

ВВЕДЕНИЕ

Хлористый аммоний применяют при пайке металлов, цинковании, лужении, в текстильной промышленности, при производстве фармацевтических препаратов, а также для наполнения гальванических элементов и т. д. Хлористый аммоний может быть также использован для получения из него аммиака и хлора.

При производстве хлористого аммония значительную роль на конкурентоспособность выпускаемой продукции играет аппаратное оформление процесса.

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 [1, 2].

Такое разнообразие требований вызывает определенные сложности при правильном выборе схемы выпарной установки, типа аппарата, числа ступеней в многокорпусной выпарной установке. В общем случае такой выбор является задачей оптимального поиска и выполняется технико-экономическим сравнением различных вариантов с использованием ЭВМ. В связи с тем, что при выполнении курсового проекта по процессам и аппаратам подобная задача пока не ставится, число корпусов в установке примем равным трем.

Расчет трехкорпусной выпарной установки для упаривания раствора хлористого аммония является целью данной курсовой работы.

					КП ПиАХТ ХТЗ-002 ВУ 00.00.00	7
		N				

пень (нижняя часть скруббера) орошается маточным раствором, содержащим 1 % избыточной азотной кислоты, вторая — (верхняя часть скруббера) орошается маточным раствором, содержащим 10 – 12% избыточной азотной кислоты. Хлорсодержащий газ из абсорбера проходит ловушку 1 и направляется на дальнейшую переработку.

Азотная кислота и вода поступают в сборник 4, из которого насосом 5 осуществляется циркуляция раствора в верхней части скруббера. Маточный раствор, вытекающий из нижней части скруббера, содержащий 40% сульфата аммония, поступает в сборник 11 и насосом 12 подается на орошение нижней части скруббера. В сборник 11 поступают также раствор из верхней части скруббера от насоса 5 и маточный раствор из центрифуги 7. Для обеспечения хорошей циркуляции в скруббере насосы 5 и 12 имеют большую производительность (по 220—240 м³/ч). Часть раствора из нижней зоны скруббера отбирается в сборник 10 и насосом 9 подается на сгущение в выпарной аппарат 6. Выпарка осуществляется под вакуумом 650 – 680 мм рт. ст., образовавшиеся кристаллы опускаются в коническую нижнюю часть, где они поддерживаются длительное время во взвешенном состоянии путем подачи свежего раствора в низ конуса. При такой системе кристаллизации не менее 60% кристаллов получаются с размером более 0,5 мм.

Пульпа из выпарного аппарата центробежным насосом 8 подается для фильтрации на центрифугу 7. Затем соль сушится, упаковывается и направляется в склад.

					КП ПиАХТ ХТЗ-002 ВУ 00.00.00	9
		N				

Необходимость в паровом пространстве (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 естественной циркуляцией; 3) выпарные аппараты с принудительной циркуляцией; 4) пленочные выпарные аппараты [3].

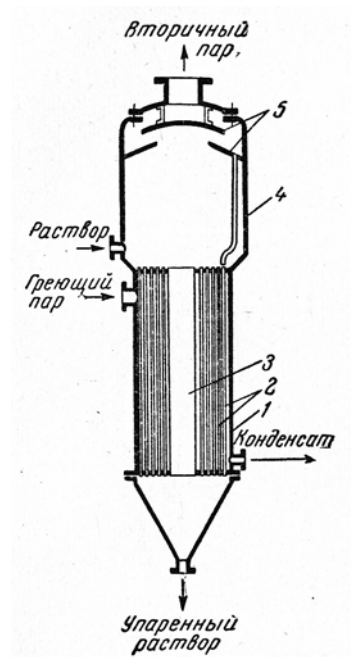
2.2.1 Выпарные аппараты со свободной циркуляцией

В этих аппаратах неподвижный или медленно движущийся раствор находится снаружи труб. В растворе возникают неупорядоченные конвекционные токи (свободная циркуляция), обусловленные свободной конвекцией. К данной группе относятся аппараты, выполненные в виде чаш или котлов, поверхность теплообмена которых образована стенками аппарата. В настоящее время такие аппараты применяются редко, главным образом при выпаривании очень вязких жидкостей.

Змеевиковые выпарные аппараты [1], аналогичны змеевиковым погружным теплообменникам. Греющий пар проходит по змеевику, а выпариваемая жидкость находится снаружи. Змеевики полностью погружены в жидкость, над уровнем которой остается объем, необходимый для сепарации вторичного пара. Эти аппараты работают неинтенсивно и в настоящее время применяются лишь для выпаривания вязких растворов при небольших масштабах производства, когда не требуется большая поверхность теплообмена. Они могут быть использованы также при применении греющего пара высокого давления и при выпаривании агрессивных жидкостей. В последнем случае змеевики изготавливаются из химически стойкого материала, а внутренняя поверхность аппарата снабжается защитным покрытием.

Выпарные аппараты с горизонтальными трубами (пар пропускается по трубам, жидкость — снаружи труб) могут быть изготовлены с значительными поверхностями теплообмена—до 800 м² и более.

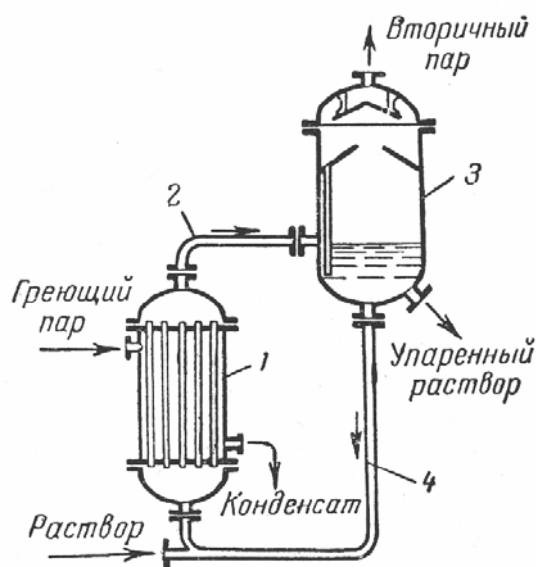
Для компенсации удлинения труб и разборки аппарата с целью очистки крепление труб в трубных решетках делают на сальниках или применяют U-образные трубы.



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

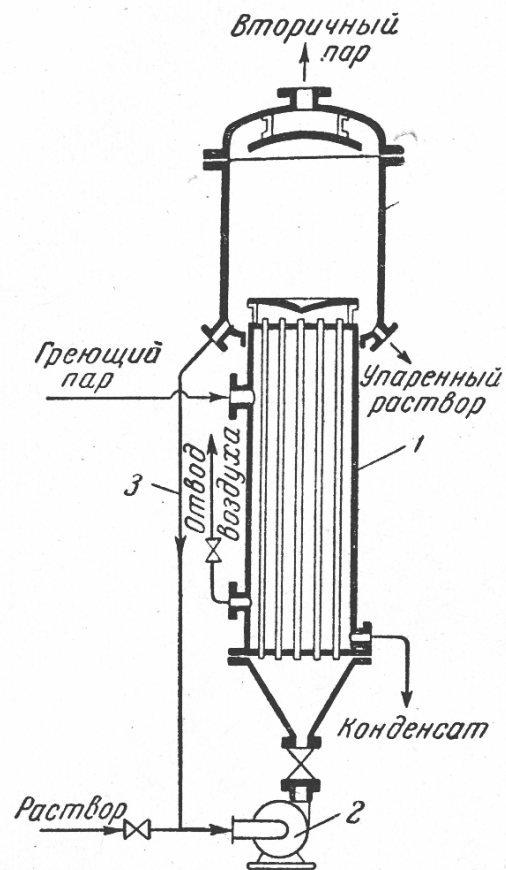
Рисунок 2.2 – Выпарной аппарат с центральной циркуляционной трубой:

Выпарной аппарат с выносным кипятильником широко применяется для выпарки кристаллизующихся и пенящихся растворов и постепенно вытесняет аппараты других типов [2].



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

Рисунок 2.3 – Выпарной аппарат с выносным кипятильником



1 – кипятыльник; 2 –циркуляционный насос; 3 – циркуляционная труба; 4 – сепаратор

Рисунок 2.4 – Выпарной аппарат с принудительной циркуляцией

Достоинствами аппаратов с принудительной циркуляцией являются высокие коэффициенты теплопередачи (в 3 – 4 раза больше, чем при естественной циркуляции), а также отсутствие загрязнений поверхности теплообмена при выпаривании кристаллизующихся растворов и возможность работы при небольших разностях температур. Недостаток этих аппаратов — необходимость расхода энергии на работу насоса.

Применение принудительной циркуляции целесообразно при изготовлении аппарата из дорогостоящего материала (в этом случае весьма существенно значительное сокращение поверхности теплообмена вследствие повышения коэффициентов теплопередачи), при выпаривании кристаллизующихся растворов (сокращаются простои во время очистки аппарата) и при выпаривании вязких растворов (что при естественной циркуляции требует наличия большой разности температур).

3 ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОЧИХ ВЕЩЕСТВ

Хлористый аммоний NH_4Cl — бесцветные кристаллы кубической системы с плотностью $1,53 \text{ г/см}^3$. При нагревании возгоняется без плавления, диссоциируя на аммиак и хлористый водород, причем давление паров равно при 210° 10 мм рт. ст., при 310° 341,3 мм рт. ст., при $337,8^\circ$ 760 мм рт. ст., при 350° 1,4 ат и при 451° 10 ат ¹⁹². Насыщенный водный раствор содержит при 0° — 23,0%, при 100° — 43,6%, при $116,0^\circ$ (температура кипения) — 46,5% NH_4Cl .

Процесс разложения NH_4Cl на NH_3 и Cl_2 проводится в присутствии катализатора при $400\text{—}500^\circ$. Выход по NH_3 — 98,8%, по Cl_2 — 85% ^{194> 195}.

Как удобрение хлористый аммоний имеет весьма незначительное применение, что объясняется отрицательным действием иона хлора на некоторые культуры, в особенности при накоплении хлора в почве в результате неоднократного внесения этого удобрения.

Хлористый аммоний технический (нашатырь), согласно ГОСТ 2210—51, выпускают двух сортов, которые должны соответствовать следующим требованиям.

Таблица 3.1 – Характеристики технического хлористого аммония

Наименование параметра	Содержание в %	
	1-й сорт	2-й сорт
NH_4Cl , не менее	99,5	99,0
NaCl , не более	0,05	0,10
Углекислых солей (в пересчете на NH_4HCO_3), не более	0,02	0,04
Железа, не более	0,003	0,01
Тяжелых металлов, не более	0,0005	0,0025
Мышьяка, не более	отсутствие	0,001
Влаги, не более	1,0	1,5
Не растворимых в воде веществ, не более	0,02	0,05

МПа, воду нагреть до 100°C , то она закипает - начинает образовываться пар, имеющий ту же температуру, но существенно больший объём. До тех пор пока остаётся некоторое количество воды, температура системы, несмотря на непрерывающийся подвод теплоты, постоянна. Только после превращения всей воды в пар температура может начать вновь повышаться. При этом пар из насыщенного переходит в перегретое состояние.

Для расчета выпарного аппарата необходимо знать зависимость давления пара, энтальпии и плотности от его температуры. Эти зависимости можно взять из [4]. Ниже на рисунках эти зависимости приводятся в графической форме.

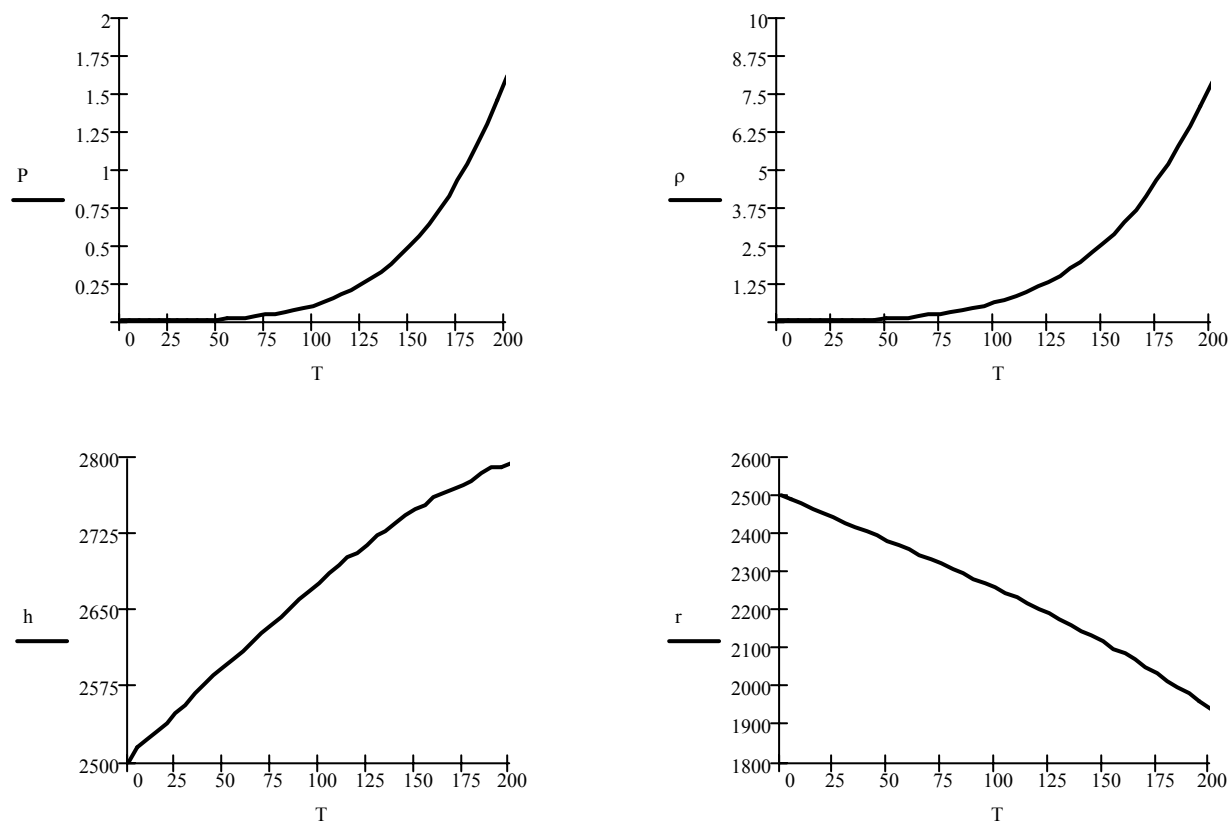


Рисунок 3.1 – Свойства водяного пара

Производительность установки по выпариваемой воде определяют из уравнения материального баланса [3, с. 87]:

$$W = G_H (1 - x_H/x_K) = 3,33 * (1 - 0,12/0,25) = 1,73 \text{ кг/с}$$

4.2 Расчет концентраций упариваемого раствора

Все расчетные формулы и зависимости взяты из [3, стр. 86-98].

Распределение концентрации раствора по корпусам установки зависит от соотношения нагрузок во 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 [3]:

$$\omega_1 : \omega_2 : \omega_3 = 1,0 : 1,1 : 1,2$$

Тогда

$$\omega_1 = \frac{1,0 W}{1,0 + 1,1 + 1,2} = \frac{1,0 W}{3,3} = 1,0 * 1,73 / 3,3 = 0,52 \text{ кг/с}$$

$$\omega_2 = \frac{1,1 W}{3,3} = 1,1 * 1,73 / 3,3 = 0,58 \text{ кг/с}$$

$$\omega_3 = \frac{1,2 W}{3,3} = 1,2 * 1,73 / 3,3 = 0,63 \text{ кг/с}$$

Далее рассчитываем концентрации растворов в трех корпусах

$$x_1 = \frac{G_H x_H}{G_H - \omega_1} = 3,3 * 0,12 / (3,33 - 0,52) = 0,141$$

$$x_2 = \frac{G_H x_H}{G_H - \omega_1 - \omega_2} = 3,33 * 0,12 / (3,33 - 0,52 - 0,58) = 0,179$$

$$x_3 = \frac{G_H x_H}{G_H - \omega_1 - \omega_2 - \omega_3} = 3,33 * 0,12 / (3,33 - 0,52 - 0,58 - 0,63) = 0,250$$

Концентрация раствора в последнем корпусе x_3 соответствует заданной концентрации упаренного раствора x_K .

4.3 Определение температур кипения растворов

Общий перепад давлений в установке равен

$$\Delta P_{об} = P_{г1} - P_{бк}$$

					КП ПиАХТ ХТЗ-002 ВУ 00.00.00	21
		N				

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 расчетах принимают $\Delta''' = 1,0-1,5$ град на корпус. Примем для каждого корпуса $\Delta''' = 1$ град. Тогда температуры вторичных паров в корпусах равны:

$$t_{вп1} = t_{г2} + \Delta_1''' = 118,0 + 1,0 = 119,0$$

$$t_{вп2} = t_{г3} + \Delta_2''' = 100,0 + 1,0 = 101,0$$

$$t_{вп3} = t_{ок} + \Delta_3''' = 61,0 + 1,0 = 62,0$$

Сумма гидродинамических депрессий

$$\Sigma\Delta''' = \Delta_1''' + \Delta_2''' + \Delta_3''' = 1,0 + 1,0 + 1,0 = 3,0$$

По температурам вторичных паров определим их давления

Температура, °С Давление, МПа

$$t_{вп1} = 119,0 \quad P_{вп1} = 0,1990$$

$$t_{вп2} = 101,0 \quad P_{вп2} = 0,1086$$

$$t_{вп3} = 62,0 \quad P_{вп3} = 0,0227$$

Гидростатическая депрессия обусловлена разностью давлений в среднем слое кипящего раствора и на его поверхности. Давление в среднем слое кипящего раствора $P_{ср}$ каждого корпуса определяется по уравнению

$$P_{ср} = P_{вп} + \frac{\rho g H}{2} (1 - \varepsilon)$$

где H – высота кипятильных труб в аппарате, м; ρ — плотность кипящего раствора, кг/м³; ε — паронаполнение (объемная доля пара в кипящем растворе), м³/м³.

Для выбора значения H необходимо ориентировочно оценить поверхность теплопередачи выпарного аппарата $F_{ор}$. При кипении водных растворов можно принять удельную тепловую нагрузку аппаратов принудительной циркуляцией q

$$F_{\text{опз}} = \frac{Q_3}{q} = \frac{\omega_3 r_3}{q} = 0,63 * 2333 / 40 = 36,7 \text{ м}^2$$

Определяем гидростатическую депрессию

$$\Delta_1'' = t_{\text{сп1}} - t_{\text{вп1}} = 120 - 119 = 1,0^\circ \text{ C}$$

$$\Delta_2'' = t_{\text{сп2}} - t_{\text{вп2}} = 104 - 101 = 3^\circ \text{ C}$$

$$\Delta_3'' = t_{\text{сп3}} - t_{\text{вп3}} = 71 - 62 = 9^\circ \text{ C}$$

Сумма гидростатических депрессий

$$\Sigma \Delta'' = 1,0 + 3,0 + 9,0 = 13^\circ \text{ C}$$

Температурная депрессия определяется по уравнению

$$\Delta' = 1,62 * 10^{-2} (T^2 / r_{\text{вп}}) \Delta'_{\text{атм}}$$

где T – температура в среднем слое кипяtilьных труб, К; $\Delta'_{\text{атм}}$ – температурная депрессия при атмосферном давлении.

Для корпусов выпарной установки [3]

$$\Delta'_{\text{атм1}} = 3,2^\circ \text{ C}$$

$$\Delta'_{\text{атм2}} = 4,1^\circ \text{ C}$$

$$\Delta'_{\text{атм3}} = 6,0^\circ \text{ C}$$

Соответственно

$$\Delta'_1 = 1,62 * 10^{-2} * (120 + 273)^2 / 2202 * 3,2 = 3,6^\circ \text{ C}$$

$$\Delta'_2 = 1,62 * 10^{-2} * (104 + 273)^2 / 2249 * 4,1 = 4,2^\circ \text{ C}$$

$$\Delta'_3 = 1,62 * 10^{-2} * (71 + 273)^2 / 2333 * 6,0 = 4,9^\circ \text{ C}$$

Сумма температурных депрессий

$$\Sigma \Delta' = 3,6 + 4,2 + 4,9 = 12,7^\circ \text{ C}$$

Температуры кипения растворов по корпусам равны

$$t_{\text{к1}} = t_{\text{р2}} + \Delta_1' + \Delta_1'' + \Delta_1''' = 118,0 + 3,6 + 1,0 + 1,0 = 123,6^\circ \text{ C}$$

$$t_{\text{к2}} = t_{\text{р3}} + \Delta_2' + \Delta_2'' + \Delta_2''' = 100,0 + 4,2 + 3,0 + 1,0 = 108,2^\circ \text{ C}$$

$$t_{\text{к3}} = t_{\text{ок}} + \Delta_3' + \Delta_3'' + \Delta_3''' = 61,0 + 4,9 + 9,0 + 1,0 = 75,9^\circ \text{ C}$$

5 РАСЧЕТ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

5.1 Расчет теплообменника

Целью теплового расчета является определение необходимой поверхности теплообмена для эффективного ведения процесса выпаривания. После определения поверхности теплообмена осуществляется подбор стандартного аппарата, затем проводится поверочный расчет.

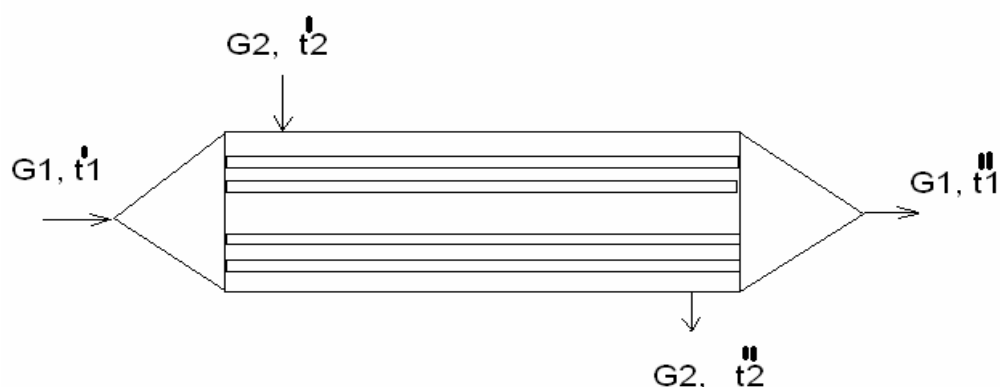


Рисунок 5.1 – Схема к расчету теплообменного аппарата

Для противотока

$$\begin{array}{ccc} 170 & \longrightarrow & 150 \\ \frac{130}{\Delta t_b = 40} & \longleftarrow & \frac{175}{\Delta t_m = 15} \end{array}$$

Расчетная поверхность теплообмена определяется из уравнения (уравнение справедливо для плоской стенки, а также для труб, если толщина стенки мала по сравнению с диаметром)

$$F = \frac{Q}{K \Delta t_{cp}}$$

где Q – тепловая нагрузка выпарного аппарата, Дж/ч; K – коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К); Δt_{cp} – средняя разность температур между теплообменивающими средами, К.

Тепловая нагрузка аппарата была определена:

					КП ПиАХТ ХТЗ-002 ВУ 00.00.00	27
		N				

Поскольку $Re > 2300$, то движение потока в трубках турбулентное. Для Турбулентного режима [2]

$$\alpha_2 = 4,9 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$$

Соответственно коэффициент теплопередачи

$$K = \frac{1}{\frac{1}{1,46} + \frac{0,002}{23} + \frac{1}{4,9}} = 1,12$$

Определение среднего температурного напора. Среднее значение температурного напора зависит от характера изменения температур потоков вдоль поверхности теплообменного аппарата, который может быть различным. К наиболее характерным случаям относятся: прямоток, противоток, перекрестный ток и смешанный ток. Основные схемы движения потоков, соответствующие этим случаям, представлены на рисунке.

Для проектируемого аппарата примем противоток. Следовательно

$$\Delta t_{cp} = \Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{б} - \Delta t_{м}}{2,3 \cdot \lg \frac{\Delta t_{б}}{\Delta t_{м}}}$$

где $\Delta t_{б}$ и $\Delta t_{м}$ – соответственно большая и меньшая разность температур, определяемая так:

$$\Delta t_{б} = 170 - 130 = 40, \Delta t_{м} = 175 - 150 = 15$$

Соответственно

$$\Delta t_{cp} = \frac{40 - 15}{2,3 \lg \frac{40}{15}} = 25,5^{\circ}\text{C}$$

Требуемая поверхность теплообмена

$$F = \frac{22400}{1,12 \cdot 25,5} = 784 \text{ м}^2$$

Примем два теплообменника с меньшей поверхностью теплообмена, равной

$$F_1 = F/2 = 784 / 2 = 392 \text{ м}^2.$$

Тогда по таблице [3, табл. П.3] подберем двухходовый теплообменник по ГОСТ 15118-79 с поверхностью теплообмена $F_1 = 494 \text{ м}^2$ (диаметр кожуха 1200

					КП ПиАХТ ХТЗ-002 ВУ 00.00.00	29
		N				

Определяем необходимый напор, который должен давать насос. Скоростной напор

$$\omega = \frac{4 L}{\pi (d - 2s)^2}$$

где $L = 0,0032 \text{ м}^3/\text{с}$ – расход жидкости; $d = 0,15 \text{ м}$ – наружный диаметр трубопровода; $s = 0,005 \text{ м}$ – толщина стенки трубопровода. Подставляя, получим:

$$\omega = \frac{4 \times 0,0032}{3,14 \times (0,02 - 2 \times 0,005)^2} = 0,20 \text{ м/с}$$

Скоростной напор

$$h_{\text{ск}} = \frac{\omega^2}{2g} = 0,20^2 / (2 * 9,81) = 0,002 \text{ м}$$

Потеря напора на трение и местные сопротивления

$$h_{\text{тр+мс}} = \frac{\lambda (L + L_{\text{экв}})}{d} h_{\text{ск}}$$

где $\lambda = 0,03$ - коэффициент трения в трубопроводе; $L + L_{\text{экв}} = 20 \text{ м}$ – длина трубопровода с учетом местных сопротивлений. Итого

$$h_{\text{тр+мс}} = 0,03 * (20) / 0,15 * 0,206 = 0,826 \text{ м}$$

Требуемый полный напор насоса:

$$H = \frac{P_{\text{изб}}}{g \rho} + H_{\text{п}} + h_{\text{тр+мс}} + h_{\text{ск}}$$

где $P_{\text{изб}} = 0,275 \text{ МПа}$ – избыточное давление в аппарате. Следовательно

$$H = \frac{275000}{9,81 \times 1050} + 15 + 0,826 + 0,002 = 42,5 \text{ м}$$

Требуемая производительность насоса:

$$Q = L = 3,33 \text{ кг/с} = 12 \text{ м}^3/\text{ч}$$

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Позин М. Е. Технология минеральных солей, Л: Химия, 1970 – 1558 с.
2. Скобло А. И., Молоканов Ю. К., Владимиров А. И., Щелкунов В. А. Процессы и аппараты нефтегазопереработки и нефтехимии: Учебник для ВУЗов, М.: ООО «Недрабизнесцентр», 2000. – 677 с.
3. Основные процессы и и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию / под ред. Ю. И. Дытнерского. – М.: Химия, 1983. – 272 с.
4. Плановский А. Н., Рамм В. М., Соломон З. К. Процессы и аппараты химической технологии, М.: Химия, 1967. – 848 с.
5. Павлов К. Ф., Романков П. Г., Носков А. А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии, М.: «Химия», 1970. – 624 с

					КП ПиАХТ ХТЗ-002 ВУ 00.00.00	33
		N				