометрической трубе:



Высота барометрической трубы:



Величина вакуума в барометрическом конденсаторе:



Сумма коэффициентов местных сопротивлений:



Коэффициент λ зависит от режима течения жидкости. Режим течения воды в барометрической трубе:



Для гладких труб при Re=91,7·103 коэффициент трения λ=0,015.

Изм.

Лист

№ документа

Подпись

Дата

Лист

 28

*КР Тпзг-1301 ПЗ*



отсюда 

## 4.5 Расчет производительности вакуум-насоса

Производительность вакуум-насоса определяется количеством газа (воздуха), который необходимо удалять из барометрического конденсатора:





Объемная производительность вакуум-насоса:



Температуру воздуха рассчитываем по уравнению:

˚С

Давление воздуха:





Зная объемную производительность вакуум-насоса и остаточное давление Рбк , по ГОСТ 1867-57 подбираем вакуум-насос типа ВВН-3 мощностью на валу N=6,5 кВт.

5. Механический расчет

Изм.

Лист

№ документа

Подпись

Дата

Лист

 29

*КР Тпзг-1301 ПЗ*

## 5.1 Расчёт толщины трубной решётки

Толщина трубной решётки (плиты) h определяется по уравнению

,

где dН - диаметр греющей камеры, м; P - расчётное давление в 1-ом корпусе, равное разность P = PГ1 -PВ , м; σд - допускаемое напряжение материала трубной решётки, Мн/м2 ; φ - коэффициент ослабления трубной плиты отверстиями,

,

где ∑d – сумма диаметров отверстий в трубной плите [м] на диаметре dК ,

∑d = ( dК /t – 1)∙dН ,

где t – шаг разбивки отверстий по ГОСТу; dН – наружный диаметр труб, м.

P = 3,9959 – 3,192 = 0,8039Мн/м2

∑d = (1,0/0,048 – 1)∙0,038 = 0,7536м.



0,0728м

Принимаем толщину трубной решётки 73 мм

## 5.2 Расчет толщины стенки обечайки

Расчетная толщина стенки обечайки определяется по формуле:



Допускаемое напряжение для стали Х17 при температуре 142,9˚С составляет 150 МПа. Коэффициент прочности сварных швов 0,9



Действительное значение толщины стенки учитывает коррозионный износ: 

Изм.

Лист

№ документа

Подпись

Дата

Лист

 30

*КР Тпзг-1301 ПЗ*

Прибавка на коррозию к расчетной толщине стенки аппарата:



Коррозионная проницаемость стали Х17 в среде 27% NaNO3 не превышает 0,1 мм/год. Амортизационный срок службы выпарного аппарата составляет 20 лет.



Принимаем толщину стенки обечайки равной 6мм.

Допускаемое внутренне избыточное давление в аппарате:



## 5.3 Расчет толщины днища

Расчетная толщина днища:



Действительное значение толщины днища:



Принимаем толщину днища равной толщине стенки обечайки, Sдн =6мм.

## 5.4 Подбор штуцеров, фланцев, прокладок

Подбор штуцеров для барометрического конденсатора с концентрическими полками Dвн =500мм

|  |  |
| --- | --- |
| Условные проходы штуцеров: | D,мм |
| Для входа пара (А) | 300 |
| Для входа воды (Б) | 100 |
| Для выхода парогазовой смеси (В) | 80 |
| Для барометрических трубы (Г) | 125 |
| Для входа парогазовой смеси (И) | 80 |
| Для выхода парогазовой смеси (Ж) | 50 |
| Для барометрической трубы (Е) | 50 |

 

Рисунок 2

Изм.

Лист

№ документа

Подпись

Дата

Лист

 31

*КР Тпзг-1301 ПЗ*

Для разъемного присоединения труб, арматуры и измерительных приборов используют штуцера фланцевые или резьбовые. Наибольшим распространением пользуются фланцевые штуцера для присоединения труб, арматур и приборов с Dy>10мм, а резьбовые штуцера – с Dy≤32мм.

Подбираем штуцер из двухслойной стали с приварными фланцами и направленной уплотнительной поверхностью на р=0,4МПа (по МН 4579-63-МН 4584-63) Dy=300мм, dн=325мм, Н=200мм, l=270мм, s=10мм, количество болтов М20 – 12.

Фланцы являются деталями массового изготовления. С помощью фланцев осуществляются разъемные соединения аппаратов и трубопроводов. Фланцы, подобранные по ГОСТу или нормали, в расчете не нуждаются, их размеры таковы, что обеспечивается прочность и плотность соединения.

Подбираем приварные фланцы для крепления крышки к обечайке аппарата по следующим данным: давление в аппарате P=0,4МПа; температура стенок t=140°С; внутренний диаметр аппарата ДВ =1000мм; толщина стенок обечайки Sст =6мм, толщина стенок днища Sдн =6мм. В аппарате находится не токсичная, не обладающая взыво-, пожароопасностью среда – раствор NaNO3 .

По ОСТ 26-427-70 подбираем размеры приварных фланцев с уплотнительной поверхностью выступ-впадина, которые имеют утолщенную шейку, придающую фланцам большую жесткость .

Выбираем размеры фланцев при Py =0,4МПа: ДВ =1000мм; Дф =1130мм; Дб =1090мм; smin =6; h=48мм; количество болтов М20 – 40.

Прокладки обеспечивают герметичность фланцевого соединения. При низких температурах и давлениях для воды и других нейтральных сред применяют картон. ДВ =1000мм; Д1 =1065мм; Д2=1037мм; mп =0,244кг - масса прокладки, а≈3,6

Изм.

Лист

№ документа

Подпись

Дата

Лист

 32

*КР Тпзг-1301 ПЗ*

6. Методы интенсификации процесса



Изм.

Лист

№ документа

Подпись

Дата

Лист

 33

*КР Тпзг-1301 ПЗ*

Рисунок 3

Направления интенсификации:

1) интенсификация [теплообмена](http://www.coolreferat.com/%D0%A2%D0%B5%D0%BF%D0%BB%D0%BE%D0%BE%D0%B1%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%B8%D0%BA) - применение развитых поверхностей нагрева, напр. в виде набора стальных пластин, тонкостенных (1,2-1,5 мм) и ребристых труб, а также труб со спец. турбулизаторами в форме внутр. кольцевых выступов или проволочных спиральных вставок;

2) снижение накипеобразования - использование, напр., затравочных кристаллов, способствующих массовой кристаллизации в объеме р-ра, или антиадгезионных полимерных покрытий;

3) экономия энергозатрат - применение, напр., экстра-пара и конденсата для нагревания исходного р-ра либо его предварительное концентрирование с помощью мембранного разделения.

Заключение

Изм.

Лист

№ документа

Подпись

Дата

Лист

 34

*КР Тпзг-1301 ПЗ*

В данной курсовой работе представлен расчет [процесса выпаривания раствора](http://www.coolreferat.com/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D1%86%D0%B5%D1%81%D1%81_%D0%B2%D1%8B%D0%BF%D0%B0%D1%80%D0%B8%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F_%D1%80%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B2) NaNO3по следующим исходным данным:

Производительность по сырью – 10 т/ч

Концентрация раствора: начальная – 10%, конечная – 27%

Число корпусов – 3

Давление греющего пара – 4 ата

Давление в последнем корпусе – 0,2 ата

Температура воды на входе в конденсатор – 8оС

Начальная температура раствора – tкип=101,5оС

В результате проведенных расчетов были выбраны по каталогу следующие аппараты:

-       Выпарной аппарат с естественной циркуляцией, соосной греющей камерой, солеотделением.

Номинальная поверхность теплообмена Fн=100 м2,

Общая высота аппарата На=13000 мм,

Масса аппарата Ма=8500 кг

-       Барометрический конденсатор

Диаметром D=0,5м

Высота трубы Н=8,83м.

Расход охлаждающей воды G=8,54кг/ч

-       Вакуум-насос типа ВВН-3 мощностью на валу N=6,5 кВт.

Список использованных источников

Изм.

Лист

№ документа

Подпись

Дата

Лист

 35

*КР Тпзг-1301 ПЗ*

1. Касаткин А.Г. Процессы и аппараты химической технологии. 8-е изд., перераб.. - М: Химия, 1971.

2. Дытнерский Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии. - Москва:1991.3. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов. Л.: Химия, 1987.- 576 с.

3. Практикум по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Под ред. А.М.Кутепова, Д.А.Баранова.-М.:МГУИЭ, 2000.-264 с.

4. Основные процессы и аппараты химической технологии. Под ред. Ю.И.Дытнерского.-М.: [Химия](http://knowledge.allbest.ru/), 1991.-496 с.

 5. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств. Примеры и задачи. Под общ. ред. М.Ф.Михалева.-Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1984.-301 с.

 6. Чекмарев, А.А. Справочник по машиностроительному черчению/ А.А.Чекмарев, В.К. Осипов.- 3-е изд., стер.- М.: Высш. шк., 2002.- 493 с.

 7. Денисов, Ю. Н. Основные процессы и аппараты химической технологии. – в 2 ч.: Ч. 1: Теоретические основы процессов химической технологии: учебное пособие для модульно-рейтинговой технологии обучения. – Бийск: изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2002. – 55 с.

8. Кафаров, В.В. Процессы и аппараты химической технологии: Т.7. – М.: Химия, 1983. – 1983 с.

9. Кафаров, В.В. Математическое моделирование основных процессов и аппаратов химических производств. – М.: Высшая школа, 1994.

10. Воронцов И.И. Процессы и аппараты пищевых производств.

Учебное пособие по выполнению курсовой работы студентами направления подготовки 19.03.04 «Технология продукции и организации общественного питания» дневной, вечерней и заочной форм обучения. СПб.: Изд-во СПБГЭУ, 2016. – 50 с.