Введение

Теплообменом называется процесс переноса теплоты, происходящий между телами, имеющими различную температуру. В результате передачи теплоты происходят: нагревание – охлаждение, парообразование – конденсация, плавление – кристаллизация. Теплообмен имеет важное значение для проведения процессов выпаривания, сушки, перегонки и др.

Движущей силой процесса теплообмена является разность температур.

Вещества и тела, участвующие в процессе теплообмена, называются теплоносителями. Теплоносители с более высокой температурой, отдающие теплоту в процессе теплообмена, называются горячим теплоносителем. Вещества с более низкой температурой, воспринимающие теплоту в процессе теплообмена, называются холодными теплоносителями.

Существует два основных способа проведения тепловых процессов: путем непосредственного соприкосновения теплоносителей и передачей тепла через стенку, разделяющую теплоносители.

При передаче тепла непосредственным соприкосновением теплоносителей обычно смешиваются друг с другом, что не всегда допустимо, поэтому способ применяется редко, хотя он проще в аппаратурном оформлении.

При передаче тепла через стенку теплоносители не смешиваются, и каждый из них движется по отдельному каналу; поверхность стенки, разделяющей теплоносители, используется для передачи тепла и называется поверхностью теплообмена и является основным расчетным конструктивным параметром теплообменных аппаратов (теплообменников).

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

В ряде случаев при выпаривании растворов твёрдых веществ достигается насыщение раствора; при дальнейшем удалении растворителя из такого раствора происходит кристаллизация, то есть выделение из него растворенного твёрдого вещества. Применяется для концентрирования растворов нелетучих веществ.

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

В промышленности в большинстве случаев выпариваются водные растворы различных веществ.

Тепло для выпаривания можно подводить любыми теплоносителями, применяемыми при нагревании. Для нагрева выпариваемых растворов до кипения используют топочные газы, электрообогрев, но наибольшее применение находит водяной пар (характеризуется высоким коэффициентом теплоотдачи).

Выпаривание ведут как под атмосферным, так и под пониженным или повышенным давлением.

Используют в производстве минеральных удобрений, сахара, кормовых дрожжей. Также применяют при концентрировании водных растворов щелочей (едкое кали и едкий натр), солей.

1. Техническая часть

1.1 Сравнительная характеристика аппаратов для данного процесса

Теплообменники – устройства, в которых осуществляется теплообмен между греющей и нагреваемой средами.

В теплообменных аппаратах могут происходить различные тепловые реакции: нагревание, охлаждение, испарение, конденсация, кипение, затвердевание и сложные комбинированные процессы. Теплообменные аппараты применяются практически во всех отраслях промышленности и, в зависимости от назначения, называются подогревателями, испарителями, конденсаторами, регенераторами, парообразователями, кипятильниками, выпарными аппаратами и т.д.

В зависимости от назначения производственных процессов в качестве теплоносителей могут применяться самые различные газообразные, жидкие и твердые среды.

Установки, состоящие из одиночного аппарата вторичный пар, из которого не используется (при выпаривании под атмосферным давлением или при разряжении) или используется вне аппарата, называются однокорпусными выпарными установками.

Большим распространением пользуются многокорпусные выпарные установки, включающие несколько соединённых друг с другом аппаратов (корпусов), работающих под давлением, понижающимся по направлению от первого корпуса к последнему. В таких установках можно применять вторичный пар, образующийся в каждом предыдущем корпусе, для обогрева последующего корпуса. При этом свежим паром обогревается только первый корпус. Образующийся в первом корпусе вторичный пар направляется на обогрев второго корпуса, в котором давление ниже и т.д., вторичный пар из последнего корпуса поступает в конденсатор или используется вне установки.

Таким образом, в многокорпусных выпарных установках осуществляется многократное использование одного и того же количества тепла (тепла, отдаваемого греющим паром в первом корпусе), это позволяет сэкономить значительное количество потребляемого свежего пара.

Устройство выпарных аппаратов.

Наибольшее распространение получили выпарные аппараты с паровым обогревом, имеющие поверхность теплообмена, выполненную из труб. Выпарные аппараты с паровым обогревом состоят из двух основных частей:

а) кипятильник (греющая камера), в котором расположена поверхность теплообмена и происходит выпаривание раствора;

б) сепаратор – пространство, в котором вторичный пар отделяется от раствора.

Необходимость в сепараторе составляет основное конструктивное отличие выпарных аппаратов от теплообменников. В зависимости от характера движения кипящей жидкости в выпарном аппарате различают:

1. Выпарные аппараты со свободной циркуляцией;
2. Выпарные аппараты с принудительной циркуляцией;
3. Выпарные аппараты с естественной циркуляцией;
4. Плёночные выпарные аппараты.

Выпарные аппараты со свободной циркуляцией.

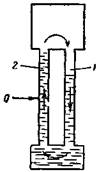
В этих аппаратах неподвижный или медленно движущийся раствор находится снаружи труб. К данной группе относятся аппараты, выполненные в виде чаш или котлов, поверхность теплообмена образована стенками аппарата.

Рисунок 1. Выпарной аппарат с горизонтальными трубами

Выпарные аппараты с горизонтальными трубами (пар пропускается по трубам, жидкость – снаружи труб) могут быть изготовлены со значительными поверхностями теплообмена – до 800 м2 и более. Для компенсации удлинения труб и разборки аппарата с целью очистки крепление труб в трубных решётках делают на сальниках или применяют U- образные трубы.

Основным недостатком является трудность очистки межтрубного пространства, вследствие чего они не пригодны для выпаривания кристаллизующихся растворов. Кроме того, такие аппараты имеют невысокий коэффициент теплопередачи, громоздки и требуют значительного количества металла для изготовления. В настоящее время они применяются редко, вытесняясь более совершенными конструкциями.

Выпарные аппараты с естественной циркуляцией.



1 – циркуляционная труба; 2 – кипятильная труба.

Рисунок 2. Схема естественной циркуляции.

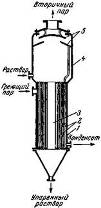
Естественная циркуляция возникает в замкнутой системе, состоящей из необогреваемой циркуляционной (опускной) трубы 1 и обогреваемых подъёмных труб 2. Если жидкость в подъёмных трубах нагрета до кипения, то в результате испарения части жидкости в этой трубе образуется парожидкостная смесь, плотность которой меньше плотности самой жидкости. Таким образом, вес столба жидкости в циркуляционной трубе больше, чем в подъёмных трубах, вследствие чего происходит упорядоченное движение (циркуляция) кипящей жидкости по пути: подъёмные трубы → паровое пространство → опускная труба → подъёмные трубы и т. д.

Для естественной циркуляции требуется два условия:

1. Достаточная высота уровня жидкости в опускной трубе, чтобы уравновесить столб парожидкостной смеси в кипятильных трубах и сообщить этой смеси необходимую скорость;
2. Достаточная интенсивность парообразования в кипятильных трубах, чтобы парожидкостная смесь имела, возможно, малую плотность.

При небольшом уровне жидкости в опускной трубе парожидкостная смесь не может подняться до верха кипятильных труб; при этом не происходит циркуляции, и работа аппарата сопровождается резким снижением производительности и быстрым покрыванием труб накипью.

Выпарной аппарат с центральной циркуляционной трубой является одной из наиболее старых, но широко распространенных конструкций.



1 – корпус; 2 – кипятильные трубы; 3 – циркуляционная труба; 4 – сепаратор; 5 – отбойник.

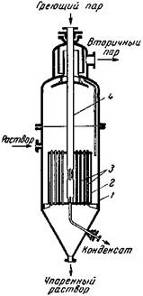
Рисунок 3. Выпарной аппарат с центральной циркуляционной трубой

Греющая камера состоит из ряда вертикальных кипятильных труб 2, обогреваемых снаружи паром. По оси греющей камеры расположена циркуляционная труба 3 значительно большего диаметра, чем кипятильные трубы. Греющий пар подаётся в межтрубное пространство, конденсируется и отводится из аппарата в виде конденсата. Упаренный раствор также непрерывно удаляется через штуцер, находящийся в днище аппарата. Парообразование внутри центральной трубы значительно меньше, чем в кипятильных трубах, так как за единицу объёма жидкости в ней приходится меньшая теплопередающая поверхность. Раствор выдавливается в кипятильные трубки, поднимается по ним вверх, частично выпаривается и, освобождённый вверху от пара, возвращается вниз по центральной трубе. Образующийся пар удаляется в верхней части аппарата, пройдя предварительно через каплеуловитель.

Недостатки аппарата: жёсткая конструкция греющей камеры, не имеющая температурной компенсации.

Достоинства: простота конструкции и легкость доступа для чистки и ремонта.

Выпарной аппарат с подвесной греющей камерой состоит из греющей камеры 2, которая свободно подвешивается внутри корпуса 1, опираясь на лапы.



1 – корпус; 2 – кожух греющей камеры; 3 – кипятильные трубы; 4 – труба для подвода пара к греющей камере.

Рисунок 4. Выпарной аппарат с подвесной греющей камерой

Греющий пар подаётся в межтрубное пространство нагревательной камеры по трубе 4. Образующийся вторичный пар проходит сепаратор над греющими трубками и далее инерционный каплеуловитель, из которого уловленная жидкость стекает вниз по трубе.

Принцип циркуляции:

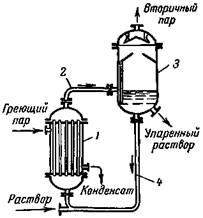
Малоэмульгированный раствор из-за большой плотности опускается вниз по кольцевому пространству между корпусом аппарата и нагревательной камерой, передавливая вверх постоянно образующуюся в трубках более лёгкою парожидкостную эмульсию.

Погружение нагревательной камеры в выпариваемую среду препятствует возникновению температурных напряжений, так как в этом случае корпус камеры и трубки находятся в одинаковых температурных условиях.

Недостатками являются усложнение конструкции и большие габариты.

Достоинства – повышенный коэффициент теплопередачи за счет хорошего охлаждения раствора в кольцевом пространстве и легкость выемки греющей камеры из аппарата для чистки, ремонта или замены.

Выпарной аппарат с вынесенной греющей камерой состоит из нагревательной камеры (кипятильника) 1, представляющей собой пучок труб, сепаратора 3 и циркуляционной трубы 4, присоединенной к нижней растворной камере.



1 – кипятильник; 2 - труба для парожидкостной смеси; 3 – сепаратор; 4 – циркуляционная труба.

Рисунок 5. Выпарной аппарат с вынесенной греющей камерой

Выпариваемый раствор, поднимаясь по трубкам, нагревается и по мере подъема вскипает. Образовавшаяся парожидкостная смесь направляется в сепаратор, где происходит разделение жидкой и паровой фаз. Вторичный пар, пройдя сепаратор и брызгоуловитель, освобождается от капель, а раствор возвращается по циркуляционной трубе в греющую камеру.

Высота трубок в таких аппаратах составляет 5 … 7 м. Сечение циркуляционной трубы равно или больше площади поперечного сечения всех кипятильных трубок. В результате значительной скорости циркуляционного раствора повышается коэффициент теплоотдачи и уменьшается опасность отложения пристенных осадков.

Чистка и замена трубок выпарных аппаратов с выносной греющей камерой достаточно удобны.

Так же в промышленности применяют выпарные аппараты:

* С поднимающейся плёнкой;
* С падающей плёнкой;
* роторный прямоточный аппарат;
* барботажный выпарной аппарат;
* С погружными горелками.

1.2 Физико-химическая характеристика продуктов заданного процесса

Гидроокись натрия (едкий натр) NaOH – бесцветные кристаллы. Плотность 2,13 кг/м3, температура кипения 13780С, температура плавления 3200С. Теплота образования H = ккал/моль. Давление пара 0,1 мм. рт. ст.). Теплоёмкость 19,2 кал/моль·град. Технический продукт - белая твёрдая непрозрачная масса. С водой реакция экзотермическая, т.е. с выделением тепла.



Едкий натр растворим в метиловом и этиловом спиртах, практически нерастворим в жидком аммиаке и большинстве органических растворителей. Расплавленная гидроокись натрия растворяет металлический натрий и гидрид натрия. Разрушает кожу и бумагу, а так же другие материалы органического происхождения. На кожу и слизистые оболочки действует прижигающее. Особенно опасно попадание даже малейших её количеств в глаза. Все работы с едким натрием должны проводиться в резиновых перчатках и очках.

Гидроокись натрия получают электрохимическим и химическим методами. Электрохимическое получение основано на электролизе растворов NaCI; одновременно получается хлор. В промышленности для получения щёлочи и хлора применяют два типа ванн: с твёрдыми электродами и прочным электролитом, движущимися от анода к катоду, и с ртутным катодом. Электролиз ведут при 60-900С.

Химический способ получения едкого натра основан на взаимодействии горячего раствора карбоната натрия с известью, в результате которого образуются 10-12%-ные растворы NaOH.

Гидроокись натрия является одним из основных продуктов химической промышленности и широко применяется как в самой химической промышленности, так и во многих других производствах.

Вода H2O- главное и наиболее распространённое химическое соединение на нашей планете - обязательный компонент всех живых организмов (составляющий до 99% их массы), главный компонент среды их пребывания, а также большинства продуктов питания.

Наибольшие запасы содержатся в гидросфере – 96% в мировом океане, остальные запасы воды - это реки, озёра, ледники, подземные и почвенные воды; 3% воды – пресные. Воды является наиболее изученным соединением; её свойства использованы при определении единиц измерения физических величин (плотность, температура, теплота, теплоёмкость).

Является хорошим сильнополярным растворителем. В природных

условиях всегда содержит растворённые вещества (соли, газы).

Вода – единственное химическое соединение, которое в природе может находиться в жидком, твёрдом и газообразном состояниях одновременно. Чистая вода – прозрачная, бесцветная жидкость без запаха и вкуса. Многие её физические свойства и их изменения имеют аномальный характер.

Вода обладает рядом необычных особенностей:

– При таянии льда его плотность увеличивается (с 0,9 до 1 г/см³), когда почти у всех остальных веществ при плавлении плотность уменьшается.

– Высокая теплоёмкость жидкой воды.

– Высокое поверхностное натяжение.

Температура замерзания – 0; температура кипения – 100; удельная теплота парообразования 2250 КДж/кг.



1.3 Эксплуатация выпарных аппаратов

Процесс выпаривания может производиться периодически или непрерывно. При периодическом выпаривании в аппарат заливается определенное количество раствора, который нагревается до кипения (период подогрева), после чего начинается процесс выпаривания (период испарения воды). В процессе выпаривания непрерывно повышаются концентрация и температура кипения раствора, так как последняя зависит от концентрации. По мере испарения воды уровень раствора в аппарате понижается. Выпаривание ведут до достижения заданной конечной концентрации раствора.

Понижение уровня раствора часто нарушает работу аппарата, поэтому описанный способ проведения процесса обычно видоизменяют следующим образом, начиная с момента закипания раствора, в аппарат непрерывно подают слабый раствор в таком количестве, чтобы уровень раствора не изменялся. При этом способе работы (выпаривание при постоянном уровне) получаемый в конце операции упаренный раствор занимает тот же объем, что и первоначально залитый в аппарат слабый раствор.

Процесс выпаривания может производиться периодически или непрерывно. При периодическом выпаривании в аппарат заливается определенное количество раствора, который нагревается до кипения (период подогрева), после чего начинается процесс выпаривания (период испарения воды). В процессе выпаривания непрерывно повышаются концентрация и температура кипения раствора, так как последняя зависит от концентрации. По мере испарения воды уровень раствора в аппарате понижается. Выпаривание ведут до достижения заданной конечной концентрации раствора.

Понижение уровня раствора часто нарушает работу аппарата, поэтому описанный способ проведения процесса обычно видоизменяют следующим образом, начиная с момента закипания раствора, в аппарат непрерывно подают слабый раствор в таком количестве, чтобы уровень раствора не изменялся. При этом способе работы (выпаривание при постоянном уровне) получаемый в конце операции упаренный раствор занимает тот же объем, что и первоначально залитый в аппарат слабый раствор.

Пленочные выпарные аппараты применяются только для непрерывной работы, они не содержат значительного объема раствора, который непрерывно протекает через аппарат, причем его концентрация и температура изменяются вдоль поверхности теплообмена.

При обслуживании выпарных аппаратов необходимо следить за поддержанием уровня жидкости на определенной высоте. В аппаратах периодического действия уровень жидкости регулируется подводом слабого раствора, а в аппаратах непрерывного действия – отводом упаренного раствора. Количество слабого раствора в аппаратах непрерывного действия поддерживается постоянным и регулируется в зависимости от концентрации упаренного раствора: если последняя понижается, то подачу слабого раствора надо уменьшить, и наоборот. Для отбора проб упаренного раствора на выпарных аппаратах устанавливают специальные пробные краны.

Процесс выпаривания сильно зависит от температуры, которая контролируется термометром, измеряющим температуру раствора в аппарате, манометры измеряют давление греющего и вторичного пара. Необходимый температурный режим устанавливается регулированием подачи греющего пара. Кроме того, при обслуживании выпарного аппарата следят за правильным отводом конденсата и неконденсирующихся газов. Конденсат отводится при помощи конденсатоотводчиков. Для отвода неконденсирующихся газов, содержащихся в греющем паре, в верхней части пространства для греющего пара имеется трубка, через которую эти газы непрерывно или периодически удаляются.

Периодически, по мере загрязнения поверхности теплообмена, выпарной аппарат останавливают для очистки. Очистка производится путем промывки или указанными выше способами.

* 1. Материалы, применяемые для изготовления теплообменников

##### При выборе и создании теплообменной аппаратуры необходимо учитывать такие важные факторы, как тепловая нагрузка аппарата, температурные условия процесса, физико-механические параметры рабочих сред, условия теплообмена, характер гидравлических соединений, вид материала и его коррозийную стойкость, простота устройства и компактность, расположение аппарата, взаимное направление движения рабочих сред, возможность очистки поверхности теплообмена от загрязнений, расход металла на единицу переданной теплоты и другие технико-экономические показатели.

Экономическое использование качественных материалов, высокий уровень технологии изготовления и полное использование всех достижений теплопередачи дают возможность выбора и создания рациональных теплообменных аппаратов, удовлетворяющих всех перечисленным требованиям.

Химические продукты в той или иной мере всегда вызывают коррозию материала аппарата, поэтому для изготовления их применяются различные металлы (железо, чугун, алюминий) и их сплавы. Наибольшее применение находят стали. Благодаря способности изменять свои свойства в зависимости от состава, возможности термической и механической обработки стали с низким содержанием углерода хорошо штампуются, но плохо обрабатывают резанием.

Добавки других металлов – легирующих элементов – улучшают

качество сталей и придают им особые свойства, например, хром улучшает механические свойства, износостойкость и коррозионную стойкость; никель повышает прочность, пластичность; кремний увеличивает жаростойкость.

Легирующие элементы обозначаются буквами: Х - хром,

Н - никель, М - молибден, Г - марганец, С - кремний, Т - титан, Д - медь, Ю - алюминий и т.д.

Стали обыкновенного качества применяют для изготовления аппаратов, работающих под избыточным давлением до 6 Па при температурах -30° С до + 425° С. Для более жестких условий применяют углеродистые стали улучшенного качества – марок 15К и 20К.

Для повышения термостойкости и прочности применяют низколегированные стали 10Г2С1, 16ГС, 30Х, 40Х, что позволяет использовать аппараты при температурах от -70°С до +550° С.

Для повышения кислотостойкости и жаропрочности аппаратов их изготавливают из хромоникелевых сталей марок О18Н10Т, Х18Н9Т.

Для очень агрессивных сред применяются высоколегированные стали, например ОХ23Н28МЗД3Т.

Кожухотрубные теплообменники применяются в качестве жидкостных и газовых подогревателей, конденсаторов и испарителей.

Они работают при условном давлении до 6,4 МПа и температурах от -30 до +450.



Кожухотрубные теплообменные аппараты общего назначения изготавливают из углеродистой или нержавеющей стали с площадью поверхности теплообмена от 1 до 2000 м. Кожухотрубные теплообменники с наружным диаметром кожуха 159 – 426 мм изготавливают из стандартных труб. Кожухи теплообменников диаметром свыше 400 мм изготавливают сварными из листового проката углеродистой или нержавеющей стали. Кожухотрубные теплообменники с U - образными трубами применяют при температурах от -30°С до +450° С и давлением в пределах 1,6-6,4 МПа.

Стандартные теплообменники изготавливают с диаметром кожуха от 325 до 400 мм. Кожух и распределительная камера могут быть изготовлены из стали ВМСт3Сн или 16ГС, теплообменные трубы – из стали 20, в конденсаторах – из сплава AMr2M.

При температурах теплоносителя выше 400° С применяют легированные марки стали. Трубы для теплообменников выбирают, исходя из агрессивности теплоносителей. Для стандартных теплообменников применяют трубы из углеродистой стали 10 и 20, коррозинностойкой стали ОХ18Н10Т и латуни ЛОМ 70-1-0,06 для конденсаторов применяют трубы из латуни ЛАМш 77-2-0,06.

При использовании агрессивных теплоносителей принимают трубы из стали Х5М, а трубные решетки изготавливают из стали 16ГС или двухслойной стали 16ГС + Х18Н10Т.

* 1. Техника безопасности и охрана окружающей среды

Выпарные установки.

Требования правил распространяются на выпарные установки периодического и непрерывного действия, работающие под давлением или разрежением.

Для подогрева раствора, поступающего в первый корпус, до температуры, близкой к температуре кипения, необходимо устанавливать перед корпусом подогреватели, обогреваемые конденсатом или соковым паром.

Коммуникации подогревателей должны иметь запорные устройства для отключения и обводные линии, а также линии для возврата подогретого раствора в промежуточный бак (для циркуляции раствора через подогреватели) в периоды, когда первый корпус не может непрерывно принимать подогретый раствор.

Для контроля за качеством конденсата на конденсатопроводах должны быть смонтированы пробоотборники.

В зависимости от качества конденсата (по химическому составу и наличию примесей) он должен собираться от всех выпарных аппаратов вместе или раздельно.

Для обеспечения наблюдений за уровнем раствора в выпарных аппаратах должны предусматриваться смотровые стекла.

Выпарные установки должны быть оснащены следующими контрольно-измерительными и регулирующими приборами:

* автоматическими регуляторами давления пара, поступающего в первый корпус; регистрирующим манометром на линии подачи пара в цех;
* манометрами на греющей камере и в паровом пространстве первого корпуса; манометрами, вакуумметрами на греющих камерах и в паровом пространстве последующих корпусов;
* автоматическими регуляторами уровня раствора; указывающими и сигнализирующими вакуумметрами на трубопроводах, идущих от барометрических или поверхностных конденсаторов;
* приборами для измерения температуры на всех выпарных аппаратах, подогревателях и барометрическом или поверхностном конденсаторе; расходомерами для учета расхода воды, поступающей в цех; расходомером для учета раствора, поступающего на выпарку; концентратомерами после каждого выпарного аппарата.

Для обеспечения нормального режима работы выпарной установки необходимо:

* следить за подачей греющего пара в первый корпус и не допускать падения или повышения давления его в значительных пределах (допустимы колебания в пределах 0,01 МПа (0,1 кгс/см2);
* поддерживать предусмотренное режимной картой распределение температур и давлений по корпусам выпарной установки;
* следить за непрерывностью отвода конденсата из греющих камер выпарных аппаратов, а также систематически проверять качество конденсата;
* обеспечивать систематическое питание выпарных аппаратов раствором, подогретым до температуры, близкой к температуре кипения;
* следить за перепуском раствора из корпуса в корпус систематически выводить из последнего корпуса готовый продукт,

поддерживая установленный уровень раствора в аппаратах и не допуская оголения греющих камер;

* обеспечивать минимальные потери раствора, концентратов и теплоносителей;
* поддерживать разрежение в выпарных аппаратах, работающих под разрежением, на уровне, предусмотренном режимной картой, в случаях падения вакуума немедленно выявлять причины и устранять их строго соблюдать предусмотренный график и порядок промывки выпарных аппаратов, а при необходимости производить внеочередные промывки выпарных аппаратов и их очистку;
* обеспечивать непрерывную и исправную работу автоматических, теплоизмерительных и регулирующих приборов, арматуры, а также вспомогательного оборудования выпарной установки.

Схема трубопроводов выпарной установки должна исключать возможность смешения потоков греющего первичного и вторичного пара, а также потоков их конденсата.

Едкий натр

Технический едкий натр пожаро- и взрывобезопасен, по степени воздействия на организм относится к веществам 2-го класса опасности

Едкий натр представляет собой едкое вещество. При попадании на кожу вызывает химические ожоги, а при длительном воздействии может вызывать язвы и экземы. Сильно действует на слизистые оболочки.

Предельно допустимая концентрация аэрозоля едкого натра в воздухе рабочей зоны производственных помещений (ПДК) - 0,5 мг/м3.

Производственный персонал должен быть обеспечен специальной одеждой и средствами индивидуальной защиты (костюм из хлопчатобумажной ткани, резиновые сапоги, резиновые перчатки, защитные очки, фильтрующий промышленный противогаз).

При розливе раствора продукта его обезвреживают, поливая место розлива обильным количеством воды.

При рассыпании твердого продукта его следует собрать совком, а место рассыпания обмыть обильным количеством воды.

Технический едкий натр транспортируют железнодорожным, автомобильным, водным транспортом в крытых транспортных средствах в упаковке и наливом в железнодорожных и автомобильных цистернах. Железнодорожным транспортом продукт перевозят в бочках, барабанах, ящиках повагонно.

Жидкий продукт хранят в закрытых щелочестойких емкостях, твердый продукт хранят в упакованном виде в закрытых складских неотапливаемых помещениях.

Для контроля качества технического едкого натра пробы отбирают от каждой железнодорожной или автомобильной цистерны; при поставках продукта в специализированных контейнерах, бочках и барабанах отбирают 10 % упаковочных единиц, но не менее трех упаковочных единиц.

Допускается у изготовителя проводить отбор проб: жидкого продукта - из емкости для хранения товарного продукта; твердого плавленого продукта - при розливе в барабаны; твердого чешуированного продукта - при наборе в барабаны или банки.

2. Расчетная часть

* 1. Материальный расчет

Запишем уравнение материального баланса для всего количества раствора



по растворенному веществу



где Gн – массовый расход начального (исходного) раствора, кг/с;

Gк – массовый расход конечного (упаренного) раствора, кг/с;

W – массовый расход выпариваемой воды, кг/с;

xк – массовая доля растворенного вещества в исходном растворе;

xн – массовая доля растворенного вещества в упаренном растворе.

Из уравнения материального баланса определяем массовое количество упаренного раствора и выпаренной воды.



кг/ч



Выпаренной воды будет



W = 7800 – 2275 = 5525 кг/ч

* 1. Тепловой расчет

Тепловой расчет выполняется на основе закона сохранения энергии, согласно которому приход теплоты должен быть равен ее расходу.

Уравнение теплового баланса выпарного аппарата

Q + Gн·Cн·tн = Gк·Cк·tк + W·iвт + Qпот (5)

где Q – расход теплоты на выпаривание, Вт;

Cн, Cк – удельная теплоемкость начального (исходного) и конечного (упаренного) раствора, Дж/(кг·К);

tн, tк – температура начального раствора на входе в аппарат и конечного раствора на выходе его из аппарата, оС;

iвт – удельная энтальпия вторичного пара на выходе из аппарата, Дж/кг;

Qпот – расход теплоты на компенсацию потерь в окружающую среду, Вт.

Из уравнения теплового баланса находится расход теплоты на выпаривание, которое поступает с греющим паром.



Расход теплоты на нагревание раствора до температуры кипения:



Расход теплоты на испарение воды:



где Св – удельная теплоемкость воды при tк, Дж/(кг·К);

По условию раствор в аппарат поступает при температуре кипения, следовательно Qнагр = 0

Расход теплоты на компенсацию потерь в окружающую среду принимают в размере 3-5% от суммы (Qнагр + Qисп)

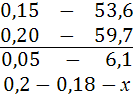
т.к. Qнагр = 0, то принимаем

Qпот = 0,3\*Qисп и тогда



Определяем температуру вторичного пара в барометрическом конденсаторе. Определяется как температура насыщения при давлении в барометрическом конденсаторе.

При рб.к. = 0,18 to = 57,26



|  |
| --- |
|  |



59,7-2,44=57,26

Определяем температуру вторичного пара в сепараторе выпарного аппарата



где t1 – температура вторичного пара в сепараторе,;



t0 – температура вторичного пара в барометрическом конденсаторе,;



Δtг.с. – гидравлическая депрессия (сопротивление), т.е. изменение температуры вторичного пара на участке сепаратор - барометрический конденсатор, вызванное падением давления пара из-за гидравлического сопротивления паропровода вторичного пара,.



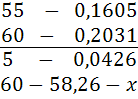
Принимаем Δtг.с. = 1



тогда t1 = 57,26 + 1 = 58,26



этой температуре соответствует p1 = 0,1883



0,2031 – 0,0148 = 0,1883

Конечная температура раствора (температура кипения раствора в сепараторе) при которой упаренный раствор выводится из аппарата.



где tк – температура кипения раствора в сепараторе, ;



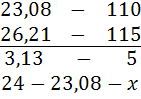
t1 – температура вторичного пара в сепараторе, ;



Δ tдепр. – температурная депрессия, выражающая повышение температуры кипения раствора по сравнению с температурой кипения чистого растворителя (воды) при том же давлением, .



Находим, что 24% раствор NaOH кипит под атмосферным давлением при температуре 111,47



110 + 1,47 = 111,47

Температурную депрессию можно определить по формуле Тищенко



где Δ tдепр. – температурная депрессия,;



tатм – температурная депрессия при атмосферном давлении,;



T – Абсолютная температура воды при данном давлении,;



- теплота испарения для воды при данном давлении, Дж/кг.

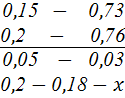


tатм = 111,47 – 100 = 11,47

обозначим



при pб.к. = 0,18



0,76 – 0,012 = 0,748

Δtдепр.= 0,748·11,47 = 8,58



Конечная температура раствора в сепараторе

tк = 58,26 + 8,58 = 66,84



Средняя температура кипения раствора в трубах



где tкип – средняя температура кипения в трубах,;



tк – температура кипения раствора в сепараторе (конечная температура раствора),;



Δtг.э. – гидростатическая депрессия (эффект) или повышение температуры кипения раствора вследствие гидростатического давления столба жидкости в аппарате,.



Вначале определим следующие параметры: оптимальная высота уровня по водомерному стеклу, определяется по формуле:



где оптимальная высота уровня, м;



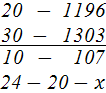
плотности раствора конечной концентрации и воды при температуре кипения, кг/м3;



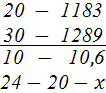
рабочая высота труб, м.



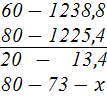
Примем tкип = 73оС, тогда



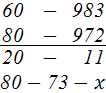
1196 + 42,8 = 1238,8



1183 + 42,4 = 1225,4



1225,4 + 4,69 = 1230,1



972 + 3.85 = 975.9



Гидростатическую депрессию определим по формуле



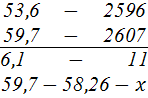
Средняя температура кипения раствора в трубах



Количество теплоты, передаваемое от греющего пара к кипящему раствору



при t1 = 58,26



Расход пара



где – расход греющего пара, ;



– расход теплоты, Вт;



– удельная теплота парообразования при абсолютном давлении рабс = 2 атм;

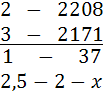


– парообразование (степень сухости) греющего пара.



Влажность пара 5%, следовательно, x = 1 – 0,05 = 0,95

при рабс = 2,5 атм



Общая разность температур



где общая разность температур,;



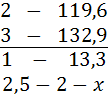
tг.п. – температура греющего пара, ;



tо – температура вторичного пара в барометрическом конденсаторе, .



tг.п. = 126,25оС при p = 2,5 атм



Полезная разность температур



где – полезная разность температур,;



– температура греющего пара;



– температура кипения раствора в трубах (средняя),.



Проверка:



где – сумма температурных потерь,



Расчет верен

Площадь поверхности нагрева выпарного аппарата



где F – площадь поверхности нагрева, м2

– теплота, отданная греющим паром раствору, Вт



– полезная разность температур,



K – коэффициент теплоотдачи,



Определяем коэффициент теплоотдачи от конденсирующегося водяного пара к поверхности вертикальных труб



где H – высота труб, м;

– коэффициент теплоотдачи от греющего пара к стенке, ;



– функция, зависящая от температуры конденсации;



Δt – разность температур конденсации греющего пара и наружной поверхности труб со стороны пленки конденсата, .



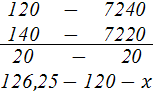
где – температура конденсации



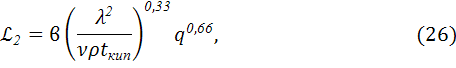
;



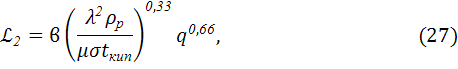
– температура наружной поверхности труб, .



Коэффициент теплоотдачи от стенки труб к кипящему раствору



или



где – коэффициент теплоотдачи от стенки к раствору,



;



– безразмерный коэффициент, зависящий только от



отношения плотностей жидкости и пара;

λ – коэффициент теплопроводности раствора, ;



ρ – плотность раствора, ;



μ – коэффициент динамической вязкости, Па·с;

σ – коэффициент поверхностного натяжения, ;



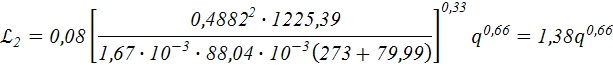
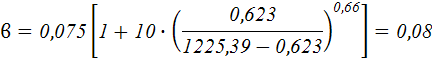
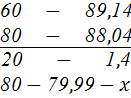
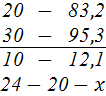
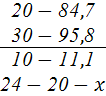
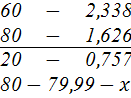
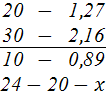
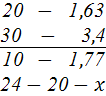
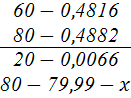
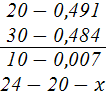
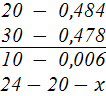
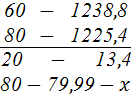
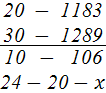
– температура кипения раствора,



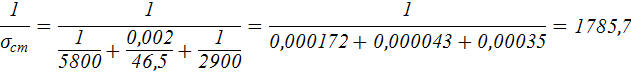
где – плотность водяного пара при



определяем по закону состояния идеальных газов (Менделеев – Клапейрон)



Принимаем тепловую проводимость загрязнений стенки со стороны греющего пара ≈5800и со стороны кипящего раствора ≈2900



где – коэффициент теплопроводности стали



В качестве первого приближения принимаем температуру наружной поверхности внешнего слоя загрязнений t' = 124



Тогда коэффициент теплоотдачи и плотность теплового потока от пара определится



Температура поверхности загрязнений со стороны раствора определится



Определяем коэффициент теплоотдачи к раствору



Плотность теплового потока



Следовательно, необходимо уменьшить температуру стенки со стороны пара



Второе приближение

Вновь вычисляем коэффициент теплоотдачи и плотность теплового потока от пара к наружной стенке



Температура внутренней поверхности



Коэффициент теплоотдачи и плотность теплового потока к раствору



Расхождение



Поэтому дальнейшее приближение не требуется.

Коэффициент теплопередачи



Где К – коэффициент теплопередачи, ;



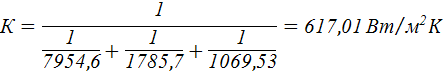
– коэффициент теплоотдачи от пара к стенке, ;



– коэффициент теплоотдачи от стенки к раствору, ;



– сумма тепловых сопротивлений.



Необходимая поверхность теплопередачи



Выбираем выпарной аппарат по ГОСТ 11987 – 81 F=160м2

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Таблица 1. Техническая характеристика выпарного аппарата | Масса аппарата | кг | 12000 |
| Высота аппарата, Н | мм | 13500 |
| Диаметр циркуляционной трубы, D2 | мм | 700 |
| Диаметр сепаратора, D1 | мм | 2400 |
| Диаметр греющей камеры, D | мм | 1200 |
| Длина труб, l | м | 4000 |
| Поверхность теплообмена при dтр=38\*2мм | мм | 160 |

Запас поверхности теплообмена



2.3 Конструктивный расчёт

2.3.1 Определение числа кипятильных труб



где - площадь поверхности теплообмена, м2;



- число труб;



- средний диаметр труб, м;



- длина труб, м.



2.3.2 Определение диаметров патрубков

Диаметры патрубков определяются из уравнения



где - средняя скорость движения жидкости в



трубопроводе, м/с;

- площадь поперечного сечения трубы, м 2;



- плотность жидкости, кг/м3.



Скорость принимается в пределах

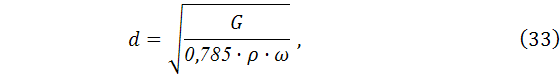
жидкости 0,52 м/с



пары 20 50 м/с



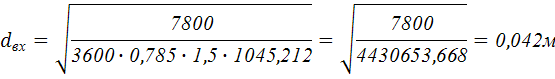
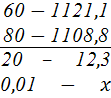
После подсчёта необходимо согласовать значения диаметра с нормализованным диаметром труб.



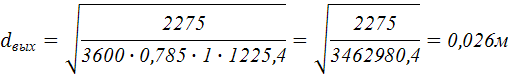
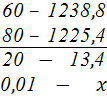
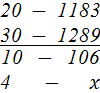
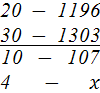
где расход, кг/с.



Для раствора:



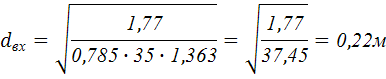
Принимаем



Принимаем



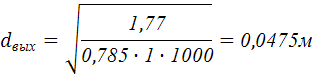
Для пара:



Принимаем



Для конденсата:



Принимаем



2.3.3 Выбор размещения трубок в трубной плите

Площадь, занятая трубками:



где - площадь, занятая трубками, м2;



– расстояние между осями труб, м;



- число труб;



- коэффициент использования трубной плиты, 0,70,9.



где dн – наружный диаметр трубы, м.

принимаем t = , = 0,8.



2.4 Механический расчёт

2.4.1 Определение толщины трубной плиты



где min – толщина трубной плиты, мм;



dн – наружный диаметр трубы, мм.



Принимаем = 15 мм.



Толщина трубных плит 1530 мм.



2.4.2 Расчёт толщины стенки корпуса

Толщина стенки корпуса определяется по формуле:



где - толщина стенки корпуса, мм;



Р – расчётное давление, МПа;

D – внутренний диаметр корпуса, мм;

- коэффициент прочности сварного шва, принимается 0,8.



Принимаем = 5 мм.



2.4.3 Расчёт толщины стенки эллиптического днища



где - толщина стенки днища, мм;



- радиус кривизны в вершине днища.



Для стандартных днищ R = D.



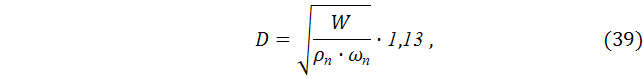
Принимаем = 5 мм.



2.5 Расчёт вспомогательного оборудования

2.5.1 Расчёт барометрического конденсатора

Диаметр барометрического конденсатора определяется по формуле:



где - диаметр барометрического конденсатора, мм;



- количество выпарной воды;



- плотность пара, кг/м3;



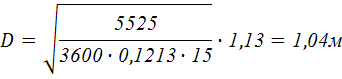
- скорость пара, м/с.



Скорость пара 1025 м/с



= 0,1213 кг/м3 при t1=58,26 (в барометрическом конденсаторе)



По нормалям НИИХИММАША (500, 600, 800, 1000, 1200, 1600) принимаем D = 1000 мм.

2.5.2 Определение расхода охлаждающей воды

Расход охлаждающей воды определяем из теплового баланса конденсатора:



где в – расход охлаждающей воды, кг/с;



- количество выпаренной воды;



- энтальпия паров в барометрическом конденсаторе, Дж/кг;



- начальная температура охлаждающей воды,;



- конечная температура охлаждающей воды,;



– удельная теплоёмкость воды, Дж/(кг·К).



Разность температур между паром и жидкостью на выходе из конденсатора принимают на 35 ниже температуры конденсации паров.



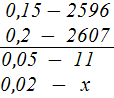
t = при Рб.к. = 0,18 атм.



Начальную температуру примем 15.

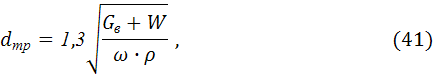


б.к.= 2602,6 · 103 при



2.5.3 Расчёт барометрической трубы

Диаметр барометрической трубы определяется по формуле:



где тр – диаметр барометрической трубы, м;



- расход охлаждающей воды, кг/с;



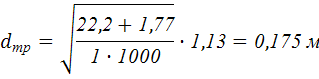
- количество выпаренной воды, кг/с;



- скорость смеси конденсата и воды, м/с;



- плотность воды, кг/м3.



Принимаем = мм.



2.5.4 Высота барометрической трубы

Высота определяется по уравнению:



где - высота барометрической трубы, м;



В – вакуум в барометрическом конденсаторе, па;

- сумма коэффициентов местных сопротивлений;



- ускорение свободного падения, м/с2;



- коэффициент трения в барометрической трубе;



- скорость воды в барометрической трубе.



Скорость воды определяется по формуле:



где - расход охлаждающей воды, кг/с;



- расход выпаренной воды, кг/с;



dтр – диаметр барометрической трубы, м.



Вакуум в барометрическом конденсаторе:



где Ратм – атмосферное давление, Па;

Рб.к. – давление в конденсаторе, Па.

В = 9,8·104 – 1,76·104= 8,04·104

Рб.к. = 0,18·9,8·104 = 1,76·104 Па

Сумма коэффициентов местных сопротивлений



где – коэффициент местного сопротивления на входе в



трубу;

– коэффициент местного сопротивления на выходе из



трубы.

= 0,5 + 1 = 1,5



Коэффициент зависит от режима течения воды в барометрической трубе.



Определим режим движения:



где – критериий Рейнольдса;



– скорость течения воды, м/с;



– диаметр барометрической трубы, м;



– динамическая вязкость воды, Па·с;



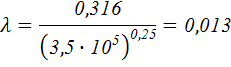
– плотность воды, кг/м3



при t0 = 57,260,491.



Степень шероховатости трубы:



Принимаем



Заключение

В расчётной записке произведён расчёт площади теплообмена, что является главным показателем. В результате был выбран выпарной аппарат по ГОСТ 11987 со следующими параметрами:

Поверхность теплообмена, мм d = 160

Длина труб l = 4000

Диаметр греющей камеры D = 1200

Диаметр сепаратора, мм D1 = 2400

Диаметр циркуляционной камеры, мм D2 = 700

Высота аппарата, м H = 13500

Масса аппарата, кг m = 12000

Литература

1. Романков П.Г., Курочкина М.И. Примеры и задачи по курсу

« Процессы и аппараты химической промышленности»: Учеб. Пособие для техникумов. – Л,: Химия, 1982. – 232 с.

1. Плановский А.Н., Фамм В.М., Каган С. З. Процессы и аппараты химической технологии. 5изд., пер. и доп. – М.: Химия, 1968. – 848 с.



1. Борисов Г.С., Брыков В.П., Дытнерский Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию. 2изд., пер. и доп. – М.: Химия, 1991. – 496 с.



1. Баранов Д.А., Кутепов А.М. Процессы и аппараты: Учебник для студ. Учреждений средн. Проф. Образования. – М.: Издательский центр « Академия», 2004. – 304 с.
2. Ивчатов А.А., Малов В.И. Химия воды и микробиология: Учебное пособие для техникумов. – М.: ИНФРА – М, 2006. – 218 с.