Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования

«Белорусский государственный технологический университет»

Кафедра процессов и аппаратов химических производств

Расчетно-пояснительная записка

к курсовой работе

по курсу «Процессы и аппараты химической технологии»

на тему: «Расчет установки для выпаривания водного раствора Са(NO3) 2»

Разработала: студентка 3 курса

1 группы ИЭФ

специальности 1-43 01 06 02

Мороз О.С.

Руководитель: Калишук Д.Г.

Минск 2006

**Реферат**

Расчётно-пояснительная записка 47 с., 4 рис., 3 табл., 8 источников, 2 прил.

ВЫПАРНАЯ УСТАНОВКА, ВЫПАРИВАНИЕ, ВОДНЫЙ РАСТВОР НИТРАТА КАЛЬЦИЯ, ВОДА, ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ, КОНЦЕНТРАЦИЯ РАСТВОРА, БАРОМЕТРИЧЕСКИЙ КОНДЕНСАТОР, ТЕМПЕРАТУРА ПОСТУПАЮЩЕГО НА ВЫПАРКУ РАСТВОРА, ДАВЛЕНИЕ В БК

Цель работы – расчёт основного аппарата, расчет и подбор вспомогательного оборудования. Расчет и выбор барометрического конденсатора и вакуум-насоса. Выбор и расчет теплообменника.

**Содержание**

Введение

1. Литературный обзор

1.1 Теоритические основы процесса выпаривания

1.2 Устройство выпарных аппаратов

1.2.1 Классификация выпарных аппаратов

1.2.2 Однокорпусные выпарные установки

1.2.3 Многокорпусные выпарные установки

1.2.4 Аппараты с выносной нагревательной камерой

1.2.5 Аппараты с вынесенной зоной кипения

1.3 Области применения и выбор выпарных аппаратов

1.8 Современное аппаратурно-технологическое оформление процесса выпаривания

2. Расчет выпарной установки с естественной циркуляцией и вынесенной зоной кипения

2.1 Расчет выпарного аппарата

2.1.1 Расчет материального баланса

2.1.2 Определение поверхности теплопередачи

2.1.3 Расчет температуры кипения

2.1.4 Определение полезной разности температур

2.1.5 Расчет расхода тепла на выпаривание

2.1.6 Определение коэффициента теплопередачи

2.1.7 Расчет уточненной поверхности теплопередачи

2.2 Расчет вспомогательного оборудования

2.2.1 Расчет барометрического конденсатора

2.2.1.1 Определение расхода охлаждающей воды

2.2.1.2 Расчет диаметра барометрического конденсатора

2.2.1.3 Расчет высоты барометрической трубы

2.2.2 Расчет производительности вакуум-насоса

2.2.3 Расчет теплообменного аппарата для подогрева исходного

раствора до температуры кипения

Заключение

Список использованных источников

Приложения

**Введение**

На всем протяжении своего развития химия служит человеку в его практической деятельности. Еще задолго до новой эры возникли ремесла, в основе которых лежали химические процессы: получение металлов, стекла, керамики, красителей. Роль современной химии в различных отраслях промышленности и сельского хозяйства исключительно велика. Без развития химии невозможно развитие топливно-энергетического комплекса, металлургии, транспорта, связи, строительства, электроники, сферы быта и услуг и т. д. Химическая индустрия снабжает народное хозяйство различными материалами и сырьем. Это кислоты, щелочи, растворители, топливо, масла, пластмассы, химические волокна, синтетические каучуки, минеральные удобрения и многое другое.

В различных отраслях промышленности используются химические методы. Например, катализ (ускорение процессов), защита металлов от коррозии, обработка деталей химическим способом.

Современная химическая промышленность характеризуется весьма большим числом разнообразных производств, различающихся условиями протекания технологических процессов и многообразием физико-химических свойств перерабатываемых веществ и выпускаемой продукции. Вместе с тем технологические процессы различных производств представляют собой комбинацию сравнительно небольшого числа типовых процессов (нагревание, охлаждение, фильтрование и т. д.).

За последние десятилетия развитие химической технологии привело к появлению принципиально новых процессов, что поставило химическую технологию на качественно более высокий уровень. В этом отношении весьма перспективным является развитие вычислительной техники, которая создает невиданные до недавнего времени возможности для исследования, моделирования и расчета процессов и аппаратов химической технологии.

К числу наиболее распространенных процессов относится выпаривание. Это объясняется тем, что многие вещества, например едкий натр, едкий калий, аммиачная селитра, сульфат аммония и др., получают в виде разбавленных водных растворов, а на дальнейшую переработку и транспорт они должны поступать в виде концентрированных продуктов.

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.

В качестве примера выпаривания с выделением чистого растворителя из раствора можно привести опреснение морской воды, когда образующийся водяной пар конденсируют и полученную воду используют для различных целей.

Процесс выпаривания проводится в выпарных аппаратах. По принципу работы выпарные аппараты разделяются на периодические и непрерывно-действующие.

Периодическое выпаривание применяется при малой производительности установки или для получения высоких концентраций. При этом подаваемый в аппарат раствор выпаривается до необходимой концентрации, сливается и аппарат загружается новой порцией исходного раствора.

В установках непрерывного действия исходный раствор непрерывно подается в аппарат, а упаренный раствор непрерывно выводится из него.

В химической промышленности в основном применяют непрерывно действующие выпарные установки с высокой производительностью за счет большой поверхности нагрева (до 2500 м2 в единичном аппарате).

Наибольшее применение в химической технологии нашли выпарные аппараты поверхностного типа, особенно вертикальные трубчатые выпарные аппараты с паровым обогревом непрерывного действия.

В зависимости от режима движения кипящей жидкости в выпарных аппаратах их разделяют на аппараты со свободной, естественной и принудительной циркуляцией, пленочные выпарные аппараты, к которым относятся и аппараты роторного типа.

В данном проекте используется аппарат с естественной циркуляцией, с вынесенной зоной кипения.

**1 Литературный обзор**

**1.1 Теоретические основы процесса выпаривания**

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. При этом повышаются концентрация, плотность и вязкость раствора, а также температура его кипения. 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.

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 определённые 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 pa6очих 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.

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 экстрапаром. Отбор экстрапара 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 равнению с однокорпусными установками той же производительности.

Экономия первичного пара (и соответственно топлива) может быть достигнута также в однокорпусных выпарных установках с тепловым насосом. В таких установках вторичный пар на выходе из аппарата сжимается с помощью теплового насоса (например, термокомпрессора) до давления, соответствующего температуре первичного пара, после чего он вновь возвращается в аппарат для выпаривания раствора.

В химической промышленности применяются в основном непрерывно действующие выпарные установки. Лишь в производствах малого масштаба, а также при выпаривании растворов до высоких конечных концентраций иногда используют выпарные аппараты периодического действия. Концентрация раствора в таком аппарате приближается к конечной лишь в конечный период процесса. Поэтому средний коэффициент теплопередачи здесь может быть несколько выше, чем в непрерывно действующем аппарате, где концентрация раствора ближе к конечной в течение всего процесса выпаривания.

Современные выпарные установки имеют очень большие поверхности нагрева (иногда превышающие 2000 м2 в каждом корпусе) и являются крупными потребителями тепла.

**1.2 Устройство выпарных аппаратов**

**1.2.1 Классификация выпарных аппаратов**

Разнообразные конструкции выпарных аппаратов применяемых в промышленности, можно классифицировать по:

1. типу поверхности нагрева :

паровые рубашки;

змеевики;

трубчатки различных видов;

1. расположению в пространстве:

аппараты с горизонтальной нагревательной камерой;

вертикальной нагревательной камерой;

с наклонной нагревательной камерой;

1. роду теплоносителя:

водяной пар;

высокотемпературные теплоносители;

электрический ток;

1. характеру движения кипящей жидкости в выпарном аппарате:

а) со свободной циркуляцией;

1. с направленной естественной циркуляцией;
2. с принудительной циркуляцией;
3. пленочные;
4. организации процесса:
5. непрерывно действующие аппараты;
6. периодически действующие аппараты

Различают также однокорпусные и многокорпусные выпарные аппараты. Установки, состоящие из одиночного аппарата, вторичный пар из которого не используется или используется вне аппарата, называются однокорпусными выпарными установками.

# 1.2.2 Однокорпусные выпарные установки

Однокорпусная выпарная установка включает лишь один выпарной аппарат (корпус). Рассмотрим принципиальную схему одиночного непрерывно действующего выпарного аппарата с естественной циркуляцией раствора на примере аппарата с внутренней центральной циркуляционной трубой (рис. 1). Аппарат состоит из теплообменного устройства — нагревательной (греющей) камеры 1 и сепаратора 2. Камера обогревается обычно водяным насыщенным паром, поступающим в ее межтрубное пространство. Конденсат отводят снизу камеры. Поднимаясь по трубам 3, выпариваемый раствор нагревается и кипит с образованием вторичного пара. Отделение пара от жидкости происходит в сепараторе 2.



Рис.1-Схема однокорпусного выпарного аппарата

Освобожденный от брызг и капель вторичный пар удаляется из верхней части сепаратора. Часть жидкости опускается по циркуляционной трубе 2 под нижнюю трубную решётку греющей камеры. Вследствие разности плотностей раствора в трубе 4 и парожидкостной эмульсии в трубах 3 жидкость циркулирует по замкнутому контуру, упаренный раствор удаляется через штуцер в днище аппарата. Если выпаривание производится под вакуумом, то вторичный пар отсасывается в конденсатор паров, соединенный с вакуум-насосом. Упаренный раствор удаляется из конического днища аппарата.

**1.2.3 Многокорпусные выпарные установки**

В современных выпарных установках выпариваются очень большие количества воды. 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 процессы в многокорпусной выпарной yстановке. 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. 2.



Рис.2 – Многокорпусная прямоточная вакуум-выпарная установка

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 самотёком 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 конденсатор.

Необходимым условием передачи тепла в каждом корпусе должно быть наличие некоторой полезной разности температур, определяемой разностью температур зреющего пара и кипящего раствора. Вместе с тем, давление вторичного дара 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.

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

В выпарных установках, работающих под некоторым избыточным давлением вторичного пара в последнем корпусе, этот пар может быть шире использован на посторонние нужды, т.е. в качестве экстрапара. Наряду с этим повышение давления вторичного пара в последнем корпусе уменьшает возможную кратность использования свежего (первичного) пара, греющего первый корпус.

При работе под избыточным давлением требуется несколько большая толщина стенок аппаратов, но установка в целом упрощается, так как отпадает необходимость в постоянно действующем конденсаторе паров, (небольшой конденсатор используют лишь в период пуска установки).

В выпарных установках под давлением труднее поддерживать постоянный режим работы, чем в установках под вакуумом, и для этой цели требуется автоматическое регулирование давления пара и плотности упаренного раствора. Для повышения устойчивости режима работы установок под давлением используют различные схемы.

Многокорпусные выпарные установки различаются также по взаимному направлению движения греющего пара и выспариваемого раствора. Кроме наиболее широко распространенных установок с прямоточным движением пара и раствора, примечаются также противоточные выпарные установки, в которых греющий пар и выпариваемый раствор перемещаются из корпуса в корпус во взаимно противоположных направлениях. Противоточные выпарные установки используют при выпаривании растворов до высоких конечных концентраций, когда в последнем корпусе (по ходу раствора) возможно нежелательное выпадение твердого вещества.

### 1.2.4 Аппараты с выносной нагревательной камерой

При размещении нагревательной камеры вне корпуса аппарата имеется возможность повысить интенсивность выпаривания не только за счет увеличения разности плотностей жидкости и парожидкостной смеси в циркуляционном контуре но и за счет увеличения длины кипятильных труб.

Рис.3 – Выпарной аппарат с выносной нагревательной камерой

Аппарат с выносной нагревательной камерой (рис. 3) имеет кипятильные трубы, длина которых часто достигает 7м. Он работает при более интенсивной естественной циркуляции, обусловленной тем, что циркуляционная труба не обогревается, а подъемный и опускной участки циркуляционного контура имеют значительную высоту. Выносная нагревательная камера 1 легко отделяется от корпуса аппарата, что облегчает и ускоряет ее чистку и ремонт. Ревизию и ремонт нагревательной камеры можно производить без полной остановки аппарата (а лишь при снижении его производительности), если присоединить к его корпусу две камеры.

Исходный раствор поступает под нижнюю трубную решетку нагревательной камеры и, поднимаясь по кипятильным трубам, выпаривается.

Вторичный пар отделяется от жидкости в сепараторе 2. Жидкость опускается по не обогреваемой циркуляционной трубе 3, смешивается с исходным раствором, и цикл циркуляции повторяется снова.

Вторичный пар, пройдя брызгоуловитель 4, удаляется с сверху сепаратора. Упаренный раствор отбирается через боковой штуцер в коническом днище сепаратора.

Скорость циркуляции в аппаратах с выносной нагревательной камерой может достигать 1,5 м/сек, что позволяет выпаривать в них концентрированные и кристаллизующиеся растворы, не опасаясь слишком быстрого загрязнения поверхности теплообмена. Благодаря универсальности, удобству эксплуатации и хорошей теплопередаче аппараты такого типа получили широкое распространение.

**1.2.5 Аппараты с вынесенной зоной кипения**

При скоростях 0,25—1,5 м/сек, с которыми движется раствор в аппаратах с естественной циркуляцией, не удается предотвратить отложения твердых осадков на поверхности теплообмена. Поэтому требуется периодическая остановка аппаратов для очистки, что связано со снижением их производительности и увеличением стоимости эксплуатации. Загрязнение поверхности теплообмена при выпаривании кристаллизующихся растворов можно значительно уменьшить путем увеличения скорости циркуляции раствора и вынесением зоны его кипения за пределы нагревательной камеры см. (рис. 4).

В аппарате с вынесенной зоной кипения выпариваемый раствор поступает снизу в нагревательную камеру 1 и, поднимаясь по трубам (длиной 4—7 м) вверх, вследствие гидростатического давления не закипает в них. При выходе из кипятильных труб раствор поступает в расширяющуюся кверху трубу вскипания 2, установленную над нагревательной камерой в нижней части сепаратора 3. Вследствие понижения давления в этой трубе раствор вскипает и таким образом, парообразование происходит за пределами поверхности нагрева.

Циркулирующий раствор опускается по наружной не обогреваемой трубе 4. Упаренный раствор отводится из кармана в нижней части сепаратора 3. Вторичный пар, пройдя отбойник 5 и брызгоуловитель 6, удаляется сверху аппарата. Исходный раствор поступает либо в нижнюю часть аппарата (под трубную решетку нагревательной камеры), либо сверху в циркуляционную трубу 4.

Рис.4 – Выпарной аппарат с выносной зоной кипения

Вследствие большой поверхности испарения, которая создается в объеме кипящего раствора, и частичного самоиспарения капель, унесенных вторичным паром, значительно снижается брызгоунос. Кипящий раствор не соприкасается с поверхностью теплообмена, что уменьшает отложение накипи.

Аппараты с вынесенной зоной кипения могут эффективно применяться для выпаривания кристаллизующихся растворов умеренной вязкости.

**1.3 Области применения и выбор выпарных аппаратов**

Конструкция выпарного аппарата должна удовлетворять ряду общих требований, к числу которых относятся: высокая производительность и интенсивность теплопередачи при возможно меньших объеме аппарата и расходе металла на его изготовление, простота устройства, надежность 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 путем увеличения скорости циркуляции раствора. Однако одновременно возрастает расход энергии на выпаривание и уменьшается полезная разность температур, так как 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.

Для выпаривания растворов небольшой вязкости, не превышающей ~8·10-3 н·сек/м2, 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 не обогреваемыми циркуляционными трубами.

Выпаривание некристаллизующихся растворов большой вязкости, достигающей ~0,1н·сек/м2, производят в аппаратах с принудительной циркуляцией, реже в прямоточных аппаратах с падающей пленкой или в роторных прямоточных аппаратах.

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

Аппараты с принудительной циркуляцией широко применяются также 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 кристаллизующихся растворов могут конкурировать с выпарными аппаратами с принудительной циркуляцией.

Для сильно пенящихся растворов рекомендуются прямоточные аппараты с поднимающейся пленкой.

**1.4 Современно-аппаратурное оформление процесса выпаривания**

В 1991 году в научно-исследовательском и проектно-конструкторском институте металлургической теплотехники цветной металлургии и огнеупоров изобретен выпарной аппарат для солесодержащих растворов. Служит для упаривания солесодержащих растворов и может быть использован в металлургической, химической и пищевой отраслях промышленности. Аппарат отличается тем, что на конце восходящего циркуляционного трубопровода, обращенном ко второй греющей камере, установлена инжекционная насадка, а вторая греющая камера размещена в нижней части сепаратора. Использование этого изобретения обеспечивает повышение эффективности упаривания за счет превращения прямолинейного движения потока в вихревое, уменьшение брызгоуноса и габаритов аппарата, а, следовательно, уменьшение металлоемкости (смотри Приложение А).

В 2002 году В. П. Черных изобрел выпарной аппарат. Назначение: для извлечения химических веществ в жидком или твердом состоянии из раствора путем удаления жидкого растворителя в виде пара при кипении. Это изобретение отличается от аналогов тем, что патрубок для ввода раствора установлен на крышке. Сосуд выпарного аппарата не имеет «конденсатора», поэтому все рабочее пространство в сосуде используется рационально для осуществления процесса выпаривания раствора. Это повышает удельную производительность аппарата. Выпарной аппарат новой конструкции позволяет получить полимерные металлоорганические соединения редких металлов высокой химической частоты (смотри Приложение Б).

**2 Расчет выпарной установки с естественной циркуляцией и вынесенной зоной кипения (согласно заданию).**

**2.1 Расчет основного оборудования**

**2.1.1 Расчет материального баланса**

Определяем расход вторичного пара и расход конечного раствора.



 (1)

, (2)

где W – расход вторичного пара, кг /с;

Gн – расход исходного раствора, кг/с;

Gк – расход упаренного раствора, кг /c;

Gн = 3600 кг/ч (из задания);

xн – содержание растворенного вещества в исходном растворе, кг/кг;

xн = 0.12 кг/кг (из задания);

хк – содержание растворенного вещества в упаренном растворе, кг/кг;

хк = 0.48 кг/кг (из задания).

 кг/с

 кг/с

 кг/с

**2.1.2 Определение ориентировочной поверхности теплопередачи**

Ориентировочную поверхность теплопередачи Fо, м2 определяют следующим образом:



(3)

где Qо– приблизительный расход тепла на выпаривание, Вт;

qо – приблизительное значение относительной тепловой нагрузки, Вт/ м2;

qо = (2…5) 104 Вт/ м2 для аппаратов с естественной циркуляцией.

Принимаем qn = 3⋅104 Вт/ м2.

Определяем приблизительный расход на выпаривание:



, (4)

где rбк – удельная теплота парообразования вторичного пара при давлении в барометрическом конденсаторе, равном по условию Рбк = 30000 Па;

rбк = 2336000 Дж/кг; [7]

сн – теплоемкость исходного раствора, Дж/( кг⋅К);

сн =3693 Дж/( кг⋅К); [7]

tбк – температура вторичного пара в конденсаторе, К, при Рбк = 30000 Па tбк = 68,7; [7]

tн – температура исходного раствора, Дж/( кг⋅К);

tн = 298 К = 25 ( по условию)

Qо = 3⋅2336000+4⋅3693⋅(68,7 – 25) = 7653500 Вт,

Fо = = 255 м2.

Поверхность теплопередачи берем с запасом до величины F, так как не учитывались потери тепла и температура кипения раствора больше за tбк, а действительный расход тепла больше за Qо. Следовательно, Fо принимаем равной 315 м2.

**2.1.3 Расчет температуры кипения**

Температуру кипения tк , К определяем следующим образом:

tк =tбк+∆'+∆''+∆''' (5)

где ∆' -физико-химическая депрессия, К;

∆''- гидростатическая депрессия, К;

∆'''- гидравлическая депрессия, К.

Величину ∆''' принимаем равной 1,5 К, а величина ∆'' для выпарных аппаратов с вынесенной зоной кипения с естественной циркуляцией не рассчитывается.

Находим величину температуры вторичного пара tw , К в выпарном аппарате:

tw = tбк +∆''' (6)

tw=68,7 + 1,5 = 70,2

По величине tw определяем давление в выпарном аппарате над кипящим раствором Pw= 31770 Па

Физико-химическую депрессию рассчитываем по формуле Тищенко:

, (7)

где ∆'атм – температурная депрессия при атмосферном давлении, К;

t = tW для аппаратов с вынесенной зоной кипения, К;

rw –относительная теплота парообразования при температуре t,К, Дж/кг;

rw = 2333000 Дж/кг;

а) для упаренного раствора

∆'атм =1,38 [6]



Определяем tн:

tн = 68,7 + 1,1 + 1,5 = 71,3 

для исходного раствора определяем следующим образом:

∆'атм= 9,32 [6]



Определяем tк:

tк = 341,7 + 1,5 + 7,6 = 350,8 К

**2.1.4 Определение полезной разности температур ∆ tпол , К**

Температуру греющего пара tг.п. , К принимаем tг.п. = 383,7 К

Давление греющего пара Рг.п., Па выбираем исходя из температуры греющего пара: Рг.п. = 0,15 МПа

Массовый расход циркулирующего раствора определяем по формуле:

,

где (8)

w – скорость раствора в трубах, м/с,

w=0,7 м/с; [6]

 – плотность выпаренного раствора;

= 1415 кг/м3; [2]

F – поверхность выбранного выпарного аппарата,

F = 315м2; [6]

d – внутренний диаметр труб, м,

d = 0,038 м; [6]

H – высота труб,

H = 4 м; [6]

 кг/c

Температуру перегрева раствора вычисляем по формуле:

, где (9)

iw – относительная энтальпия вторичного пара при tw , Дж/кг;

iw = 2626300 Дж/кг; [7]

cв – теплоемкость воды, Дж/(кг⋅К);

cв = 4190 Дж/(кг⋅К); [7]

,

, (10)



**2.1.5 Расчет расхода тепла на выпаривание**

Определяем расход тепла на выпаривание Q, Вт:

Q = 1.05⋅( Gн сн (tк – tн ) + W⋅( iw – cв⋅ tк )) (11)

Q = 1,05⋅( 4⋅3693⋅( 77,8 – 71,3 ) + 3⋅( 2626300 – 4190⋅77,8 ) =7346800 Вт

Определяем расход греющего пара Gг.п. , кг/с:

Gг.п. = Q / rг.п.⋅ϕ, (12)

где rг.п. – удельная теплота конденсации греющего пара, Дж/кг;

rг.п. = 2220000 Дж/кг ; [7]

ϕ - степень сухости греющего пара; ϕ = 0,95

Gг.п. = = 3,48 кг/c.

Рассчитываем относительный расход греющего пара d , кг/кг:

d = (13)

d = = 1,16 кг/кг

**2.1.6 Определение коэффициента теплопередачи К, Вт/(м2·К)**

Коэффициент теплопередачи К, Вт/(м2·К) рассчитываем по формуле:

, (14)

где α1-коэффициент теплоотдачи от греющего пара , Вт/(м2·К),

α2-коэффициент теплоотдачи от стенки к кипящему раствору, Вт/(м2·К),

∑ -суммарное термическое сопротивление стенки трубы и загрязнений на ней, (м2·К)/Вт.

Для определения ∑ выбираем конструкционный материал, стойкий в среде кипящего раствора Са(NO3) 2 в интервале изменения концентраций от 12 до 48%. В этих условиях химически стойкой является сталь марки Х17. Скорость коррозии ее менее 0.1 мм/год, коэффициент теплопроводности λст = 25,1 Вт/(м·К). Примем, что суммарное термическое сопротивление равно термическому сопротивлению стенки δст/λст и накипи δн/λн. Термическое сопротивление со стороны пара не учитываем.

Получим:



, (15)

∑==3,297 · 10-4 (м2·К)/Вт;

Рассчитываем коэффициент теплоотдачи α1:

, (16)

где r1-теплота конденсации греющего пара, Дж/кг;

ρж1 - плотность конденсата при средней температуре пленки,кг/м3;

λж1 - теплопроводность конденсата при средней температуре плеки,Вт/(м·К);

μж1 - вязкость конденсата при средней температуре пленки,Па⋅с;

Средняя температура пленки:



α1 рассчитываем методом последовательных приближений. В первом приближении примем ⋅∆t1=6 град. Тогда:



; [2]

; [2]

; [2]

 ; [7]



Для установившегося процесса передачи тепла справедливо уравнение:

q= α1⋅∆t1 =⋅∆tст/(∑rсум)= α2⋅∆t2 , (17)

где q- удельная тепловая нагрузка, Вт/м2;

 ∆tст- перепад температуры на стенке, град;

 ∆t2- разность между температурой стенки со стороны раствора и температурой кипения раствора, град.

Отсюда:

 ∆tст = α1⋅∆t1⋅∑rсум = 4575⋅ 6 ⋅ 3,297 ⋅ 10-4 = 9 град.

Тогда:

 ∆t2=∆tпол - ∆tст - ∆t1 = 31 – 9 – 6 = 16 град;

Коэффициент теплоотдачи от стенки к кипящему раствору рассчитываем по формуле:

, (18)

где Nu – критерий Нуссельта:

, (19)

где Re – критерий Рейнольдса:

; (20)

Pr – критерий Прандтля:

 , (21)

где λ-теплопроводность раствора, Вт/(м⋅К);

λ = 0,5939 Вт/(м⋅К); [2]

ρ- плотность раствора, кг/м3;

ρ= 1413,82 кг/м3 ; [2]

μ- вязкость раствора, Па⋅с;

μ = 1,96⋅10-3 Па⋅с ; [2]

c- теплоёмкость раствора, Дж/(кг⋅К);

с= 2570 Дж/(кг⋅К) ; [2]

Свойства раствора взяты при средней температуре потока, равной:

tср = tк + : (22)

.



Проверим правильность первого приближения по равенству удельных тепловых нагрузок:

q'= α1⋅∆t1= 4575 ⋅ 6 = 27450 Вт/м2;

q''= α2⋅∆t2=2257 ⋅ 16 = 36112 Вт/м2;

Очевидно, что q'≠q''.

Для второго приближения примем ∆t1 = 7 град.

Пренебрегая изменением физических свойств конденсата при изменении температуры на 1 град, рассчитаем α1 по соотношению:

α1 = 4575= 4402 Вт/(м2⋅К);

Получим:

∆tст = 4402 ⋅ 7 ⋅ 3,297 ⋅ 10-4 = 10 град;

∆t2 = 31 – 7 – 10 = 14 град;

q' = 4575 ⋅ 7 = 32025 Вт/м2;

q'' = 2257 ⋅ 14 = 31598 Вт/м2.

%=%

Так как расхождение между тепловыми нагрузками не превышает 3%, то расчет коэффициентов α1 и α2 на этом заканчиваем.

Находим К:

 Вт/(м2⋅К)

**2.1.7 Расчет уточнённой поверхности теплопередачи**

Определяем уточненную поверхность теплопередачи F,м2:



 (23)

 235 м2.



F принимаем равной 315 м2

По ГОСТ 11987 – 81 выбираем выпарной аппарат со следующими характеристиками:

Номинальная поверхность теплообмена F 315 м2

Диаметр труб d 38 х 2 мм

Высота труб Н 4000 мм

Диаметр греющей камеры dк 1600 мм

Диаметр сепаратора dс 3600 мм

Диаметр циркуляционной трубы dц 1000 мм

Общая высота аппарата На 15000 мм

Масса аппарата Ма 21000 кг

**2.2 Расчет вспомогательного оборудования**

**2.2.1 Расчет барометрического конденсатора**

Для создания вакуума в выпарных установках применяют конденсаторы смешения с барометрической трубой. В качестве охлаждающего агента используют воду, которая подается в конденсатор чаще всего при температуре окружающей среды (около 20оС). Смесь охлаждающей воды и конденсата выливается из конденсатора по барометрической трубе. Для поддержания постоянства вакуума в системе из конденсатора с помощью вакуум-насоса откачивают неконденсирующиеся газы.

**2.2.1.1 Определение расхода охлаждающей воды**

Расход охлаждающей воды Gв определяем из теплового баланса конденсатора:

, где (24)

Iбк – энтальпия паров в барометрическом конденсаторе, Дж/кг;

tн – начальная температура охлаждающей воды, оС;

tк – конечная температура смеси воды и конденсата, оС;

св – теплоемкость воды, Дж/(кг град).

Разность температур между паром и жидкостью на выходе из конденсатора должна быть 3-5 град. Поэтому конечную температуру воды tк на выходе из конденсатора принимают на 3-5 град ниже температуры конденсации паров.



Тогда



**2.2.1.2 Расчет диаметра барометрического конденсатора**

Диаметр барометрического конденсатора dбк определяется из уравнения расхода:

,

где (25)

ρ - плотность паров, кг/м3;

v – скорость паров, м/с.

При остаточном давлении в конденсаторе порядка 10000 Па скорость паров можно принять в интервале 15 – 25 м/с. Таким образом



По нормалям НИИХИММАШа [2] подбираем конденсатор диаметром, равным расчетному или ближайшему большему. В нашем случае это конденсатор диаметром 1000 мм.

**2.2.1.3 Расчет высоты барометрической трубы**

Внутренний диаметр барометрической трубы равен dбт = 200 мм. Скорость воды в барометрической трубе равна:



 (26)

Высоту барометрической трубы определим по уравнению:

,

где (27)

В – вакуум в барометрическом конденсаторе, Па;

Σξ – сумма коэффициентов местных сопротивлений;

λ – коэффициент трения в барометрической трубе;

Нбт, dбт – высота и диаметр барометрической трубы, м;

0,5 – запас высоты на возможное изменение барометрического конденсатора, м.

 (28)

 (29)

Коэффициент трения λ зависит от режима течения жидкости. Определим режим течения воды в барометрической трубе:

 (30)

Для гладких труб при Re = 510769,2 коэффициент трения λ = 0,0128



Отсюда находим 

**2.2.2 Расчет производительности вакуум-насоса**

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

,

где (31)

0.000025 – количество газа, выделяющегося из 1 кг воды;

0.01 – количество газа, подсасываемого в конденсатор через неплотности, на 1 кг паров.

Тогда



Объемна производительность вакуум-насоса равна:

, где (32)

R – универсальная газовая постоянная, Дж/(кмоль К);

Мвозд – молекулярная масса воздуха, кг/кмоль;

Рвозд – парциальное давление сухого воздуха в барометрическом конденсаторе, Па.

Температуру и давление воздуха рассчитаем по уравнениям:

 (33)

 (34)

Тогда



На основании рассчитанных выше данных подбираем вакуум-насос типа ВВН-12 мощностью на валу N=20 кВт.

**2.2.3 Расчет теплообменного аппарата для подогрева исходного раствора до температуры кипения**

Условие: рассчитать теплообменный аппарат (кожухотрубчатый горизонтальный) для нагрева 4 кг/с водного раствора (Хн = 12%) Са(NO3) 2 от 25 до 77,8 оС. Принимаю абсолютное давление греющего пара. Принимаю, что раствор в трубном пространстве течет в турбулентном режиме.

Кожухотрубчатые подогреватели предназначены для конденсации паров в межтрубном пространстве, а также для подогревания жидкостей за счет теплоты конденсации пара. В качестве теплоносителя используется насыщенный водяной пар давлением Рг п = 0,104 МПа. Удельная теплота конденсации , температура греющего пара tг.п. = 101,18 оС

Тепловой поток, принимаемый исходной смесью и ,соответственно, отдаваемый насыщенным водяным паром:

(35)

Расход насыщенного водяного пара:

 (36)

Средняя разность температур теплоносителей:

 (37)

Ориентировочно определяю максимальную величину площади поверхности теплообмена. По табл.4.8 /3/ минимальное значение коэффициента теплопередачи для случая теплообмена от конденсирующегося водяного пара к воде Кмин = 800 Вт/(м2 К). При этом

 (38)

Задаваясь Re=15000 определим соотношение n\z для подогревателя из труб мм.

n\z = 4\*G1/π\*μ\*d\* Re, (39)

где n – число труб;

z – число ходов потрубному пространству;

μ=0,00038 Па·с;

n\z = 4\*4/3,14\*0,00038\*15000\*0,016=55

Уточненный расчет поверхности теплопередачи:

Наиболее близкое к заданному значению у подогревателя: D=325 мм, dтр =мм, число ходов 2, число труб 90. Тогда n\z = 45

Наиболее близкую поверхность имеет аппарат:

L=4 м2 F=22,5 м2

Действительное число Re считается по формуле:

Re=4\* G1 \* z /π\*μ\*d\* n (40)

Re=4\*4\*2/3,14\*0,00038\*0,016\*90=18624

Коэффициент теплоотдачи к раствору определим пренебрегая поправкой  Pr=4, при t = 45º

(41)



Коэффициент теплоотдачи от пара определим по уравнению

 (42)



Принимаю проводимость загрязнений со стороны греющего пара , со стороны раствора  . Коэффициент теплопроводности стали . Тогда

 (43)

Коэффициент теплопередачи:

 (44)

Расчетная площадь поверхности теплообмена:

 (45)

Запас площади поверхности теплообмена: 

Гидравлическое сопротивление в трубном пространстве рассчитываем по формуле:

p= z\*L\*λ\*ω²\*ρ/2\*d+(2,5(z-1)+2\*z)\* ω²\*ρ/2+3\* ω²\*ρ/2 (46)

# Скорость 12٪ Са(NO3) 2 рассчитывается по формуле:

ω=4\*G1\*z/π\*d²\*n\*ρ (47)

# ω =4\*4\*2/3,14\*0,016² \*90\*1095=0,4 кг/с

# Коэффициент трения в трубах рассчитывается по формуле:

# λ=025\*(lg(e/3,7+(6,81/Re)ª))-² (48)

# где е=0,0002/0,016 =0,00125

Тогда λ=0,25\*(lg(0,00125/3,7+(6,81/18624)ª))-² =0,0289

# Скорость раствора в штуцерах рассчитывается по формуле:

ω=4\*G1/π\*d²\*ρ (49)

# ω=4\*4/3,14\*0,15²\*1095= 0,21 кг/с

# Гидравлическое сопротивление в трубном пространстве:

# p= 2\*4\*0,0289\*0,4²\*1095/0,016\*2+(2,5(2-1)+2\*2)\* 0,4²\*1095/2+3\* 0,21²\*1095/2 =5681Па

# Заключение

В результате проведенных расчетов спроектирована однокорпусная выпарная установка для упаривания раствора Са(NO3) 2 производительностью 4 кг/ч. В результате вычислений выяснено, что для осуществления процесса необходим аппарат с поверхностью теплопередачи 315 м2.

Также произведен подбор вспомогательного оборудования:

1.барометрический конденсатор

Таблица 1

|  |  |
| --- | --- |
| Внутренний диаметр конденсатора dбк | 1000 мм |
| Скорость воды в барометрической трубе vв | 1,26 м/с |
| Расход охлаждающей воды Gв | 36,73 кг/с |
| Внутренний диаметр барометрической трубы равен dбт | 200 мм |
| Высота барометрической трубы Нбт | 7,65 |

2.вакуум-насос

Таблица 2

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Типоразмер | Остаточное давление, мм рт. ст. | Производительность, м3/мин | Мощность на валу, кВт |
| ВВН-12 | 23 | 12 | 20 |

3.двуходовой кожухотрубчатый теплообменник

Таблица 3

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Поверхность теплообменаF, м2 | Внутренний диаметр кожуха D, мм | Число труб n | Длина труб L, м |
|
| 22,5 | 325 | 90 | 4,0 |

**Список использованных источников**

1. Гельперин Н.И. Основные процессы и аппараты химической технологии.В 2-х кн.-М.:Химия, 1981.
2. Зайцев И.Д., Асеев Т.Т. Физико-химические свойства бинарных и многокомпонентных растворов неорганических веществ.- М.:Химия, 1988.
3. Калишук Д.Г., Протасов С.К., Марков В.А. Процессы и аппараты химической технологии. Методические указания к курсовому проектированию по одноименной дисциплине для студ. очного и заочного обучения. – Мн.:Ротапринт БГТУ, 1992.
4. Калішук Дз.Р. Працэсы і апараты хімічнай тэхналогіі. Метадычныя ўказанні да курсавой работы па аднайменнай дысцыпліне для студэнтаў вочнай і завочнай форм навучання спец. Э.01.03.00. – Мн.:БДТУ, 1998.
5. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии.-М.:Химия, 1973.
6. Основные процессы и аппараты химической технологии. Пособие по проектированию/ Под ред. Ю.И.Дытнерского.-М.:Химия, 1991.
7. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Учебное пособие для вузов/Под ред. чл.-корр. АН СССР П.Г. Романкова.- 10-е изд., перераб. и доп.- Л.:Химия, 1987. - 576 с., ил.
8. Плановский А.Н., Николаев П.Н. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии: Учебник для вузов. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: химия, 1987. - 496 с.