КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

Теплообменный аппарат типа секционный водоводяной подогреватель

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ АППАРАТА И ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

. РАСЧЁТ НЕДОСТАЮЩИХ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЁТ ПАТРУБКОВ

. КОНСТРУКТИВНЫЙ РАСЧЁТ КОЖУХО-ТРУБЧАТОГО ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА

. ВЫБОР СПОСОБА СОЕДИНЕНИЯ ТРУБОК С ТРУБНЫМИ РЕШЁТКАМИ

. ПРОВЕРКА ШТУЦЕРОВ НА ПРОЧНОСТЬ

. РАСЧЁТ ТОЛЩИНЫ СТЕНКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБЕЧАЙКИ

. РАСЧЁТ И ПОДБОР ДНИЩ И КРЫШЕК ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА

. УКРЕПЛЕНИЕ ОТВЕРСТИЙ

. РАСЧЁТ ТОЛЩИНЫ ТРУБНОЙ РЕШЁТКИ

. РАСЧЁТ ТЕПЛООБМЕННЫХ ТРУБОК

. ПРОВЕРКА НАПРЯЖЕНИЙ В ОБЕЧАЙКЕ И ТРУБАХ АППАРАТА

. РАСЧЁТ ПРОКЛАДОЧНОЙ ОБТЮРАЦИИ

. РАСЧЁТ ФЛАНЦЕВОГО СОЕДИНЕНИЯ

. РАСЧЁТ ОПОР АППАРАТА

. РАСЧЁТ ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ

. СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

. ПРИЛОЖЕНИЕ А

1. ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ АППАРАТА И ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Абонентские водоводяные подогревательные установки выполняются обычно из секционных подогревателей, соединённых последовательно по первичному и вторичному теплоносителям. Общий вид такой подогревательной установки показан на рис.1. В таких установках легко организовать течение первичного и вторичного теплоносителей по схеме противотока и получить достаточно высокие и сравнительно близкие скорости воды в трубках и межтрубном пространстве.

Широкое применение на практике находят секционные подогреватели типа Теплосети Мосэнерго, изготовляемые по ОСТ-34-588-68. Основные размеры этих подогревателей приведены в приложении 19. Корпуса этих подогревателей выполняются из стальных труб, а поверхность нагрева из латунных трубок Л-68 диаметром 16/14 мм. Трубные решетки приварены к корпусу подогревателя. Подогреватели для горячего водоснабжения изготовляются без линзового компенсатора на корпусе. Проведенные исследования показывают, что при использовании этих секционных подогревателей для горячего водоснабжения, когда нагреваемая вода проходит внутри латунных трубок, а греющая - в межтрубном пространстве и температура греющей среды не превышает 150 °С, нет необходимости в установке на корпусе подогревателя линзовых компенсаторов, так как и без них напряжения в стенках трубок и корпусе не выходят за допустимые пределы. При использовании подогревателей для отопления греющая вода, как правило, пропускается внутри трубок, а нагреваемая - в межтрубном пространстве. Для компенсации температурных деформаций на корпусе компенсатора должен быть установлен линзовый компенсатор. Допускаемое рабочее давление: внутри трубок подогревателя 1 МПа, в межтрубном пространстве без линзового компенсатора на корпусе 1 МПа, при наличии линзового компенсатора 0,7 МПа.

В водоводяных подогревателях достигаются обычно довольно высокие коэффициенты теплопередачи [примерно 1000-1500 Вт/(м2-К)]. Интенсивность теплопередачи в подогревателе зависит также от качества изготовления трубного пучка. Необходимо, чтобы вода, проходящая через межтрубное пространство, равномерно омывала все трубки подогревателя, для чего должны быть выдержаны зазоры между трубками, необходимо в середине секций устанавливать под трубками опорные перегородки.

Без опорных перегородок трубки прогибаются, и зазоры между ними теряются, что приводит к заметному снижению тепловой производительности подогревателей.

Кроме секционных подогревателей в системах теплоснабжения в последние годы начали применять в опытном порядке пластинчатые теплообменники, изготовляемые как нашей промышленностью, так и зарубежными фирмами. В СССР стальные пластинчатые теплообменники выпускаются Павлодарским и Уральским заводами химического машиностроения с площадью поверхности нагрева от 10 до 160 м2 на рабочее давление 1 МПа.

Поверхность нагрева этих подогревателей состоит из тонкостенных низколегированных штампованных гофрированных пластин разного профиля. Потоки греющей и нагреваемой воды проходят через теплообменник противотоком с обеих сторон пластины, между которыми образуются системы каналов сложной формы, способствующие турбулизации протекающих потоков и росту коэффициентов теплопередачи.

Все пластины теплообмена скомпонованы в виде пакета, как листы в книге, и зажаты с помощью зажимных болтов, между двумя торцевыми несущими плоскими стальными плитами. Греющий и нагреваемый потоки воды подведены с одной и той же стороны торцевой плиты.

Преимущества пластинчатых теплообменников заключаются в повышении интенсивности теплопередачи, компактности (около 100 м2 в 1 м3), высокой плотности - исключена возможность перетекания теплоносителя из одной полости (например, греющей) в другую (например, нагреваемую). Эксплуатация пластинчатых подогревателей проста, так как они легко разбираются. Пластины могут очищаться от накипи и загрязнений или заменяться.

Эскиз водоводяного подогревателя по ОСТ приведен на рисунке 1.1

Рисунок 1.1 - Водоводяной подогреватель.

1 - обечайка; 2 - патрубок входа вторичной воды; 3 - патрубок выхода вторичной воды; 4 - трубная решетка; 5 - патрубок входа первичной воды; 6 - патрубок выхода первичной воды; 7 - жидкостная крышка; 8 - теплообменная трубка

. РАСЧЁТ НЕДОСТАЮЩИХ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Недостающие параметры находим из уравнения теплового баланса. Так как оба теплоносителя не меняют своего агрегатного состояния (вода-вода), то уравнение теплового баланса будет иметь вид:

, (2.1)

где Q - тепловая нагрузка аппарата, кВт;- массовый расход теплоносителя, кг/с;

h=0.97..0.99 - коэффициент удержания теплоты изоляцией аппарата;

с - удельная теплоемкость теплоносителя, кДж/(кгЧ° С);

индексы:

- греющие теплоноситель;

- нагревающий теплоноситель;

апострофы:

` - на входе;

``- на выходе.

Известны следующие параметры:

для греющего теплоносителя (воды):

расход т/ч;

температура на входе ° С;

температура на выходе ° С;

удельная теплоемкость воды с1 = 4,188 кДж/(кгЧ° С) при средней температуре воды ° С;

для нагреваемого теплоносителя (воды):

расход т/ч;

температура на входе ° С;

удельная теплоемкость воды с2 = 4,180 кДж/(кгЧ° С) при средней температуре воды ° С;

h выбираем равным 0,98;

Из уравнения теплового баланса получаем:

 (2.2)



3. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЁТ ПАТРУБКОВ

Патрубки предназначены для ввода и вывода теплоносителей из аппарата. Патрубок представляет собой отрезок трубы стандартных параметров, требуемого материального исполнения.

Расчет внутреннего диаметра патрубка выполняется по уравнению сплошности:

,

где G - массовый расход теплоносителя через патрубок, кг/с ;

r - плотность теплоносителя при температуре в патрубке, кг/м3;- скорость теплоносителя в патрубке, м/с;- площадь внутреннего поперечного сечения патрубка, м2;

Площадь поперечного сечения равна:

, (3.1)

где dвн - внутренний диаметр патрубка.

Отсюда внутренний диаметр можно вычислить по формуле:

 (3.2)

Для греющего теплоносителя (вода) патрубки для впуска и выпуска в целях унификации принимаем с одинаковыми диаметрами:

 (3.3)

 м,

где  - принятое рекомендуемое значение скорости для воды в патрубке

r1 =979 кг/м3 - плотность теплоносителя в патрубке при средней температуре tср1=67,5 °С .

Округляя полученное значение для dвн до стандартного значения Dу, приводимого в таблице 3.5 [2], подбираем трубу стальную бесшовную горячедеформированную по ТУ 14-3-190-82, материал: Сталь 20 по ГОСТ 1050-74

Dу = 200 мм - условный диаметр патрубка;

Dн = 219 мм - наружный диаметр патрубка;

S = 6 мм - толщина стенки патрубка;

Ру =0,6 МПа - условное давление.

Аналогично для нагреваемого теплоносителя (вода):

 (3.4)

 м,

где  - скорость нагреваемой воды в трубках;

r2 =996 кг/м3 - плотность теплоносителя в патрубке при средней температуре tср2=27 °С .

Труба стальная бесшовная горячедеформированная по ТУ 14-3-190-82, материал: Сталь 20 по ГОСТ 1050-74

Dу = 250 мм - условный диаметр патрубка;

Dн = 273 мм - наружный диаметр патрубка;

S = 8 мм - толщина стенки патрубка;

Ру =0,27 МПа - условное давление.

По известным значениям выбираем по таблице 20.9 [4] стандартные фланцы к патрубкам. Эскиз плоского приварного фланца изображен на рисунке 3.1. Тип фланцев - стальные плоские приварные ГОСТ 1255 - 54. Основные размеры патрубков и фланцев приведены в таблице 3.1.

Длину патрубков назначают из стандартного ряда, приводимого в справочнике [4] по таблице 30.42. Длину принято назвать вылетом патрубка. Рекомендованные вылеты фланцевых патрубков указаны в таблице 3.1, а эскиз патрубка с фланцем приведен на рисунке 3.2.

Таблица 3.1 Основные размеры патрубков.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Патрубок | Ру, МПа | Dу | Dн | S | Dф | Dб | dб | d | Z, шт | D1 | h | l |
|  |  | мм | | | | | | |  | мм | | |
| Греющего теплоносителя | 0,6 | 200 | 219 | 6 | 290 | 255 | М16 | 18 | 8 | 232 | 22 | 140 |
| Нагреваемого теплоносителя | 0,27 | 250 | 273 | 8 | 370 | 335 | М16 | 18 | 12 | 312 | 22 | 150 |



Рисунок 3.1 - Фланец плоский приварной



Рисунок 3.2 - Патрубок

4. КОНСТРУКТИВНЫЙ РАСЧЁТ КОЖУХО-ТРУБЧАТОГО ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА

Целью данного расчета является определение основных габаритных размеров теплообменника, в частности, диаметра трубной решетки по центрам наружного ряда трубок и активной длины трубок, определение числа трубок в аппарате и разбивка их в трубной решетке по одной из применяемых схем. По выполнении компоновки трубного пучка, подбираются фланцы нижней жидкостной крышки и корпуса аппарата.

Определяем площадь поперечного сечения fX трубок одного хода из уравнения сплошности:

 (4.1)



где G - массовый расход нагреваемого теплоносителя, кг/с ;

r - плотность нагреваемого теплоносителя при температуре среды в трубке, м2;

w - скорость нагреваемого теплоносителя в трубке, м/с.

Определяем количество трубок в одном ходу nX аппарата по формуле:

 (4.2)

По условиям на конструирование используем трубки латунные Ж16ґ1 мм, то есть dвн=14 мм. Получаем количество трубок:





Так как проектируемый аппарат является одноходовым z=1, то общее число трубок m также будет равно:

 (4.3)

В водоподогревателях по ОСТ применяется разбивка трубок по концентрическим окружностям (рисунок 4.1). Назначаем шаг разбивки трубной решетки по рекомендациям:

 (4.4)

Принимаем шаг разбивки S = 23 мм.



Рисунок 4.2 - Разбивка трубной решетки по концентрическим окружностям.

Действующее значение Dтр находят в результате компоновочного построения поперечного сечения теплообменника на миллиметровке. Вычисляем ориентировочно диаметр трубной решетки Dтр по центрам наружного ряда трубок:

 (4.5)

Где hтр - коэффициент заполнения трубками трубной решетки, для одноходовых аппаратов принимаем hтр=1.

Принимаем разбивку трубной решетки по концентрическим окружностям. Диаметры обечайки принимаем равные Dу=400 мм, Dн=426 мм соответствующие стандартным размерам обечаек. Разбивка трубной решетки - Приложение А.

Площадь поверхности теплообмена трубного пучка F, м2 составляет:

 (4.6)

откуда активная длина l, м будет равна:

 , (4.7)

где dр - расчетный диаметр трубок, мм.

При одинаковой по сторонам трубок теплоотдаче dр принимают:

мм (4.8)

м.

Выполняем проверку конструктивности. Должно выполняться условие:

, (4.9)

т.к.



то условие верно.

5. ВЫБОР СПОСОБА СОЕДИНЕНИЯ ТРУБОК С ТРУБНЫМИ РЕШЁТКАМИ

В настоящее время наиболее распространенным способом соединения трубок с трубной решеткой является развальцовка в том или ином конструктивном исполнении. Отбортовка выступающих концов усиливает прочность соединения и обеспечивает плавный вход жидкости в трубки, снижая местные гидравлические сопротивления. На рисунке 5.1 показана развальцовка трубки с отбортовкой выступающих концов.



Рисунок 5.1 - Развальцовка с отбортовкой выступающих концов.

6. ПРОВЕРКА ШТУЦЕРОВ НА ПРОЧНОСТЬ

###### Толщина стенки патрубка, нагруженного избыточным давлением, определяется по формуле:

, м (6.1)

Где Рр - расчетное давление в патрубке, МПа;

dн - наружный диаметр патрубка, м;

φ1 - коэффициент прочности сварного шва;

[σ]1 - допускаемое напряжение для материала патрубка.

Коэффициент прочности сварного шва принимается равным φ1=1, так как штуцер является монолитным.

Патрубок для греющего теплоносителя:

Р1=0,6 МПа;

dн=219 мм.

Допускаемое напряжение при статических однократных нагрузках:

,

где η - поправочный коэффициент, принимается равным η=1.

σ\* - нормативное допускаемое напряжение

Для материала патрубка сталь 20 при t1ср=67,5˚С по ГОСТ 14249 - 73 табл. 1.3 [6] нормативное допускаемое напряжение равно σ\*=144 МПа.



 м.

Исполнительная толщина:

 (6.2)

где С=С1+С2+С3 (6.3)

С1 - прибавка при компенсации допусков на толщину листа, принимаем С1 =1 мм,

С2 - прибавка на коррозию.

С2 = υк . τ,

где υк - скорость коррозии мм/год, υк=0,2 мм/год; t- время эксплуатации теплообменника, лет; t = 15 лет;

С2 = 0,2 . 15 =3,0 мм;

С3 - принимаем конструктивно 3,24 мм

С=1+3,0+3,24=7,24 мм.

С учетом всех прибавок окончательно толщину штуцера принимаем

 Патрубок для нагреваемого теплоносителя

Р2=0,27 МПа,

dн=273 мм.

Допускаемое напряжение при статических однократных нагрузках:

, (6.4)

где η - поправочный коэффициент, принимаем равным η=1.

σ\* - нормативное допускаемое напряжение.

Для материала патрубка сталь 20 при t2ср=27˚С по ГОСТ 14249 - 73 табл. 1.3. [6] нормативное допускаемое напряжение равно σ\*=146,56 МПа

;

м; (6.5)

 (6.6)

где С=С1+С2+С3 (6.7)

С1 - прибавка при компенсации допусков на толщину листа, принимаем С1 =1 мм

С2 - прибавка на коррозию.

С2 = υк . τ,

Где υк - скорость коррозии мм/год, υк=0,2 мм/год;

t- время эксплуатации теплообменника, лет; t = 15 лет;

С2 = 0,2 . 15 =3,0 мм;

С3 - принимаем конструктивно 3,75 мм;

С=1+3,0+3,75=7,75мм (6.8)

С учетом всех прибавок окончательно толщину штуцера принимаем 

. РАСЧЁТ ТОЛЩИНЫ СТЕНКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБЕЧАЙКИ

Толщина стенки аппарата, находящегося под внутренним избыточным давлением, определяется по формуле:

, (7.1)

где Р1 - давление в межтрубном пространстве, МПа;

[σ] - допускаемое напряжение для материала обечайки, МПа;

Dвн - внутренний диаметр обечайки, м;

φ - коэффициент прочности сварного шва.

Коэффициент прочности сварного шва φ назначается в зависимости от типа сварки. Выбираем автоматическую дуговую сварку и принимаем φ=1.

Исполнительная толщина стенки обечайки определяется по формуле:

 (7.2)

где С1 - прибавка при компенсации допусков на толщину листа, принимаем С1=1 мм;

С2 - прибавка на коррозию.

С2 = υк . τ,

где υк - скорость коррозии мм/год, υк=0,2 мм/год;

t- время эксплуатации теплообменника, лет; t = 15 лет;

С2 = 0,2 . 15 =3,0 мм;

С3 - прибавка, назначаемая конструктивно, принимаем С3=2,16 мм.

С=1+3,0+2,16= 6,16 мм; (7.3)

Р1=0,6 МПа;

Dвн=0,400 м.

, (7.4)

Где η - поправочный коэффициент, учитывающий характер эксплуатации аппарата, принимаем равным η=1.

σ\* - нормативное допускаемое напряжение.

Для материала обечайки сталь 20 при t1ср=67,5˚С по ГОСТ 1050-74 табл. 1.3 [6] нормативное допускаемое напряжение равно σ\*=144МПа



 м.

С учетом всех прибавок окончательно толщину стенки обечайки принимаем



8. РАСЧЁТ И ПОДБОР ДНИЩ И КРЫШЕК ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА

Наиболее распространенной формой днищ в сварных аппаратах являются эллиптические днища. Они могут иметь отбортованную часть или она может отсутствовать. Наиболее распространенной формой днищ является эллиптическая с отбортовкой на цилиндр. Днище, снабженное фланцем, является крышкой. Все размеры эллиптических днищ регламентированы ГОСТ 6533-78\*. Эскиз эллиптического днища показан на рисунке 8.1. Схема расположения патрубков в эллиптической крышке приведена на рисунке 8.2.

Рисунок 8.1 - Эллиптическое днище.



Рисунок 8.2 - Схема расположения патрубка в эллиптической крышке

Расчет и подбор левого и правого эллиптического днища.

Левое и правое днище аппарата в целях унификации принимаем одинаковыми. Расчетная толщина стенки эллиптического отбортованного днища, нагруженного внутренним давлением, определяется по формуле:

, (8.1)

Где Р2 =0,27 - внутреннее давление на днище, МПа;

R - радиус кривизны днища, м;

[σ] - допускаемое напряжение для материала днища, выбираемое по его температуре, МПа;

φ - коэффициент прочности сварного шва.

Радиус кривизны для стандартного эллиптического днища принимается равным по внутреннему диаметру обечайки, т.е.

мм.

Коэффициент прочности сварного шва принимается равным φ=1, так как днище получено как единое целое.

,

Где η - поправочный коэффициент, учитывающий характер эксплуатации аппарата, принимаем равным η=1.

σ\* - нормативное допускаемое напряжение

Для материала днища сталь 20 при t2=27˚С по ГОСТ 14249-73 табл. 1.3 [6] нормативное допускаемое напряжение равно σ\*=146,56 МПа



Исполнительная толщина днища определяется по формуле

водоводяной подогревательный установка теплоснабжение

 (8.2)

Где С1 - прибавка при компенсации допусков на толщину листа, принимаем С1=1 мм.

С2 - прибавка на коррозию, принимаем С2 = 3,0 мм;

С3 - прибавка, назначаемая конструктивно, принимаем С3=2,06 мм;

С=1+3,0+2,06=6,06 мм (8.3)

С учетом прибавок толщину днища принимаем равной Sи=7 мм.

Условие прочности для стенки днища SиіSр.

Так как , то условие прочности для стенки днища выполняется.

Тогда по ГОСТ 6533-68\*, таблица 16.3[6], выбираем базовые размеры эллиптического отбортованного стального днища.

Высоту выпуклой части hв принимаем равной hв=99 мм. Площадь внутренней поверхности днища Fв=0,207 м2. Емкость днища V=0,0116 м3. Диаметр заготовки D=527 мм. Масса днища m=17,1 кг.

9. УКРЕПЛЕНИЕ ОТВЕРСТИЙ

Отверстия в стенках обечаек, днищ и крышек цилиндрических аппаратов, которые вырезаются для установки штуцеров, патрубков, контрольно-измерительных приборов и регулирования аппарата, ослабляют сечения и вызывают существенную концентрацию напряжений вблизи краев отверстий. Компенсации прочности можно достичь путем усиления оболочки в некоторой зоне, расположенной вблизи отверстия, или увеличением толщины стенки по всей ее поверхности. Первый вариант не требует больших затрат, поэтому предпочтительней. Наиболее широко применяется установка усиливающих колец. Материал кольца принимается тем же, что и усиливаемого элемента.

Нормы и методы расчета на прочность укрепления отверстий установлены ГОСТ 24755-81.

Наибольший диаметр dпред одиночного отверстия, не требующего дополнительного укрепления, определяется по формуле:

, (9.1)

Где S - исполнительная толщина укрепляемого элемента, мм;

DR - расчетный диаметр, мм;

SР - расчетная толщина укрепляемого элемента, мм.

С2 - прибавка на коррозию стенки штуцера, мм.

Проверка необходимости укрепления отверстий для патрубков греющего теплоносителя:

Для цилиндрической обечайки расчетный диаметр DR равен внутреннему диаметру Dвн обечайки:

S=7 мм;

С2=3,0 мм;

DR=Dвн=400 мм;

Sр=0,84 мм.



Проверка необходимости укреплений отверстий для патрубков нагреваемого теплоносителя:

Для эллиптических днищ расчетный диаметр определяется по формуле:

, (9.2)

где Dвн - внутренний диаметр обечайки, мм

Х - смещение оси патрубка от оси днища, мм

Х=0

DR=2Dвн

S=7 мм

DR=Dвн=400 мм

Sр=0,84мм



Если , то отверстие требует укрепления, но независимо от полученных расчетов, в случае если , то такие отверстия подлежат укреплению.

Таким образом, укрепляем все отверстия.

Расчетный коэффициент:

, (9.3)

где Рр - расчетное давление среды, МПа

[σ] - допускаемое напряжение для обечайки, МПа

Dвн - внутренний диаметр обечайки, мм

S - толщина стенки укрепляемого элемента, мм

С - прибавка к расчетной толщине, мм

Рр=0,27 МПа

Dвн=400 мм

[σ]=146,56 МПа

S=7 мм

С=5,4 мм



Ширина зоны укрепления отверстий Во, мм, определяется по формуле:

, (9.4)

где Dвн - внутренний диаметр обечайки, мм;

S - исполнительная толщина стенки обечайки, мм;

С - прибавка к расчетной толщине стенки обечайки, мм.

Для обечайки:



Для днищ:



Расстояние от края цилиндрической обечайки до оси отверстия для патрубка хо, м:

хоі0,5(Во+dвн), (9.5)

где dвн - внутренний диаметр патрубка, мм.

Для патрубков греющего теплоносителя:

хоі0,5Ч(32+200)=116 мм.

Для патрубков нагреваемого теплоносителя:

хоі0,5Ч(45+250)=147,5 мм.

Диаметр укрепляющего кольца Dк, м, определяется из расчета:

к=(1,8ё2,0)dо, (9.6)

Где dо - диаметр отверстия под патрубок, мм.

Для патрубков греющего теплоносителя:

Dк=2Ч 219=438 мм.

Для патрубков нагреваемого теплоносителя:

Dк=2Ч 273=546 мм.

Действительная толщина укрепляющего кольца Sк определяется по формуле:

, (9.7)

Где S - исполнительная толщина укрепляемого элемента, мм.

Для патрубков греющего теплоносителя:

 мм.

Для патрубков нагреваемого теплоносителя:

 мм.

. РАСЧЁТ ТОЛЩИНЫ ТРУБНОЙ РЕШЁТКИ

Трубная решетка предназначена для прочного и плотного крепления в ней труб с целью разграничения пространства с греющей и нагреваемой средой, то есть разграничение трубного и межтрубного пространства.

Толщина трубной решетки по методике ВНИИНефтемаш

Произведем расчет толщины трубной решетки по методике ВНИИНефтемаш (руководящий документ РД 26-14-88). Для расчета введем обозначения вспомогательных величин:

а - внутренний радиус обечайки, м,

,

где Dвн - внутренний диаметр обечайки

,

а1 - расстояние от оси обечайки до центра наиболее удаленной трубки, м по компоновке трубного пучка (рисунок 4.1) принимаем а1=0,230 мм.

mn - характеристика беструбной зоны,





i=245 - общее количество трубок в аппарате, штук.

dн=0,016 - наружный диаметр трубок, м.

dо= dн[1+(0,016..0,02)] - диаметр отверстий в трубной решетке под трубки, м

принимаем dо=0,0163 м.

d=0,001 - толщина стенки теплообменной трубки, м.

Коэффициенты влияния давления на трубную решетку hм, hт:

; (10.1)

 (10.2)





Коэффициент ослабления трубной решетки отверстиями jр:

, (10.3)

Где t=0,023 - шаг разбивки трубок в трубной решетке, м.



Коэффициент жесткости перфорированной плиты yо принимаем равным yо=0,37.

Модуль упругости Ку, МПа/м, системы труб вычисляется по формуле:

, (10.4)

Где Ет - модуль продольной упругости трубок, в качестве материала трубок выбираем Латунь Л63 ГОСТ 1020-77Е, по таблице IХ[5] принимаем Ет=1,069Ч10-5 МПа;

lт - половина длины труб, м

принимаем lт=1,30 м.



Приведенное отношение жесткости труб к жесткости обечайки r:

, (10.5)

где Ео - модуль продольной упругости обечайки, МПа,

по таблице VII[5] принимаем Ео=1,95Ч10-5 МПа;

Sо - толщина стенки обечайки, м.



Коэффициенты изменения жесткости системы «труба-обечайка» Кp и Kq:



Для аппаратов с неподвижными трубными решетками принимаем К=0;

K=0



Коэффициенты линейного расширения aо и aт, К-1, определяются по формулам:

, (10.6)

Где tо - расчетная температура стенки обечайки, ° С.

, (10.7)

Где tT - расчетная температура теплообменных трубок, ° С.

.

.

Приведенное давление Ро, МПа, определяется по формуле:

,(10.8)

где tc - температура сборки аппарата, принимаем tc=20 °С.

mср - вспомогательный коэффициент,

, (10.9)

Где Sт - толщина стенки трубы, м.

.



Расчетная толщина трубной решетки S, м, определяется по формуле:

, (10.10)

Где  - некоторый коэффициент,

,

Где ; (10.11)

; (10.12)

[s]А - допускаемое амплитудное напряжение, МПа,

принимаем [s]А=550 МПа.

.

.

Тогда по рисунку 8.11 [7] принимаем .

 м.

Исполнительная толщина трубной решетки S2, м:

2= S+C,

Где С - поправка к расчетной толщине, м

принимаем С=0,003 м.

S2=0, 122+0,003=0,125 м.

Проверка толщины трубной решетки

Толщина стальных трубных решеток должна удовлетворять условию:

.

.

Для изготовления трубной решетки выбираем по таблице 2.22 [6] сталь прокатную толстолистовую ГОСТ 5681-57. Толщина листа S=12 мм. Материал: Сталь20 ГОСТ1050-74\*.

Определение необходимой глубины вальцовки

Высота вальцовки труб в трубной решетке lВ, м, определяется по формуле:

,

где [q] - допускаемая нагрузка, приходящаяся на единицу условной поверхности развальцовки, МПа,

для развальцовки с отбортовкой назначаем [q]=50 МПа;

Nт - осевое усилие, действующее на трубку в месте развальцовки, МН,

, (10.13)

где Ро - приведенное давление, МПа;

f2р - некоторый коэффициент,

, (10.14)

где z - некоторый коэффициент,

, (10.15)

где So - исполнительная толщина стенки обечайки, м;

Вў - некоторый коэффициент,

. (10.16)

.

.

.



.

Необходимое условие для толщины трубной решетки Sі lВ выполняется:

,012 м і 0,0038 м.

Толщина решетки в месте уплотнения под кольцевую прокладку Sрп, м, должна удовлетворять условию:

, (10.17)

где Р - максимальное избыточное давление на трубную решетку, МПа;

[s] - допускаемое напряжение материала решетки на растяжение, МПа;

Dв - внутренний диаметр прокладки, м;

Dн - наружный диаметр прокладки, м;

Dсп - средний диаметр прокладки, м,

, (10.18)

.



Условие SіSрп выполняется:

,012 м і 0,005 м.

Эскиз сечения решетки в месте прокладочного уплотнения изображен на рис.10.1



Рис.10.1 - Сечение решетки в месте прокладочного уплотнения

. РАСЧЁТ ТЕПЛООБМЕННЫХ ТРУБОК

Проверка теплообменных трубок на прочность

Расчетные напряжения в осевом направлении s1т, МПа, в трубах составляют:

, (11.1)

Где ST - толщина стенки трубки, м.

.

Расчетные напряжения в окружном направлении s2т, МПа, в трубах составляют:

, (11.2)

.

Условие статической прочности труб:

, (11.3)

где [s]Т - допускаемое напряжение для материала трубки, МПа,

по таблице 1.5[5] принимаем [s]Т=107,8 МПа.

.

Таким образом, условие статической прочности труб выполняется.

. ПРОВЕРКА НАПРЯЖЕНИЙ В ОБЕЧАЙКЕ И ТРУБАХ АППАРАТА

На обечайку аппарата кроме избыточного внутреннего давления действуют еще и температурные усилия. При различных температурах нагрева труб и обечайки деформации в свободном состоянии оказались бы различными, однако жесткое соединение труб с обечайкой через трубные решетки не допускает свободных деформаций, что и обуславливает температурные усилия. Предположим, что трубные решетки не деформируются, а следовательно, температурные усилия равномерно распространяются на все трубы.

Осевые усилия от действия среды

Осевые усилия Qў, МН, возникающие под действием среды и стремящиеся раздвинуть трубные решетки и разорвать трубки, выражаются формулами:

; (12.1)

, (12.2)

Где QTў - осевое усилие, возникающее в трубах от давления среды и отрывающее их от трубной решетки, МН

; (12.3)

- площадь поперечного сечения всех трубок аппарата, м2

; (12.4)

О - площадь поперечного сечения обечайки аппарата, м2

; (12.5)

оў - осевое усилие, возникающее в обечайке от давления среды и отрывающее ее от трубной решетки, МН

; (12.6)



.

 .

.

.

Осевые напряжения, отражающие действия давления среды

Осевые напряжения в обечайке sоў, МПа, и трубах sтў, МПа, аппарата, отражающие действия давления среды в трубном и межтрубном пространстве выражаются формулами:

; (12.7)

; (12.8)

;

.

Температурные усилия от действия среды

Температурные усилия в трубах Qтўў, МН, и обечайке Qоўў, МН, определяются по формулам:

; (12.9)

; (12.10)

;

;

Температурные напряжения в трубах и обечайке

Температурные напряжения в трубах sтўў, МПа, и обечайке sоўў, МПа, составят:

; (12.12)

; (12.13)

;

;

Полные напряжения в трубах и обечайке

Условия прочности для жесткотрубного аппарата записываются в виде:

; (12.14)

; (12.15)

+3,8=67,8 МПа Ј 146,5 МПа;

+2=50 МПа Ј 66,6 МПа;

Условия прочности для проектируемого аппарата выполняются.

13. РАСЧЁТ ПРОКЛАДОЧНОЙ ОБТЮРАЦИИ

Обтюрация достигается сжатием с определенной силой, обеспечивающей герметичность уплотняемых поверхностей непосредственно друг с другом или посредством расположенных между ними прокладок из более мягкого материала.

Для герметичности соединения обечайки с жидкостными крышками используем прокладки типа 1. Тип обтюрации - I-А. Обтюрация типа I-А изображена на рисунке 13.1. Расчетная сила осевого сжатия для прокладок типа I определяется по формуле:

, (13.1)

Где Dсп - средний диаметр прокладки, м;

P - расчетное давление среды, воздействующей на фланцевое соединение, МПа,

K - коэффициент, зависящий от материала прокладки и ее конструкции, для паронита K=2,5;

bэкв - эффективная ширина уплотнения, м

, (13.2)

- ширина прокладки, м

; (13.3)

.

.

Рпў=3,14\*Ч0,413\*Ч0,00432\*Ч0,6\*Ч2,5=0,084 МН.

Рисунок 13 - Обтюрация типа I-А:

- прокладка; 2 - уплотняемые поверхности.

. РАСЧЁТ ФЛАНЦЕВОГО СОЕДИНЕНИЯ

В качестве фланца проектируемого аппарата по таблице 20.10[6] выбираем плоский приварной фланец. Материал фланца: Сталь 20. Базовые размеры выбранного фланца сведены в таблицу 14.1. Эскиз плоского приварного фланца для аппаратов с указанием базовых размеров представлен на рисунке 14.1.



Таблица 14.1 Базовые размеры плоского приварного фланца для аппарата

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Dвн, мм | D, мм | DБ, мм | D1, мм | dБ, мм | d, мм | z, штук | h, мм |
| 400 | 515 | 475 | 450 | М16 | 23 | 20 | 20 |

Цель расчета - определение расчетной толщины фланца и сравнение ее с толщиной, заданной по ГОСТ.



### Рисунок 14.1 Эскиз плоского приварного фланца для аппарата

Приведенная нагрузка на фланец Р1, МН, при затяжке соединения определяется по формуле:

, (14.1)

где k - некоторый коэффициент,

; (14.2)

.

Расчетное растягивающее усилие в болтах РўБ1, МН, при затяжке соединения определяется по формуле:

, (14.3)

где a - константа жесткости соединения, принимаем по таблице 20.28[6] для паронита a=1,45; РўС - расчетное усилие от давления среды, МН,

; (14.4)

;

;

.

Приведенная нагрузка на фланец Р2, МН, при рабочих условиях определяется по формуле:

; (14.5)

Расчетное растягивающее усилие в болтах РўБ2, МН, при рабочих условиях определяется по формуле:

; (14.6)

;

;

Вспомогательная величина при затяжке соединения Ф1 , м2, определяется по формуле:

, (14.7)

Где  - предел текучести материала фланца при температуре сборки, МПа, по таблице I[5] принимаем .

.

Вспомогательная величина при рабочих условиях Ф2 , м2, определяется по формуле:

, (14.8)

Где  - предел текучести материала фланца при рабочей температуре, МПа, по таблице I[5] принимаем ;

y1 - некоторый коэффициент,

по рисунку 21.8[6] принимаем y1=1,08.

.

Вспомогательная величина А, м2, определяется по формуле:

, (14.9)

Где S1 - толщина стенки обечайки в месте присоединения фланца, м;

y2 - некоторый коэффициент,

по рисунку 21.9[7] принимаем y2=13

.

Вспомогательная величина Ф, м2, определяется по формуле:

Ф=max{Ф1;Ф2}; (14.10)

Ф=max{0,0005;0,00049}=0,00049 м2;

При  расчетная высота плоского фланца hўў, м, определяется по формуле:

; (14.11)

;

Полная высота фланца hў, м, с учетом образующего выступа на прокладку составит:

м; (14.12)

ў=0,0011+0,003=0,0041 м;

Стандартная высота фланца h меньше расчетной высоты hў, следовательно конструктивно увеличиваем высоту, плоского приварного фланца для проектируемого аппарата до значения h=0,02 м.

. РАСЧЁТ ОПОР АППАРАТА

Установка аппаратов на фундаменты или на специальные несущие конструкции осуществляется в основном посредством опор. Непосредственно на фундаменты устанавливаются аппараты с плоским днищем. Опоры могут размещать или снизу аппарата или с боков и они жестко соединяются с аппаратом. Выбор типа опоры зависит от места установки теплообменного аппарата (в помещение или вне его), соотношения высоты к диаметру и массы аппарата.

Выбираем горизонтальную опору, так как аппарат располагается горизонтально. Чтобы избежать вмятин на стенках теплообменного аппарата и распределить усилие на большую часть площади обечайки под опорами располагаем подкладки, приваренные к обечайке.

Эскиз горизонтальной опоры приведен на рисунке 15.1.

Рисунок 15.1 Горизонтальная опора.

Максимальное усилие Gmax определяется по формуле:

; (15.1)

Для расчета составляющих, входящих в формулу используем известное соотношение для i-го элемента:

,(15.1)

Где Vi - объем i-го элемента, м3

ρi - плотность материала элемента, кг/м3

Для стали: ρст=7850 кг/м3

Для воды: ρв=1000 кг/м3

Для латуни: ρл=8430 кг/м3

Усилие от обечайки Go определяем по следующей формуле:

; (15.2)

где Dн - наружный диаметр обечайки, м

Dвн - внутренний диаметр обечайки, м

l - длина обечайки, м

g=9,81 м2/с

Dн=0,426 м

Dвн=0,40 м

l=2,60 м

;

Усилие от эллиптических днищ:

; (15.3)

Где mдн - масса днища, кг.

по таблице 16.3 [4] принимаем стандартную массу днища mдн=17,1 кг

;

Усилие, действующее на опоры со стороны трубных решеток:

; (15.4)

где Dн.р. - наружный диаметр трубной решетки, м

h - высота трубной решетки, м

dн - наружный диаметр трубки в аппарате, м

Dн.р.=0,379 м

h=0,007 м

dн=0,016 м



Усилие от фланцев на обечайке:

 (15.5)

Где hф - высота фланца, м

Dф - наружный диаметр фланца, м

Dв - внутренний диаметр фланца, м

hф=0,02 м

Dф=0,515 м

Dв=0,40 м

;

Усилие от фланцев на крышке:

 (15.6)

.

Усилия, действующие со стороны теплообменных трубок, находятся из соотношения:

 (15.7)

где i - количество трубок,

lт - полная длина трубки, м

ρл - плотность латуни, кг/м3

dн - наружный диаметр трубки, м

dвн - внутренний диаметр трубки, м

;

Усилие, действующее со стороны патрубков греющего теплоносителя:

 (15.8)

где lп.г. - вылет патрубков греющего теплоносителя, м

Dн - наружный диаметр патрубка, м

Dвн - внутренний диаметр патрубка, м

;

Усилие, действующее со стороны патрубков нагреваемого теплоносителя:

 (15.9)

где lп.г. - вылет патрубков нагреваемого теплоносителя, м

Dн - наружный диаметр патрубка, м

Dвн - внутренний диаметр патрубка, м

;

Усилие, действующее на опоры со стороны всего аппарата:

;

Усилие, действующее со стороны воды, заполняющей весь аппарат:

Объем обечайки находится по формуле:

; (15.10)

;

Емкость днищ определяется по формуле:

 (15.11)

Где h - высота цилиндрической части днища, м

V\* - емкость эллиптического днища, м3

h=0,096 м

V\* =0,0116 м3

;

Суммарный объем воды в аппарате:

; (15.12)

Вес воды, заполняющей аппарат:

; (15.13)

Определяем усилие, действующее на опору со стороны всего аппарата, заполненного водой:

; (15.14)

Количество опор составляет обычно от двух до четырех и нагрузка приходящаяся на одну опору равна:

, (15.15)

где n - количество опор

Принимаем количество опор в аппарате равным п=2.

;

В качестве материала лапы назначаем ВСт3

В зависимости от величины нагрузки G по табличным данным выбираем стандартную опорную лапу.

Ориентируясь на таблицу 29.11[6] принимаем Опора ОГ-530-15 по МН 5131-63

Таблица 15.1 Базовые размеры опоры аппарата

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Dн, мм | L, мм | l, мм | B, мм | B2, мм | H, мм | h, мм | A,мм | R, мм | G,Мн |
| 426 | 450 | 240 | 180 | 140 | 240 | 135 | 330 | 213 | 1100 |

Расчетная толщина ребра опоры вычисляется по формуле:

; (15.16)

Где k=f(λ) - коэффициент, зависящий от гибкости ребра опоры

z - количество ребер в опоре, шт

l - вылет опоры, м

[σ]из - допускаемое напряжение на изгиб для материала опоры, МПа

,24 - коэффициент на неучтенные факторы, влияющие на опору

, (15.17)

Где [σ] - допускаемое напряжение для материала опоры, МПа

[σ]=136,4МПа

;

Задаем число К=0,9 и определяем толщину ребра:

;

Радиус инерции ребра:

; (15.18)

Гибкость ребра находится из соотношения: , (15.19)

.

По значению l находим коэффициент К, который должен быть больше или равен ранее принятого значения k.

l=1,9 ; К=0,95 - условие выполняется, следовательно, подобранная опора удовлетворяет условию прочности.

. РАСЧЁТ ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ

Тепловая изоляция необходима для предотвращения потерь тепла в окружающую среду и обеспечения безопасных условий эксплуатации теплообменных аппаратов. Изоляции подлежат все аппараты, температура стенки которых больше 50° С, а также аппараты с температурой меньше 0°С.

В качестве материала теплоизоляции выбираем вату стеклянную, коэффициент теплопроводности которой вычисляется по формуле:

 (16.1)

где tср - средняя температура изоляции

 (16.2)

Где tиз - температура изоляции,

tст - температура наружной поверхности изолируемой стенки, °С

tиз=50°С

tст=67,5°С

;

.

Определяем число Нуссельта:

 (16.3)

где Gr - число Гросгофа,

Pr - число Прандтля.

 (16.4)

Где β - коэффициент объемного расширения воздуха, 1/К

dэ - эквивалентный диаметр аппарата

При горизонтальной компоновке

э=dиз ,

где dиз - наружный диаметр изоляции, м

∆tт - частный температурный напор, °С

ν - коэффициент кинематической вязкости воздуха, м/с2

Число Прандтля вычисляется по формуле:

; (16.5)

Для воздуха:

Коэффициент объемного расширения воздуха находится из соотношения:

, (16.6)

где tm - средняя температура температурного слоя, °С

°С;

;

;

Число Нуссельта также определяется по формуле:

, (16.7)

где αвоз - коэффициент теплоотдачи воздуха, Вт/м2 . К

λ - коэффициент теплопроводности воздуха, Вт/мК

Значения λ, а, ν находим из таблицы 9[7] температуре tm=35°C:

λ=2,23 . 10-2 Вт/м .°С

а=7,71 . 10-6 м2/с

ν=15,06 . 10-6 м2/с

;

Для расчета изоляции воспользуемся формулой:

; (16.8)

где dст - наружный диаметр изолируемой стенки, м

tт - температура наружной стенки обечайки, °С

;

Решая уравнение, получим следующее значение для соотношения:

;

Наружный диаметр изоляции находим из соотношения:

; (16.9)

Толщина слоя изоляции определяется:

. (16.10)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Ривкин С.Л., Александров А.А. Теплофизические свойства воды и водяного пара - М.: Энергия, 1980. - 424 с., ил.

И.В. Беляйкина, В.П. Витальев и др. Водяные тепловые сети: Справочное пособие по проектированию.- М.: Энергоатомиздат, 1988. - 376 с.

С.Е. Захаренко, Н.С. Захаренко, И.С. Никольский, М.А. Пищаков. Справочник строителя тепловых сетей. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 184 с., ил.; под общей редакцией С.Е. Захаренко. - 2-е изд., перераб.

Лащинский А.А. Конструирование сварных химических аппаратов: справочник. - Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1963, - 382 с., ил.

Михалев М.Ф., Третьяков Н.П., Мильченко А.И., Зобкин В.В.; под общ. ред. Михалева М.Ф. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств: примеры и задачи: Учеб. пособие для студентов ВТУЗов. - Л.: Машиностроение, Ленингр. Отделение, 1984. - 301 с., ил.

Лащинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. - Л.: Машиностроение, 1970, - 752 с.

Теплообменные аппараты холодильных установок/ Г.Н. Данилова, С.Н. Богданов, О.П. Иванов и др.; под общ. ред. д-ра техн. наук Г.Н. Даниловой. - 2-е изд., пераб. и доп. - Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1986. - 303 с.; ил.