Энгельсский технологический институт (филиал) федерального
государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования
«Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А.»

Кафедра «Технология и оборудование химических,
нефтегазовых и пищевых производств»

РАСЧЕТ КРУГЛЫХ СПЛОШНЫХ И КОЛЬЦЕВЫХ ПЛАСТИН, НАГРУЖЕННЫХ СИММЕТРИЧНО

**Методические указания к практическим занятиям
для студентов направлений**

**15.03.02 «Технологические машины и оборудование»
21.03.01 «Нефтегазовое дело»**

всех форм обучения

Энгельс 2025

Практическая работа

Расчет круглых сплошных и кольцевых пластин нагруженных симметрично методом начальных параметров.

Цель работы: Ознакомиться с методикой расчета круглых сплошных и кольцевых пластин с использованием метода начальных, параметров.

Общие положения

Пластиной называют плоское тело, ограниченное двумя поверхностями, расстояние между которыми мало по сравнению с размерами самих поверхностей. Срединная поверхность, т. е. поверхность, равноудаленная от наружных поверхностей, представляет собой плоскость. Этим пластины отличаются от оболочек, у которых срединная поверхность не плоская.

Многие детали аппаратов и машин имеют форму круглой сплошной или кольцевой пластины. В качестве примера можно назвать плоские днища и крышки резервуаров, фланцы труб, днища роторов центрифуг и другие конструкционные элементы оборудования.

В основу инженерной теории изгиба пластин положены следующие два допущения:

1) Точки, расположенные на некоторой прямой, перпендикулярной к срединной поверхности до деформации, остаются на прямой нормальной к этой поверхности после деформации (гипотеза прямых нормалей Кирхгофа).

2) В плоскостях, параллельных срединной плоскости, нормальные напряжения пренебрежимо малы по сравнению с напряжениями изгиба.

3) При изгибе пластин, наибольший прогиб которых существенно меньше их толщины, пренебрегают радиальными перемещениями точек срединной поверхности.

Метод начальных параметров - это особый метод составления уравнений для определения угла поворота и прогиба сечения пластины, стержня или балки. Получение конечных зависимостей, применительно для пластин, по

этому методу весьма трудоемко. Поэтому в работе приводятся лишь расчетные уравнения без выводов.

Расчет пластин

К расчетным параметрам относятся: толщина, радиальный и окружной изгибающие моменты, действующие в радиальном и окружном направления, прогиб и угол поворота нормали к пластинке (рисунок 1), напряжения от радиального и окружного моментов.

Для пластинок, свободно опирающихся или жестко заделанных по контуру, нагруженных равномерно распределенным постоянным давлением по всей площади, расчетные параметры определяются по следующими зависимостям:

Толщина пластины:

$$S = 2R\sqrt{\frac{P \cdot K}{[\sigma]}} + C \qquad (1)$$

где: К - опытный коэффициент, величина которого зависит от способа ее заделки: при свободной заделке пластины К=0,3, а при жесткой К=0,18;

С- прибавка на коррозию (0,001-0,003) м, принять С=0,002 м;

[σ] - допускаемое напряжение при растяжении материала пластины, Па, $[\sigma]=\sigma_в/n$, $\sigma_в$ – см. приложение 2, n=3,5.

Радиальный (2) и окружной (3) моменты пластины, <u>свободно</u> опирающейся по контуру:

$$M_r = \frac{P}{16}\left(R^2 - r_x^2\right)\left(3+\mu\right), \text{ Н·м} \qquad (2)$$

$$M_t = \frac{P}{16}\left(R^2(3+\mu) - r_x^2(1+3\mu)\right), \text{ Н·м} \qquad (3)$$

где: μ - коэффициент Пуассона для материала днища, (см. приложение 1);

r_x - текущий радиус сечения пластины, $R > r_x > r_0$; r_0 - радиус центрального отверстия;

R - наружный радиус пластины, м.

Для пластины жестко заделанной по контуру радиальный (4) и окружной (5) моменты:

$$M_r = \frac{P}{16}\left(R^2(1+\mu) - r_x^2(3+\mu)\right), \text{ Н·м} \quad (4)$$

$$M_t = \frac{P}{16}\left(R^2(1+\mu) - r_x^2(1+3\mu)\right), \text{ Н·м} \quad (5)$$

где P – давление среды на пластину, Па.

Прогиб (6,8) и угол поворота пластины (7,9):

- свободно опирающейся по контуру

$$f = \frac{P}{64 \cdot D}\left(R^4 \frac{5+\mu}{1+\mu} - 2R^2 r_x^2 \frac{3+\mu}{1+\mu} + r_x^4\right), \text{ м;} \quad (6)$$

$$\varphi = \frac{P \cdot r_x}{16 \cdot D}\left(R^2 \frac{3+\mu}{1+\mu} - r_x^2\right), \text{ рад} \quad (7)$$

- жестко заделанной по контуру

$$f = \frac{P}{64 \cdot D}\left(R^4 - 2R^2 r_x^2 + r_x^4\right), \text{ м;} \quad (8)$$

$$\varphi = \frac{P \cdot r_x}{16 \cdot D}\left(R^2 - r_x^2\right), \text{ рад} \quad (9)$$

где f – прогиб пластины, м

φ - угол поворота нормали к пластине, рад;

r_x – текущее значение радиуса сечения пластины, м;

D – жесткость пластины, Н·м, определяется по выражению (10):

$$D = \frac{E \cdot S^3}{12 \cdot (1-\mu^2)}, \text{ Н·м.} \quad (10)$$

где E – модуль упругости материала пластины, Па (приложение 1);

S - толщина пластины определяется по формуле (1) , м.

Наибольшие нормальные напряжения на поверхности пластины, т.е. на расстоянии 0,5·S от срединной поверхности, определяются из формул (11,12)

$$\sigma_r = \pm \frac{6 \cdot M_r}{S^2}, \text{ Па} \quad (11)$$

$$\sigma_t = \pm \frac{6 \cdot M_t}{S^2}, \text{ Па} \qquad (12)$$

Выполнение, оформление и защита работы

1) Ознакомиться с методикой расчета круглых сплошных и кольцевых пластин изготовленных из различных материалов.

2) Согласно заданному варианту (таблица 1), рассчитать пластину, нагруженную равномерно распределенным по всей площади давлением P. Радиус внутреннего отверстия r_0.

3) При расчете принять для вариантов 1-12 свободную заделку пластины, для вариантов 13-25 - жесткую заделку пластины (рисунок 1, а и б). Рабочая температура в аппарате не превышает 29 С .

4) Вычислить шаг изменения текущего радиуса r_x пластины по формуле $(R- r_0)/3$.

5) Получив результаты расчетов, построить график зависимостей

$M_r = f(r_x)$; $M_t = f(r_x)$; $f = f(r_x)$; $\varphi = f(r_x)$; $\sigma_r = f(r_x)$; $\sigma_t = f(r_x)$ и найти опасные сечения пластины по условиям прочности и жесткости.

6) По максимальным значениям σ_r, σ_t, f, φ определить, выполняются ли условия прочности и жесткости. Принять $[f]$ = 0.001 м. Если одно или оба условия не выполняются, дать рекомендации по их обеспечению.

Оформление

По результатам работы каждый студент составляет отчет, который должен содержать:

а) таблицу исходных данных для выполненного варианта;

б) таблицу полученных значений расчетных величин;

в) выполненные в масштабе эскиз днища с простановкой всех его исходных параметров, эпюры и графики полученных расчетных зависимостей.

Защита работы

Для защиты работы необходимо представить отчет по итогам ее выполнения. Студент должен свободно ориентироваться по теме работы, уметь ответить на контрольные вопросы и вопросы преподавателя.

Контрольные вопросы

1. Какой конструктивный элемент оборудования называется пластиной?
2. Какие конструктивные разновидности пластин Вы можете назвать?
3. Приведите примеры, применения пластин в пищевой промышленности?
4. Какие два допущения положены в инженерную теорию изгиба?
5. Какие величины в работе относятся к расчетным параметрам?
6. Начертите расчетную схему пластины?
7. В чем заключается метод начальных параметров?
8. От чего зависит жесткость пластины?
9. Что понимается под термином прогиб пластины и как его можно определить?
10. Что понимается под термином угол поворота нормали пластины?

Литература

1. Расчет и конструирование машин и аппаратов пищевых производств. Практикум [Электронный ресурс]: учебное пособие/ А.Н. Остриков [и др.].— Электрон. текстовые данные.— Воронеж: Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2014.— 200 с.— Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/47446.

2. Сарилов М.Ю. Теоретические основы расчета машин и аппаратов переработки нефти и газа : учебное пособие / Сарилов М.Ю., Рубцова К.Л.. — Комсомольск-на-Амуре : Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2019. — 61 с. — ISBN 978-5-7765-1410-4. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: https://www.iprbookshop.ru/102103.html.

Таблица 1 - Исходные данные для расчета круглых сплошных и кольцевых пластин постоянной величины при нагружении распределенным давлением

Номер варианта	Внутреннее давление $P \cdot 10^5$, Па	Наружный радиус пластины R, м	Внутренний Радиус центрального отверстия пластины r_0, м	Материал пластины
1	1	0,52	0,15	Ст 2
2	1	0,46	0.0	Ст 10
3	2	0,54	0.13	Ст 3
4	2	0,45	0,0	Ст 2
5	3	0.51	0.14	Алюминий
6	3	0.62	0.12	Ст 2
7	4	0.67	0.0	Ст 10
8	4	0,34	0,09	Ст 3
9	5	0,52	0.10	Алюминии
10	5	0,45	0,0	Алюминий
11	6	0,33	0,13	Алюминий
12	6	0.52	0,0	Ст 10
13	5	0,61	0,17	Ст.20
14	5	0.42	0,13	Ст.2
15	6	0,35	0,0 1	Ст.3
16	6	0,61	0,17	Алюминий
17	7	0,29	0,0	Алюминий
18	7	0,35	0,0	Ст 3
19	8	0,39	0,0	Ст.20
20	8	0,42	0,13	Ст 10
21	7	0,43	0,0	Алюминий
22	7	0,37	0,09	Ст.2
23	5	0,36	0,0	Ст. 3
24	6	0,47	0,15	Ст 20
25	5	0,49	0,0	Алюминий

Варианты 1-12: свободная заделка; 13-25: жесткая заделка.

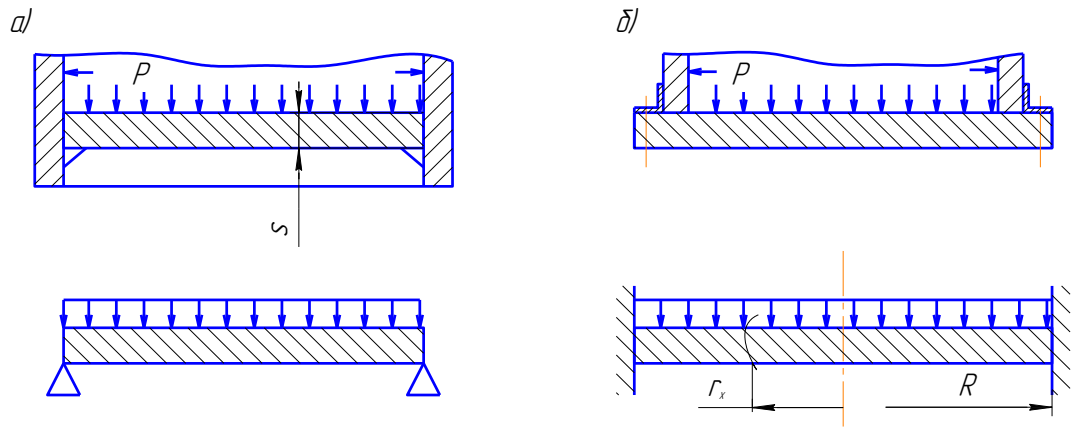

Рисунок 1 - Схема заделки плоского днища

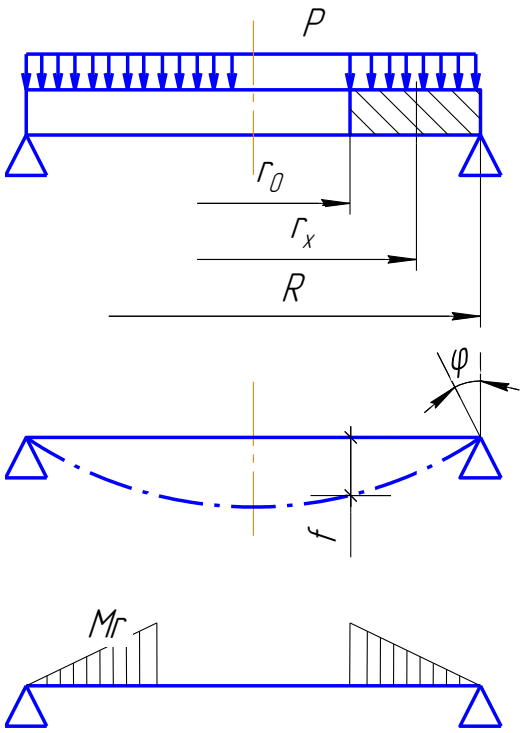

Рисунок 2 - Схема нагружения, деформации и эпюра радиального момента для плоского днища

Приложение 1

Значение модуля продольной упругости E и коэффициента Пуассона μ для некоторых материалов при температуре 18°C

Наименование материала	Модуль упругости, $E \cdot 10^{11}$, Па	Коэффициент Пуассона, μ
Сталь марки Ст 3 ГОСТ 380-80	1,8	0,3
Углеродистые, легированные стали	2	0,26
Чугун серый, белый, ковкий	1.2	0,25
Алюминиевые сплавы	0,7	0,34
Дюралюминий	0,71	0,34

Приложение 2

Некоторые механические свойства качественной углеродистой (конструкционной) стали

Марка стали (ГОСТ 1050-80)	Предел прочности при растяжении, МПа	Предел текучести. МПа	Марка стали (ГОСТ 1050-80)	Предел прочности при растяжении, МПа	Предел текучести, МПа
10	335	205	30	490	295
15	376	225	35	530	315
20	410	245	40	570	335
25	450	275	45	600	355

Предел прочности у алюминия при растяжении - 90... 120 МПа