**Содержание**

Введение

1.1 Литературный обзор по теории и технологии процесса выпарки

1.2 Обоснование выбора и описание технологической схемы

1.3 Выбор конструкционных материалов аппаратов

2.1 Материальный баланс установки

2.2 Тепловой расчёт установки

2.3 Определение расхода греющего пара

2.4 Определение поверхности теплопередачи, выбор типа выпарного аппарата

2.5 Расчёт и выбор вспомогательного оборудования (насос, конденсатоотводчик, барометрический конденсатор)

2.6 Расчёт диаметров трубопроводов и штуцеров

2.7 Расчёт толщины теплоизоляционных покрытий

2.8 Расчёт и выбор теплообменника исходной смеси

3. Основные требования техники безопасности при эксплуатации выпарных установок

Список используемой литературы

Введение

Выпаривание — термический процесс концентрирования растворов твердых веществ, при кипении и частичном удалении жидкого растворителя в виде пара. В химической и смежной с ней отраслях промышленности жидкие смеси, концентрирование которых осуществляется выпариванием, отличаются большим разнообразием как физических параметров (вязкость, плотность, температура кипения, величина критического теплового потока и др.), так и других характеристик (кристаллизующиеся, пенящиеся, нетермостойкие растворы и др.). Свойства смесей определяют основные требования к условиям проведения процесса (вакуум-выпаривание, прямо- и противоточные, одно- и многостадийные многокорпусные выпарные установки), а также к конструкциям выпарных аппаратов. В технике процесс выпаривания (упаривания) получил широкое распространение, так как многие вещества (сахар, поваренная соль, щелочные металлы, аммиачная селитра и многие другие) получают в виде слабых водных растворов, а в готовом для потребления, хранения или транспорта виде они должны быть полностью или частично обезвожены. Таким образом, выпарная установка является важным элементом оборудования многих предприятий химической, пищевой и других отраслей промышленности. От правильного её расчёта и конструирования нередко зависит нормальная работа цеха или завода в целом. В общем случае выбор схемы выпарной установки является задачей оптимального поиска и выполнятся технико-экономическим сравнением различных вариантов с использованием ЭВМ. Впервые выпаривание, как технологический процесс получило применение в производстве сахара. В России в 1802 г. был построен первый сахарный завод с применением упаривания сахарного сиропа. Глубокое научное обоснование и анализ процессов выпарки дан в 1915 г. русским ученым И. А. Тищенко в монографии "Современные выпарные аппараты и их расчёт".

**1.1.Литературный обзор по теории и технологии процесса выпарки**

Выпаривание – термический процесс концентрирования растворов твердых нелетучих веществ при кипении и удалении жидкого нелетучего растворителя в виде паров. Выпаривание применяют для концентрирования растворов в производстве минеральных солей, органических полупродуктов и удобрений, белково-витаминных концентратов, кормовых дрожжей и других продуктов, а также для регенерации различных растворов (с целью возврата их в технологический цикл) и термического обезвреживания промышленных стоков.

Растворитель может превращаться в пар при кипении жидкости или при поверхностном её испарении. В выпарных аппаратах применяется более интенсивный из этих способов превращения растворителя в пар, а именно кипение. Впервые выпаривание получило промышленное применение в производстве сахара, а в дальнейшем и в химической промышленности. При концентрировании растворов вода иногда удаляется до 90% первоначального веса.

В элементарном виде процесс выпаривания можно осуществить в простом открытом или закрытом сосуде, наполненном раствором, при подводе к нему тепла для кипения и отводе образующихся паров в атмосферу или в конденсирующее устройство.

Выпарные аппараты по принципу работы и конструктивному оформлению имеют много общего с испарителями, применяемыми на электростанциях. Но процесс выпарки водных растворов в выпарных аппаратах имеет принципиальное отличие от процесса кипения чистой воды в испарителях.

Понижение температуры образующихся из раствора водяных паров по сравнению с температурой кипения раствора называют физико-химической температурной депрессией. Обозначив её через ∆1, можем написать

∆1 = tр – υ

где tр – температура кипения раствора, 0С;

υ – температура образующихся паров воды, 0С.

Физико-химическая температурная депрессия различна для разных растворов. Она больше у растворов веществ с малым молекулярным весом. Для раствора одного и того же вещества физико-химическая температурная депрессия увеличивается с повышением его концентрации.

Под концентрацией раствора понимают отношение массы сухого вещества в растворе к общей массе раствора в процентах



где b – массовая концентрация раствора, %;

W – количество растворителя или воды в растворе, кг;

Gсух. – количество растворённого или сухого вещества в растворе, кг.

При выпарке вес сухого вещества в растворе остаётся постоянным, а количество растворителя (воды) уменьшается, а концентрация раствора увеличивается

На практике выпаривание часто ведут и под вакуумом и под давлением. В таких случаях физико-химическая температурная депрессия может быть вычислена по приближённой формуле И.А. Тищенко



где ∆1 – искомая физико-химическая температурная депрессия при давлении выпаривания;

∆’1 – депрессия, взятая из таблиц, при атмосферном давлении;

Т – температура кипения чистого растворителя, 0К;

r – скрытая теплота парообразования для воды при давлении выпаривания, кДж/кг.

Наличие физико-химической температурной депрессии понижает полезную разность температур между первичным и вторичным паром в выпарном аппарате.

С повышением концентрации раствора увеличиваются его вязкость, плотность и температурная депрессия и понижаются теплоёмкость и теплопроводность.

Удельную теплоёмкость раствора определяют по формуле, кДж/(кг\*0С)



где ссух. – удельная теплоёмкость безводного нелетучего вещества, раствор которого выпаривается (определяется по справочнику), кДж/(кг\*0С);

св – теплоёмкость воды, св = 4,19 кДж/(кг\*0С);

b – процентное содержание вещества в растворе.

Вследствие увеличения вязкости растворов и понижения их теплопроводности и теплоёмкости уменьшается и коэффициент теплоотдачи αр от греющей стенки к кипящему раствору.

**1.2 Обоснование выбора и описание технологической схемы производства**

В промышленности применяются многокорпусные выпарные установки, обеспечивающие экономию греющего пара. С увеличением числа корпусов уменьшается удельный расход пара, но увеличивается стоимость установки.

Выбор числа ступеней выпарной станции производится на основе технико-экономических расчётов.

Выпарная станция может компоноваться из одной, двух и более параллельно действующих выпарных установок.

Различают следующие схемы выпарных установок:

1. по давлению вторичного пара в последней ступени: а) работающие под разрежением; б) под давлением; в) при ухудшенном вакуумом.
2. в зависимости от технологии обработки раствора при выпарке: а) одностадийные; б) многостадийные. В многостадийных установках сгущённый раствор отбирается из выпарной установки и направляется для дополнительной обработки (отстаивание, фильтрация), а затем вновь поступает в выпарные аппараты для дальнейшего сгущения.
3. по взаимному направлению потоков греющего пара и выпариваемого раствора: а) прямоточные; б) противоточные; в) с параллельным питанием раствора; г) со смешанным током.

По принципу работы выпарные установки разделяются на непрерывно и периодически действующие.

В установках непрерывного действия неконцентрированный (слабый) раствор непрерывно подаётся в аппарат, а упаренный (крепкий) раствор непрерывно отводится из него.

В аппаратах периодического действия жидкость подаётся в аппарат, выпаривается до необходимой, более высокой концентрации, затем упаренный раствор удаляется из аппарата. Опорожнённый аппарат снова заполняется неконцентрированным раствором. Периодическое выпаривание применяется в установках небольшой производительности, когда сгущённая жидкость не поддаётся откачке насосом, либо в тех случаях, когда необходимо выпарить весь растворитель.

Аппараты непрерывного действия более экономичны в тепловом отношении, поскольку в них отсутствуют потери, связанные с расходом теплоты на периодический разогрев аппарата. В большинстве случаев аппараты непрерывного действия компонуются в многокорпусные выпарные установки, представляющие собой несколько соединённых друг с другом аппаратов (корпусов), работающих под давлением, понижающемуся по направлению от первого корпуса к последнему. В каждом последующем корпусе устанавливается большая концентрация раствора, чем в предыдущем.

По давлению внутри аппарата выпарные установки разделяются на работающие при избыточном и атмосферном давлении и вакууме.

Вакуум в выпарных аппаратах применяется в следующих случаях:

1. когда раствор под влиянием температуры разлагается, изменяет цвет, запах.
2. когда раствор при атмосферном давлении имеет высокую температуру кипения, т.е. обладает большой физико-химической температурной депрессией, и требует высоких параметров греющего пара.
3. когда греющий теплоноситель имеет низкую температуру и, следовательно, нужно снижать температуру кипения раствора.

4. для увеличения располагаемого температурного перепада в многокорпусной установке.

В тех случаях, когда получаемый в результате выпаривания раствора вторичный пар может быть использован как теплоноситель в других теплообменных установках и поэтому нет надобности удорожать выпарную установку подключением вакуум-насоса и конденсатора, может оказаться более рациональным выпаривание под давлением.

В качестве греющего теплоносителя наибольшее применение в выпарных установках получил водяной пар.

Наибольшее распространение получили вертикальные выпарные аппараты с трубчатой поверхностью нагрева, хорошо компонующиеся и занимающие меньшую площадь.

Во всех конструкциях выпарных аппаратов для облегчения очистки поверхности нагрева от накипеобразований пар поступает в межтрубное пространство, а раствор подогревается и кипит в трубках.

Выпарные аппараты с паровым обогревом можно разбить на три группы: с естественной циркуляцией раствора, с принудительной циркуляцией раствора и плёночные аппараты.

Движущей силой естественной циркуляции раствора является разность весов столба жидкости в опускных трубах и парожидкостной эмульсии в подъёмных за счёт разности плотностей ρж и ρэ.

При работе выпарного аппарата образующаяся в трубках парожидкостная эмульсия поступает в сепаратор, где происходит сепарация, - пар уходит в паропровод вторичного пара, а жидкость поступает в циркуляционную трубу и при непрерывной выпарке смешивается с раствором, поступающим на выпарку, и вновь поступает в греющие трубки.

Для осаждения влаги во всех сепарирующих устройствах обычно используют три фактора: действие силы тяжести, под влиянием которой капельки воды выпадают из потока пара; силу контактного взаимодействия, т.е. прилипание водяных капель к поверхности сепаратора; центробежный эффект, в результате которого при движении влажного пара по кривой траектории капельки жидкости отбрасываются к периферии, т.е. к стенкам сепаратора и стекает вниз. В большинстве случаев эти три способа механического воздействия на влажный пар используются одновременно или сочетаются в разнообразной последовательности и в разной степени.

Для уменьшения колебания рабочего давления в выпарных аппаратах целесообразно в сепараторе и в нагревательной камере иметь минимальные объёмы жидкости и вводить парожидкостную смесь в сепаратор над свободной поверхность раствора.

Для устойчивой работы аппарата на выпускной трубе, подающей парожидкостную эмульсию в сепаратор, устанавливают стабилизатор (трубчатку из полых трубок). Циркуляции жидкости в аппарате обусловлена разностью гидростатических напоров жидкости на входе в кипятильные трубки и выходе из них.

Если пар, образующийся из раствора (вторичный пар одного выпарного аппарата), направить в греющую камеру другого выпарного аппарата и поддерживать во втором аппарате такое давление, чтобы температура этого пара была больше температуры кипения раствора во втором аппарате, то в нём тоже может происходить выпаривание, как и в первом аппарате.

Для возможности кипения раствора в каждом корпусе необходимо обеспечить соответствующую разность между температурами вторичного пара предыдущего корпуса и кипящего раствора следующего за ним корпуса.

Выпаривание раствора в многокорпусных установках позволяет достичь значительной экономии пара, а следовательно, и топлива по сравнению с однокорпусным выпариванием при одинаковых производительностях. Однако с увеличением числа корпусов увеличивается расход металла, начальные затраты на установку и амортизационные отчисления, расходы на текущие ремонты и, кроме того усложняется эксплуатация, поэтому в большинстве случаев на практике применяют выпарные установки с греющими поверхностями нагрева с тремя или четырьмя корпусами.

выпарной трубопровод теплообменник штуцер

**1.3 Выбор конструкционных материалов аппаратов**

Выбор конструкционных материалов для проектируемого аппарата определяется особенностями протекающего в нем технологического процесса, свойствами рабочих веществ, их параметрами и характером механической нагрузки. В свою очередь технологические свойства конструкционного материала предопределяют способ изготовления из него деталей аппарата.

Теплообменные аппараты изготовляют обычно на специализированных заводах. Значительная часть продукции этих заводов нормализована и представлена в каталогах и ценниках. Кроме специализированных заводов, теплообменники, изготовляют по индивидуальным заказам и чертежам неспециализированные машиностроительные заводы и мастерские. Независимо от места проектирования и изготовления теплообменные аппараты, предназначенные для работы под давлением выше 0,7 ат избыточных, должны соответствовать правилам Проматомнадзора в отношении устройства, монтажа и м эксплуатации.

В соответствии с "Правилами устройства и безопасности эксплуатации сосудов, работающих под давлением" за правильность конструкции сосуда, его расчет на прочность и выбор материала отвечает организация, разработавшая конструкцию и выполнившая ее расчет. Все изменения, могущие возникнуть в процессе изготовления или монтажа сосуда, должны быть согласованы между организацией, составляющей проект, и организацией, потребовавшей изменения проекта, оформлены в виде протокола и подписаны обеими сторонам.

Основным материалом для изготовления теплообменной аппаратуры служит прокатная сталь различных марок. Стальные теплообменные аппараты нашли широкое применение в энергетической, химической, нефтеперерабатывающей, пищевой, легкой и других отраслях промышленности. Многие аппараты массового применения (теплофикационные подогреватели, конденсаторы, испарители, выпарные аппараты, ректификационные колонны некоторых типов и др.) нормализованы и изготовляются специализированными заводами и цехами в больших количествах.

Аппарат изготовляют на основе технологического процесса, степень совершенства которого определяет качество, трудоемкость и сроки изготовления изделия, а также потребность в механосборочном и специальном оборудовании и квалифицированной рабочей силе. Технологический процесс выбирают обычно после сопоставления нескольких вариантов. В технологическом процессе предусматривается порядок изготовления отдельных деталей и узлов и последовательность сборки изделия.

В первой части разработки технологического процесса содержатся подробные сведения о качестве и порядке изготовления аппарата в соответствии с техническими условиями: класс аппарата, марки материалов по ГОСТ, способы заготовительных операций, условия сварки, требования к сварным швам, режимы термической обработки, методы межоперационного и окончательного контроля, условия испытания готового изделия. Вторая часть разработки технологического процесса посвящается выбору рациональных операций обработки деталей, последовательности рабочих операций, а также выбору наиболее рациональных оборудования, инструмента и приспособлений. В третьей части разработки определяется квалификация рабочих для различных операций технологического процесса, трудоемкость работ по каждой операции и по всему процессу изготовления изделия, продолжительность каждой операции, количество расходуемых вспомогательных материалов, размер необходимой производственной площади и место монтажа.

Разработанный технологический процесс изготовления деталей и сборки аппарата вносят в технологические карты и инструкции.

Выбираем конструкционный материал, стойкий в среде сахар интервале изменения концентраций от 10 до 65% [6]. В этих условиях химически стойкой является сталь марки Х17. Скорость коррозии её менее 0,1мм/год, коэффициент теплопроводности λ=58 Вт/(м\*К).

**2.1 Материальный баланс установки**

Принципиальная схема двухкорпусной выпарной установки

**Описание схемы**

Принципиальная схема двухкорпусной выпарной установки показана на схеме. Исходный разбавленный раствор из промежуточной емкости центробежным насосом подается в теплообменник (где подогревается до температуры, близкой к температуре кипения), а затем — в первый корпус выпарной установки. Предварительный подогрев раствора повышает интенсивность кипения в выпарном аппарате.

Первый корпус обогревается свежим водяным паром. Вторичный пар, образующийся при концентрировании раствора в первом корпусе, направляется в качестве греющего во второй корпус. Сюда же поступает частично сконцентрированный раствор из 1-го корпуса.

Самопроизвольный перетек раствора и вторичного пара в последующие корпуса возможен благодаря общему перепаду давлений, возникающему в результате создания вакуума конденсацией вторичного пара последнего корпуса в барометрическом конденсаторе смешения (где заданное давление поддерживается подачей охлаждающей воды и отсосом неконденсирующихся газов вакуум-насосом). Смесь охлаждающей воды и конденсата выводится из конденсатора при помощи барометрической трубы с гидрозатвором. Образующийся во втором корпусе концентрированный раствор центробежным насосом II подается в промежуточную емкость упаренного раствора.

Конденсат греющих паров из выпарных аппаратов выводится с помощью конденсатоотводчиков.

Определяем количество раствора после выпарки Gк, кг/ч

. (1)

где G0 – количество исходного раствора, поступающего на выпарку, кг/ч;

b0 – начальная концентрация раствора, %;

bк – конечная концентрация раствора, %.

.

Определяем количество воды, выпаренной в установке, W, кг/ч

W = G0 – Gк, (2)

W = 1000 – 268,3 = 731,7.

Определяем количество воды, выпаренной на 1кг раствора, поступающего на выпарку, w, кг/кг

, (3)

.

**2.2** **Тепловой расчёт установки**

Определяем теплоёмкость раствора, поступающего на выпарку с0, кДж/кг0С

, (4)

где ссух. – теплоёмкость сухого растворённого вещества сахара, ссух. = 1,29 кДж/кг0С /2, с. 112/;

св – теплоёмкость воды, св = 4,19 кДж/кг0С.

.

Определяем перепад давления, приходящийся на один корпус ∆Р, бар

. (5)

где Р0 – давление греющего пара, бар;

Рк – давление в последнем корпусе, бар;

n – число корпусов, n = 2;

.

Определяем давление во втором корпусе Р1, бар

Р1 = Р0 - ∆Р, (6)

Р1 = 4 – 1,85 = 2,15.

Определяем давление во втором корпусе Р2, бар

Р2 = Р1 - ∆Р, (7)

Р2 = 2,15 – 1,85 = 0,3.

Определяем количество тепла, поступающее в подогреватель с экстра паром q, кДж/кг

q = ε1 \* r1. (8)

где r1 – скрытая теплота парообразования при давлении Р1 в первом корпусе из таблицы воды и водяного пара при Р1 = 2,15бар, r1 = 2195,8 кДж/кг /3/.

q = 0,04 \* 2195,8 = 87,832.

Составляем тепловой баланс для первого выносного подогревателя.

Определяем температуру исходного раствора tx на выходе из первого подогревателя, исходя из уравнения теплового баланса, 0С

c0 (tx – t’0) = ε1 \* r \* ηn;

где ε1 – количество экстра пара из первого корпуса, кг/кг;

ηn – коэффициент сохранения теплоты подогревателем, принимаем ηn = 1. t’0 – начальная температура раствора, 0С.

, (9)

.

Определяем количество воды, выпаренной во втором корпусе w2, кг/кг раствора

, (10) .

Определяем количество воды, выпаренной в первом корпусе w1, кг/кг раствора

w1 = w – w2, (11)

w1 = 0,7317 – 0,34585 = 0,38585.

Определяем концентрацию раствора в первом корпусе b1, %

, (12)

.

Определяем концентрацию раствора во втором корпусе b2, %

, (13)

.

Определяем теплоёмкость раствора в первом корпусе c1, кДж/кг0С

, (14)



Определяем теплоёмкость раствора во втором корпусе c2, кДж/кг0С

, (15)

.

По справочным данным /1, с.152/ на основании концентрации раствора на выходе из первого корпуса и концентрации раствора на выходе из второго корпуса определяем физико-химическую температурную депрессию при атмосферном давлении, а затем по формуле Тищенко делаем пересчёт. По таблицам воды и водяного пара по давлению Р1 и Р2 в первом и втором корпусе определяем температуру вторичного пара, которая в дальнейшем нужна для определения температуры кипения раствора.

Гидростатическую депрессию ∆2 принимаем равной 1, для первого и второго корпуса. Гидравлическую депрессию ∆3 принимаем: для первого корпуса ∆3 = 1; для второго корпуса ∆3 = 0,5.

Результаты сводим в таблицу 1.

Таблица 1 Физико-химическая температурная депрессия с поправкой на давление.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Род депрессии | Корпус I | Корпус II |
| Физико-химическая ∆1 | 0,708 | 1,74 |
| Гидростатическая ∆2 | 1 | 1 |
| Род депрессии | Корпус I | Корпус II |
| Гидравлическая ∆3 | 1 | 0,5 |
| Суммарная ∑∆ | 2,708 | 3,24 |

Составляем таблицу 2 для записи давлений, температур, энтальпий и скрытой теплоты парообразования для греющего и вторичного пара, для первого и второго корпуса.

Таблица 2 Параметры пара

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Р, МПа | tн, 0С | h, кДж/кг | r, кДж/кг |
| Рн = 0,5 | 143,62 | 2738,5 | 2133,8 |
| Р1 = 2,15 | 122,53 | 2710,25 | 2195,8 |
| Р2 = 0,3 | 69,12 | 2625,3 | 2336 |

Определяем полную разность температур в установке ∆t’, 0С

∆t’ = tn - Ө2. (16)

где tn – температура греющего пара, 0С;

Ө2 – температура во втором корпусе при давлении Р2, 0С.

∆t’ = 143,62 – 69,2 = 74,5.

Согласно заданию, оба корпуса должны иметь одинаковые поверхности нагрева, в соответствии с этим полезная разность температур распределяется между корпусами прямо пропорционально их тепловым нагрузкам и обратно пропорционально коэффициенту теплопередачи, т.е.

. (17)

где ∆t1 и ∆t2 – полезные разности температур по корпусам, 0С; К1 и К2 – коэффициенты теплопередачи; Q1 и Q2 – тепловые нагрузки по корпусам;

Тепловые нагрузки корпусов могут быть приняты пропорциональными количествам выпариваемой в них воды с поправкой в дальнейшем на явление самоиспарения и увеличение скрытой теплоты парообразования во втором корпусе.

.(18)

Отношение коэффициентов теплопередачи по корпусам принимаем предварительно на основании справочной литературы, К1/К2 = 2.

В результате получаем систему уравнений

 (19)

где ∆t – полезная разность температур, равная полной разности температур минус суммарная депрессия для первого и второго корпуса, 0С

∆t = ∆t’ – ∑∆, (20)

∆t = 74,5 – 5,948 = 68,552.



На основании полученных результатов и данных, взятых из таблиц водяного пара, составляем температур и энтальпий пара и жидкости.

Таблица 3 температуры и энтальпии пара и жидкости

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Наименование параметров | I корпус | II корпус |
| Обозначение | Величина | Обозначение | Величина |
| Температура, 0Сгреющего паракипения растворавторичного параконденсата | tнt1Ө1τ1 | 143,62124,328122,53143,62 | Ө’1t2Ө2τ2 | 123,32872,3669,12123,328 |
| Энтальпия, кДж/кггреющего паравторичного пара | h’’0h’’1 | 2738,52718,6 | h’0h’1 | 2708,82631,05 |
| Теплота парообразования вторичного пара, r, кДж/кг  | r1 | 2178,7 | r2 | 2328 |

Температура кипения раствора в I корпусе t1, 0C

t1 = Ө1 + (∆1k + ∆21k);

t1 = 122,53 +1,708 = 124,328 (21)

Температура греющего пара II корпуса Ө’1, 0C

Ө’1 = Ө1 – ∆31k; (22)

Ө’1 = 124,328 – 1 = 123,328

Температура кипения раствора во II корпусе t2, 0C

t2 = Ө2 + (∆12k + ∆22k + ∆32k);(23)

t2 = 69,12 + 3,24 = 72,36

Составляем таблицу физических параметров раствора. Физические парам5етры воды ρ, c, ν, λ определяем по корпусам по температурам кипения раствора в корпусе [9]. Теплоемкость раствора по корпусам определена выше (п. 5.10, п. 5.11). Плотность раствора можно определить по правилу аддитивности, зная концентрацию и плотность чистых компонентов при данной температуре [11], кг/м3 :

ρр = ρсух \* b + ρв (1- b);

где ρсух – плотность безводного нелетучего вещества сахара[4], ρсух = 1600кг/м3

ρв – плотность растворителя, воды ( при температуре кипения в корпусе); кг/м3

b – долевое содержание ( концентрация) массы вещества в растворе(п.5.8, п.5.9)

ρр1 = 1600\* 0,1791 + 936(1 – 0,1791) =1054,92

ρp1 = 1600\*0, 41 + 976,2(1 – 0,41) = 1231,96

Удельная теплоемкость, теплопроводность водных растворов в зависимости от концентрации раствора и температуры определяется из графиков [12]

Таблица 4 Физико-химические величины для воды и раствора I и II корпусов

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Наименование физико-химических констант |  I корпус |  II корпус |
| Вода | Раствор | Вода | Раствор |
| Плотность – ρ, кг/м3 |  936 | 1055,52 |  976,2 | 1231,96 |
| Теплоёмкость – с, кДж/кг |  4,263 | 3,9 |  4,179 | 3,0 |
| Вязкость – ν \* 106, м2/с |  0,237 | 0,41 |  0,478 | 0,981 |
| Теплопроводность – λ, Вт/м \* 0К |  0,686 |  0,59 |  0,659 |  0,36 |

Определяем коэффициент теплоотдачи от конденсирующего пара к стенке для первого корпуса α1, Вт/(м2 0С)

. (24)

где H – высота трубок, принимаем H =4 м; диаметр трубок 38\*2 [2] принимаем ∆t = tн – tст, принимаем ∆t = 2 0С с последующей проверкой;

В’ = 5700 + 56 tн – 0,09 tн2. (25)

В’ = 5700 + 56\*143,62 – 0,09\*143,622 = 11886,32



Определяем коэффициент теплоотдачи от стенки к кипящей жидкости для первого корпуса α2, Вт/(м2 0С), принимаем скорость р – ра w = =1,5м/с [2];

; (26)

.

Определяем коэффициент теплопередачи для первого корпуса K1, Вт/ (м2 0С)

; (27)

гдеδст – толщина стенки, δст = 2 мм; λст – теплопроводность материала стенки, λст = 58 Вт/(м 0К); δнак – толщина накипи, м, для первого корпуса δнак = 1мм /2/; λнак – теплопроводность накипи, λн = 1,163 Вт/(м 0К),

.

Проверяем принятую в расчёте разность температур ∆t, 0С

.

.

Определяем коэффициент теплоотдачи от конденсирующего пара к стенке для второго корпуса α1, Вт/(м2 0С)

;

В’ = 5700 + 56 tн – 0,09 tн2. (28)

В’’ = 5700 + 56\*123,328 – 0,09\*123,3282 = 11237,488;

.

Определяем коэффициент теплоотдачи от стенки к кипящей жидкости для второго корпуса α2, Вт/(м2 0С), принимаем скорость раствора w = = 2,5м/с [2]

;

.

Определяем коэффициент теплопередачи для второго корпуса K2, Вт/ (м 0К)

;

где δнак – толщина накипи, м , для второго корпуса δнак = 2 мм /2/.

.

Проверяем принятую разность температур ∆t, 0С

.

.

**2.3 Определение расхода греющего пара**

Определяем расход греющего пара в первом корпусе на 1 кг неконцентрированного раствора d1, кг/кг раствора

, (29)

Где w – общее количество воды, выпаренной в двух корпусах на 1кг раствора

W = w1+w2, кг/кг раствора

W = 0,38585 + 0,34585 = 0,7317 (30)

При решении уравнений теплового баланса корпусов обозначим коэффициенты при d1 – через x1, x2; коэффициенты при с0 – через y1, y2; коэффициенты при ε – через z1, z2, тогда получим

x2 = 2 – β2\*cв + σ2;

y2 = 2β1 + β2;

z1 = 1.

.

Если раствор поступает в первый корпус при температуре кипения, то t0 = t1 и β1 = 0. Так как установка работает без перепуска конденсата, то σ2 = 0.

,

x2 = 2 – 0,0241\*4,19 = 1,8991

y2 = β2 = 0,0241

.

Определяем полный расход пара D, кг/ч

D = d1 \* G0, (31)

.

Определяем количество воды, выпаренной в первом корпусе на 1 кг раствора w1, кг/ч

w1 = d1\*α1 + c0\*β1, (32)

Так как α1 = 1 и β1 = 0, то w1 = d1 = 0,3572.

Определяем всё количество воды выпаренной в первом корпусе W1’, кг/ч

W1’ = d1 \* G0, (33)

W1’ = 0,3572 \* 1000 = 357,2.

Определяем количество воды, выпаренной во втором корпусе на 1 кг раствора w2, кг/ч

w2 = w1 – ε1 + (c0 – cв\*w1)β2, (34)

w2 = 0,3572 – 0,04 + (3,871 - 4,19\*0,3572)0,0241 = 0,3744.

Определяем всё количество воды, выпаренной во втором корпусе W2’, кг/ч

W2’ = w2 \* G0, (35)

W2’ = 0,3744 \* 1000 = 374,4.

Определяем количество воды, выпаренной во всей установке WII, кг/ч

WII = W1’ + W2’, (36)

WII = 357,2 + 374,4 = 731,6.

Расхождение с предварительно найденным количеством выпариваемой воды 731,7 – 731,6 = 0,1 кг/ч, что допустимо.

**2.4 Определение поверхности теплопередачи, выбор типа выпарного аппарата**

Проверяем количество тепла, передаваемое в:

в первом корпусе на 1 кг раствора q1, кДж/кг раствора

q1 = d1 \* r0, (37)

q1 = 0,3572 \* 2133,8 = 762,19.

во втором корпусе на 1 кг раствора q2, кДж/кг раствора

q2 = (w1 – ε1) r1, (38)

q2 = (0,3572 – 0,04) 2178,7 = 691,1

Определяем отношение полученных количеств тепла q2/q1. Оно должно быть близким к принятому ранее Q2/Q1.

q2/q1 = 691,1/762,19 = 0,9067.

В предварительном расчёте это отношение было принято 0,8963. Таким образом расхождение %, что допустимо.

Проверяем полученные концентрации раствора:

в первом корпусе b1, %

, (39)

< 17,91 %

Принятая концентрация составляет b1 = 17,91%.

во втором корпусе b2, %

, (40)

= 41%

Принятая концентрация составляет b 2 = 41%.

Так как расхождение полученных величин с ранее принятыми незначительно, повторного расчёта не требуется, а если значительно то делаем перерасчет.

Определяем поверхности нагрева установки:

для первого корпуса F1, м2

, (41)

.

для второго корпуса F2, м2

, (42)

.

Принимаем к установке выпарной аппарат с выносным кипятильником с поверхностью нагрева F [13] по ГОСТ 11987, F1 = F2 = 10м2.

Основные размеры аппарата:

– номинальная площадь поверхности нагрева F – 10 м2;

– наружный диаметр корпуса Dн. – 600 мм;

– диаметр циркуляционной трубы D1 – 200 мм;

– длина трубок l – 4000 мм;

– общая высота аппарата H – 12000 мм;

– количество трубок – 75 шт.

- диаметр труб, d - 38 \* 2мм

- диаметр греющей камеры, Д – 400мм

**2.5 Расчёт и выбор вспомогательного оборудования (насос, конденсатоотводчик, барометрический конденсатор)**

Выбираем центробежный насос для подачи исходного раствора.

Принимаем сопротивление каждого подогревателя равное 3,5\*103 Па.

Определяем напор насоса ∆рн, МПа

∆рн = 1,25 (∆рпод.1 + ∆рпод.2 + р1); (43)

∆рн = 1,25 (3,5\*103 + 3,5\*103 + 0,215\*106) = 0,278 \* 106

где Δрпод.1, Δрпод.2 – сопротивление каждого подогревателя, принимаем равное 3,5 \* 103 Па [12]

р1 – давление в I корпусе, согласно расчета табл. 2.

Для определение подачи раствора: м3/с

V = .

V = 

где ρ0 – плотность раствора, поступающего на выпорку при b0 = 11%

ρ0 = ρсух\*b0 + ρв(1 – b0)

где ρв – плотность воды при t0´= 10˚C, ρв = 999,7

ρ0 = 1600\*0,11 + 999,7(1 – 0,11) = 1065,73

По [5] выбираем центробежный насос марки Х8/30 со следующими техническими характеристиками:

Подача – 2,4\*10-3 м3/с

Напор – 0,3 МПа

Частота вращения – 48,3 об/с

Электродвигатель – BАО -32 - 2

Мощность – 4 кВт

Выбираем вакуум-насос для создания вакуума во II корпусе

Определяем производительность вакуум-насоса Gвозд., кг/с

Gвозд. = 2,5 \* 10-5 (w2 + Gв) + 0,01 \* w2. (44)

где 2,5\*10-5 – количество газа, выделяющегося из 1 кг воды;

w2 – количество воды выпаренной во втором корпусе на кг раствора, кг/ч; Gв – расход воды, кг/с



Где t0" – температура отсасываемого воздуха, 0С;

tн – температура вторичного пара второго корпуса, 0С.

t0" = tн – (5 ÷ 7) = 69,12 – 5 = 64,12



0,01 – количества газа, подсасываемого в конденсатор через неплотности на 1 кг паров.

Gвозд. = 2,5 \* 10-5 (0,3744 + 3,96) + 0,01 \* 0,3744 = 3,84\*10-3.

Определяем объёмную производительность вакуум - насоса Vвозд., м3/мин

, (45)

гдеR – универсальная газовая постоянная, Дж/кмоль\*К;

Мвозд – молекулярная масса воздуха, принимаем Мвозд = 29 кг/кмоль

tвозд – температура воздуха, принимаем tн = 20 0С;

tвозд = tн+4+0,1(tк – tн)

tвозд = 20+4+0,1(64,12 – 20) = 28,4

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

Рвозд = Рбк – Рн. (46)

гдеРн – давление сухого насыщенного пара при t0 = 28,4 0С,

Pн = 0,389 бар = 0,00389МПа = 3890 Па .

Рвозд = 0,03 – 0,003890 = 0,026110



Принимаем Vвозд = 1,5 м3/мин. Зная эту величину и остаточное давление Рбк= 0,026110 МПа подбираем вакуум-насос типа ВВН 1,5 .Из каталога насосов [с.48] остаточным давлением –0,015 МПа, мощностью электродвигателя – N = 2,1 кВт, число оборотов – n = 1500 мин -1.

Расчёт диметра барометрического конденсатора

Диаметр барометрического конденсатора *d*бкопределяют из уравнения расхода:

dбк =

где р - плотность паров, кг/м3;

ν- скорость паров, м/с.

dбк =

При остаточном давлении в конденсаторе порядка 104 Па скорость паров *ν* принимают 15 – 25 м/с принимают 15 м/с.

По нормалям НИИХИММАША [12] подбираем конденсатор диаметром, равным расчётному или ближайшему большему. Выбираем барометрический конденсатор диаметр dтк = 500 мм [табл. 10.2, 11] .

Выбираем барометрический конденсатор.

– толщина стенки аппарата – 5 мм;

– расстояние от верхней полки до крышки аппарата – 1300 мм;

– расстояние от нижней полки до днища аппарата – 1200 мм;

– расстояние между осями конденсатора и ловушкой – 675 мм;

– высота установки H = 4300 мм;

– ширина установки Т = 1300 мм;

– расстояние между полками – 220; 260; 320; 360; 390;

Условные проходы штуцеров:

– для входа пара А – 300 мм;

– для входа воды Б – 100 мм;

– для выхода парогазовой смеси В – 80 мм;

– для барометрической трубы Г – 125 мм;

– для входа парогазовой смеси на ловушках И – 80 мм;

– для выхода парогазовой смеси на ловушках Ж – 50 мм;

– для барометрической трубы на ловушках Е – 50 мм

По расходу греющего пара Д, кг/с и перепаду давления Δр = ро – (0,12 ÷ 0,15)МПа, выбираем конденсатоотводчик с закрытым поплавком.[11 стр. 310]

Он действует следующим образом: пар поступает в корпус конденсатоотводчика, постепенно заполняя его конденсатом на 2/3 объёма. При этом поплавок всплывает и при помощи рычага открывает клапан для выпуска конденсата.

С удалением конденсата поплавок опускается и закрывает выпускное отверстие и тем самым прекращает вытеснение конденсата.

– максимальная производительность Gк = 780 т/ч;

– перепад давления до Δр = 1,2 МПа;

– условный проход – 32 мм.

**2.6 Расчёт диаметров трубопроводов и штуцеров**

Определяем диаметр штуцера на вход сырого раствора. Определяем диаметр штуцера d1, м

d1 =

где V - объёмный расход сырого раствора, м/с;

w - скорость движения сырого раствора, w = 1 м/с [10].

d1 =

V =

где G0 - количество исходного раствора, поступающего на выпарку, кг/ч;

ρ0 - плотность исходного раствора, 1065,73 кг/м3 .

V =

К установке принимаем штуцер диаметром 20мм

Определяем штуцер на выход конденсата. Определяем диаметр штуцера d2,м

d2 =

где w – скорость движения конденсата, w = 1 м/с [10]

d2 =, V =

где D1 - полный расход пара, D = 357,2 кг/ч

ρ - плотность конденсата, из таблиц, при Р 0 = 0,4 МПа, ρ = 922,5кг/м3.

V=

Принимаем к установке штуцер диаметром d = 15 мм

Определяем штуцер на вход пара. Определяем диаметр штуцера d3, мм

d3 =

где w - скорость движения пара, w = 20 м/с[10].

d3 =

V =

где р - плотность греющего пара, из таблиц, при Р0 = 0,4 МПа, ρп =2,162 кг/м3

V =

Принимаем к установке штуцер диаметром d = 60 мм

Определяем штуцер на вход вторичного пара.

Определяем диаметр штуцера d4, мм

d4 =

где w - скорость движения вторичного пара, w = 20 м/с [10].

V =

где W1 - всё количество воды, выпаренной в первом корпусе, кг/ч;

р - плотность вторичного пара, из таблиц, при Р1 = 0,215 МПа, ρп1 = 1,2073 кг/м3.

V =

Принимаем к установке штуцер диаметром d4 = 80 мм

Определяем штуцер на выход концентрированного раствора.

Определяем диаметр штуцера d5, мм

d5 =

где w – скорость движения упаренного раствора, w = 0,5 м/с [10]

d5 =

V =

где GK - количество раствора после выпарки, кг/ч;

р - плотность концентрированного раствора, из таблиц расчёта,

ρ р2 = 1231,96 кг/м3.

V =

Принимаем к установке штуцер диаметром d5 = 10мм

Расчет сводим в таблицу 5

Таблица 5

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование штуцера | Расходпара | Давлениепара | Плотность | Секундныйрасход | Скоростьпара | Диаметр,мм |
| Вход греющего пара | 357,2 | 0,4 | 2,162 | 0,0459 | 20 | 0,054 | 60 |
| Выход вторичного пара | 385,85 | 0,215 | 1,2073 | 0,089 | 20 | 0,075 | 80 |
| Выход конденсата греющего пара | 357,2 | - | 925,5 | 0,0001 | 1 | 0,012 | 15 |
| Вход раствора | 1000 | - | 1065,73 | 0,000261 | 1 | 0,018 | 20 |
| Вход упаренного раствора | 263,3 | - | 1231,96 | 0,00006 | 0,5 | 0,005 | 10 |

**2.7 Расчёт толщины теплоизоляционных покрытий**

Определяем толщину тепловой изоляции δн, мм, из равенства удельных тепловых потоков через слой изоляции от поверхности изоляции в окружающую среду

. (50)

где α2 – коэффициент теплоотдачи от внешней поверхности изоляционного материала в окружающую среду, Вт/м2 0К;

. (51)

гдеtст2 – температура поверхности изоляции со стороны окружающей среды, для аппаратов, работающих в закрытом помещении не должна превышать tст2 = 45 0С; tст1 – температура изоляции со стороны аппарата, ввиду незначительного термического сопротивления стенки аппарата по сравнению с термическим сопротивлением слоя изоляции tст1, принимаем равный температуре греющего параtст1 = 143,62 0С; tок – температура окружающей среды (воздуха), tок = 20 0С.

α2 = 9,3 + 0,058(45 – 20) = 10,75

Определяем толщину изоляции δи, м

. (52)

где λи – коэффициент теплопроводности изоляции, принимаем совелит, λи = 0,09 Вт/м 0К /9/.



**2.8 Расчёт и выбор теплообменника исходной смеси и барометрического конденсатора**

Определяем тепловую нагрузку первого подогревателя Q1, кВт

Q1 = D \* r (53)

D = ε \* G0 (54)

D = 0,04 \* 1000 = 40 кг/ч

Q1 = 40/3600 \* 2195,8 = 24,4

Температурный график имеет вид

; (55)

 С0

Из основного уравнения теплопередачи определяем поверхность теплообменного аппарата F, м2

Q = K\*F\*∆t;

; (56)



Определяем тепловую нагрузку второго подогревателя Q2, кВт

Q2 = G0/3600 \* c0 (t1 – tx) = 1000/3600 \* 3,871 \* 91,638 = 98,54

Температурный график имеет вид





Из основного уравнения теплопередачи определяем поверхность теплообменного аппарата F, м2

Q = K\*F\*∆t; ; 

Принимаем теплообменники "труба в трубе" со следующими техническими характеристиками.

Таблица 6. Основные параметры теплообменников

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Наименование | I корпус | II корпус |
| Длина труб, м | 3 | 1,5 |
| Число теплообменных труб в одном аппарате, шт. | 1 | 1 |
| Число параллельных потоков | 1 | 1 |
| Диаметр теплообменных труб, мм | 38 \* 3,5 | 57 \* 4 |
| Диаметр труб кожуха, мм | 57 \* 4 | 85\*4  |

**3. Основные требования техники безопасности при эксплуатации выпарных установок**

1. Требования настоящей главы Правил распространяются на выпарные установки периодического и непрерывного действия, работающие под давлением или разрежением.

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

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

4. Для контроля за качеством конденсата на конденсатопроводах установок 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.

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

6. 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

7. 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 предела (допустимы колебания в пределах 0,01 МПа (0,1 кгс/см2);

поддерживать предусмотренное режимной картой распределении 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 аппаратом раствором, подогретым до температуры, близкой к температуре кипения;

следить за перепуском раствора из корпуса в корпус и 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.

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

**Список используемой литературы**

1 Б.Н. Голубков "Теплотехническое оборудование и теплоснабжение промышленных предприятий", М.: "Энергия" 1979.

2 П.Д. Лебедев "Теплообменные, сушильные и холодильные установки", М.: "Энергия" 1972.

3 М.П. Вукалович "Таблицы термодинамических свойств воды и водяного пара".

4 В.А. Григорьев и В.М. Зорин "Промышленная теплоэнергетика и теплотехника", М.: "Энергоатомиздат" 1991

5 Информационный сборник насосного оборудования, М.: циптихимнефтемаш 1991.

6 А.М. Бакластов "Проектирование, монтаж и эксплуатация теплоиспользующих установок", М.: "Энергия" 1970.

7 Каталог "АО БелНасосПром".

8 И.И. Чернобыльский "Выпарные установки", издательство киевского университета 1960.

9 Е.А. Краснощёков, А.С. Сукомел "Задачник по теплопередаче", М.: "Энергия" 1980.

10 П.Д. Лебедев, А.А. Щукин "Теплоиспользующие установки промышленных предприятий", М.: "Энергия" 1970.

11 А.М. Бакластов "Промышленные тепломассообменные процессы и установки", М.: "Энергоатомиздат" 1986.