Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение

Самарской области

«Самарский политехнический колледж»

**Методические указания по выполнению практических работ по дисциплине «Технологическое оборудование»**

Для специальности 15.02.01 Монтаж и техническая эксплуатация промышленного оборудования (по отраслям)

2015

Общие методические указания

Предмет «Технологическое оборудование» предусматривает изучение учащимися устройства, работу и методы эксплуатации аппаратов и оборудования основных отраслей химической промышленности, а также усвоения основ конструирования и расчета данного оборудования в соответствии с программой.

Номера вариантов и соответствующие им номера задач указаны по списку.

При выполнении практических работ необходимо соблюдать следующие правила:

-все практические работы выполняются в одной тетради;

-на обложке указывается фамилия, им, отчество, наименование предмета, номер варианта, номер практической, название практической;

-тексты условий задач переписываются полностью с указанием всех исходных данных.

**Перечень практических работ:**

1. Расчет толщины стенок обечаек и днищ.
2. Расчет укрепления вырезов в стенках аппарата.
3. Расчет фланцевого соединения.
4. Расчет опор аппарата.
5. Расчет кожухотрубчатого теплообменника.
6. Расчет резервуара объемом 5000 м3 на прочность.
7. Механический расчет вращающегося барабана.

.

 **Практическая работа №1.**

**Тема:** Расчёт толщины стенок обечаек и днищ.

Расчёт толщины обечаек и днищ, работающих под внутренним давлением.

 Исходные данные для расчёта:

 D – внутренний диаметр аппарата, м.

 Р – рабочее давление в аппарате, МПа.

 $φ-коэффицент прочности сварного шва.$

 C1- прибавка для компенсации коррозии и эрозии, м.

 t- рабочая температура в аппарате, $℃.$

Расчётная толщина стенки гладкой цилиндрической обечайки
$$S=\frac{P∙D}{2∙\left[σ\right]∙φ-P }+С ;$$

 Для эллиптического или полусферического днища

$$S=\frac{p∙D}{2∙σ∙φ-0.5p}+C ;$$

где R = D радиус кривизны в вершине днища для эллиптических днищ;

R = 0,5 D – для полусферических днищ.

$\left[σ\right]- $допускаемое напряжение для материала обечайки и днища при

расчётной температуре, выбирая по приложениям ГОСТ 14249-0/3,

с. 50-53; 4, с. 11-12 /

Толщина плоских, круглых днищ и крышек

$$S=K∙K\_{0}∙D\_{R}=\sqrt{\frac{p}{\begin{array}{c}\left[σ\right]∙φ\end{array}}}+C;$$

 где К – коэффициент конструкции /4, с.21/

$$К\_{0}=\sqrt{1+\frac{d}{D\_{R}}+\left(\frac{d}{D\_{R}}\right)^{2};} $$

 - $ коэффициент$ ослабления днища одиночным отверстием «d»,

DR– расчётный диметр днища.

Толщина стенки конической обечайки , днища:

$$S=\frac{P∙Dк}{2\left[σ\right]φ}-\frac{I}{p∙\cos(α)}+C;$$

где Dк – расчётный диметр гладкой конической обечайки, обычно принимают Dк = D,

 $α- $половина угла при вершине конуса.

Прибавка к толщине стенки:

С= C1 + C2 + C3

 C1 – прибавка для компенсации коррозии и эрозии, мм.

 С2 – прибавка для компенсации минусового допуска, мм.

 С3 - прибавка технологическая, мм.

**Пример № 1**.

Определить толщину стенки цилиндрической обечайки аппарата, нагруженного внутренним давлением, если

 D = 1,2 м

 Р = 0,6 МПа

 t = + 120 $℃$

 П = 0,1мм/год – скорость коррозии

 $τβ$ = 10 срок эксплуатации

 Материал – В СтЗ СП ГОСТ 380-71

 Шов стыковой с подваркой корня шва, выполняемый в ручную, 50%

контроль швов.

*Решение:*

 Допускаемое напряжение для ВСтЗ при t = 120 $℃$

 $\left[σ\right] = η ∙ σ^{a}=1·133=133 МПа$

 $η-$ 1 поправочный коэффициент для проката;

 $σ^{a}-$ нормативное допускаемое напряжение при расчётной температуре. $φ$=0,9Коэффициент прочности продольных сварных швов для заданных швов

С1 =υ $∙τ\_{β} =0,1 ∙10 =1мм –$ прибавка к расчетной толщине стенки на коррозию и эрозию.

 Расчетная толщина обечайки
$$ S=\frac{P∙D}{2φ\left[σ\right]-p}+C=\frac{0,6∙1,2}{2∙0,9∙133-0.6}+0,001=0,0042 м ;$$

 Принимаем S = 6 мм

Допускаем внутреннее избыточное давление
$$\left[p\right]=\frac{2\left[σ\right] φ\left(S-C\right)}{D+\left(S-C\right)}= \frac{2∙133∙0,9\left(0,006-0,001\right)}{1,2+\left(0,006-0,001\right)}=0,8 МПа$$

$$\left[p\right]>p;$$

$$0,8>0,6$$

Ответ: S=6 мм.

 **Пример №2.**

Определить толщину стенки эллиптического днища аппарата,

нагруженного внутренним давлением для условий примера № 1.

 *Решение:*

Расчетная толщина стенки днища
$$S=\frac{P∙R}{2φ\left[σ\right]-0,5p}+C=\frac{0,6∙1,2}{2∙1,0∙133-0,5∙0,6}+0,001=0,0037 м.$$

 $φ=1, т.к.днище изготавливается целой заготовки$

 R = D = 1,2 м – радиус кривизны в вершине днища для эллиптических днищ.

Принимаем SI = 6 мм, т.к. стандартное эллиптическое днище размер

D = 1,2 м имеет минимальный размер SI = 6 мм /2, с. 116/

Допускаемое внутреннее избыточное давление
$$\left[p\right]=\frac{2\left(S\_{1}-C\right)φ∙\left[σ\right]}{R+0,5\left(S\_{1}-C\right)}=\frac{2∙\left(0,006-0,001\right)1,0∙133}{1,2+0,5\left(0,006-0,001\right)}=1,1 МПа$$

$$\left[p\right]>p;$$

$$1,1>0,6$$

Ответ: S=6 мм.

**Пример №3.**

 Определить толщину стенки плоского круглого днища

аппарата, нагруженного внутренним давлением, если:

 Р = 0,05 МПа

 D = 1,0 м

 d = 1,0 м

 K = 0,53

 C1 = 0.002 м

 t = 100$℃$

 материал днища – 16 ГС

*Решение:*

Расчетная толщина стенки плоского круглого днища

$$S=K∙K\_{0}∙D\_{R}=\sqrt{\frac{p}{\left[σ\right]∙φ}}+C=0,53∙1,03∙1,0\sqrt{\frac{0,05}{160∙1} }+0,002=0,0117 м.$$

$$K\_{0}=\sqrt{1+\frac{d}{D\_{R}}+\left(\frac{d}{D\_{R}}\right)^{2}}=\sqrt{1+\frac{0,05}{1,0}+\frac{0,05}{\left(1,0\right)^{2}}}=1,03$$

– коэффициент ослабления

Днища центральным отверстием.

DR= D =1,0- расчетный диаметр днища, М

 $φ=1,0-$ принимаем днище из целой заготовки

 $\left[σ\right] =σ^{a}∙ η$ = 160$∙1=160 МПа $- допускаемое напряжение для стали 16

ГС при t =100$℃$.

Принимаем S= 12 мм.

Допускаемое давление на плоское днище

$$\left[p\right]=\frac{S-C}{\left(K∙Ko ∙ D\_{R}\right)}∙\left[σ\right]^{2}∙φ=\frac{0,0012-0,002}{\left(0,53∙1,03∙1,0\right)}∙160^{2}∙1,0=0,054МПа$$$$\left[p\right]>p;$$

$$0,054>0,05$$

Ответ: S=12 мм.

**Пример №4.**

Определить толщину стенки конического днища, нагруженного

внутренним давлением, если:

 Р = 0,8 МПа

 D = 1,2 м – внутренний диаметр аппарата

 Dо =0,1 м - внутренний диаметр нижнего штуцера

 2$α$= $90^{о}$

 t=$+180^{о}C$

 C1=2мм.

Материал днища – сталь 09Г2С ГОСТ 5520-79

Сварка вручную, с одной стороны, 100% контроль швов.

*Решение:*

Расчетная толщина стенки конического днища
$$s=\frac{P∙Д}{2φ\left[σ\right]-Р}∙\frac{1}{\cos(α)}+C;$$

 $\left[σ\right] = η ∙ σ^{a}=1∙150=150МПа- $допускаемое напряжение для стали

09Г2С при t=$+180^{о}C$

 $φ=0,9- $коэффициент прочности продольного сварного шва для ручной

Односторонней сварки при 100% контроле швов.
$$S=\frac{0,8∙1,2}{2∙0,9∙150-0,8}∙\frac{1}{cos45^{о}}+0,002=0,007м$$

Принимаем S = 8мм.

Допускаем внутреннее избыточное давление

$$\left[p\right]=\frac{2∙\left[σ\right]∙φ\left(S-C\right)}{\frac{D}{\cos(α)}+\left(S-C\right)}=\frac{2∙150∙0,9\left(0,008-0,002\right)}{\frac{1,2}{cos45°}+\left(0,008-0,002\right)}=0,95МПа$$

$$\left[p\right]>p;$$

$$0,95>0,8$$

Ответ: S=8 мм.

***Задание 1, 2***

Определить толщину стенки цилиндрической обечайки и эллиптического днища аппарата, нагруженного внутренним давлением, если

D - внутренний диаметр аппарата, м;

р – рабочее давление в аппарате, МПа;

ν- скорость коррозии, мм/год;

τβ- срок эксплуатации, год;

*t* – температура в аппарате*,* °С.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер задачи | D | Р | t | ν | τβ | Марка стали | Характеристика сварных швов |
| 1 | 1,0 | 1,6 | 100 | 0,05 | 15 | Ст3 | автоматическая, 2х ст, контроль до 50% |
| 2 | 1,2 | 1,4 | 180 | 0,1 | 12 | 16ГС | автоматическая, 2х ст, контроль до 50% |
| 3 | 1,4 | 2,5 | 160 | 0,1 | 10 | 20 | автоматическая, 2х ст, контроль до 50% |
| 4 | 1,6 | 2,0 | 160 | 0,2 | 10 | 16ГС | полуавтоматическая, 2х ст, контроль до 100% |
| 5 | 1,8 | 1,8 | 150 | 0,2 | 10 | 09Г2С | ручная, с подваркой корня, контроль 100% |
| 6 | 2,0 | 1,0 | 190 | 0,05 | 15 | 08Х18Н10Т | ручная, с подваркой корня, контроль 100% |
| 7 | 2,2 | 0,9 | 120 | 0,08 | 10 | 12Х18Н10Т | ручная, с подваркой корня, контроль 100% |
| 8 | 2,4 | 2,5 | 200 | 0,1 | 10 | 19Г2С | ручная, односторонняя, контроль до 50% |
| 9 | 2,6 | 3,2 | 120 | 0,1 | 15 | 20К | ручная, односторонняя, контроль до 50% |
| 10 | 2,8 | 6,2 | 80 | 0,09 | 10 | 08Х22НТ | ручная, односторонняя, контроль до 50% |

***Задание 3***

Определить толщину стенки плоского круглого днища аппарата, нагруженного внутренним давлением, если

D - внутренний диаметр аппарата, м;

р – рабочее давление в аппарате, МПа;

d- диаметр центрального отверстия, м;

К- коэффициент учитывающий конструкцию днища;

*t* – рабочая температура в аппарате*,* °С;

С1- прибавка на коррозию и эрозию, мм.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер задачи | D | р | d | t | C1 | K | Марка стали |
| 1 | 1,4 | 0,2 | 0,1 | 150 | 2 | 0,53 | 20 |
| 2 | 1,2 | 0,03 | 0,15 | 150 | 2 | 0,5 | 16ГС |
| 3 | 1,0 | 0,04 | 0,08 | 200 | 2 | 0,41 | 09Г2С |
| 4 | 0,8 | 0,05 | 0,05 | 200 | 1 | 0,45 | 17ГС |
| 5 | 0,6 | 0,06 | 0,05 | 150 | 1 | 0,53 | Ст3 |
| 6 | 0,5 | 0,07 | 0,05 | 150 | 1 | 0,5 | 10Г2 |
| 7 | 0,4 | 0,08 | 0,04 | 250 | 2 | 0,41 | 12Х18Н10Т |
| 8 | 0,309 | 0,019 | 0,04 | 100 | 2 | 0,45 | 08Х17Н13 |
| 9 | 0,359 | 0,1 | 0,05 | 100 | 2 | 0,41 | 08Х18Н10Т |
| 10 | 0,406 | 0,015 | 0,05 | 180 | 1 | 0,5 | 16ГС |

***Задание 4***

Определить толщину стенки конического днища аппарата, нагруженного внутренним давлением, если

D - внутренний диаметр аппарата, м;

р – рабочее давление в аппарате, МПа;

D0 - внутренний диаметр нижнего штуцера, м;

2α- угол при вершине конуса, °;

С1- прибавка на коррозию и эрозию, мм;

*t* – рабочая температура в аппарате*,* °С.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер задачи | D | D0 | Р | t | C1 | 2α | Марка стали | Характеристика сварных швов |
| 1 | 1,0 | 0,1 | 0,2 | 120 | 1,0 | 90 | Ст3 | автоматическая, 2х ст, контроль до 50% |
| 2 | 1,2 | 0,15 | 0,4 | 100 | 1,0 | 120 | 16ГС | автоматическая, 2х ст, контроль до 50% |
| 3 | 1,4 | 0,2 | 0,6 | 80 | 2,0 | 90 | 20 | автоматическая, 2х ст, контроль до 50% |
| 4 | 1,6 | 0,4 | 0,8 | 150 | 2,0 | 90 | 16ГС | полуавтоматическая, 2х ст, контроль до 100% |
| 5 | 1,8 | 0,5 | 1,2 | 200 | 1,5 | 90 | 09Г2С | ручная, с подваркой корня, контроль 100% |
| 6 | 2,0 | 0,4 | 1,0 | 200 | 1,2 | 120 | 08Х18Н10Т | ручная, с подваркой корня, контроль 100% |
| 7 | 2,2 | 0,6 | 0,4 | 150 | 1,0 | 120 | 12Х18Н10Т | ручная, с подваркой корня, контроль 100% |
| 8 | 2,4 | 0,4 | 0,2 | 120 | 1,0 | 120 | 19Г2С | ручная, односторонняя, контроль до 50% |
| 9 | 0,8 | 0,1 | 0,8 | 140 | 2,0 | 90 | 20К | ручная, односторонняя, контроль до 50% |
| 10 | 0,6 | 0,05 | 1,2 | 120 | 2,0 | 90 | 08Х22НТ | ручная, односторонняя, контроль до 50% |

**Практическая работа №2.**

**Тема:**  Укрепление отверстий в стенках аппарата.

 Обечайки, переходы, днища аппарата, находящихся под внутренним или внешним давлением могут быть ослаблены отверстия: это сникает прочность соответствующих элементов и вызывает необходимость укрепления отверстий. Основные способы укрепления отверстий: варивание штуцера с утолщенной стенкой, приварка накладного кольца, отбо товка отверстия.

 Расчет на прочность укрепления отверстий в обечайках, переходах и днищах следует выполнять в соответствие ГОСТ 24755 - 8

“Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность укрепления отверстий”.

 Не подлежат дополнительному укреплению одиночные отверстия при

Увеличенной толщине стенки сосуда, если соблюдаются условия:

$$d\_{r}\leq d\_{o}; d\_{0}=2\left[\frac{S-c}{S\_{r}}-0,8\right]\sqrt{D\_{R}(S-c)}$$

здесь dR= d+2C – расчетный диаметр отверстия;

 $D\_{R}-$расчетный диаметр укрепляемого элемента

 $D\_{R}=D$ – для цилиндрических обечаек;

 $D=\frac{Dk}{\cos(α)}- $для конических обечаек, где Dк – внутренний диаметр конической обечайки по центру закрепляемого отверстия.

 DR= $ $ $2∙R-$для сферических днищ

 DR= 0,5 Д эллиптических днищ

 SR – расчетная толщина стенки укрепляемого элемента определяется по

 ГОСТ 14249-80.

 Основной принцип укрепления отверстий заключается в том, что суммарная расчетная площадь сечения элементов в зоне укрепления должна быть не меньше расчетной площади вырезанного сечения.

*Пример:* определить наибольший допустимый диаметр выреза “do” В тонкостенном аппарате, не требующий дополнительного укрепления, если

 Д = 1.2

 S = 8мм

 SR = 5.1 мм

 C1 = 1мм

 Место врезки – цилиндрическая обечайка.

*Решение:*

 Наибольший допустимый диаметр выреза, не требующий дополнительного укрепления.

$$d\_{0}=2\left[\frac{S-c}{S\_{r}}-0,8\right]\sqrt{D\_{R}\left(S-c\right)}=2\left[\frac{0,008-0,001}{0,0051}-0,8\right]\sqrt{1,2\left(0,008-0,001\right)}=0,105м$$

DR = D = 1,2 для цилиндрической обечайки.

Ответ: d0=0,105 м.

***Задание***

 Определить наибольший допускаемый диаметр выреза “do “ тонкостенном аппарате, не требующий дополнительного укрепления по данным таблицы, где;

Д - внутренний диаметр аппарата (для конического перехода - диаметр по центру врезаемого отверстия), м.

S – Исполнительная толщина стенки обечайки (перехода, днища), мм.

SR – расчетная толщина стенки обечайки (перехода, днища), мм.

C1 – прибавка для компенсации коррозии и эрозии, мм.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер задачи | D | S | SR | C1 | Место врезки |
| 1 | 1,0 | 8 | 5,3 | 1,0 | Эллиптическое днище |
| 2 | 1,2 | 10 | 5,7 | 1,0 | Коническое днище$ α=45^{0}$ |
| 3 | 1,4 | 8 | 4,3 | 1,0 | Цилиндрическая обечайка |
| 4 | 1,6 | 10 | 7,1 | 0,05 | Эллиптическое днище |
| 5 | 1,8 | 8 | 4,2 | 0,05 | Коническое днище$ α=45^{0}$ |
| 6 | 2,0 | 10 | 4,9 | 0,05 | Цилиндрическая обечайка |
| 7 | 2,2 | 12 | 7,7 | 1,0 | Цилиндрическая обечайка |
| 8 | 2,4 | 12 | 7,5 | 2,0 | Эллиптическое днище |
| 9 | 2,6 | 16 | 12,1 | 2,0 | Эллиптическое днище |
| 10 | 2,8 | 18 | 10,3 | 1,0 | Коническое днище$ α=45^{0}$ |

**Практическая работа №3.**

**Тема:** Расчет фланцевого соединения.

План:

1. Определение нагрузки на болты (шпильки).
2. Расчет болтов фланцевого соединения.
3. Приближенный метод расчета фланцевого соединения.
4. Нагрузку на болты и шпильки от внутреннего давления при расчетах определяют по формуле:

$$Q\_{б}=Q\_{д}+R\_{п}=p\frac{πD\_{п}^{2}}{4}+mpπD\_{п}2b$$

где p-внутреннее давление равно ру (рраб);

Dп- диаметр средней прокладке;

m- коэффициент удельного давления на прокладку

b- ширина прокладки

Qд- нагрузка, воспринимаемая болтами от внутреннего давления;

Rп- нагрузка на прокладку, для герметичности .

1. Расчет болтов на прочность .

 Число болтов фланцевого соединения (шпилек) определяется по формуле:

$$n=\frac{Q\_{б}}{q\_{б}};n=\frac{Q\_{б\_{1}}}{q\_{б}}$$

 где qб – дополнительная нагрузка на 1 болт;

$$q\_{б}=\frac{π}{4}d\_{0}^{2}\left[σ\right]$$

Диаметр болтов (шпилек) принимают не менее 16 мм.

Число болтов и их диаметр округляют в большую сторону, учитывая, что число болтов должно быть кратно четырем (n=12, 16, 20 и т.д.)

Максимальная нагрузка , которую могут воспринимать болты равна:

$$Q\_{мб}=nq\_{б}$$

Условная расчетная нагрузка:

$$Q\_{бф}=\frac{Q\_{б}+Q\_{бм}}{2}$$

1. Схема к расчету фланца цельного типа:





 Сечение АВ:

1. Изгибающий момент в сечении по линии АВ:

$$M\_{AB}=Q\_{бф}∙l$$

где
$$l=\frac{(D\_{б}-D\_{S})}{2}- плечо силы Q\_{бф}$$

1. Момент сопротивления изгибу площади опасного сечения:

$$W\_{AB}=\frac{πD\_{s}h^{2}}{6}$$

1. Напряжение в сечении по линии АВ:

$$σ\_{AB}=\frac{M\_{AB}}{W\_{AB}}=\frac{6Q\_{бф}l}{πD\_{S}h^{2}}$$

Сечение ВС:

1. Изгибающий момент в сечении по линии ВС:

$$M\_{BС}=0,4Q\_{бф}∙l\_{1}$$

Где 0,4- коэффициент, учитывающий жесткость фланца

$$l\_{1}=\frac{D\_{б}-(D\_{S}-S\_{1})}{2}- плечо силы Q\_{бф}$$

1. Момент сопротивления изгибу площади опасного сечения:

$$W\_{BС}=\frac{πD\_{с }(S\_{1}-C)^{2}}{6}$$

Где С- прибавка на коррозию.

1. Напряжение в сечении по линии АВ:

$$σ\_{BС}=\frac{M\_{BС}}{W\_{BС}}\leq \left[σ\right]$$

***Задание:***

Рассчитать цельный фланец:

p-внутреннее давление равно ру (рраб);

Dп- диаметр средней прокладке;

m- коэффициент удельного давления на прокладку

b- ширина прокладки

Qд- нагрузка, воспринимаемая болтами от внутреннего давления;

Rп- нагрузка на прокладку, для герметичности

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер задачи | py | Dy | DП | h | n | Dб | DS | DH | b | m |
| 1 | 1,6 | 500 | 545 | 44 | 20 | 650 | 570 | 535 | 12 | 2,75 |
| 2 | 1,8 | 550 | 595 | 44 | 20 | 700 | 620 | 585 | 12 | 2,75 |
| 3 | 1,7 | 600 | 645 | 44 | 20 | 750 | 670 | 635 | 12 | 2,75 |
| 4 | 1,5 | 500 | 545 | 44 | 20 | 650 | 570 | 535 | 12 | 2,75 |
| 5 | 1,6 | 450 | 495 | 44 | 20 | 600 | 420 | 485 | 12 | 2,75 |
| 6 | 1,9 | 500 | 545 | 44 | 20 | 650 | 570 | 535 | 12 | 2,75 |
| 7 | 1,7 | 550 | 595 | 44 | 20 | 700 | 620 | 585 | 12 | 2,75 |
| 8 | 1,8 | 600 | 645 | 44 | 20 | 750 | 670 | 635 | 12 | 2,75 |
| 9 | 1,9 | 450 | 495 | 44 | 20 | 600 | 520 | 585 | 12 | 2,75 |
| 10 | 1,6 | 500 | 545 | 44 | 20 | 650 | 570 | 535 | 12 | 2,75 |

**Практическая работа №4.**

**Тема:** Расчет опор аппарата

Установка аппаратов на фундамента или специальные несущие конструкции осуществляется с помощью опор.

Вертикальные аппараты устанавливают на подвесных лапах или на стойках, если аппарат размещается в помещение внизу. Колонные аппараты с отношением $\frac{Н}{Д}>$ 5 обычно имеет юбочную. ( цилиндрическую или коническую) опору. Горизонтальные аппараты устанавливают на седловых опорах. Все перечисленные опоры для стальных аппаратов стандартизованы. ( ГОСТ 26-665-79 , ГОСТ 26-467-78 , ГОСТ 26-I265-75 ). Опоры выбирают по данным стандартам и рассчитывают обечайку цилиндрического аппарата, на которую действует местные нагрузки, обусловленные воздействием опор.

*Пример.*

Для вертикального аппарата выбрать по ГОСТ 26-665-79

опоры (лапы) и выполнить проверочный расчет, если

$$G=0.04 МН-сила тяжести аппарата$$

V= 20 $м^{3}$ - геометрическая ёмкость

$n=4-колличество лап$

S= 8мм – толщина стенки аппарата

P = 0,3 МПа –давление аппарата

Д= 2,4 м – диаметр аппарата

 Материал опоры и аппарата – ВСт 3 СП ГОСТ 380-71

*Решение:*

Сила тяжести аппарата при гидроиспытании

G max = G + GВ = 0,04 + 0,2 = 0,24 МН

Где G1 – сила тяжести аппарата, МН

 Gв- сила тяжести воды при гидроиспытании, МН

Gв = 200000 Н =0.2 МН – для аппарата с V=20 $м^{3 ; }$

Выбор опоры.

Нагрузка на одну опору (лапу)

$$Q=\frac{G \_{max }}{n}= \frac{0,24}{4}=0,06=60 кН$$

***Задание:***

Для вертикального аппарата выбрать по ГОСТ 2-665-79 опоры ( лапы ) и выполнить проверочный расчет. Данные для выбора опоры взять из таблицы, где

 G – сила тяжести аппарата, МН

 V - геометрическая ёмкость аппарата, $м^{3}$

 n- количество лап;

 S– толщина стенки аппарата, мм

 P – внутренние в давление аппарате МПа

 Д – внутренний диаметр аппарата м

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер задачи | G | V | n | S | P | Д | Марка стали опоры и аппарата |
| 1 | 0.016 | 65.3 | 4 | 10 | 0.2  | 1.8 | Вст3Сп : 20  |
| 2 | 0.033 | 10 | 4 | 14 | 0.6 | 2.0 | Вст3Сп : 16ГС |
| 3 | 0.0025 | 0.16 | 2 | 6 | 0.4 | 0.6 | Вст3Сп: Вст3Сп |
| 4 | 0.12 | 1.0 | 2 | 8 | 0.6 | 1.0 | Вст3Кп : 09Г2С |
| 5 | 0.18 | 1.6 | 2 | 8 | 0.6 | 1.2 | 16ГС : 16ГС |
| 6 | 0.022 | 2.5 | 3 | 10 | 0.8 | 1.4 | 09Г2С : 09Г2С |
| 7 | 0.032 | 4.0 | 3 | 12 | 1.0 | 1.6 | Вст3пс : Вст3Сп |
| 8 | 0.328 | 5.0 | 4 | 12 | 0.6 | 3.2 | Вст3Сп : 12x18Н10Т |
| 9 | 0.14 | 25 | 4 | 12 | 0.3 | 2.8 | Вст3Сп :08 x18Н10Т |
| 10 | 0.04 | 20 | 4 | 10 | 0.2 | 2.6 | Вст3кп : Вст3Сп |

**Практическое занятие №5.**

**Тема:** Расчет кожухотрубчатого теплообменника на прочность

Для расчета необходимы следующие данные:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Диаметр | распределительная камера, мм | 456 |
| корпус, мм | 460 |
| эллиптическое днище, мм | 460 |
| Материал | распределительная камера | Ст3 |
| корпус | 09Г2С |
| эллиптическое днище | 16ГС |
| Давление | трубное, МПа | Рт=0,4 |
| межтрубное, МПа | Рм=0,8 |
| Температура | трубное, °С | 100 |
| межтрубное, °С | 100 |
| Коэффициент сварного шва, φ | 0,9 |
| Прибавка на коррозию, мм | С1=2 |
| Прокладка | внутренний диаметр, мм | 478 |
| внешний диаметр, мм | 507 |
| Трубный пучок | шаг труб, см | 3,2 |
| диаметр труб, см | 2,55 |

*Решение:*

1. Расчет толщины стенки корпуса цилиндрической обечайки (межтрубное пространство)

[σ]=160МПа

С=С1=2мм=0,002м

D=460мм=0,46м





принимаем S=4мм

[p]≥p





1,2>0,8

Ответ: S=4мм

2. Расчет толщины стенки распределительной камеры (трубное пространство)

[σ]=134МПа

φ=0,9





принимаем S=3мм

[p]≥p





0,5>0,4

Ответ: S=3мм

3. Расчет толщины стенки эллиптического днища (трубное пространство)

[σ]=160МПа

φ=1

R=D=0,46м





принимаем S=3мм

[p]≥p





0,69>0,4

Ответ: S=3мм

4. Расчет толщины трубной решетки (трубное пространство)





tp=3,2см

d0=2,55см

материал – 09Г2С

[σ]=160МПа





 



Ответ: S=40мм

5. Расчет надежности закрепления труб в трубной решетке (трубное пространство)

σmax≤0,04*МПа*



*f=*0,0322 – 0,85·0,02552=0,0004713м2



σ<σmax

Ответ: σ=0,002*МПа*

Расчет гидроиспытаний

материал – 09Г2С

 

Ответ: РГ.И=1,14*МПа*

***Задание:***

Рассчитать кожухотрубчатый теплообменник на прочность:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер задачи | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Диаметр | распределительная камера, мм | 456 | 456 | 456 | 456 | 456 | 456 | 456 | 456 | 456 | 456 |
| корпус, мм | 460 | 460 | 460 | 460 | 460 | 460 | 460 | 460 | 460 | 460 |
| эллиптическое днище, мм | 460 | 460 | 460 | 460 | 460 | 460 | 460 | 460 | 460 | 460 |
| Материал | распределительная камера | 16ГС | 09Г2С | 16ГС | Ст3 | 20 | 15Х5М | Ст3 | 16ГС | 09Г2С | 16ГС |
| корпус | Ст3 | Ст3 | 09Г2С | 09Г2С | Ст3 | 20 | 09Г2С | Ст3 | Ст3 | Ст3 |
| эллиптическое днище | 09Г2С | 16ГС | 09Г2С | 16ГС | 20 | 15Х5М | 16ГС | 09Г2С | 16ГС | 16Гс |
| Давление | трубное, МПа | 1,2 | 1,6 | 1,6 | 0,4 | 1,6 | 1,4 | 1,2 | 1,4 | 1,6 | 1,8 |
| межтрубное, МПа | 1,2 | 1,6 | 1,2 | 0,8 | 1,6 | 1,4 | 1,2 | 1,4 | 1,6 | 1,8 |
| Температура | трубное, °С | 100 | 100 | 100 | 100 | 120 | 200 | 110 | 140 | 160 | 180 |
| межтрубное, °С | 150 | 170 | 100 | 100 | 160 | 250 | 160 | 140 | 160 | 180 |
| Коэффициент сварного шва | 1 | 1 | 0,9 | 0,9 | 1 | 0,9 | 1 | 0,9 | 1 | 0,9 |
| Прибавка на коррозию, мм | 2 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| Прокладка | внутренний диаметр, мм | 478 | 478 | 478 | 478 | 478 | 478 | 478 | 478 | 478 | 478 |
| внешний диаметр, мм | 507 | 507 | 507 | 507 | 507 | 507 | 507 | 507 | 507 | 507 |
| Трубный пучок | шаг труб, см | 3,2 | 3,2 | 3,2 | 3,2 | 3,2 | 3,2 | 3,2 | 3,2 | 3,2 | 3,2 |
| диаметр труб, см | 2,55 | 2,55 | 2,55 | 2,55 | 2,55 | 2,55 | 2,55 | 2,55 | 2,55 | 2,55 |

**Практическое занятие №6.**

**Тема:**Расчет резервуара объемом 5000 м3 на прочность***.***

План:

1. Данные для расчета.
2. Рисунок.
3. Сбор нагрузок

 3.1 Масса резервуара

 3.2 Нагрузка от массы продукта

 3.3 Нагрузка от внутреннего избыточного давления

 3.4 Нагрузка от вакуума

 3.5 Снеговая нагрузка

 3.6 Ветровая нагрузка

3.7 Нагрузка от массы оборудования.

Расчет резервуара

1 Данные:

 Условный объем резервуара = 1000 м3

 Плотность продукта = 1000 кг/м3

 Снеговая нагрузка = 150 кгс/м2

 Ветровая нагрузка = 45 кгс/м2

 Внутреннее давление = 200 мм вод ст

 Вакуум = 25 мм вод ст

 Плотность стали = 7850 кгс/м3

 Прибавка на коррозию =1 мм

2 Рисунок:



**3. Сбор нагрузок**

**3.1. Нагрузка от массы резервуара**

**3.1.1. Нагрузка от массы крыши:**

$$G\_{ кр}=6340 кгс$$

Равномерно распределенная нормативная нагрузка от массы крыши:

$$q\_{H}=\frac{G\_{кр}}{F\_{кр}}=\frac{6340}{119,53}=53,04 \frac{кгс}{м^{2}}$$

$$F\_{кр}=πr^{2}=3,14(6,17)^{2}=119,53 м^{2}$$

Равномерно распределенная расчетная нагрузка от массы крыши:

$$q\_{кр}^{p}=1,05∙q\_{кр}^{Н}=1,05∙53,04=54,09\frac{кгс}{м^{2}}$$

**3.1.2. Нагрузка от массы стенки**

Масса станки:

$$G\_{ст}=D∙π∙\left(2S\_{1}+4S\_{2}\right)∙ρ=12,33∙3,14∙\left(2∙0,005+4∙0,004\right)∙7850=16196 кгс$$

Нормативная нагрузка о массы одного пояса толщиной 4 мм:

$$G\_{п4}^{Н}=12,33∙1,5∙0,004∙3,14∙7850=1823 кгс$$

Расчетная нагрузка от массы одного пояса толщиной 4 мм:

$$G\_{п4}^{р}=1,05∙G\_{п4}^{Н}=1,05∙1823=1914,15 кгс$$

Нормативная нагрузка о массы одного пояса толщиной 5 мм:

$$G\_{п4}^{Н}=12,33∙1,5∙0,005∙3,14∙7850=2279 кгс$$

Расчетная нагрузка от массы одного пояса толщиной 5 мм:

$$G\_{п5}^{р}=1,05∙G\_{п5}^{Н}=1,05∙2279=2393кгс$$

**3.1.3 Нагрузка от массы днища**

Масса днища:

$$G\_{ дн}=\frac{3,14∙12,33^{2}}{4}∙0,004∙7850=3747кгс$$

Равномерно распределенная нормативная нагрузка от массы днища:

$$q\_{дн}^{Н}\_{}=0,004∙3747=14,98 \frac{кгс}{м^{2}}$$

Равномерно распределенная расчетная нагрузка от массы днища:

$$q\_{дн}^{p}=1,05∙q\_{дн}^{Н}=1,05∙14,98=15,73\frac{кгс}{м^{2}}$$

**3.2. Нагрузка от массы продукта**

Полный объем резервуара 949 м2≈950 м2.

Равный объем равен около 95 % от условной емкости резервуара.

Полная масса хранимого продукта:

$$G\_{пр}=950∙1000=950000 кг$$

Равномерно распределенная нагрузка от масс продукта:

$$q\_{пр}=\frac{950000}{\frac{3,14∙(12,33)^{2}}{4}}=\frac{950000}{119,34}=7983 \frac{кгс}{м^{2}}$$

**3.3. Нагрузка от внутреннего избыточного давления:**

Нормативное давление:

$$Р^{Н}=0,02 \frac{кгс}{см^{2}}$$

Расчетное давление

$$Р^{Р}=0,02∙1,2=0,024\frac{кгс}{см^{2}}$$

**3.4 Нагрузка от вакуума**

Нормативная нагрузка:

$$Р\_{вак}^{Н}=0,0025\frac{кгс}{см^{2}}$$

Расчетная нагрузка

$$Р\_{вак}^{р}=0,0025∙1,2=0,003\frac{кгс}{см^{2}}$$

**3.5. Ветровая нагрузка**

Расчетное значение ветровой нагрузки для расчета устойчивости стенки резервуара:

$$Р\_{в}=45∙1,05∙0,5=23,63\frac{кгс}{см^{2}}$$

**3.6. Нагрузка от массы оборудования:**

Нормативная нагрузка от массы оборудования:

$$G\_{о}^{Н}=1500кгс$$

Расчетная нагрузка от массы оборудования:

$$G\_{о}^{Н}=1,05∙1500≈1575 кгс$$

**3.7. Снеговая нагрузка:**

Полная расчетная нагрузка:

$$S=S\_{О}∙μ∙γ\_{f}$$

$$μ=0,076$$

$$S\_{О}=150$$

$$γ\_{f}=1,6$$

$$S=169,44$$

***Задание***

Рассчитать резервуар на прочность

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер задачи | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Условный объем резервуара, м3 | 1000 | 2000 | 3000 | 5000 | 1000 | 2000 | 3000 | 5000 | 2000 | 5000 |
| Плотность продукта, кг/м3 | 901 | 1000 | 1148 | 1000 | 901 | 1000 | 1148 | 1000 | 901 | 1000 |
| Снеговая нагрузка, кгс/м2 | 125 | 155 | 140 | 130 | 135 | 145 | 150 | 130 | 140 | 150 |
| Ветровая нагрузка , кгс/м2 | 55 | 50 | 45 | 40 | 45 | 50 | 55 | 50 | 45 | 40 |
| Внутреннее давление, мм вод ст | 220 | 250 | 200 | 220 | 250 | 200 | 220 | 250 | 200 | 220 |
| Вакуум, мм вод ст | 30 | 35 | 30 | 35 | 30 | 35 | 30 | 35 | 30 | 35 |
| Плотность стали 7850, кгс/м3 | 7850 | 7850 | 7850 | 7850 | 7850 | 7850 | 7850 | 7850 | 7850 | 7850 |
| Прибавка на коррозию, мм | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

**Практическое занятие №7**

**Тема:** Механический расчет вращающихся барабанов

Толщину стенки барабана выбирают из

 соотношения Sб=(0,007-0,001)DH, где DH- наружный диаметр барабана

Затем проверяют на прочность и прогиб как балку, свободно лежащую на двух опорах и нагруженную равномерно-распределенной нагрузкой от веса барабана, насадки, бандажей, загружаемого материала. Вес венцовой шестерни рассматривают как сосредоточенную силу.

 Условия прочности барабана:

$$δ=\frac{M\_{max}}{W}\leq \left[σ\right], где$$

[σ]=5-10МПа- допускаемое напряжение для аппаратов из сталей Ст2, Ст3, 10, 15 без футеровки

[σ]=20МПа – для аппаратов с футеровкой

Затем барабан проверяют на жесткость

Относительный прогиб

$$Е=\frac{у\_{мах}}{D\_{φ}}\leq \left[Е\right]$$

Где допускаемый относительный прогиб (барабан с футеровкой)
$$\left[Е\right]=\frac{1}{300}$$

Где допускаемый относительный прогиб (барабан без футеровки)

$$\left[Е\right]=\frac{1}{200}$$

Диаметр бандажей, опорных и упорных роликов предварительно выбирают по каталогу, а затем выполняют проверку их на контактную прочность.

**Пример №1.**

Произвести расчет на прочность барабана сушилки, имеющей две опорных станции, если:

DH=3,0м - наружный диаметр барабана;

Sб=20 мм- толщина стенки барабана;

L=18 м- длина барабана;

*l2*=10,5м ; *l1*=2,5м;

ψ=0,25 – коэффициент заполнения барабана материалом;

ρM=2000кг/м3- плотность обрабатываемого материала;

mK=140000 кг- масса корпуса барабана с насадкой;

Qв=150000 Н- нагрузка от венцовой шестерни.

[σ]=10 МПа.

*Решение:*

Внутренний диаметр барабана

$$D\_{B}=D\_{H}-2∙S\_{б}=3,0-2∙0,02=2,96 м.$$

Масса материала находящегося в сушилке

$$m\_{M}=\frac{ψ∙ρ\_{M}∙L∙π∙D\_{B}^{2}}{4}=\frac{0,25∙2000∙16∙3,14∙2,96^{2}}{4}=61900кг$$

Суммарная масса барабана и материала

$$m=m\_{k}+m\_{M}=140000+61900=201900кг.$$

Линейная нагрузка

$$q=\frac{m∙g}{L}=\frac{201900∙9,81}{18}=110036\frac{Н}{м}.$$

Реакция на опорах

$$R\_{A}=\frac{q∙L}{2}+\frac{Q\_{B}∙l\_{1}}{l\_{2}}=\frac{110036∙18}{2}+\frac{150000∙2,5}{10,5}=1,03∙10^{6}Н$$

$$R\_{В}=\frac{q∙L}{2}+\frac{Q\_{B}∙(l\_{2}-l\_{1})}{l\_{2}}=\frac{110036∙18}{2}+\frac{150000∙(10,5-2,5)}{10,5}=1,1∙10^{6}Н$$

Максимальный изгибающий момент, действующий на барабан

$$М\_{мах}=\frac{q∙L(2l\_{2}-L)}{8}+\frac{Q\_{B}(l\_{2}-l\_{1})l\_{1}}{l\_{2}}=\frac{110036∙18(2∙10,5-18)}{8}+\frac{150000(10,5+2,5)}{10,5}=1,03∙10^{6}Нм.$$

Момент сопротивления сечения корпуса барабана:

$$W=\frac{S\_{б}·D\_{ср}^{2}}{4}=\frac{0,02∙3,14∙2,98^{2}}{4}=0,139 м^{3}.$$

$$D\_{ср}=D\_{H}-S\_{б}=3,0-0,02=2,98м.$$

Напряжение в корпусе барабана

$$σ=\frac{М\_{мах}}{W}=\frac{1,03∙10^{-6}}{0,139}=7,41∙10^{6} Па=7,41МПа$$

Условия прочности

$$σ\leq \left[σ\right];7,41\leq 10 МПа$$

Выполняется

Расчет на жесткость.

Суммарный прогиб от действующих нагрузок

$$у\_{мах}=\frac{D\_{φ}^{3}}{EJ\_{x}}(0,04q\_{1}+0,002q\_{2})$$

Где
$$J\_{x}=I∙\frac{S\_{б}}{12}=\frac{1∙0,02^{3}}{12}=6,7∙10^{-7}м^{4}$$

-момент инерции единичного кольца барабана

Е=1,87·1011 Па- модуль упругости Ст3 при t=+150ºC.

$$q\_{1}=\frac{g∙m\_{M}}{L}=\frac{9,81∙61900}{18}=33736 Н/м$$

Линейная нагрузка от массы обрабатываемого материала

$$q\_{2}=\frac{g∙m\_{К}}{L}=\frac{9,81∙140000}{18}=76300 Н/м$$

Нагрузка от массы барабана

$$у\_{мах}=\frac{2,98^{2}}{8∙1,87∙10^{11}∙6,7∙10^{-7}}\left(0,04∙33736+0,002∙76300\right)=3,96∙10^{-2}м=0,0396 м.$$

Относительный прогиб

$$Е=\frac{у\_{мах}}{D\_{ср}}=\frac{0,0396}{2,96}=0,0133=\frac{1}{75};$$

Условия жесткости Е≤[E] не выполняется, т.к.

$$\frac{1}{75}\geq \frac{1}{200}$$

Следует уменьшить ψ- коэффициент заполнения материала.

***Задание:***

Произвести расчет барабана сушилки на прочность и жесткость по данным таблицы:

DH- наружный диаметр барабана,м;

Sб - толщина стенки барабана, мм;

L - длина барабана, м;

*l2*- расстояние от венцовой шестерни до бандажа, м;

ψ– коэффициент заполнения барабана материалом;

ρM- плотность обрабатываемого материала, кг/м3;

mK - масса корпуса барабана с насадкой, кг;

Qв - нагрузка от венцовой шестерни, Н

*l1*- расстояние между бандажами, м.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер задачи | DH | Sб | L | *l1* | *l2* | ψ | Qв | mK | ρM |
| 1 | 2,8 | 20 | 16 | 2,5 | 9,3 | 0,21 | 93000 | 60500 | 1500 |
| 2 | 2,5 | 16 | 14 | 2,5 | 8,2 | 0,15 | 72000 | 34200 | 2500 |
| 3 | 2,2 | 12 | 16 | 1,2 | 9,3 | 0,18 | 20900 | 19700 | 1500 |
| 4 | 2,0 | 10 | 10 | 1,2 | 5,9 | 0,21 | 18600 | 9600 | 2000 |
| 5 | 1,6 | 8 | 12 | 1,1 | 7,0 | 0,25 | 11000 | 7000 | 25000 |
| 6 | 1,2 | 6 | 10 | 0,9 | 5,9 | 0,18 | 7500 | 3000 | 2000 |
| 7 | 1,0 | 5 | 6,0 | 0,8 | 3,5 | 0,15 | 5000 | 1300 | 600 |
| 8 | 1,0 | 5 | 4,0 | 0,8 | 2,3 | 0,15 | 5000 | 900 | 600 |
| 9 | 1,2 | 6 | 6,0 | 0,9 | 3,5 | 0,18 | 7500 | 1900 | 600 |
| 10 | 1,6 | 8 | 8,0 | 1,1 | 4,7 | 0,18 | 11000 | 4800 | 2000 |

Список использованной литературы:

1. Генкин А.Э. Оборудование химических заводов.- М.: Высш. Шк., 1986г.
2. Плановский А.Н., Рамм В.М., Коган С.З. Прлоцессы и аппараты химической технологии.- М.; Химия, 1986 г.
3. Поляков А.А. Механика химических производств: Учебное пособие для вузов/ под ред. Ю.И. Макарова.- М.: ООО «Путь»: ООО ТИД «Альянс», 2005 г.
4. Смирнов Н.Н., Барабаш В.М., Карпов К.А. Альбрм типовой химической аппаратуры.- Санкт-Петербург, Химиздат, 2005г.
5. Фарамазов С.А. Оборудование нефтеперерабатывающих заводов и его эксплуатация.- М.; Химия, 1984 г.