МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

|  |  |
| --- | --- |
|  | Федеральное государственное бюджетное образовательное  учреждение высшего образования  Башкирский государственный аграрный университет |

Кафедра «Теплоэнергетика физика»

**Б1.В.02. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕПЛОТЕХНИКИ**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

и задания к курсовой работе

по теме: «Расчёт многокорпусной выпарной установки»

Направление подготовки

13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Профиль подготовки

Энергообеспечение предприятий

Квалификация (степень) выпускника

бакалавр

Уфа 2020

Методические указания разработаны доцентом Юхиным Д.П. Рассмотрены и одобрены на заседании кафедры «Теплоэнергетика и физика» («26» марта 2020 г. (протокол №8/1)) и методической комиссией энергетического факультета «26» марта 2020 г. (протокол №7).

**ОГЛАВЛЕНИЕ**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Основные условные обозначения | 4 |
|  | Задание на проектирование | 5 |
| 1 | Определение поверхности теплопередачи выпарных аппаратов | 6 |
| 2 | Расчёт концентраций упариваемого раствора | 7 |
| 3 | Определение температур кипения растворов | 8 |
| 4 | Расчёт полезной разности температур | 12 |
| 5 | Определение тепловых нагрузок | 12 |
| 6 | Выбор конструкционного материала | 14 |
| 7 | Расчёт коэффициентов теплопередачи | 14 |
| 8 | Распределение полезной разности температур | 17 |
| 9 | Уточнённый расчёт поверхности теплопередачи | 18 |
| 10 | Определение толщины тепловой изоляции | 19 |
| 11 | Расчёт барометрического конденсатора | 19 |
| 12 | Определение расхода охлаждающей воды | 20 |
| 13 | Расчёт диаметра барометрического конденсатора | 20 |
| 14 | Расчёт высоты барометрической трубы | 21 |
| 15 | Расчёт производительности вакуум-насоса | 21 |
|  | Заключение | 22 |
|  | Библиографический список | 23 |

**Основные условные обозначения**

с – теплоёмкость, дж/(кг∙К);

d – диаметр, м;

D – расход греющего пара, кг/с;

F – поверхность теплопередачи, м2;

G – расход, кг/с;

g – ускорение свободного падения, м/с2;

Н – высота, м;

I – энтальпия пара, кДж/кг;

I – энтальпия жидкости, кДж/кг;

К – коэффициент теплопередачи, Вт/(м2 ∙ К);

Р – давление, Мпа;

Q – тепловая нагрузка, кВт;

q – удельная тепловая нагрузка, Вт/м2;

r – теплота парообразования, кДж/кг;

T, t – температура, град;

W, w – производительность по испаряемой воде, кг/с;

x – концентрация, % (масс.);

α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м2 ∙ К);

ρ – плотность, кг/м3;

μ – вязкость, Па ∙ с;

λ – теплопроводность, Вт/(м ∙ К);

σ – поверхностное натяжение, Н/м;

Re – критерий Рейнольдса;

Nu – критерий Нуссельта;

Pr – критерий Прандтля.

Индексы:

1, 2, 3 – первый, второй, третий корпус выпарной установки;

в – вода;

вп – вторичный пар;

г – греющий пар;

ж – жидкая фаза;

к – конечный параметр;

н – начальный параметр;

ср – средняя величина;

ст – стенка.

**Задание на проектирование.**

Спроектировать многокорпусную выпарную установку для концентрирования водного раствора.

Условия проектирования:

1) Вид раствора;

2) Требуемая производительность выпарной установки GH, кг/ч;

3) Начальная концентрация раствора xн ,%;

4) Конечная концентрация раствора xк, %;

5) Давление насыщенного водяного пара при подогреве

раствора Pr1, МПа;

6) Давление пара в барометрическом конденсаторе Pбк , МПа;

7) Прототип проектируемого выпарного аппарата (тип и исполнение)

8) Взаимное направление пара и раствора – противоток;

9) Отбор экстра пара – нет;

10) температура поступающего раствора – при температуре кипения.

*Вид раствора выбирается по последней цифре зачетной книжки согласно таблице 1.*

Таблица 1. Определение вида выпариваемого раствора

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Раствор | Последняя цифра номера зачетной книжки | | | | | | | | | |
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| NaOH | - | \* | - | - | - | \* |  | - | - | \* |
| NaNO3 | - | - | \* | - | - | - | \* |  | - | - |
| K2CO3 | \* | - | - | \* | - | - | - | \* | - | - |
| NH4NO3 | - | - | - | - | \* | - | - | - | \* | - |

*Требуемая производительность численно равна двум последним цифрам номера зачетной книжки, т/ч.*

*Начальная концентрация раствора численно соответствует последней цифре зачетной книжки (если последняя цифра «0» принимается xн=0,5%).*

*Конечная концентрация раствора численно равна двум последним цифрам номера зачетной книжки.*

*Давление насыщенного водяного пара, кПа численно равно четырем последним числам номера зачетной книжки.*

*Давление пара в барометрическом конденсаторе, Па численно равно трем последним цифрам номера зачетной книжки помноженных на 100.*

*Число корпусов в выпарном аппарате определяется по четности суммы всех цифр номера зачетной книжки. (если сумма четное число – 2 корпуса, если нечетная – 3 корпуса).*

*Тип циркуляции раствора определяется по четности суммы всех цифр номера зачетной книжки. (если сумма четное число – естественная циркуляция, если нечетная – принудительная).*

*Тип аппарата определяется по четности суммы всех цифр номера зачетной книжки. (если сумма четное число – 2 тип, если нечетная – 1 тип).*

**1 Определение поверхности теплопередачи выпарных аппаратов**

Поверхность теплопередачи каждого корпуса выпарной установки определяют по основному уравнению теплопередачи, м2:

 (1)

Для определения тепловых нагрузок Q, коэффициентов теплопередачи К и полезных разностей температур Δtп необходимо знать распределение упариваемой воды, концентраций растворов и их температур кипения по корпусам. Эти величины находят методом последовательных приближений.

*Первое приближение при расчете.*

Производительность установки по выпариваемой воде определяют из уравнения материального баланса:

 (2)

где – расход упариваемого раствора, кг/с; начальная концентрация раствора, % (масс.); конечная концентрация раствора, % (масс.).

**2 Расчёт концентраций упариваемого раствора**

Распределение концентраций раствора по корпусам установки зависит от соотношения нагрузок по выпариваемой воде в каждом аппарате. В первом приближении на основании практических данных принимают, что производительность по выпариваемой воде распределяется между корпусами в соответствии с соотношением:



где производительность по испаряемой воде в первом корпусе, кг/с;  производительность по испаряемой воде во втором корпусе, кг/с;  производительность по испаряемой воде в третьем корпусе, кг/с;

Тогда

 (3)

 (4)

 (5)

Далее рассчитывается концентрация растворов в корпусах по зависимостям:

 (6)

 (7)

 (8)

Концентрация раствора в последнем корпусе х3 должна соответствовать заданной концентрации упаренного раствора хк.

**3 Определение температур кипения растворов**

Общий перепад давлений в установке равен, МПа:

 (9)

где давление греющего пара в первом корпусе, МПа; давление греющего пара в барометрическом конденсаторе, МПа.

В первом приближении общий перепад давлений распределяют между корпусами поровну. Тогда давления греющих паров в корпусах (в МПа) равны:

 (10)

 (11)

Давление пара в барометрическом конденсаторе:

 (12)

Что должно соответствовать заданной величине РБК.

Согласно Н-S диаграмме водяного пара по давлениям паров находим их температуры и энтальпии [1].

При определении температуры кипения растворов в аппаратах исходят из следующих допущений. Распределение концентраций раствора в выпарном аппарате с интенсивной циркуляцией практически соответствует модели идеального перемешивания. Поэтому концентрацию кипящего раствора принимают равной конечной в данном корпусе и, следовательно, температуру кипения раствора определяют при конечной концентрации.

Изменение температуры кипения по высоте кипятильных труб происходит вследствие изменения гидростатического давления столба жидкости. Температуру кипения раствора в корпусе принимают соответствующей температуре кипения в среднем слое жидкости. Таким образом, температура кипения раствора в корпусе отличается от температуры греющего пара в последующем корпусе на сумму температурных потерь от температурной (Δ’), гидростатической (Δ”) и гидродинамической (Δ”’) депрессий. Гидродинамическая депрессия обусловлена потерей давления пара на преодоление гидравлических сопротивлений трубопроводов при переходе из корпуса в корпус. Обычно в расчётах принимают Δ”’ = 1,0 – 1,5 град на корпус. Примем для каждого корпуса Δ”’ = 1 град. Тогда температуры вторичных паров в корпусах (в °С) равны:

 (13)

 (14)

 (15)

Сумма гидродинамических депрессий определяется выражением:

 (16)

По температурам вторичных паров по Н-S диаграмме определяют их давления [1].

Гидростатическая депрессия обусловлена разностью давлений в среднем слое кипящего раствора и на его поверхности. Давление в среднем слое кипящего раствора Рср каждого корпуса определяется по уравнению:

 (17)

где РВП – давление вторичных паров, МПа; Н – высота кипятильных труб в аппарате, м; ρ – плотность кипящего раствора, кг/м3; ε – паронаполнение (объёмная доля пара в кипящем растворе), м3/м3.

Для выбора значения Н необходимо ориентировочно оценить поверхность теплопередачи выпарного аппарата FОР[5]. При кипении водных растворов можно принять удельную тепловую нагрузку аппарата с естественной циркуляцией q =20000-50000 Вт/м2 с принудительной циркуляцией q = 40000 – 80000 Вт/м2. Тогда поверхность теплопередачи первого корпуса ориентировочно равна, м2:

 (18)

где r1, кДж/кг – теплота парообразования вторичного пара [2].

По ГОСТ 11987-81 выбираем высоту кипятильных труб, м; диаметр dН , мм и толщину стенки δСТ, мм кипятильных труб.

В зависимости от режима кипения раствора (пузырьковый и пленочный) определяют величину паронаполения ε = 0,4…0,6. Плотность водных растворов ρ1, ρ2, ρ3, кг/м3 при температуре 35 °С и соответствующих концентрациях в корпусах определяют по таблице 2[9].

При определении плотности растворов в корпусах пренебрегаем изменением её с повышением температуры от 35 °С до температуры кипения ввиду малого значения коэффициента объёмного расширения и ориентировочно принятого значения ε.

Давления в среднем слое кипятильных труб корпусов (в Па) определяют по зависимостям:

 (19)

 (20)

 (21)

По найденным давлениям по H-S диаграмме определяют температуры кипения [1]. Определяем гидростатическую депрессию (°С) по корпусам с помощью уравнений:

 (22)

 (23)

 (24)

Температурная депрессия Δ определяется по уравнению:

 (25)

где Т – температура паров в среднем слое кипятильных труб, К; rВП– теплота парообразования вторичного пара, кДж/кг;  - температурная депрессия при атмосферном давлении, К [4,6]. Находят температурную депрессию в каждом корпусе.

Температуры кипения растворов в корпусах определяют зависимостями:

 (26)

 (27)

 (28)

В аппаратах с вынесенной греющей камерой и принудительной циркуляцией обычно достигаются скорости раствора v = 2 – 2,5 м/с [5,7,8]. Для этих аппаратов масса циркулирующего раствора равна:

 (29)

где ρ– плотность раствора, кг/м3; S – сечение потока в аппарате, м2.

Сечение потока в аппарате S рассчитывается по формулам:

 (30)

 (31)

S=Sтруб ∙ nтруб (32)

где dВН – внутренний диаметр труб, м; Н – принятая высота труб, м.

Таким образом, перегрев раствора в j-м аппарате Δtперj равен:

 (33)

где IВП – энтальпия вторичного греющего пара, кДж/кг; сВ , сН – теплоемкости соответственно воды и конденсата греющего пара, кДж/(кг×К); tК – температура конденсата греющего пара, К; М – масса конденсата, кг.

Полезная разность температур в каждом корпусе может быть рассчитана по уравнению:  (34)

Анализ этого уравнения показывает, что величина Δtпер/2 представляет собой дополнительную температурную потерю. В связи с этим общую полезную разность температур выпарных установок с аппаратами с вынесенной зоной кипения нужно определять по следующему выражению:

 (35)

**4 Расчёт полезной разности температур**

Общая полезная разность температур равна:

 (36)

Полезные разности температур по корпусам (в °С) равны:

 (37)

 (38)

 (39)

Проверка общей полезной разности температур осуществляется по выражению:

 (40)

**5 Определение тепловых нагрузок**

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

 (41)

 (42)

 (43)

 (44)

где 1,03 – коэффициент, учитывающий 3 % потерь в окружающую среду; сН, с1, с2 – теплоёмкости растворов соответственно исходного (начальной концентрации), в первом и во втором корпусе, кДж/(кг∙К); Q1конц, Q2конц, Q3конц – теплота концентрирования по корпусам, кВт; tН – температура кипения исходного раствора в первом корпусе, °С:

 (45)

где  - температурная депрессия для исходного раствора. При решении уравнений (12) – (15) можно принять Iвп1 ≈ Iг2; Iвп2 ≈ Iг3; Iвп3 ≈ Iбк.

Из анализа зависимостей теплоты концентрирования от концентрации и температуры рассчитается наибольшая теплота концентрирования в корпусе:

 (46)

где Gсух – производительность аппаратов по сухому K2CO3, кг/с; Δq – разность интегральных теплот растворения при концентрациях х2 и х3, кДж/кг.

Необходимо сравнить Q3конц с ориентировочной тепловой нагрузкой для третьего корпуса QОР:

 (47)

Если наибольшая теплота концентрирования в каком – либо корпусе составляет менее 3% от Qор, в уравнениях тепловых балансов по корпусам пренебрегаем величиной Qконц.

Если наибольшее отклонение вычисленных нагрузок по испаряемой воде в каждом корпусе от предварительно принятых не превышают 5 %, то пересчитывать концентрации и температуры кипения растворов по корпусам нет необходимости.

Полученные величины сводим в таблицу 2.

Таблица 2 Параметры растворов и паров по корпусам

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Параметр | Корпус | | |
| 1 | 2 | 3 |
| Производительность по испаряемой воде w, кг/с |  |  |  |
| Концентрация растворов х, % |  |  |  |
| Давление греющих паров Рг, Мпа |  |  |  |
| Температура греющих паров tг, °С |  |  |  |
| Температурные потери ΣΔ, град |  |  |  |
| Температура кипения раствора tк, °С |  |  |  |
| Полезная разность температур, Δtп, град |  |  |  |

**6 Выбор конструкционного материала**

Материал подбирается су четом стойкости в среде кипящего заданного раствора в интервале заданного изменения концентраций [2].

**7 Расчёт коэффициентов теплопередачи**

Коэффициент теплопередачи для первого корпуса К определяют по уравнению аддитивности термических сопротивлений:

 (48)

где α1, α2 – коэффициенты теплоотдачи от конденсирующегося пара к стенке и от кипящего раствора к стенке соответственно, Вт/(м2×К); δ – толщина стенки, м; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м×К).

Примем, что суммарное термическое сопротивление равно термическому сопротивлению стенки δст/λст и накипи δн/λн. Термическое сопротивление загрязнений со стороны пара не учитываем.

Коэффициент теплопередачи от конденсирующегося пара к стенке α1 равен:

 (49)

где r1 – теплота конденсации греющего пара, Дж/кг; ρж1, λж1, μж1 – соответственно плотность (кг/м3), теплопроводность [Вт/(м∙К)], вязкость (Па∙с) конденсата при средней температуре плёнки tпл = tг1 – Δt1/2, где Δt1 – разность температур конденсации пара и стенки, град.

Физические свойства конденсата заданного растворапри средней температуре плёнки сведём в таблицу 3.

Теплопроводность рассчитывается по формуле [4]:

 (50)

где М – молекулярная масса раствора,142 г/моль; ср – удельная теплоёмкость, Дж/(кг∙К).

Таблица 3 Физические свойства конденсата при средней температуре плёнки

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Параметр | Корпус | | |
| 1 | 2 | 3 |
| Теплота конденсации греющего пара r, кДж/кг |  |  |  |
| Плотность конденсата при средней температуре плёнки ρж, кг/м3 |  |  |  |
| Теплопроводность конденсата при средней температуре плёнки λж, Вт/(м∙К) |  |  |  |
| Вязкость конденсата при средней температуре плёнки μж, Па∙с |  |  |  |

Расчёт α1 ведут методом последовательных приближений. В первом приближении примем Δt1 = 2,0 град.

Для установившегося процесса передачи тепла справедливо уравнение:

 (51)

где q – удельная тепловая нагрузка, Вт/м2; Δtст – перепад температур на стенке, град; Δt2 – разность между температурой стенки со стороны раствора и температурой кипения раствора, град.

 , град (52)

Коэффициент теплопередачи от стенки к кипящему раствору для пузырькового кипения в вертикальных кипятильных трубах при условии естественной циркуляции раствора [6] равен:

 (53)

где ρж, ρП, ρ0 – соответственно плотность жидкости, пара и пара при абсолютном давлении р = 1 ат., кг/м3; σ – поверхностное натяжение, Н/м; μ – вязкость раствора, Па∙с.

Физические свойства раствора в условиях кипения сводят в таблицу 4.

Таблица 4 Физические свойства кипящих растворов и их паров:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Параметр | Корпус | | |
| 1 | 2 | 3 |
| Теплопроводность раствора λ, Вт/(м∙К) |  |  |  |
| Плотность раствора ρ, кг/м3 |  |  |  |
| Теплоёмкость раствора с, Дж/(кг∙К) |  |  |  |
| Вязкость раствора μ, Па∙с |  |  |  |
| Поверхностное натяжение σ, Н/м |  |  |  |
| Теплота парообразования rв, Дж/кг |  |  |  |
| Плотность пара ρп, кг/м3 |  |  |  |

Необходимо проверить правильность первого приближения по равенству удельных тепловых нагрузок:

 Вт/м2 (54)

 Вт/м2 (55)

Если q’ ≠ q”. Расчет приближения следует повторить. Если расхождение между тепловыми нагрузками q’ ≈ q”не превышает 3%, на этом расчёт коэффициентов α1 и α2 заканчивают. Расчеты повторяют для всех корпусов.

Для расчёта в третьем приближении строим графическую зависимость удельной тепловой нагрузки q от разности температур между паром и стенкой (рисунок 1) и определяем Δt1.



Рисунок 2. График зависимости удельной тепловой нагрузки q от разности температур Δt1.

**8 Распределение полезной разности температур**

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

 (56)

где Δtпj, Qj, Kj – соответственно полезная разность температур, тепловая нагрузка, коэффициент теплопередачи для j-го корпуса.

Проверяем общую полезную разность температур установки:

 ,град (57)

Далее рассчитывается поверхность теплопередачи выпарных аппаратов по формуле (1). Если найденные значения мало отличаются от ориентировочно определённой ранее поверхности Fор. Поэтому в последующих приближениях нет необходимости вносить коррективы на изменение конструктивных размеров аппаратов (высоты, диаметра и числа труб). Сравнение распределённых из условия равенства поверхностей теплопередачи и предварительно рассчитанных значений полезных разностей температур представлено в таблице 5:

Таблица 5 Сравнение распределенных и рассчитанных значений полезных разностей температур

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Параметр | Корпус | | |
| 1 | 2 | 3 |
| Распределённые в первом приближении значения Δtп, °С |  |  |  |
| Предварительно рассчитанные значения Δtп, °С |  |  |  |

Если существует различие между полезными разностями температур, рассчитанных из условия равного перепада давления в корпусах и найденных в первом приближении из условия равенства поверхностей теплопередачи в корпусах, то необходимо заново перераспределить температуры (давления) между корпусами установки. В основу этого перераспределения температур (давлений) должны быть положены полезные разности температур, найденные из условия равенства поверхностей теплопередачи аппаратов.

**9. Уточнённый расчёт поверхности теплопередачи**

**Второе приближение**

В связи с тем, что существенное изменение давлений по сравнению с рассчитанным в первом приближении происходит только в первом и втором корпусах, где суммарные температурные потери незначительны, во втором приближении принимаем такие же значения Δ’, Δ”, Δ’” для каждого корпуса, как в первом приближении. Полученные после перераспределения температур (давлений) параметры растворов и паров по корпусам представлены в таблице 6.

Таблица 6 Параметры растворов и паров по корпусам после перераспределения температур

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Параметры | Корпус | | |
| 1 | 2 | 3 |
| Производительность по испаряемой воде w, кг/с |  |  |  |
| Концентрация растворов х, % |  |  |  |
| Температура греющего пара в первый корпус tг1, |  |  |  |
| Полезная разность температур Δtп, °С |  |  |  |
| Температура кипения раствора tк, °С |  |  |  |
| Температура вторичного пара tвп, °С |  |  |  |
| Давление вторичного пара Рвп, МПа |  |  |  |
| Температура греющего пара tг, °С |  |  |  |

Расчет тепловых нагрузок (в кВт) и коэффициентов теплопередачи выполняется описанным выше методом. Далее просчитывается распределение полезной разности температур и проверка суммарной разности температур.

Сравнение полезных разностей температур, полученных во втором и первом приближениях, представлено в таблице 7:

Таблица 7 Сравнение полезных разностей температур

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Параметр | Корпус | | |
| 1 | 2 | 3 |
| Распределённые во втором приближении значения Δtп, °С |  |  |  |
| Распределённые в первом приближении значения Δtп, °С |  |  |  |

Различия между полезными разностями температур по корпусам в 1-м и 2-м приближениях не должно превышать 5%.

**10. Определение толщины тепловой изоляции**

Толщину тепловой изоляции δи находят из равенства удельных тепловых потоков через слой изоляции от поверхности изоляции в окружающую среду:

 (58)

где αв – коэффициент теплоотдачи от внешней поверхности изоляционного материала в окружающую среду, Вт/(м2∙К) [1]:

 (59)

tст2 – температура изоляции со стороны окружающей среды (воздуха); для аппаратов, работающих в закрытом помещении, выбирается в интервале 35 – 45 °С; tст1 – температура изоляции со стороны аппарата; ввиду незначительного термического сопротивления стенки аппарата по сравнению с термическим сопротивлением слоя изоляции tст1 принимают равной температуре греющего пара tг1;

tв – температура окружающей среды (воздуха), °С;

λи – коэффициент теплопроводности изоляционного материала, Вт/(м∙К). Выберем в качестве материала для тепловой изоляции совелит (85 % магнезии + 15 % асбеста), имеющий коэффициент теплопроводности λи = 0,09 Вт/(м∙К).

 Вт/(м2∙К)

Толщина тепловой изоляции рассчитывается для корпуса с наибольшими тепловыми потерями:

 ,м (60)

Для остальных корпусов толщина тепловой изоляции принимается равной толщине рассчитанного корпуса.

**11. Расчёт барометрического конденсатора**

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

Необходимо рассчитать расход охлаждающей воды, основные размеры (диаметр и высоту) барометрического конденсатора и барометрической трубы, производительность вакуум насоса.

**12. Расхода охлаждающей воды**

Расход охлаждающей воды Gв определяют из теплового баланса конденсатора:

 (61)

где Iбк – энтальпия паров в барометрическом конденсаторе, Дж/кг; tн – начальная температура охлаждающей воды, °С; tк – конечная температура смеси воды и конденсата, °С.

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

**13. Диаметра барометрического конденсатора**

Диаметр барометрического конденсатора dбк определяют из уравнения расхода:

 (62)

где ρ – плотность паров, кг/м3; v – скорость паров, м/с.

При остаточном давлении в конденсаторе порядка 104 Па скорость паров v принимают 15 – 25 м/с:

По типовым конструкциям подбираем конденсатор диаметром, равным расчётному или ближайшему большему. Определяем его основные размеры. Выбираем барометрический конденсатор диаметром dбк = 1600 мм[3].

**14. Расчет высоты барометрической трубы**

В соответствии с нормалями ОСТ 26716 – 73, внутренний диаметр барометрической трубы dбт равен 300 мм.

Скорость воды в барометрической трубе vв равна:

 м/с (63)

Высоту барометрической трубы определяют по уравнению:

 (64)

где В – вакуум в барометрическом конденсаторе, Па; Σξ – сумма коэффициентов местных сопротивлений; λ – коэффициент трения в барометрической трубе; Нбт, dбт – высота и диаметр барометрической трубы, м; 0,5 – запас высоты на возможное изменение барометрического давления, м.

В = Ратм – Рбк (65)

Σξ = ξвх + ξвых – коэффициенты местных сопротивлений на входе в трубу и на выходе из неё.

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

 (66)

По числу Рейнольдса для гладких труб коэффициент трения λ=0,013.

**15. Расчёт производительности вакуум-насоса**

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

 кг/с (67)

где 2,5 ∙ 10-5 – количество газа, выделяющегося из 1 кг воды; 0,01 – количество газа, подсасываемого в конденсатор через неплотности на 1 кг паров.

Объёмная производительность вакуум-насоса равна:

 (68)

где R – универсальная газовая постоянная, Дж/(кмоль∙К); Mвозд – молекулярная масса воздуха, кг/кмоль; tвозд – температура воздуха, °С; Рвозд – парциальное давление сухого воздуха в барометрическом конденсаторе, Па.

Температуру воздуха рассчитывают по уравнению:

 ,°С (69)

Давление воздуха равно:

Рвозд = Рбк – Рп (70)

где Рп – давление сухого насыщенного пара (Па) при tвозд.

Зная объёмную производительность Vвозд и остаточное давление Рбк, по ГОСТ 1867 – 57 подбираем вакуум-насос .

**Заключение**

Целью данного курсового проекта являлся расчет выпарной установки непрерывного действия.

Маркировку выбранного оборудования сведем в таблицу 8.

Таблица 8 Маркировка выбранного оборудования

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № | Наименование | Марка |
| 1 | Насос центробежный |  |
| 2 | Вакуум-насос |  |
| 3 | Теплообменник |  |
| 4 | Конденсатоотводчик |  |
| 5 | Ёмкость начального раствора |  |
| 6 | Ёмкость упаренного раствора |  |
| 7 | Обечайка |  |
| 8 | Барометрический конденсатор |  |
| 9 | Опора |  |

**Библиографический список**

1. Алексеев, В.А. и др. Машины и аппараты химических производств. Учебное пособие [текст] / В.А. Алексеев, - Казань: Казанский ГТУ, 2008., 305 с.
2. Амирханов Р.А., Б.Х. Драганов Теплотехника [Текст]: учебник / Р.А. Амирханов, Б.Х. Драганов. – М.: Энергоатомиздат: 2006., 420 с.
3. Аналитическая химия. П**ЛОТНОСТЬ** растворов нитрата аммония (nh4no3) при 200С - [Электронный ресурс]. Режим доступа: /<http://www.novedu.ru/sprav/pl-nh4no3.htm> 2019 г.
4. Бондарь, В.И. Коррозия и защита материалов. Учебное пособие для студентов металлургических специальностей [текст] / В.И. Бондарь, - Мариуполь: ПГТУ, 2009., 126 с.
5. Ефремов, А.П. Химическое сопротивление материалов. Учебное пособие [текст] / А.П. Ефремов, - М.: ГУП Издательство «Нефть и газ», РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2004., 210с.
6. Инсафуддинов С.З., Юхин Д.П. Методические указания и задания к курсовой работе по теме: «Расчёт многокорпусной выпарной установки» для студентов направления 140100 «Теплоэнергетика и теплотехника» [текст] / С.З. Инсафуддинов, Д.П. Юхин - Уфа: БГАУ, 2012, 24с.
7. Каталог ОАО ДимитровградХИММАШа. Теплообменные аппараты, 2009., 15 с.
8. Кордон М.Я., Симакин В.И., Горешник И.Д. Теплотехника [текст]:учебное пособие/ М.Я. Кордон - Пенза 2005.,167 с.
9. Косинцев В.И. и др. Основы проектирования химических производств [текст]: учебник для ВУЗов / В.И. Косинцев – М.: ИКЦ «Академкнига», 2005., 332 с.
10. Новый справочник химика и технолога. Процессы и аппараты химических технологий. часть I - СПб: «Мир и семья», 2006., 916 с.
11. Электронный справочник: Удельная теплоемкость водных растворов. Режим доступа: http://chemport.ru/data/data37.shtm 2015 г.