

**Методичні вказівки  
до виконання самостійної роботи  
з дисципліни «Основи конструювання»  
зі спеціальності «Енерговиробництво»  
(освітня програма «Теплоенергетика»)**

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет

**Методичні вказівки  
до виконання самостійної роботи  
з дисципліни «Основи конструювання»  
зі спеціальності «Енерговиробництво»  
(освітня програма «Теплоенергетика»)**

Вінниця  
ВНТУ  
2026

Рекомендовано до видання Радою з якості освіти Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 11 від 23.04.2026 р.)

Рецензенти:

**Д. В. Степанов**, кандидат технічних наук, доцент

**О. П. Шиліна**, кандидат технічних наук, доцент

Методичні вказівки до виконання самостійної роботи з дисципліни «Основи конструювання» зі спеціальності «Енерговиробництво» (освітня програма «Теплоенергетика») / уклад. Л. А. Боднар. Електрон. текст. дані. Вінниця : ВНТУ, 2026. 60 с.

В методичних вказівках до виконання практичних занять та самостійної роботи наведено програму вивчення дисципліни, теми практичних занять, приклади розв'язання задач та завдання на самостійну та індивідуальну роботу, перелік контрольних запитань та довідковий матеріал.

## ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА .....	4
1 ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ .....	5
1.1 Мета та завдання навчальної дисципліни.....	5
1.2 Програма навчальної дисципліни.....	5
1.3 Теми для самостійної роботи студентів.....	7
1.4 Теми практичних занять .....	8
1.5 Контрольні запитання.....	8
2 ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАВДАНЬ.....	12
3 ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО ВИКОНАННЯ .....	35
ЛІТЕРАТУРА .....	42
Додаток А.....	44
Додаток Б .....	45
Додаток В.....	47
Додаток Г .....	57

## ПЕРЕДМОВА

Методичні вказівки містять основний матеріал для виконання практичних завдань та самостійної роботи з дисципліни «Основи конструювання». Методичні вказівки підготовлені відповідно до навчальної програми дисципліни «Основи конструювання». В методичних вказівках наведено мету та завдання дисципліни, задачі для самостійної роботи студентів, приклади розв'язання задач, довідковий матеріал. Викладений у методичних вказівках матеріал буде корисним в подальших процесах курсового та дипломного проектування. Підготовка методичних вказівок з дисципліни «Основи конструювання» є актуальною через малу кількість підручників та навчальних посібників із названої тематики.

Методичні вказівки призначені для студентів, що навчаються за спеціальністю «Енерговиробництво» (освітня програма «Теплоенергетика»).

Автор вдячна рецензентам за слушні пропозиції та поради в процесі підготовки методичних вказівок до друку.

# 1 ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ

## 1.1 Мета та завдання навчальної дисципліни

**Мета вивчення дисципліни** – формування у здобувачів комплексної системи знань про повний цикл створення теплоенергетичного обладнання: від стадії технічного завдання та вибору конструкційних матеріалів до розробки робочої документації. Курс спрямований на опанування методів розрахунку на міцність основних вузлів теплотехнологічного устаткування, вивчення стандартів з'єднань та оволодіння принципами забезпечення точності та надійності пристроїв.

### **Завдання вивчення дисципліни**

1. Опанування стандартів проектування: вивчення єдиної системи конструкторської документації (ЄСКД), видів текстових та графічних документів, а також стадій розробки проектів (від техзавдання до робочої документації).

2. Набуття вмінь раціонального вибору металевих, вогнетривких та теплоізоляційних матеріалів з урахуванням умов експлуатації теплотехнологічних установок.

3. Освоєння методик інженерного розрахунку на міцність ключових елементів апаратів (обичайок, днищ, трубних решіток) та з'єднань (фланцевих, різьбових, штуцерів).

4. Проектування допоміжних вузлів та опор: вивчення конструкцій та методів розрахунку опорних пристроїв, засобів стропування, ущільнень та перемішувального обладнання.

5. Забезпечення точності та взаємозамінності: вивчення єдиної системи допусків і посадок, норм шорсткості поверхонь та правил їх позначення на кресленнях для забезпечення надійності та технологічності виробів.

## 1.2 Програма навчальної дисципліни

### **Змістовний модуль 1 Загальні відомості про конструювання.**

#### **Тема 1. Система конструкторської документації.**

Основні види конструкторської документації. Види текстових конструкторських документів. Види графічних конструкторських документів. Створювання графічних конструкторських документів. Обіг конструкторської документації.

#### **Тема 2. Стадії конструювання і основні показники машин.**

Технічне завдання. Варіантний аналіз. Технічна пропозиція. Ескізний проект. Технічний проект. Розробка робочої документації. Основні показники машин. Уніфікація. Стандартизація. Модифікація. Надійність. Безвідмовність. Довговічність.

**Змістовний модуль 2. Конструювання і розрахунок основних вузлів і деталей теплотехнологічних апаратів.**

**Тема 3. Конструкційні матеріали.**

Чорні метали і сплави. Кольорові метали і сплави. Неметалеві матеріали. Конструкційні та технологічні матеріали високотемпературних установок. Вогнетривкі матеріали та вироби. Теплоізоляційні матеріали та вироби. Матеріали для прокладок.

**Тема 4. Конструювання і розрахунок основних вузлів і деталей теплотехнологічних апаратів. Норми і методи розрахунку на міцність деталей апаратури.**

Розрахунок на міцність обичайок. Розрахунок на міцність днищ. Укріплення отворів. Укріплення отворів в циліндричних, конічних і сферичних стінках. Укріплення отворів в плоских стінках. Розрахунок на міцність трубних решіток.

**Тема 5. Котли стаціонарні і трубопроводи пари і гарячої води.**

Норми розрахунку на міцність. Методи визначення товщини стінки. Розрахунок товщини стінок колін і змійовиків. Конічні переходи під внутрішнім тиском.

**Тема 6. Теплові взаємодії.**

Теплові напруження. Теплова міцність матеріалів. Теплові деформації. Компенсатори термічного розширення. Корегування форми деталей.

**Тема 7. Фланцеві з'єднання.**

Основні типи фланцевих з'єднань. Підбір фланцевого з'єднання. Прокладки для фланцевого з'єднання. Розрахунок фланцевих болтів.

**Тема 8. Різьбові з'єднання.**

Визначення розмірів основних елементів різьбового з'єднання.

**Змістовний модуль 3 Пристрої для з'єднання трубопроводів, огляду та встановлення апарата.**

**Тема 9. Трубопроводи. Трубопровідна арматура.**

Вибір трубопроводів. Номінальний діаметр. Класифікація трубопроводної арматури. Кріплення трубопроводів.

**Тема 10. Штуцери та бобишки. Оглядові вікна. Лази.**

**Тема 11. Пристрої для стропування посудин та апаратів. Опори посудин та апаратів.**

Типи, основні параметри та розміри пристроїв для стропування посудин та апаратів. Опори вертикальних апаратів. Опори горизонтальних апаратів. Розрахунок обичайок і днищ від опорних навантажень. Розрахунок на міцність обичайок та днищ в місці приварювання несучих вушок. Розрахунок на міцність обичайок в місці приварювання опорних лап.

**Тема 12. Вузли та деталі перемішувального обладнання.**

Конструкції перемішувальних пристроїв. Сальникові та торцеві ущільнення. Розрахунок мішалок.

## **Змістовний модуль 4 Допуски і посадки.**

### **Тема 13. Допуски і посадки гладких з'єднань.**

Основні терміни та визначення. Єдина система допусків і посадок. Позначення полів допусків і посадок на кресленнях. Розрахунок характеристик посадок.

### **Тема 14. Шорсткість поверхонь.**

Основні терміни та визначення. Позначення шорсткості. Нормування шорсткості.

### **Тема 15. Допуски форми та розташування поверхонь.**

Основні терміни та визначення. Відхилення та допуски форми поверхонь. Відхилення та допуски розташування поверхонь. Позначення допусків форми та розташування поверхонь на кресленнях.

## 1.3 Теми для самостійної роботи студентів

Таблиця 1.1 – Теми для самостійної роботи студентів

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Підготовка до лекційних занять	36
2	Підготовка до практичних занять	18
3	Підготовка до модульного контролю	10
4	Підготовка до складання заліку	5
5	Розрахунок обичайок, що працюють під зовнішнім тиском.	2
6	Пласкі круглі днища. Пласкі прямокутні днища.	2
7	Теплові напруження. Теплова міцність матеріалів. Теплові деформації. Компенсатори термічного розширення. Корегування форми деталей.	2
8	Котли стаціонарні і трубопроводи пари і гарячої води. Норми розрахунку на міцність. Методи визначення товщини стінки.	2
9	Розрахунок на міцність обичайок в місці приварювання опорних лап.	2
10	Конструкції перемішувальних пристроїв. Розрахунки перемішувальних пристроїв.	4
11	Вибір посадок з натягом. Вибір посадок з зазором. Вибір перехідних посадок.	6
12	Відхилення та допуски форми поверхонь. Відхилення та допуски розташування поверхонь. Позначення допусків форми та розташування поверхонь на кресленнях. Розмірні ланцюги.	7
	<i>Усього годин</i>	96

## 1.4 Теми практичних занять

Таблиця 1.2 – Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин (денна форма)
1	Розрахунок на міцність циліндричних обичайок, що працюють під внутрішнім тиском.	1
2	Розрахунок на міцність днищ (еліптичних, конічних, плоских), що працюють під внутрішнім тиском.	2
3	Розрахунок зміцнення отворів.	2
4	Розрахунок на міцність трубних решіток.	2
5	Вибір фланця та розрахунок болтів на міцність.	2
6	Розрахунок опор вертикальних та горизонтальних апаратів	2
7	Розрахунок на міцність обичайок та днищ в місці приварювання несучих вушок.	1
8	Розрахунок лопатевих мішалок	2
9	Розрахунок характеристик посадок	2
10	Призначення шорсткості поверхні	2
	<i>Усього годин</i>	18

## 1.5 Контрольні запитання

1. Дайте визначення Єдиної системи конструкторської документації (ЄСКД). Яка її головна мета в інженерній діяльності?

2. Чим відрізняються основні конструкторські документи від допоміжних? Наведіть приклади для обох груп.

3. Яке призначення специфікації у складі конструкторської документації? Назвіть інші види текстових документів.

4. Охарактеризуйте основні відмінності між кресленням деталі та складальним кресленням.

5. Опишіть етапи «життєвого циклу» конструкторського документа: від створення та затвердження до внесення змін і архівного зберігання.

6. Який документ визначає склад складальної одиниці?

7. Що таке «оригінал» і «дублікат» конструкторського документа згідно з правилами обігу?

8. На підставі яких стандартів в Україні зараз оформлюється конструкторська документація?

9. Яка роль технічного завдання як первинного документа? Які основні вимоги та характеристики виробу в ньому обов'язково зазначаються?
10. Структура технічного завдання.
11. У чому полягає суть варіантного аналізу на початкових етапах проектування? Чому важливо порівнювати кілька технічних рішень?
12. Які додаткові уточнення вносяться в проєкт на стадії технічної пропозиції порівняно з технічним завданням?
13. Які принципові конструктивні рішення мають бути відображені в ескізному проєкті? Чи дає він повне уявлення про габарити та склад виробу?
14. Чим технічний проєкт відрізняється від ескізного з точки зору деталізації та розрахунків?
15. Які документи входять до складу робочої документації і чи достатньо їх для виготовлення дослідного зразка?
16. Поясніть різницю між уніфікацією та стандартизацією деталей.
17. У яких випадках доцільно створювати модифікацію існуючої машини замість проектування абсолютно нової моделі?
18. Які критерії визначають досконалість конструкції сучасної машини.
19. Чим довговічність відрізняється від безвідмовності?
20. Які сталі застосовуються в котлобудуванні і по якому принципу вони маркуються?
21. Для виготовлення яких елементів котельного агрегата застосовують чавун?
22. Назвіть матеріали з яких виготовляють теплообмінні апарати.
23. Назвіть матеріали з яких виготовляють лопатки парових і газових турбін.
24. Що означають цифри та літери у назві сталі 12Х1МФ? Для яких елементів котлів (екранні труби, пароперегрівачі) вона є основною?
25. Які марки сталей зазвичай обирають для виготовлення робочих лопаток парових турбін? Які властивості (крім жароміцності) тут критично важливі?
26. Жароміцність та жаростійкість. У чому різниця між цими поняттями стосовно лопаток газових турбін та поверхонь нагріву котлів?
27. Яка з цих сталей є найбільш жароміцною: Ст3, Сталь 20 чи 12Х1МФ?
28. Які елементи додають у сталі для паропроводів високого тиску і як вони запобігають повзучості металу?
29. Чому для виготовлення економайзерів або колосникових решіток часто обирають саме чавун, а не сталь?
30. Назвіть основні вогнетривкі матеріали, що застосовуються в котлобудуванні.
31. Які прокладки застосовують для ущільнення фланцевих з'єднань?
32. Які матеріали використовують для внутрішнього обмурування топків і від чого залежить їхній вибір?

33. Порівняйте мінеральну вату, перліт та сучасні керамоволокнисті матеріали за критеріями теплопровідності та максимальної температури застосування.

34. Як правильний вибір товщини та структури теплоізоляції впливає на ККД теплоенергетичної установки?

35. У чому перевага використання монолітних вогнетривких бетонів перед традиційною цегляною кладкою при ремонті котлів?

36. На основі яких нормативних методів здійснюється розрахунок на міцність стаціонарних посудин та апаратів у теплоенергетиці?

37. Дайте визначення поняттям «розрахунковий тиск», «допустиме напруження» та «коефіцієнт міцності зварного шва». Як вони впливають на вибір товщини стінки?

38. Які технологічні та експлуатаційні надбавки враховуються при визначенні товщини стінки апарата?

39. Сформулюйте початкові дані, необхідні для розрахунку циліндричної обичайки під внутрішнім тиском?

40. Сформулюйте початкові дані, необхідні для розрахунку на міцність еліптичних та конічних днищ, що працюють під внутрішнім тиском.

41. У чому особливість розрахунку обичайок, що працюють під зовнішнім тиском (вакуумом)? Чим цей розрахунок відрізняється від розрахунку на внутрішній тиск?

42. Які сили діють на трубну решітку в кожухотрубному теплообміннику (різниця тисків, температурні розширення)?

43. Як метод кріплення трубок у решітці (вальцювання чи зварювання) впливає на її розрахункову міцність та герметичність?

44. Які існують способи компенсації послаблення стінки отвором?

45. Які нормативні документи регламентують розрахунок на міцність елементів котлів та трубопроводів пари в Україні?

46. Як висока температура впливає на границю текучості та границю міцності металів?

47. Що таке теплові напруження?

48. Що таке теплові деформації?

49. Що таке компенсатори теплового розширення?

50. У чому різниця між плоскими приварними фланцями та фланцями приварними встик? Який з них краще працює при високому тиску (понад 2,5 МПа) і чому?

51. Чому в теплоенергетиці для фланців високого тиску і температур понад 300 С використовують шпильки, а не болти?

52. Як впливає висока температура теплоносія на натяг різьбового з'єднання і чому для фланців паропроводів важливо використовувати шпильки з матеріалів з однаковим коефіцієнтом лінійного розширення?

53. Наведіть класифікацію трубопровідної арматури.

54. Способи кріплення трубопроводів.

55. Що належить до запірної арматури?

56. Де використовується триходові крани?
57. Що таке запобіжний клапан?
58. Що таке зворотний клапан.
59. Для яких параметрів середовища використовують арматуру з сірого чавуну, сталі та спеціальних жароміцних сплавів?
60. Яка різниця між монтажними вушками (петлями) та цапфами (трубчастими опорами для стропування)? У яких випадках використовують кожен із цих типів?
61. Чому для виготовлення вушок заборонено використовувати крихкі матеріали (наприклад, чавун), навіть якщо апарат чавунний? Які марки сталей зазвичай застосовують?
62. У яких випадках вертикальні апарати встановлюють на лапи? Як кріпляться лапи до обичайки (через підкладні листи чи напряму)?
63. Чому для високих колонних апаратів найчастіше використовують циліндричні або конічні опори? Як здійснюється кріплення такої опори до фундаменту?
64. Опори горизонтальних апаратів.
65. В чому полягає відмінність між номінальним, граничними та дійсним розмірами?
66. Основне відхилення. Які основні відхилення отворів та валів передбачені в ЄСДП?
67. Охарактеризуйте три основні види посадок: з зазором, з натягом та перехідні. Наведіть приклад вузла теплотехнічного апарата, де необхідна посадка з натягом.
68. Що таке допуск розміру і чому в масовому виробництві неможливо (та й недоцільно) виготовляти деталі з абсолютно точним номінальним розміром?
69. У чому полягає різниця між системою отвору та системою вала?
70. Що таке квалітет і як він впливає на величину допуску?
71. Що таке шорсткість поверхонь?
72. Позначення шорсткості поверхні.
73. Нормування шорсткості.
74. У чому полягає принципова різниця між відхиленням форми та відхиленням розташування, і за яких умов поверхню вважають придатною за обома параметрами?

## 2 ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАВДАНЬ

**Приклад 2.1.** Визначити товщину стінки зварної циліндричної обичайки вертикального апарата (рис.2.1), що працює під внутрішнім тиском, за такими даними: матеріал обичайки – сталь марки Ст.3; проникність матеріалу обичайки в середовищі  $\Pi=0,06$  мм/рік ( $C_k=1$  мм,  $C_e=0$ ); середовище – рідина з густиною  $\rho_p=1200$  кг/м<sup>3</sup>; робочий тиск внутрішнього середовища  $P_c=1$  МПа (10 кгс/см<sup>2</sup>), температура середовища  $t_c=20$  °С, внутрішній діаметр апарата  $D_b=2$  м; висота  $H=5$  м; обичайка без отворів; повздовжній зварний шов ручний стиковий двосторонній ( $\varphi_{ш}=0,95$ ); поправковий коефіцієнт  $\eta=1$ .

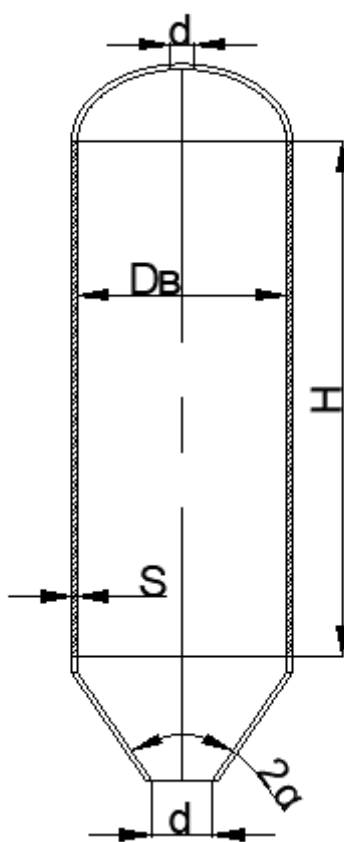


Рисунок 2.1 – Вертикальний апарат

### Розв'язання

Розрахунковий тиск в нижній частині обичайки з врахуванням гідростатичного стовпа рідини визначимо за формулою

$$P=P_c + g \cdot \rho_p \cdot H_p \cdot 10^{-6}, \quad (2.1)$$

$$P=1 + 9,8 \cdot 1200 \cdot 5 \cdot 10^{-6}=1,058 \text{ (МПа)}.$$

Номінальне допустиме напруження для сталі марки Ст.3 знаходимо з таблиці А1,  $\sigma_d^* = 140$  МПа

$$\sigma_d = \sigma_d^* \cdot \eta = 140 \cdot 1 = 140 \text{ (МПа)}.$$

Визначимо добуток  $\frac{\sigma_d}{P} \cdot \varphi_{ш} = \frac{140}{1,058} \cdot 0,95 = 126 > 25$ , тоді номінальна розрахункова товщина стінки обичайки визначається за формулою

$$S' = \frac{D_b \cdot P}{2 \cdot \sigma_d \cdot \varphi_{ш}} = \frac{2 \cdot 1,058}{2 \cdot 140 \cdot 0,95} = 7,95 \cdot 10^{-3} \text{ м аба } 7,95 \text{ (мм)}.$$

Вибираємо надбавку на округлення стінки (до найближчого більшого розміру по сортаменту)  $C_0 = 1,05$  мм.

Сумарну надбавку до номінальної товщини стінки визначимо за формулою

$$C = C_k + C_e + C_d + C_0, \quad (2.2)$$

де  $C_k$  – надбавка на корозію,  $C_k = 1$  мм;  $C_e$  – надбавка на ерозію,  $C_e = 0$  мм;  $C_d$  – додаткова надбавка за технологічними чи монтажними міркуваннями  $C_d = 0$ ,  $C_0$  – надбавка на округлення розміру,  $C_0 = 1,05$  мм.

$$C = 1 + 0 + 0 + 1,05 = 2,05 \text{ (мм)}.$$

Товщина стінки обичайки з врахуванням надбавок

$$S = S' + C = 7,95 + 2,05 = 10 \text{ (мм)}.$$

Перевіримо умову  $(S - C_k)/D_b = (10 - 1)/2000 = 0,0045 < 0,1$ , тобто умова виконана.

Допустимий тиск в обичайці визначимо за формулою

$$P_d = \frac{2 \cdot \sigma_d \cdot \varphi_{ш} \cdot (S - C_k)}{D_b + (S - C_k)}, \quad (2.3)$$

$$P_d = \frac{2 \cdot 140 \cdot 0,95 \cdot (0,01 - 0,001)}{2 + (0,01 - 0,001)} = 1,19 \text{ (МПа)}.$$

**Приклад 2.2.** Визначити товщину стінки верхнього стандартного від-бортованого еліптичного днища для обичайки вертикального апарата, розрахованого в прикладі 2.1 за такими даними: матеріал днища – сталь марки Ст.3;  $D_b = 2$  м;  $h_b = 0,5$  м; в днищі є центрально розташований неукріплений отвір  $d = 0,2$  м; днище зварене з двох частин, шов зварний ручний електро-

дуговий двосторонній ( $\varphi_{ш}=0,95$ );  $\sigma_d = 140$  МПа; робочий тиск внутрішнього середовища  $P_c=1$  МПа;  $C_k=1$  мм.

### Розв'язання

Визначимо коефіцієнт ослаблення днища отвором

$$\varphi_0 = \frac{D_b - d}{D_b} = \frac{2 - 0,2}{2} = 0,9.$$

Оскільки коефіцієнт ослаблення днища отвором  $\varphi_0$  менше коефіцієнта зварного шва  $\varphi_{ш}$ , в подальших розрахунках за розрахункове значення коефіцієнта ослаблення беремо  $\varphi = \varphi_0$ .

Визначимо відношення визначальних параметрів  $\sigma_d$  і  $P$  з врахуванням коефіцієнта  $\varphi_0$ .

$$\frac{\sigma_d}{P} \cdot \varphi_0 = \frac{140}{1} \cdot 0,9 = 126 > 25.$$

Номінальна розрахункова товщина стінки днища визначається за формулою

$$S' = \frac{D_b \cdot P}{2 \cdot \sigma_d \cdot \varphi_0} = \frac{2 \cdot 1}{2 \cdot 140 \cdot 0,9} = 7,95 \cdot 10^{-3} \text{ (м) або } 7,95 \text{ (мм)}.$$

Вибираємо надбавку на округлення стінки (до найближчого більшого розміру по сортаменту)  $C_0=1,05$  мм.

Сумарну надбавку до номінальної товщини стінки визначимо за формулою (2.2):  $C_k=1$  мм;  $C_e=0$  мм;  $C_d=0$ ;  $C_0=1,05$  мм.

$$C = 1 + 0 + 0 + 1,05 = 2,05 \text{ (мм)}.$$

Товщина стінки обичайки з врахуванням надбавок

$$S = S' + C = 7,95 + 2,05 = 10 \text{ (мм)}.$$

Тобто товщина така ж як і для спряженої з днищем циліндричної обичайки.

Допустимий тиск в днищі визначимо за формулою

$$P_d = \frac{2 \cdot \sigma_d \cdot \varphi \cdot (S - C_k)}{D_b + (S - C_k)}, \quad (2.4)$$

$$P_d = \frac{2 \cdot 140 \cdot 0,9 \cdot (0,01 - 0,001)}{2 + (0,01 - 0,001)} = 1,13 \text{ (МПа)}.$$

**Приклад 2.3.** Визначити товщину стінки нижнього стандартного конічного відбортованого еліптичного днища для зварної обичайки вертикального апарата, розрахованого в прикладі 2.1 за такими даними: матеріал днища – сталь марки Ст.3;  $D_B=2$  м;  $R_B/D_B=0,15$ ;  $\alpha=30^\circ$ ; днище зварне без отворів по твірних;  $\varphi_{ш}=0,95$ ;  $\sigma_d = 140$  МПа; тиск  $P=1,06$  МПа;  $C_k=1$  мм.

### Розв'язання

Визначимо відношення визначальних параметрів  $\sigma_d$  і  $P$  з врахуванням коефіцієнта  $\varphi_{ш}$ .

$$\frac{\sigma_d}{P} \cdot \varphi_{ш} = \frac{140}{1,06} \cdot 0,95 = 125,2 > 50$$

Коефіцієнт форми днища при  $\alpha=30^\circ$  і  $R_B/D_B=0,15$  визначимо за графіком (рис.2.2)  $y=1,4$ .

Номінальна розрахункова товщина стінки днища спочатку визначаємо за формулою

$$S' = \frac{D_B \cdot P \cdot y}{4 \cdot \sigma_d \cdot \varphi} = \frac{2 \cdot 1,06 \cdot 1,4}{4 \cdot 140 \cdot 0,95} = 5,59 \cdot 10^{-3} \text{ (м) або } 5,59 \text{ (мм)}.$$

Визначимо розрахунковий діаметр, вважаючи, що  $S=S'$

$$D = D_B - 2[R \cdot (1 - \cos\alpha) + 10 \cdot S' \cdot \sin\alpha] = 2 - 2[0,3(1 - \cos 30^\circ) + 10 \cdot 5,59 \cdot 10^{-3} \cdot \sin 30^\circ] = 1,864 \text{ (м)}.$$

Номінальну розрахункову товщину стінки днища визначимо за формулою (приймаючи, що  $\varphi=1$ , оскільки зварний шов віддалений від торої-

дального переходу на величину більшу  $0,5 \cdot \sqrt{\frac{D_B \cdot S}{\cos \alpha}}$

$$S' = \frac{D \cdot P}{4 \cdot \cos \alpha \cdot \sigma_d \cdot \varphi} = \frac{1,864 \cdot 1,06}{2 \cdot \cos 30^\circ \cdot 140 \cdot 1} = 8,15 \cdot 10^{-3} \text{ м або } 8,15 \text{ (мм)}.$$

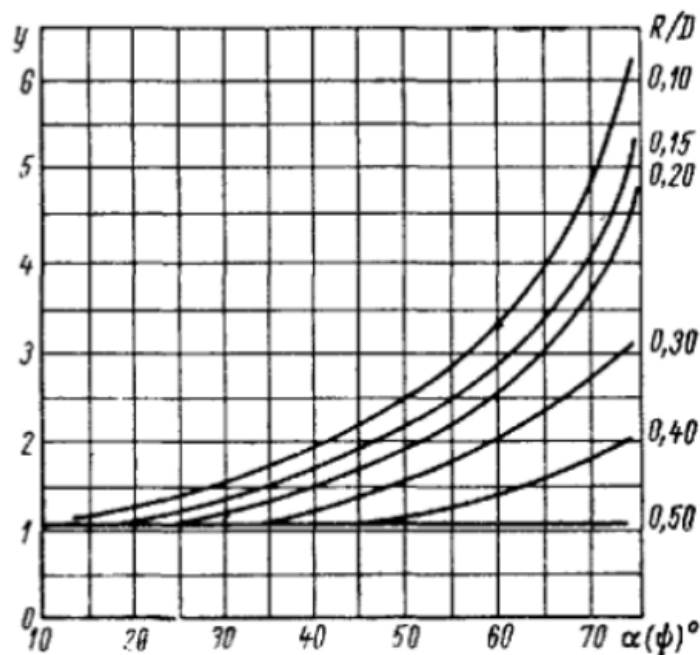


Рисунок 2.2 – Графік для визначення фактора форми днища.

За розрахункове значення вибираємо більше значення, тобто 8,15 мм.  
 Вибираємо надбавку на округлення товщини стінки ( до найближчого більшого розміру по сортаменту)  $C_0=0,85$  (мм).

Сумарна надбавка становитиме  $C=C_k+C_0=1+0,85=1,85$  (мм).

Товщина стінки з надбавками  $S=S'+C=8,15+1,85=10$  (мм).

У випадку, коли половина кута при вершині конуса  $\leq 70^\circ$ , допустимий тиск в днищі визначається за двома формулами

$$P_d = \frac{4 \cdot \sigma_d \cdot \varphi \cdot (S - C_k)}{D_b \cdot y}, \quad (2.5)$$

$$P_d = \frac{4 \cdot 140 \cdot 0,95 \cdot (10 - 1) \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 1,4} = 1,7 \text{ (МПа)}.$$

Перевіримо також за іншою формулою

$$P_d = \frac{2 \cdot \cos \alpha \cdot \sigma_d \cdot \varphi \cdot (S - C_k)}{D_b + 2 \cdot \cos \alpha \cdot (S - C_k)}, \quad (2.6)$$

$$P_d = \frac{2 \cdot \cos 30^\circ \cdot 140 \cdot 1 \cdot (10 - 1) \cdot 10^{-3}}{1,864 + 2 \cdot \cos 30^\circ \cdot (10 - 1) \cdot 10^{-3}} = 1,18 \text{ (МПа)}.$$

Дійсним є менше значення, тобто  $P_d=1,18$  МПа.

**Приклад 2.4.** Перевірити необхідність укріплення отворів в циліндричній обичайці апарату, розрахованої в прикладі 2.1, під приварюванні до неї два штуцера по схемі I (рис. 2.3) з внутрішніми діаметрами:  $d_1=0,8$  м (із сталевого листа марки Ст.3 товщиною 10 мм) і  $d_2=0,15$  м (із сталеві безшовної труби 159×4,5 мм марки 10). У випадку, якщо отвори потребують укріплення, обрати тип укріплення і визначити основні розміри укріплюючих елементів. Із прикладу 2.1 відомо:  $D_B=2$  м,  $P=1,058$  МПа,  $\sigma_d = 140$  МПа;  $S=10$  мм;  $S'=7,95$  мм;  $C_K=1$  мм.

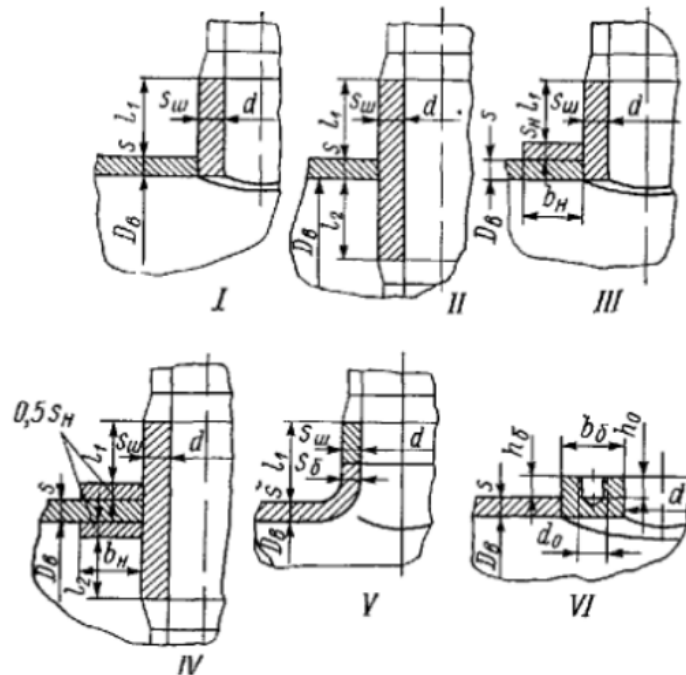


Рисунок 2.3 – Розрахункові схеми для різних конструкцій укріплення отворів в стінках апаратів (з пластичних матеріалів), що працюють при статичному навантаженні: I – укріплення одностороннім штуцером; II – укріплення двостороннім штуцером; III – укріплення одностороннім штуцером і накладкою; IV – укріплення двостороннім штуцером і двома накладками ( або однією товщиною  $S$ ); V – укріплення відбортуванням і штуцером; VI – укріплення бобишкою.

### Розв’язання

Найбільший допустимий діаметр отвору в обичайці, що не потребує укріплення (без врахування наявності приварюваного штуцера)

$$d_d = 2 \left[ \left( \frac{S - C_K}{S'} - 0,8 \right) \sqrt{D_B (S - C_K)} - C_K \right], \quad (2.7)$$

$$d_d = 2 \left[ \left( \frac{10 - 1}{7,95} - 0,8 \right) \sqrt{2(0,01 - 0,001)} - 0,001 \right] = 0,0864 \text{ (м)}.$$

Оскільки внутрішні діаметри обох штуцерів більше  $d_d$ , то отвори для них повинні бути укріплені.

Проведемо розрахунок для штуцера  $d_1=0,8$  м.

Номінальна розрахункова товщина стінки штуцера ( $\varphi_{ш}=0,95$ )

$$S'_{ш1} = \frac{d_1 \cdot P}{2 \cdot \sigma_d \cdot \varphi_{ш}} = \frac{0,8 \cdot 1,058}{2 \cdot 140 \cdot 0,95} = 3,18 \cdot 10^{-3} \text{ (м) або } 3,18 \text{ (мм)}.$$

Довжина частини штуцера, що бере участь в укріпленні отвору

$$l_1 = \sqrt{(d_1 + 2 \cdot C_k)(S_{ш1} - C_k)} = \sqrt{(0,8 + 2 \cdot 0,001)(0,01 - 0,001)} = 0,085 \text{ (м)}.$$

Перевіримо, чи достатнє укріплення отвору в обичайці штуцером за умовою

$$(d_1 - d_d) \cdot S' \leq 2(l_1 + S - S' - C_k) \cdot (S_{ш1} - S'_{ш1} - C_k). \quad (2.8)$$

Ліва частина умови (2.8)

$$(d_1 - d_d) \cdot S' = (0,8 - 0,0864)0,00795 = 0,00565 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Права частина умови (2.8)

$$2(l_1 + S - S' - C_k) \cdot (S_{ш1} - S'_{ш1} - C_k) = 2 \cdot (0,085 + 0,01 - 0,00795 - 0,001) \cdot \\ \times (0,01 - 0,00318 - 0,001) = 0,001 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Оскільки права частина менша лівої, то укріплення отворів не забезпечене.

Розглянемо два типи укріплення отворів – потовщенням укріплюваної стінки і накладкою.

Розглянемо укріплення потовщенням стінки.

З виразу

$$(d_1 - d_d) \cdot S' \leq 0,001 \text{ м}^2$$

знайдемо  $d_d = d_1 - 0,001/S' = 0,8 - 0,001/0,00795 = 0,674$  (м).

Методом послідовних наближень знайдемо товщину укріплюваної стінки обичайки  $S=22$  мм (підставляємо дані у формулу 2.7), при якій допустимий діаметр неукріпленого отвору визначимо за формулою

$$d_d = 2 \left[ \left( \frac{22-1}{7,95} - 0,8 \right) \sqrt{2(0,022 - 0,001)} - 0,001 \right] = 0,752 \text{ м} > 0,674 \text{ (м)},$$

тобто зміцнення забезпечено.

Розглянемо зміцнення накладкою. Накладку обираємо з тієї ж марки сталі, що і обичайка (Ст.3) товщиною 10 мм.

Розрахункова ширина накладки

$$b'_H = \sqrt{D_B \cdot (S - C_K)} = \sqrt{2 \cdot (0,01 - 0,001)} = 0,134 \text{ (м)}.$$

Перевіримо, чи достатньо зміцнення отвору за умовою

$$(d_1 - d_d) S' \leq 2(l_1 + S - S' - C_K) \cdot (S_{ш1} - S'_{ш1} - C_K) + 2(b'_H + S_{ш1} - S'_{ш1} - C_K) \cdot S_H \quad (2.9)$$

Ліву частину рівняння визначено вище, вона становить 0,00565 (м<sup>2</sup>).

Перший доданок правої частини рівняння визначено вище, вона становить 0,001 м<sup>2</sup>.

Другий доданок правої частини рівняння

$$2(b'_H + S_{ш1} - S'_{ш1} - C_K) \cdot S_H = 2(0,134 + 0,01 - 0,00318 - 0,001)0,01 = 0,003 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Отже, права частина рівняння становить 0,001+0,003=0,004 (м<sup>2</sup>), тобто менше лівої, отже зміцнення отвору не забезпечено.

Забезпечимо зміцнення отворів за рахунок збільшення товщини накладки. Для цього вирішимо рівняння (2.9) відносно  $S'_H$

$$(d_1 - d_d) \cdot S' \leq 2(l_1 + S - S' - C_K) \cdot (S_{ш1} - S'_{ш1} - C_K) + 2(b'_H + S_{ш1} - S'_{ш1} - C_K) S'_H,$$

$$(d_1 - d_d) \cdot S' = 0,00565 - \text{визначено вище,}$$

$$2(l_1 + S - S' - C_K) \cdot (S_{ш1} - S'_{ш1} - C_K) = 0,001 - \text{визначено вище,}$$

після перетворень

$$S'_H \geq \frac{0,00565 - 0,001}{2(b'_H + S_{ш1} - S'_{ш1} - C_K)} = \frac{0,00465}{2(0,134 + 0,01 - 0,00318 - 0,001)} = 0,0167 \text{ (м)}.$$

Беремо  $S_H = 18$  мм.

Порівнюючи обидва способи зміцнення отвору, перевагу потрібно надати другому способу (з накладкою), оскільки цей метод менш металоемний.

Другий штуцер  $d_1 = 150$  мм.

Допустиме напруження при  $\eta = 1$ ,  $\sigma_d = \sigma_d^* \cdot \eta = 130 \cdot 1 = 130$  (МПа).

Номінальна розрахункова товщина стінки штуцера при  $\phi = 1$

$$S'_{ш2} = \frac{d_2 \cdot P}{2 \cdot \sigma_{д1} \cdot \varphi} = \frac{0,15 \cdot 1,058}{2 \cdot 130 \cdot 1} = 0,61 \cdot 10^{-3} \text{ (м) або } 0,61 \text{ (мм)}.$$

Довжина частини штуцера, що бере участь в укріпленні отвору

$$l_1 = \sqrt{(d_2 + 2 \cdot C_k)(S_{ш2} - C_k)}, \quad (2.10)$$

$$l_1 = \sqrt{(0,15 + 2 \cdot 0,001)(0,0045 - 0,001)} = 0,0231 \text{ (м)}.$$

Перевіримо, чи достатнє зміцнення отвору в обичайці штуцером з врахуванням різних допустимих напружень для обичайки і штуцера

$$(d_2 - d_d) \cdot S' \leq 2(l_1 + S - S' - C_k) \cdot (S_{ш2} - S'_{ш2} - C_k) \frac{\sigma_{д1}}{\sigma_d} \quad (2.11)$$

Ліва частина рівняння (2.11)

$$(0,15 - 0,0864)0,00795 = 0,000506 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Права частина рівняння (2.11)

$$2(0,0231 + 0,01 - 0,00795 - 0,001) \cdot (0,0045 - 0,00061 - 0,001) \frac{130}{140} = \\ = 12,9 \cdot 10^{-5} \text{ (м}^2\text{)}.$$

Оскільки права частина умови менша лівої, укріплення отвору не забезпечене.

Перевіримо можливість застосування втулкового зміцнення (за рахунок збільшення товщини патрубка) за умовою

$$(d_2 - d_d) \cdot S' \leq 2 \left[ \sqrt{(d_2 + 2 \cdot C_k)(2 \cdot S - C_k)} + S - S' - C_k \right] \cdot \\ \times (2S - S'_{ш2} - C_k). \quad (2.12)$$

Ліва частина рівняння визначена вище і становить 0,000506 (м<sup>2</sup>).

Права частина рівняння (2.12)

$$2 \left[ \sqrt{(0,15 + 2 \cdot 0,001)(2 \cdot 0,01 - 0,001)} + 0,01 - 0,00795 - 0,001 \right] \cdot \\ \times (2 \cdot 0,01 - 0,00061 - 0,001) = 0,00198 \text{ (м}^2\text{)} > 0,000506 \text{ (м}^2\text{)},$$

тобто умова виконана. Отже, застосування зміцнення за рахунок збільшення товщини стінки штуцера доцільно.

Методом послідовних наближень знаходимо товщину штуцера  $S=10$  мм, яка забезпечує зміцнення отвору. Перевіримо це розрахунком.

Довжина частини штуцера, що бере участь в укріпленні отвору за формулою 2.10,  $S_{ш}=10$  мм.

$$l_1 = \sqrt{(0,15 + 2 \cdot 0,001)(0,01 - 0,001)} = 0,037 \text{ (м)}.$$

$$2(l_1 + S - S' - C_k) \cdot (S_{ш1} - S'_{ш1} - C_k) = 2(0,037 + 0,01 - 0,00795 - 0,001) \cdot \\ \times (0,01 - 0,00061 - 0,001) \frac{130}{140} = 0,000593 \text{ (м}^2\text{)} > 0,000506 \text{ (м}^2\text{)},$$

тобто умова дотримана, зміцнення забезпечено.

**Приклад 2.5.** Визначити найменшу допустиму відстань між центрами штуцерів для умов прикладу 2.4 при розміщенні їх в циліндричній обичайці апарата по одній твірній. З прикладу 2.4 маємо:  $d_1=0,8$  м,  $d_2=0,15$  м,  $S_{ш1}=S_{ш2}=10$  мм,  $b_H=0,134$  м.

### Розв'язання

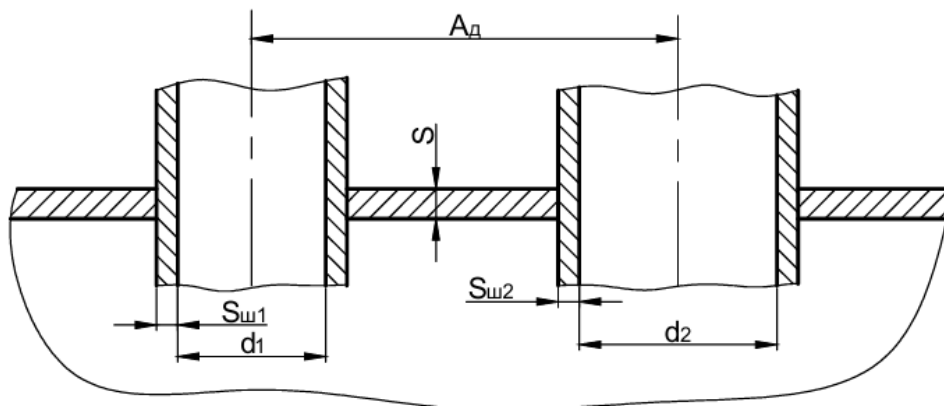


Рисунок 2.4 – Розміщення двох суміжних отворів  
Найменша допустима відстань між центрами штуцерів

$$A_d = 0,7(d_1 + d_2) + S_{ш1} + S_{ш2}, \quad (2.13)$$

$$A_d = 0,7 \cdot (0,8 + 0,15) + 0,01 + 0,01 = 0,685 \text{ (м)}.$$

Необхідно також, щоб між суміжними отворами знаходилась половина площі зміцнення отворів, яка, в даному випадку, складається з частини потовщених штуцерів і накладки. Тому найменша допустима відстань

між центрами штуцерів, виходячи з останніх міркувань, з врахуванням місця для приварювання штуцерів і накладки 0,02 м становитиме

$$A_d \geq 0,5(d_1 + d_2) + S_{ш1} + S_{ш2} + b_n + 0,02 = \\ = 0,5(0,8 + 0,15) + 0,01 + 0,01 + 0,134 + 0,02 = 0,649 \text{ (м)}.$$

Обираємо  $A_d = 0,685 \text{ м}$

**Приклад 2.6** Визначити висоту плоскої круглої трубної решітки (рис.2.5) в апараті по конструктивній схемі (рис.2.6, решітка А) за такими даними: діаметр внутрішній  $D_v = 0,55 \text{ м}$ , тиск в трубному просторі

$P_T = 2,5 \text{ МПа}$ , у міжтрубному  $P_M = 1 \text{ МПа}$ , діаметр труб  $25 \times 2 \text{ мм}$ , кількість труб на найбільшому діаметрі 15 шт, труби розміщені в решітці по вершинах рівносторонніх трикутників (рис.2.7) і закріплені в ній розвальцюванням, крок  $t = 32 \text{ мм}$ , матеріал решітки – сталь ( $\sigma_{згиб} = 140 \text{ Мн/м}^2$ ), надбавка на корозію  $C_k = 2 \text{ мм}$ .

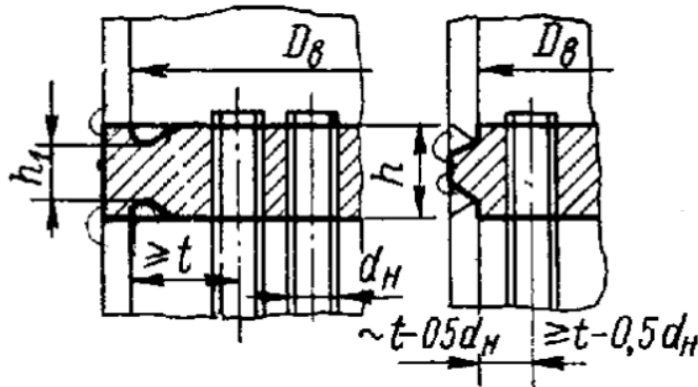


Рисунок 2.5 – Тип трубної решітки

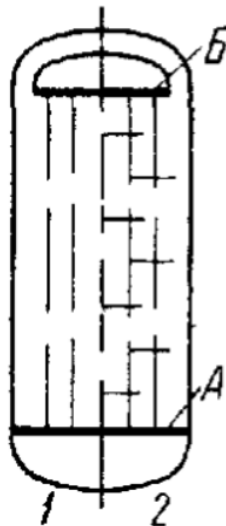


Рисунок 2.6 – Тип кожухотрубного теплообмінника (з плаваючою головою) : 1 – без поперечних перегородок; 2 – з поперечними перегородками.

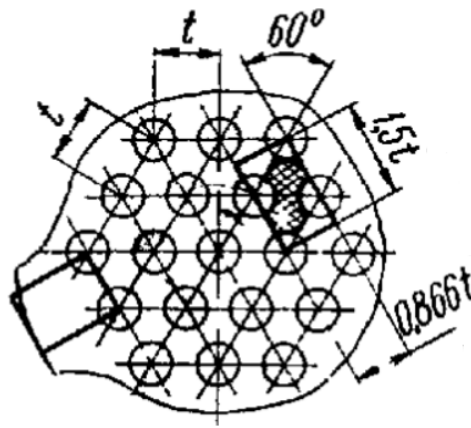


Рисунок 2.7 – Розміщення труб по вершинах рівносторонніх трикутників

### Розв'язання

Номінальна розрахункова висота решітки ззовні

$$h'_1 = 0,28 \cdot D_B \cdot \sqrt{\frac{P_T}{\sigma_{згнб}}} = 0,28 \cdot 0,55 \cdot \sqrt{\frac{2,5}{140}} = 0,0206 \text{ (м)}.$$

Коефіцієнт ослаблення решітки отворами

$$\varphi_0 = \frac{D_B - \sum d}{D_B} = \frac{0,55 - 15 \cdot 0,025}{0,55} = 0,318.$$

Номінальну розрахункову висоту решітки посередині визначимо за формулою

$$h' = 0,47 \cdot D_B \cdot \sqrt{\frac{P_T}{\varphi_0 \cdot \sigma_{згнб}}} = 0,47 \cdot 0,55 \cdot \sqrt{\frac{2,5}{0,318 \cdot 140}} = 0,0613 \text{ (м)}.$$

З врахуванням надбавок на корозію  $C_k$ , на округлення розмірів, а також із конструктивних міркувань приймаємо  $h_1 = 30$  мм,  $h = 64$  мм.

**Приклад 2.7** Визначити номінальну розрахункову висоту плоскої круглої трубної решітки (рис. 2.8) в апараті по конструктивній схемі (рис.2.6, решітка Б) за такими даними:  $D_B = 0,5$  м, довжина труб між поперечними перегородками  $L = 0,5$  м, тиск в трубному просторі  $P_T = 2,5$  МПа, у міжтрубному  $P_M = 1$  МПа, діаметр труб  $25 \times 2$  мм, кількість труб на найбільшому діаметрі 15 шт, труби розміщені в решітці по вершинах рівносторонніх трикутників і закріплені в ній розвальцюванням, крок  $t = 32$  мм, матеріал решітки – сталь ( $\sigma_{згнб} = 140$  Мн/м<sup>2</sup>), надбавка на корозію  $C_k = 2$  мм.

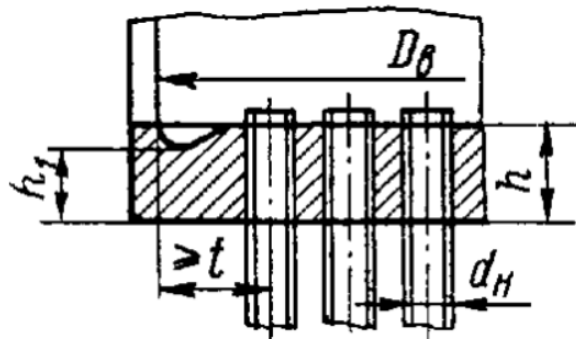


Рисунок 2.8 – Трубна решітка

### Розв'язання

Радіус інерції поперечного перерізу труби

$$r = 0,25 \cdot \sqrt{d_H^2 + d_B^2} = 0,25 \cdot \sqrt{0,025^2 + 0,021^2} = 0,00815 \text{ (м)}.$$

Гнучкість труби

$$\lambda = \frac{L}{r} = \frac{0,5}{0,00815} = 61,4.$$

Знаходимо за графіком (рис. 2.9) коефіцієнт зменшення допустимого напруження осьового стиску для  $\lambda=61,4$ ,  $\varphi=0,85$ .

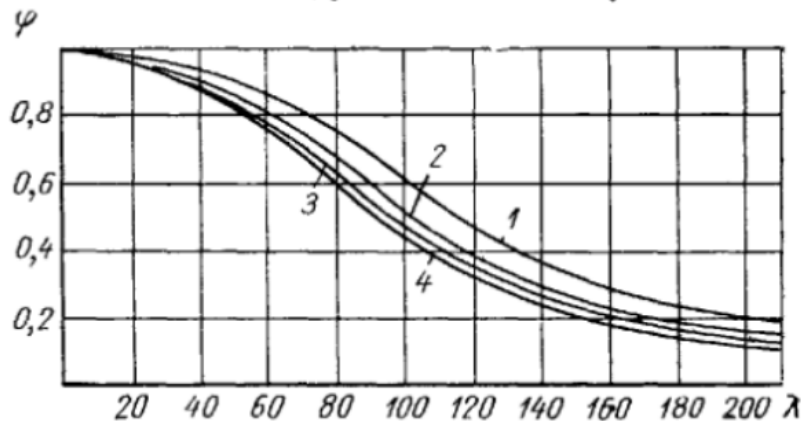


Рисунок 2.9. – Графік для визначення коефіцієнта зменшення допустимих напружень при повздовжньому згині центрально стиснутих елементів:  
 1 – Ст.3, 10, 20, 20К; 2 – 12ХМ, 12 МХ, 15 ХМ; 3 – 16 ГС, 09Г2С; 4 –  
 Х18Н10Т, Х18Н12Т, Х17Н13М2Т, Х17Н13М3Т

Перевіримо умову стійкості труб

$$\frac{d_H^2 \cdot P_M}{d_H^2 - d_B^2} = \frac{0,025^2}{0,025^2 - 0,021^2} = 3,38.$$

$\varphi \cdot \sigma_{\text{згиб}} = 0,85 \cdot 140 = 119$ , оскільки  $3,38 < 119$ , то стійкість забезпечена.

Визначимо середнє арифметичне сторін прямокутника в решітці, утвореного центрами чотирьох суміжних труб

$$l_1 = 1,18 \cdot t = 1,18 \cdot 0,032 = 0,0378 \text{ (м)}.$$

Середнє арифметичне сторін прямокутника в решітці, утвореного центрами двох суміжних труб в крайньому ряду і контуром решітки

$$l_2 = \frac{D_{\text{в}} - t \cdot (z - 1) + 2 \cdot t}{4} = \frac{0,5 - 0,032 \cdot (15 - 1) + 2 \cdot 0,032}{4} = 0,029 \text{ (м)}.$$

Для розрахунку беремо більше значення 0,0378 м.

Визначимо номінальну розрахункову висоту решітки

$$h' = 0,525 \cdot l \cdot \sqrt{\frac{P_{\text{т}}}{\left(1 - 0,7 \frac{d_{\text{н}}}{l}\right) \cdot \sigma_{\text{згиб}}}},$$

$$h' = 0,525 \cdot 0,0378 \cdot \sqrt{\frac{2,5}{\left(1 - 0,7 \frac{0,025}{0,0378}\right) \cdot 140}} = 0,00362 \text{ (м)}.$$

Висота решітки повинна бути прийнята виходячи з умов надійності розвальцювання труб і конструктивних міркувань.

Визначимо розрахункову висоту трубної решітки з врахуванням того, що труби закріплені за допомогою гладкого розвальцювання.

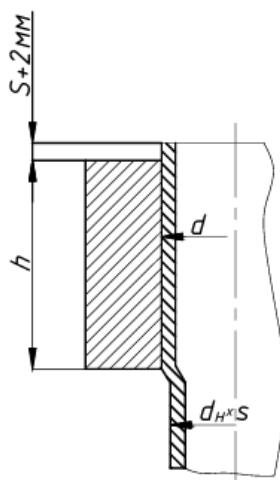


Рисунок 2.10 – Гладке розвальцювання труби

Розрахункова осьова сила, що діє в місці закріплення труби в решітці

$$P'_T = \frac{\pi}{4} \cdot d_n^2 \cdot P_T = \frac{\pi}{4} \cdot 0,025^2 \cdot 2,5 = 0,00123 \text{ (Мн)}.$$

Допустиме навантаження, що припадає на одиницю умовної поверхні, для сталі при гладкому розвальцюванні становить  $q=15 \text{ Мн/м}^2$  (вибирається з таблиць залежно від способу розвальцювання і матеріалу труб).

Розрахункова висота трубної решітки

$$h' = \frac{P'_T}{d_n \cdot q} = \frac{0,00123}{0,025 \cdot 15} = 0,00328 \text{ (м)}.$$

За іншою формулою

$$h' = \frac{4,35 \cdot d_n + 15}{t - d_n} = \frac{4,35 \cdot 25 + 15}{32 - 25} = 17,6 \text{ (мм)}.$$

За розрахункове значення беремо більше значення – 17,6 мм.

**Приклад 2.7.** Вибрати зварні опорні лапи для вертикального апарату, встановленого в отворі міжповерхового перекриття. Кількість опорних лап – 2. Маса апарату в робочих умовах  $m=2700 \text{ кг}$ , в умовах випробувань  $m_1=1670 \text{ кг}$ .

### Розв'язання

Визначимо вагу апарата:  
в робочих умовах

$$G=m \cdot g, \quad (2.14)$$

$$G=2700 \cdot 9,81=26487 \text{ (Н)}.$$

в умовах випробувань

$$G=m_1 \cdot g, \quad (2.15)$$

$$G=1670 \cdot 9,81=16383 \text{ (Н)}.$$

Зусилля, яке діє на опорну лапу

$$F_1 = \frac{G}{2} + \frac{M}{D + 2 \cdot (e_1 + S + S_2)} \leq [F_1], \quad (2.16)$$

де  $M$  – згинальний момент, що діє на обичайку в перерізі, де розташовані опорні лапи.

Для апарату, встановленого в приміщенні на перекритті, зовнішній згинальний момент  $M=0$ . Тоді формула (2.16) набуває вигляду

$$F_1 = \frac{G}{2} \leq [F_1]. \quad (2.17)$$

Розрахункове зусилля  $F_1$  дорівнює:  
в робочих умовах (за формулою 2.17)

$$F_1 = \frac{26487}{2} = 13243,5 \text{ (Н)};$$

в умовах випробувань (за формулою 2.17)

$$F_1 = \frac{16383}{2} = 8191,5 \text{ (Н)}.$$

З таблиці додатку В, таблиця В1 беремо зварні лапи (рис.2.11) з найближчим допустимим навантаженням на одну лапу  $[F_1] = 16000 \text{ (Н)}$ .

**Приклад 2.8.** Вибрати опору колонного апарату (рис.2.12) для таких умов: внутрішній діаметр апарату  $D=1000 \text{ мм}$ , маса апарату в робочих умовах  $m_1=6560 \text{ кг}$ , в умовах випробувань  $m_2=15210 \text{ кг}$ , в умовах монтажу без ізоляції і внутрішніх пристроїв  $m_4=3710 \text{ кг}$ . Згинальні моменти в основі опори : в робочих умовах  $M_{1r}=2,305 \cdot 10^8 \text{ Н}\cdot\text{м}$ , в умовах гідровипробувань  $M_{2r}=1,388 \cdot 10^8 \text{ Н}\cdot\text{м}$ , в умовах монтажу  $M_{3r}=2,279 \cdot 10^8 \text{ Н}\cdot\text{м}$ .

Теоретичні відомості до цієї задачі наведено в літературі [9].

### Розв'язання

Визначимо вагу колонного апарату:  
в робочих умовах

$$G_1 = m_1 \cdot g, \quad (2.18)$$

$$G_1 = 6560 \cdot 9,81 = 64354 \text{ (Н)}.$$

в умовах випробувань

$$G_2 = m_2 \cdot g, \quad (2.19)$$

$$G_2 = 15210 \cdot 9,81 = 149210 \text{ (Н)}.$$

В умовах монтажу без ізоляції та внутрішніх пристроїв

$$G_4 = m_4 \cdot g, \quad (2.20)$$

$$G_4 = 3710 \cdot 9,81 = 36395 \text{ (Н)}.$$

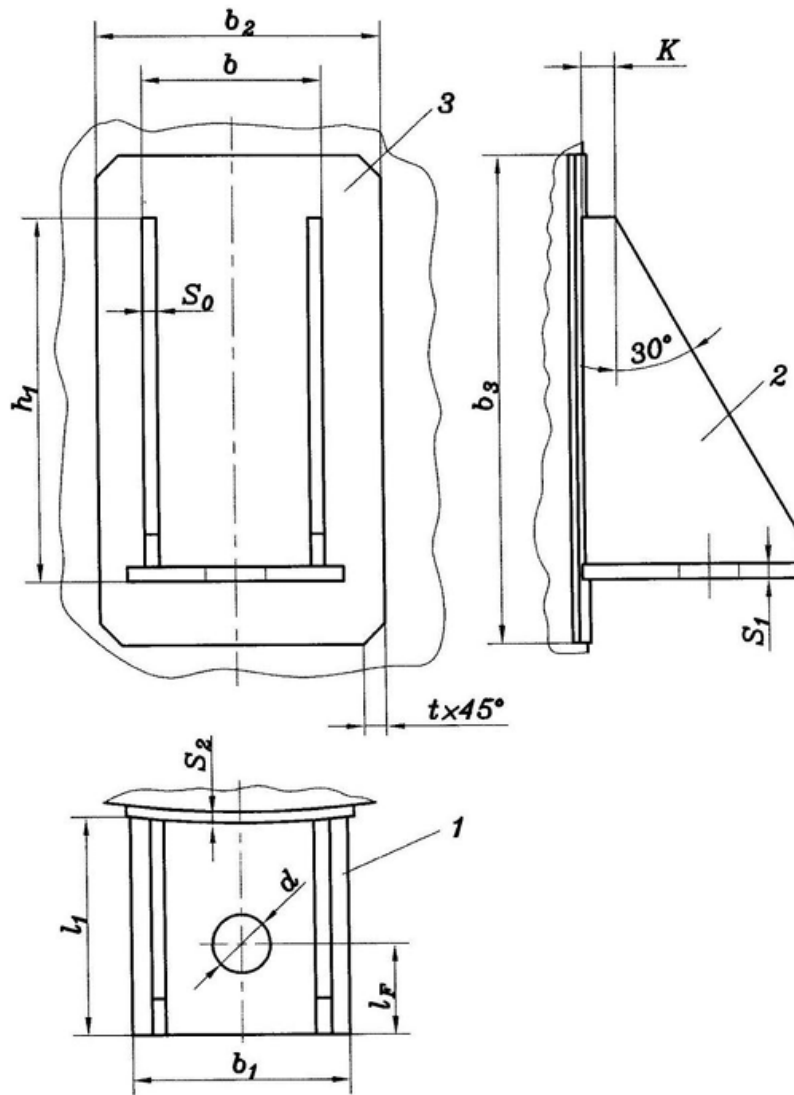


Рисунок 2.11 – Зварна опорна лапа: 1 – пластина; 2 – ребро; 3 – накладний лист [9]

Осьове стискальне зусилля в перерізі Г-Г складає: в робочих умовах  $F_{1r} = G_1 = 64354$  Н; в умовах випробувань  $F_{2r} = G_2 = 149210$  Н; в умовах монтажу без ізоляції та внутрішніх пристроїв  $F_{4r} = G_4 = 36395$  Н. Максимальне зведене навантаження

$$Q_{\max} = \max \left\{ \frac{4 \cdot M_{r1}}{D} + F_{1r}; \frac{4 \cdot M_{r2}}{D} + F_{2r} \right\}, \quad (2.21)$$

$$\begin{aligned} Q_{\max} &= \max \left\{ \frac{4 \cdot 2,305 \cdot 10^8}{1000} + 64354; \frac{4 \cdot 1,388 \cdot 10^8}{1000} + 149210 \right\} = \\ &= \max \{986354; 704410\} = 986354 \text{ (Н)}. \end{aligned}$$

### Мінімальне зведене навантаження

$$Q_{\min} = \frac{4 \cdot M_{3r}}{D} - F_{4r} = \frac{4 \cdot 2,279 \cdot 10^8}{1000} - 36395 = 8,75 \cdot 10^5 \text{ Н.}$$

По зведених навантаженнях  $Q_{\max}$  і  $Q_{\min}$  обираємо опору за таблицею В3. Для апарата діаметром  $D=1000$  мм на максимальне зведене навантаження  $Q_{\max}=986354$  Н (0,986 МН) і мінімальне зведене навантаження  $Q_{\min}=8,75 \cdot 10^5$  Н (0,875 МН) циліндричні опори типів 2-4 не застосовуються. З таблиці В4 беремо конічну опору типу 5 з кільцевим опорним поясом (рис.2.12) з такими навантаженнями  $Q_{\max}=1$  МН,  $Q_{\min}=0,8$  МН. При цьому допускається перевищення зведених навантажень над табличними до 10 %. Тобто  $100 \cdot (0,875 - 0,8) / 0,875 = 8,75\%$ , що не перевищує 10 %.

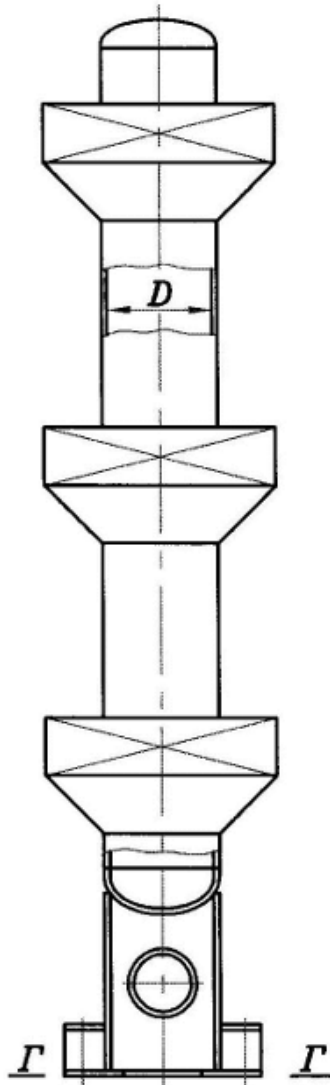


Рисунок 2.12 – Колонний апарат [9]

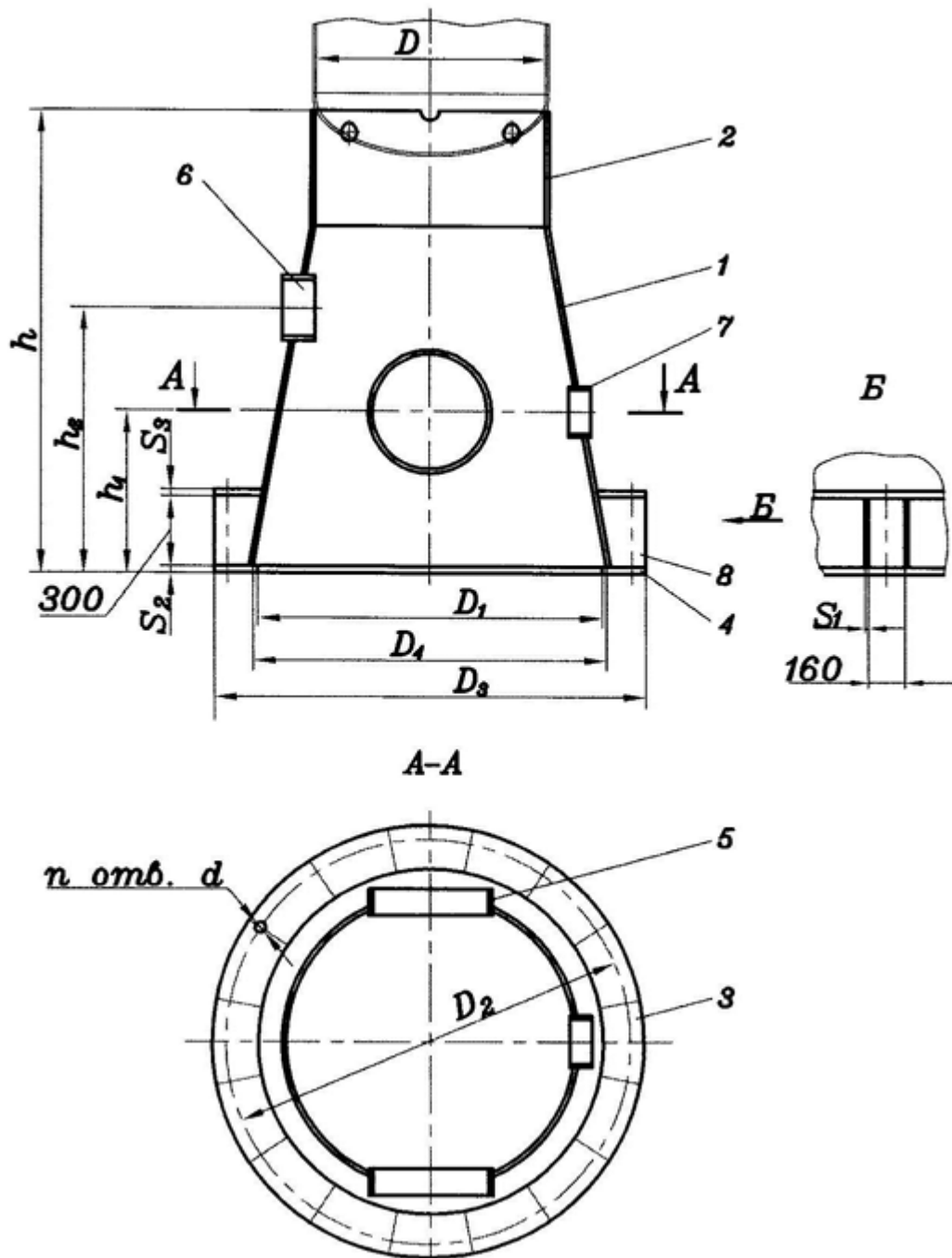


Рисунок 2.13 – Опора конічна з кільцевим опорним поясом [9] (тип 5)  
 1 – обичайка конічна; 2 – обичайка циліндрична; 3 – кільце верхнє; 4 –  
 кільце нижнє; 5 – лаз; 6, 7 – кільця укріплювальні; 8 – ребро.

**Приклад 2.9.** Підібрати плоскі приварні гладенькі фланці для кріплення кришки до обичайки за такими даними: тиск в апараті  $P=1$  МПа, температура стінок  $t=100$  °С, внутрішній діаметр  $D_B=1200$  мм, товщина стінки обичайки  $S_{об}=8$  мм, товщина стінки кришки  $S_{кр}=8$  мм. Фланець призначений для апарата, що не містить пожежовибухонебезпечне та токсичне середовище. Перевірити на міцність фланцеві болти.

## Розв'язання

З додатку Б, таблиці Б1 підбираємо фланці приварні плоскі гладенькі з розмірами рис. Розміри фланців зводимо в таблицю

$D_B$ , мм	$D_3$ , мм	$D_1$ , мм	$D_2$ , мм	$b$ , мм	Кількість болтів М20
1200	1350	1310	1280	72	56

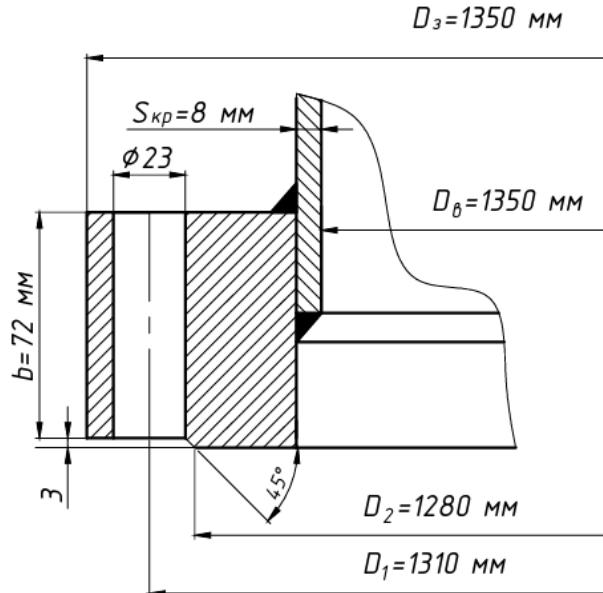


Рисунок 2.14 – Фланець приварний плоский гладенький на  $P=1$  МПа та  $D_B=1200$  мм

Матеріал болтів чи шпильок і гайок слід приймати залежно від матеріалу фланця. Фланці виготовляють із сталі 20, болти із сталі 35 Х, гайки із сталі 35 (табл.2.1)

Таблиця 2.1 – Фланці приварні плоскі гладенькі

Матеріал фланця	Матеріал болтів		Матеріал гайок	
	При $P_y=0,3$ і $0,6$ МПа	При $P_y=1$ і $1,6$ МПа	При $P_y=0,3$ і $0,6$ МПа	При $P_y=1$ і $1,6$ МПа
ВМСтЗсп ВКСт.3 при температурі стінки 10 – 200 °С	Ст.5 до 200 °С Сталь 35	Сталь 35Х	Сталь 25	Сталь 35
X18H10T	X18H10T	4X12H8Г8МФБ	X18H10T	

Для умов роботи апарата підбираємо азбестоалюмінієву прокладку з розмірами:

$D_B$ , мм	$P_y$ , МПа	$D_9$ , мм	$D_{10}$ , мм	$a$ , мм	$a_1$ , мм
1200	1	1279	1249	3,6	4,5

Перевіримо міцність болтів М20 із сталі 35Х встановлених в кількості  $z=56$ .

Податливість болта

$$\lambda_6 = \frac{l_6}{E_6 \cdot F_6}, \quad (2.21)$$

де  $l_6$  – розрахункова довжина болта  $l_6 = 2 \cdot b + a_1 = 2 \cdot 72 + 4,5 = 148,5$  (мм).

$E_6=215 \cdot 10^3$  МПа – модуль пружності матеріалу болта

$$\lambda_6 = \frac{148,5 \cdot 4}{215 \cdot 10^3 \cdot 3,14 \cdot 20^2} = 2,2 \cdot 10^{-6} \text{ (мм/Н)}.$$

Податливість частини прокладки, що припадає на один болт

$$\lambda_{\pi} = \frac{l_{\pi}}{E_{\pi} \cdot F_{\pi}} = \frac{a_1}{E_{\pi} \cdot F_{\pi}}, \quad (2.22)$$

де  $F_{\pi}$  – площа прокладки, що припадає на один болт

$$F_{\pi} = \frac{\pi \cdot (D_9^2 - D_{10}^2)}{4 \cdot z} = \frac{3,14 \cdot (1279^2 - 1249^2)}{4 \cdot 56} = 1063 \text{ (мм}^2\text{)}.$$

$$\lambda_{\pi} = \frac{4,5}{4000 \cdot 1063} = 1,06 \cdot 10^{-6} \text{ (мм/Н)}.$$

Коефіцієнт основного навантаження

$$\chi = \frac{\lambda_{\pi}}{\lambda_{\pi} + \lambda_6} = \frac{1,06 \cdot 10^{-6}}{1,06 \cdot 10^{-6} + 2,2 \cdot 10^{-6}} = 0,325.$$

Зусилля тиску в апараті, що приходиться на один болт

$$Q = \frac{\pi \cdot D_{\text{сп}}^2 \cdot P}{4 \cdot z}, \quad (2.23)$$

де  $D_{\text{сп}}$  – середній діаметр прокладки, мм;  $D_{\text{сп}}=(D_9 + D_{10})/2=(1279+1249)/2=1264$  (мм);  $P$  – тиск, МПа;  $z$  – кількість болтів.

$$Q = \frac{3,14 \cdot 1264^2 \cdot 1}{4 \cdot 56} = 22396 \text{ (Н) або } 22,4 \text{ (кН)}.$$

Сумарне зусилля на болт

$$P = Q[K_{ст} \cdot (1 - \chi) + \chi], \quad (2.24)$$

де  $K_{ст}$  – коефіцієнт запасу проти розкриття стику,  $K_{ст}=1,25 \dots 1,5$ .

$$P = 22,4[1,4 \cdot (1 - 0,325) + 0,325] = 28,45 \text{ (кН)}.$$

Допустима сила [P] для M20 із сталі 35 X при 20 °C становить 25 кН, а при 200 °C – 18 кН (таблиця Б8, додаток Б [6]). Отже, болт із прийнятої сталі не буде працювати надійно. Потрібно взяти інший матеріал болта. Беремо матеріал болта сталь 40X. Для болтів із цієї сталі [P] при 20 °C – 35 кН, а при 200 °C – 31 кН.

**Приклад 2.10.** Для заданої посадки розрахувати характеристики посадки та побудувати схему полів допусків  $\varnothing 60H8/s7$ .

### Розв'язання

Позначення посадки –  $\varnothing 60H8/s7$ .

Номінальний розмір посадки –  $D(d)=60$  мм.

Поле допуску отвору  $\varnothing 60H8$ . Поле допуску валу  $\varnothing 60s7$ . Посадка в системі отвору.

Визначимо граничні розміри отвору  $\varnothing 60H8$ . Позначення основного відхилення отвору – H. Основним є нижнє відхилення (табл. А.3 [13])  $EI=0$ . Квалітет - 8. За таблицею А.2 [13] для інтервалу 50...80 допуск становить  $IT_D=46$  мкм.

Верхнє відхилення

$$ES=EI+IT_D=0+46=+46 \text{ (мкм)}.$$

Граничні розміри отвору

$$D_{max}=D+ES=60+0,046=60,046 \text{ (мм)}.$$

$$D_{min}=D+EI=60+0=60 \text{ (мм)}.$$

Визначимо граничні розміри валу  $\varnothing 60s7$ . Позначення основного відхилення валу – s. За таблицею А4 для інтервалу 50...65 мм основним є нижнє відхилення  $ei=+53$  мкм. Квалітет – 7. За таблицею А4 [13] для інтервалу 50...80  $IT_d=30$  мкм.

Верхнє відхилення  $es=ei+IT_d=+53+30=+83$  мкм.

Граничні розміри вала  $d_{max}=d+es=60+0,083=60,083$  мм,  
 $d_{min}=d+ei=60+0,053=60,053$  мм.

Побудуємо схему посадки  $\varnothing 60\text{H}8/\text{s}7$ . Горизонтально проводимо нульову лінію, вгору від неї відкладаються (в довільному масштабі) додатні відхилення, вниз від'ємні. Оскільки граничні відхилення валу додатні  $e_i=+53$  мкм,  $e_s=+83$  мкм, поле допуску валу розташовано вище нульової лінії.

На схемі позначаються  $D=d=D_{\min}=60$  мкм,  $ES=+46$  мкм,  $EI=0$ ;  $D_{\max}=60,046$  мм;  $e_s=+83$  мкм;  $e_i=+53$  мкм;  $d_{\max}=60,083$  мм;  $d_{\min}=60,053$  мм;

Найбільший граничний натяг

$$N_{\max} = d_{\max} - D_{\min} = 60,083 - 60 = 0,083 \text{ мм} = 83 \text{ мкм.}$$

Найменший граничний відхил

$$N_{\min} = d_{\min} - D_{\max} = 60,053 - 60,046 = 0,007 \text{ мм} = 7 \text{ мкм.}$$

Середній натяг

$$N_c = (N_{\max} + N_{\min})/2 = (0,083 + 0,007)/2 = 0,045 \text{ мм} = 45 \text{ мкм.}$$

Допуск посадки

$$T_N = N_{\max} - N_{\min} = 0,083 - 0,007 = 0,076 \text{ мм} = 76 \text{ мкм}$$

$$T_N = IT_D + IT_d = 46 + 30 = 76 \text{ мкм.}$$

Поле допуску вала розташовано над полем допуску отвору, що відповідає насадці з натягом.

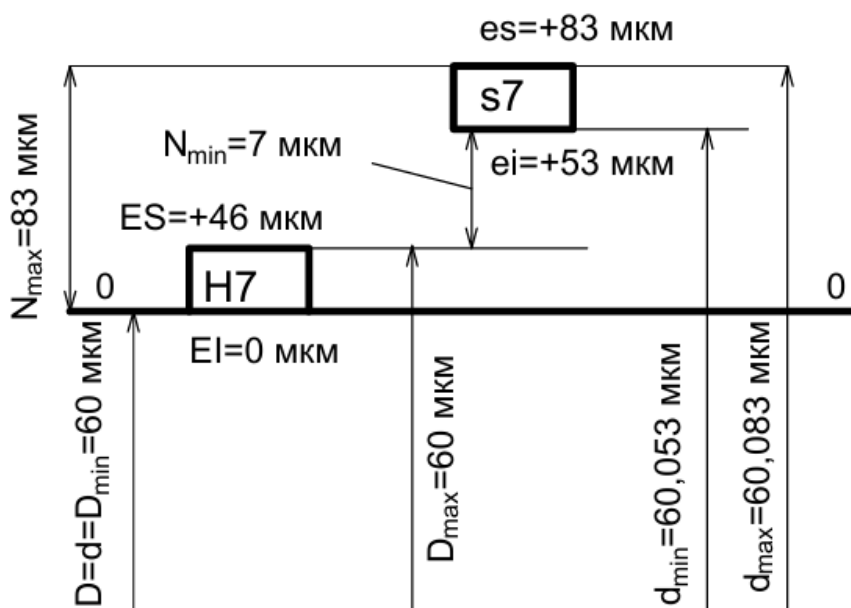


Рисунок 2.13 – Схема посадки  $\varnothing 60\text{H}8/\text{s}7$

### 3 ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО ВИКОНАННЯ

**Приклад 3.1.** Визначити товщину стінки зварної циліндричної обичайки вертикального апарата з сорочкою, що працює під вакуумом (рис.2.1) і зовнішнім тиском (в сорочці) за такими даними: матеріал обичайки сталь марки X18H10T ( $E^{150}=1,85 \cdot 10^5 \text{ Мн/м}^2$ ;  $\sigma_T^{150} = 210 \text{ Мн/м}^2$ ;  $\sigma_{сд} = 138 \text{ Мн/м}^2$  (1380 кгс/см<sup>2</sup>); матеріал стійкий в середовищі, дані про проникність відсутні ( $C_k=1 \text{ мм}$ ,  $C_e=0 \text{ мм}$ ); зовнішнє середовище (в сорочці) – неагресивна рідина з густиною  $\rho_p=1000 \text{ кг/м}^3$ ; внутрішнє середовище – газ з залишковим тиском  $P_c=0,07 \text{ Мн/м}^2$  (0,7 кгс/см<sup>2</sup>);  $P_{нс}=0,6 \text{ МПа}$  (6 кгс/см<sup>2</sup>); температура стінки  $t_{ст}=150 \text{ }^\circ\text{C}$ ; внутрішній діаметр  $D_B$ , м; висота апарату  $H$ , м; обичайка без отворів; поздовжній зварний автоматичний стиковий шов двосторонній ( $\varphi_{ш}=1$ ), поправковий коефіцієнт  $\eta=1$ .

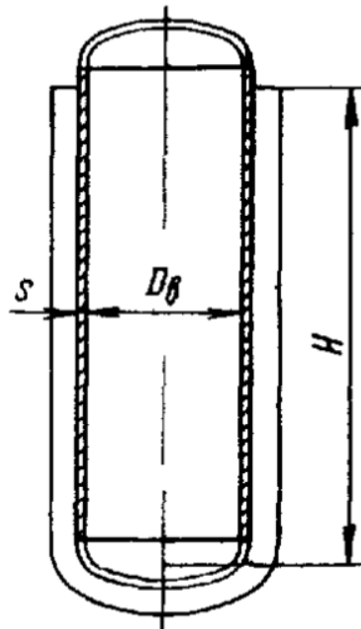


Рисунок 3.1 – Вертикальний апарат з сорочкою

Остання цифра шифру	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$D_B$ , м	0,8	0,7	0,9	1		1,1	1,2	0,8	0,9	1
Передостання цифра шифру	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$H$ , м	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,3	2,2

**Приклад 3.2.** Визначити товщину стінки зварної циліндричної обичайки укріпленої кільцями жорсткості прямокутного поперечного перерізу, і поперечний переріз останніх для горизонтального апарата, що працює під внутрішнім і зовнішнім тисками по таких даних: матеріал обичайки і кільця жорсткості – алюмінієвий сплав АМцС ( $\sigma_b = 130 \text{ Мн/м}^2$ ,  $\sigma_{0,2} = 60 \text{ Мн/м}^2$ ;  $E = 0,72 \cdot 10^5 \text{ Мн/м}^2$ ); матеріал стійкий у внутрішньому середовищі, дані про проникність відсутні ( $C_k = 1 \text{ мм}$ ,  $C_e = 0 \text{ мм}$ ), внутрішнє середовище – рідина з густиною  $\rho_p = 1100 \text{ кг/м}^3$ , зовнішнє середовище (в сорочці) – не агресивна рідина з густиною  $\rho_{p1} = 800 \text{ кг/м}^3$  ( $C_k = 0 \text{ мм}$ ); тиск  $P_c = 0,3 \text{ МПа}$ ,  $P_{nc} = 0,16 \text{ МПа}$  ( $1,6 \text{ кгс/см}^2$ ); температура стінки  $t_{ct} = -190 \text{ }^\circ\text{C}$ ; внутрішній діаметр  $D_b = 1,2 \text{ м}$ ;  $l = 0,9 \text{ м}$ ;  $L = 4,5 \text{ м}$ ; обичайка з надійно укріпленими отворами; поздовжній зварний автоматичний стиковий шов двосторонній ( $\phi_{ш} = 0,85$ ), поправковий коефіцієнт  $\eta = 0,95$ .

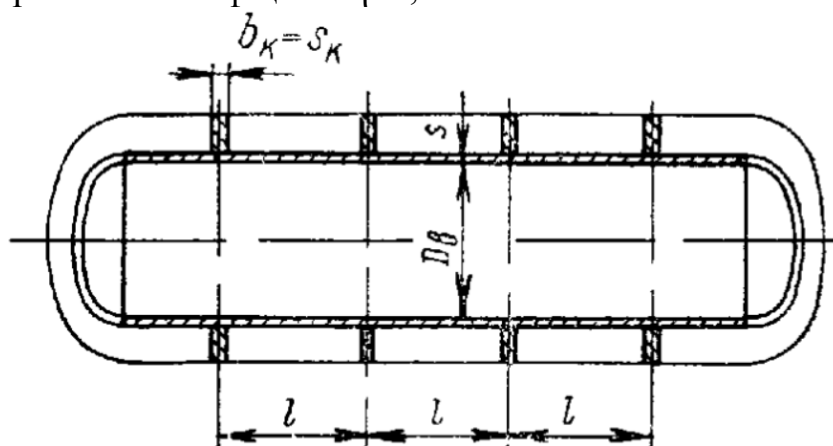


Рисунок 3.2 – Горизонтальний апарат, що працює під внутрішнім і зовнішніми тисками

**Приклад 3.3.** Визначити товщину стінки еліптичного днища приєднаного до обичайки горизонтального циліндричного апарата (приклад 2.2) за такими даними: матеріал днища алюмінієвий сплав марки АМцС ( $E = 0,72 \cdot 10^5 \text{ Мн/м}^2$ ,  $\sigma_T = 60 \text{ Мн/м}^2$ ,  $\chi = \frac{\sigma_y}{\sigma_T} \approx 0,7$ ,  $\sigma_d = \sigma_{сд} = 35,4 \text{ Мн/м}^2$ ,  $C_k = 1 \text{ мм}$ );  $D_b = 1,2 \text{ м}$ ,  $h_b = 0,3 \text{ м}$ ; днище стандартне без отворів зварне з двох половин, зварний шов автоматичний стиковий двосторонній ( $\phi_{ш} = 0,85$ ),  $P = 0,314 \text{ МПа}$  ( $3,14 \text{ кгс/см}^2$ );  $P_n = 0,172 \text{ МПа}$  ( $1,72 \text{ кгс/см}^2$ ).

**Приклад 3.4.** Визначити висоту плоскої круглої трубної решітки (рис.2.5) в апараті по конструктивній схемі (рис.2.6, решітка А) за такими даними: діаметр внутрішній  $D_b$ , м, тиск в трубному просторі  $P_T$ , МПа, у міжтрубному  $P_M$ , МПа, діаметр труб  $25 \times 2 \text{ мм}$ , кількість труб на найбільшому діаметрі  $n$  шт, труби розміщені в решітці по вершинах рівносторонніх трикутників (рис.2.7) і закріплені в ній розвальцюванням, крок  $t = 32 \text{ мм}$ , матеріал решітки – сталь ( $\sigma_{згіб} = 140 \text{ Мн/м}^2$ ), прибавка на корозію  $C_k = 2 \text{ мм}$ .

Остання цифра шифру	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$P_T$ , МПа	2,4	2,3	2,2	2,1	2	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5
$P_M$ , МПа	1,5	1	1,1	1,2	1,3	1,4	0,8	0,7	0,9	1
Передостання цифра шифру	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$D_B$ , м	0,62	0,68	0,74	0,78	0,83	0,87	0,91	0,55	0,46	0,62
$n$ , шт	17	19	21	23	25	27	29	15	13	17

**Приклад 3.5.** Розрахувати лаз діаметром 500 мм для апарату з такими даними: внутрішній діаметр 1100 мм, тиск в апараті 1 МПа, температура 100 °С, товщина обичайки 8 мм, апарат виготовлено зі сталі (див. таблицю)

Остання цифра шифру	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Марка сталі	Ст.3	Ст.10	Ст.20	09Г2С	Ст.3	Ст.10	Ст.20	09Г2С	12ХМ	15ХМ

**Приклад 3.6.** Визначити діаметр труби та підібрати згідно ДСТУ стандартний діаметр труби, якщо відомо: витрата теплоносія (води)  $G$ , кг/с, його середня температура  $t$ , °С, швидкість теплоносія взяти від 1 до 3 м/с.

Остання цифра шифру	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$G$ , кг/с	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$t$ , °С	50	6	70	80	90	100	110	120	130	140

**Приклад 3.7.** Вибрати зварні опорні лапи для теплоізолюваного вертикального апарата, встановленого в отворі міжповерхового перекриття. Кількість опорних лап – 4. Маса апарата в робочих умовах  $m$ , кг, в умовах випробувань  $m_1$ , кг. Методика розв'язання наведена в джерелі [9], розміри лап наведені в додатку В, таблиця В2.

Остання цифра шифру	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$m$ , кг	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$m_1$ , кг.	50	6	70	80	90	100	110	120	130	140

**Приклад 3.8** Підібрати плоскі приварні гладенькі фланці для кріплення кришки до обичайки за такими даними: тиск в апараті  $P$ , МПа, температура стінок  $t=100$  °С, внутрішній діаметр  $D_B$ , м, товщини обичайки та кришки  $S_{об}$  та  $S_{кр}$  взяти з таблиці. В апараті знаходиться пожежовибухонебезпечне та нетоксичне середовище. Перевірити на міцність фланцеві болти.

<b>Варіант</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
P, МПа	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
D <sub>в</sub> , м	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,2	1,3	1,4
S <sub>об</sub> , S <sub>кр</sub> , мм	7	7	7	7	7	9	9	9	9	12
<b>Варіант</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>
Тиск в апараті	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
D <sub>в</sub> , м	1800	2000	2200	2400	2600	2800	1100	1200	1400	1600
S <sub>об</sub> , S <sub>кр</sub> , мм	10	10	12	12	12	12	8	8	8	8

**Приклад 3.9** Підібрати фланці приварні встик з ущільнювальною поверхнею «виступ - западина» для кріплення кришки до обичайки за такими даними: тиск в апараті P, МПа, температура стінок t=200 °С, внутрішній діаметр D<sub>в</sub>, м, товщини обичайки та кришки S<sub>об</sub> та S<sub>кр</sub> взяти з таблиці. В апараті знаходиться пожежовибухонебезпечне та токсичне середовище. Перевірити на міцність фланцеві болти.

<b>Варіант</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
P, МПа	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
D <sub>в</sub> , м	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,2	1,3	1,4
S <sub>об</sub> , S <sub>кр</sub> , мм	8	8	8	8	8	10	10	10	10	12
<b>Варіант</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>
Тиск в апараті	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
D <sub>в</sub> , м	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,4
S <sub>об</sub> , S <sub>кр</sub> , мм	8	8	8	8	8	10	10	10	10	12

**Приклад 3.10.** Вибрати товщину стінки труби діаметром d<sub>3</sub>=32 мм із сталі 12Х1МФ з двома варіантами поздовжнього орєбрення: металургійного (пряма плавникова труба) (ТУ 14-3-341-75) та із вваркою смуг (ТУ108-970-80). Розрахунковий тиск P=30 МПа. Розрахункова і зовнішня температури стінок труби рівні: на лобовій твірній t<sub>p</sub>=518 °С, t<sub>3</sub>=573 °С; на границі зварного шва t<sub>p</sub>=458 °С, t<sub>3</sub>=508 °С.

**Приклад 3.11** Розрахувати товщину стінки змійовиків вихідного пакета пароперегрівника для котла з номінальними параметрами пари 14 МПа, 545 °С. Зовнішній діаметр труб d<sub>3</sub>=32 мм, радіус згинів R=1,9·d<sub>3</sub>. Перевірити можливість застосування труб зі сталі 12Х1МФ та зі сталі 10CrMo9-10. Максимальна овальність згинів 8 %, розрахунковий ресурс

10<sup>5</sup> годин, паливо – кам'яне вугілля. Допустимі напруження для сталі 10CrMo9-10 наведено в таблиці

Таблиця 3.1 – Допустимі напруження для сталі

t, °C	[σ], МПа	t, °C	[σ], МПа
20-100	180	480	123
200	163	500	96
250	160	520	73
300	153	540	53
350	146	560	38
400	140	580	28
450	133		

**Приклад 3.12.** Перевірити товщину стінки труби  $d_3 \times \delta = 50 \times 5$  мм із сталі 20 з внутрішнім гвинтовим оребренням (ребра восьмизаходні трапецієдальні з кутом закручування 20°). Розрахунковий тиск  $P=16$  МПа. Температура стінки розрахункова  $t_p=338$  °C, зовнішня  $t_3=398$  °C.

**Приклад 3.13.** Розрахувати плоске приварне днище до колектора пароперегрівника. Колектор виготовлений з катаної труби  $D_3=275$  мм, товщиною  $s=60$  мм. Матеріал – сталь 15X1М1Ф. Розрахунковий тиск становить  $P=25,5$  МПа, розрахункова температура стінки  $t_p=574$  °C. Днище – точене з трьома варіантами ослаблення: а) центральний отвір діаметром  $d=100$  мм; два отвори  $d_1=30$  мм,  $d_2=30$  мм з кроком 70 мм; чотири отвори:  $d_1=20$  мм,  $d_2=20$  мм;  $d_3=40$  мм,  $d_4=30$  мм. Конструкція днищ і схема розташування отворів показана на рис.3.1, 3.2, 3.3.

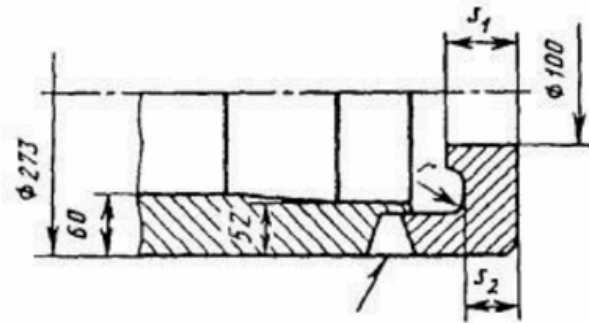


Рисунок 3.1 – Днище з одним отвором

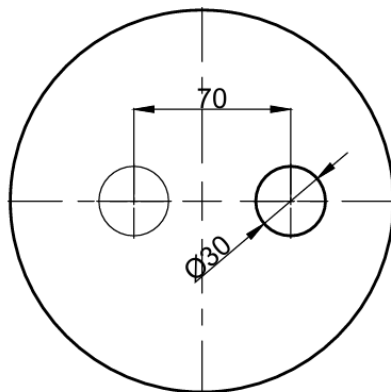


Рисунок 3.2 – Днище з двома отворами

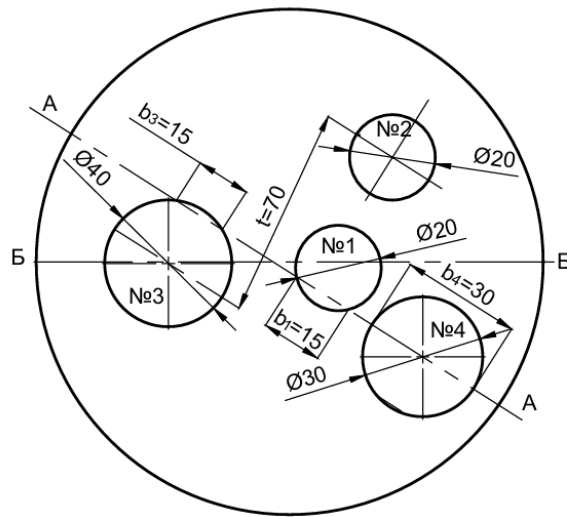


Рисунок 3.3 – Днище з чотирма отворами

**Приклад 3.14.** Визначити номінальну товщину стінки коліна водоспускної труби котла. Зовнішній діаметр коліна  $D_3=159$  мм. Розрахунковий тиск  $P=15,9$  МПа, температура  $t=345$  °С. Коліно виготовлено методом гнуття, матеріал – сталь 20. Радіус осі коліна  $R=800$  мм, овальність перерізу  $a=6$  %.

**Приклад 3.15.** Розрахувати пропелерну мішалку згідно варіанту, що приведений в таблиці. Для всіх варіантів прийняти, що в апараті немає перегорожок. Методика розв'язання задачі наведена в літературі [18].

Остання цифра шифру	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$n$ , об/хв	800	850	900	1100	1200	950	850	900	1100
$D$ , мм	1000	1200	1400	1450	1550	1100	1300	1400	1500
$H$ , мм	1300	1500	1600	1600	1700	1400	1550	1650	1750
$H_p$ , мм	1000	1200	1300	1350	1400	1300	1250	1350	1450
$w$ , м/с	7,5	8	8,5	9	8,5	8	7,8	8	8,1
$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	950	970	860	850	900	960	900	920	965
$\mu$ , Н·с/м <sup>2</sup>	1,67	1,5	1,2	1,3	1,4	1,6	1,35	1,28	1,35
$d_b$ , мм	30	30	40	40	30	40	3	40	30
$P \cdot 10^{-5}$ , Па	2	3	5	4	5	4,5	3,5	2,5	2
Умови	$D/d=3$	$D/d=3$	$t/D=1,5$ $D/d=$ $=0,25$	$t/D=1,5$ $D/d=$ $=0,25$	$t/D=1,5$ $D/d=$ $=0,25$	$D/d=3$	$t/D=1,4$ $D/d=0,$ $25$	$t/D=2,$ $D/d=$ $=0,25$	$t/D=1,$ $4D/d=$ $0,25$

**Приклад 3.16.** Для заданої посадки розрахувати характеристики посадки та побудувати схему полів допусків

<b>Варіант</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Позначення посадки	∅50H8/u7	∅20M8/h7	∅25H8/e8	∅65H8/u7	∅60H8/d8
<b>Варіант</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
Позначення посадки	∅25H8/s7	∅53H8/s7	∅85H8/f8	∅45H8/z8	∅40H8/k7
<b>Варіант</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
Позначення посадки	∅25H8/m7	∅45H8/s7	∅25H7/h7	∅65H8/u7	∅80H8/h8

**Приклад 3.17.** Записати позначення параметрів шорсткості поверхні. Теоретичні відомості до завдання наведено в літературі [13], с. 57-64.

Варіант	Спосіб обробки	Напрямок нерівностей	Базова довжина $l$ , мм	$R_{max}$ , мкм	$R_a$ , мкм	$R_z$ , мкм	$S_m$ , мм	$S$ , мм	Рівень перерізу профілю $p$ , %	Відносна опорна довжина профілю
1	2	е	0,25	-	0,32...0,34	-	-	0,08	60	80
2	2	в	2,5	-	-	12,5...16	-	0,1	-	-
3	1	є	0,25	-	-	6,3	-	0,05	60	60...80
4	1	г	0,25	-	1,6...0,4	-	0,05	-	-	-
5	2	г	2,5	6,3	-	-	-	0,125	50	60
6	1	б	0,25	-	0,2...0,32	-	0,05	-	80	60
7	2	в	2,5	6,3...10	-	-	-	0,05	60	90
8	1	б	0,25	2...5	-	-	0,063	-	50	60...80
9	3	г	2,5	3,2...6,3	-	-	-	-	50	60
10	1	е	2,5	-	-	12,5..16	0,04	-	70	60

Примітка. 1 – спосіб обробки конструктором не встановлений; 2 – поверхня повинна бути отримана тільки видаленням шару матеріалу; 3 – поверхня повинна бути отримана без видалення шару матеріалу; б – перпендикулярний; е – радіальний; в – перехресний; г – довільний; є – точковий

## ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ 3321-2003 Система конструкторської документації. Терміни та визначення основних понять. [Чинний від 08.12.2003]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України. 51 с.
2. Пустюльга С. І., Самостян В. Р. Машинобудівне креслення : навч. посіб. Луцьк : Вежа, 2015. 275 с.
3. Сологуб М. А. Матеріалознавство та технологія матеріалів : підручник. Київ : НУХТ, 2015. 399 с.
4. Мікульонок О. І. Виготовлення, монтаж та експлуатація обладнання хімічних виробництв : підручник. Київ : НТУУ «КПІ», 2012. 419 с.
5. Марки сталі. URL: [https://metinvest-smc.com/ua/steel/?srsId=AfmBOoqsX\\_3-3-mCneoBQ08pB5sVEbe6oviiKaMYiKsgxJUIzNIVNS4o](https://metinvest-smc.com/ua/steel/?srsId=AfmBOoqsX_3-3-mCneoBQ08pB5sVEbe6oviiKaMYiKsgxJUIzNIVNS4o) (дата звернення: 15.03.2026).
6. Пішенін В. О., Пішеніна Н. В. Основи конструювання в теплоенергетиці : навч. посіб. Вінниця : ВНТУ, 2010. 87 с.
7. СОУ МПП 71.120-217:2009. Посудини та апарати сталеві зварні. Загальні технічні умови. [Чинний від 2009-09-01]. Вид. офіц. URL: [https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/sou\\_standart\\_organizaciyi\\_u\\_krayiny.pdf](https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/sou_standart_organizaciyi_u_krayiny.pdf) (дата звернення: 15.03.2026).
8. Андреев І. А. Укріплення отворів в посудинах та апаратах : навч. посіб. для студ. спеціальності 133 «Галузеве машинобудування», освітньо-професійної програми «Обладнання хімічних, нафтопереробних та целюлозно-паперових виробництв». Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 72 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/42254> (дата звернення: 15.03.2026).
9. Генкіна І. М., Іванченко В. В., Тараненко Г. В., Штонда Ю. М. Конструювання і розрахунок сталевих зварних посудин та апаратів. Стропові пристрої. Опори. Луганськ : Вид-во Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, 2008. 289 с.
10. ГСТУ 3-17-2000. Опори вертикальних апаратів. Типи та основні розміри. [Чинний від 2000-10-01]. Вид. офіц. Київ : Державний комітет промислової політики України, 2000. 39 с.
11. ДСТУ Б А.2.4-8:2009. Система проектної документації для будівництва. Умовні графічні зображення і позначки елементів санітарно-технічних систем. [Чинний від 2010-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2009.
12. ДСТУ 8936:2019. Труби сталеві водогазопровідні. Технічні умови. [Чинний від 2021-01-01]. Вид. офіц. Київ: УкрНДЦІ, 2021. 9 с.
13. ДСТУ 8943:2019. Труби сталеві електрозварні. Технічні умови. [Чинний від 2021-01-01]. Вид. офіц. Київ : УкрНДНЦ, 2021. 20 с.
14. Допуски, посадки та технічні вимірювання. Практикум : навч. посіб. Івано-Франківськ : Симфонія форте, 2016. Ч 1. 164 с.

15. ДСТУ ISO 286-1-2002. Допуски і посадки за системою ISO. Частина 1: Основи допусків, відхилів та посадок. [Чинний від 2002-10-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2003. 37 с.

16. ДСТУ ISO 286-2-2002. Допуски і посадки за системою ISO. Частина 2: Таблиці квалітетів стандартних допусків і граничних відхилень отворів і валів. [Чинний від 01.10.2003]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2004. 34 с.

17. ДСТУ 2611-94. Арматура трубопровідна загальнопромислового призначення. Терміни та визначення. [Чинний від 1996-07-01]. Вид. офіц. Київ : УкрНДНЦ, 1996. 34 с.

18. ДСТУ EN 1092-1:2018. Фланці та їхні з'єднання. Круглі фланці для труб, клапанів, з'єднувальної арматури та допоміжних деталей з позначеним номінальним тиском PN. Частина 1: Сталеві фланці (EN 1092-1:2018, IDT). Вид. офіц. Київ : УкрНДНЦ, 2018. 148 с.

19. Методичні вказівки до виконання практичних занять з навчальної дисципліни «Техніка і технологія міні заводів» для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня зі спеціальності 133 Галузеве машинобудування за освітньо-професійною програмою «Галузеве машинобудування» денної та заочної форм навчання / уклад.: Г. Л. Лепетова, А. Л. Яцук. Кам'янське : ДДТУ, 2017. 47 с.

20. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Машинознавство з основами метрології та стандартизації» (для студентів 3 курсу денної і заочної форм навчання освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавр, напрямів підготовки 0926 «Водні ресурси», 6.060103 «Гідротехніка (Водні ресурси)» спеціальності 6.092600 «Водопостачання та водовідведення») / уклад.: Н. Ю. Колеснік, І. М. Чуб. Харків : ХНАМГ, 2009. 24 с.

## Додаток А

Таблиця А.1 – Нормативні допустимі напруження при розрахунку апаратів, що працюють під тиском

Розрахункова температура, °С	Значення $\sigma^*$ , МПа								
	Вуглецеві та низьколеговані сталі				Теплостійкі та кислотостійкі сталі				
	Ст. 3	Сталь 10	Сталь 20	09Г2С та 16ГС	12ХМ 12МХ	15ХМ	Х5М	X18H10T X18H12T X17H13M3T X17H13M2T	08X18H10T 08X18H12T
20	140	130	147	170	147	155	146	146	132
100	134	125	142	160	-	-	141	139	122
200	126	118	136	148	145	152	134	129	109
300	108	100	119	134	141	147	120	120	93
400	88	77	92	110	132	137	105	111	86
	76*	39*	46*	56**					
500					96	103	79	104	81
300					47*	42**	47***	74	57
700								3030	
*Для температури стінки 425 °С **Для температури стінки 475 °С				*Для температури стінки 540 °С **Для температури стінки 560 °С ***Для температури стінки 550 °С					

Додаток Б

Таблиця Б1 – Параметри фланців приварних плоских

D <sub>в</sub> , мм	Приєднувальні розміри фланців на тиск 0,3 МПа та 0,6 МПа			Тиск P <sub>y</sub> =0,3 МПа			Тиск P <sub>y</sub> =0,6 МПа			Приєднувальні розміри фланців на тиск 1 МПа			Тиск P <sub>y</sub> =1 МПа		
	D <sub>з</sub> , мм	D <sub>1</sub> , мм	D <sub>2</sub> , мм	b	S, не менше	Кількість болтів М20	b	S, не менше	Кількість болтів М20	D <sub>з</sub> , мм	D <sub>1</sub> , мм	D <sub>2</sub> , мм	b	S, не менше	Кількість болтів М20
400	530	490	458	-	-	-	25	6	16	535	495	465	30	6	20
500	630	590	558	-	-	-	25	6	20	640	600	570	35	6	24
600	730	690	657	25	6	24	28	6	24	740	700	670	38	6	28
700	830	790	757	25	6	28	35	6	28	840	800	770	45	6	32
800	930	890	857	25	6	32	38	6	32	945	905	875	56	6	36
900	1030	990	957	30	6	36	45	6	36	1045	1005	975	56	8	40
1000	1130	1090	1057	32	6	40	48	6	40	1145	1105	1075	62	8	44
1100	1230	1190	1157	32	8	40	48	8	40	1250	1210	1175	66	8	52
1200	1135	1295	1262	32	8	44	56	8	44	1350	1310	1280	72	8	56
1400	1535	1495	1462	38	8	52	65	8	52	1555	1515	1485	78	12	64
1600	1740	1700	1666	42	10	60	70	10	60	1765	1725	1690	84	16	72
1800	1940	1900	1866	48	10	68	85	10	68	-	-	-	-	-	-
2000	2140	2100	2066	60	10	72	90	10	72	-	-	-	-	-	-
2200	2350	2310	2275	60	12	80	95	12	80	-	-	-	-	-	-
2400	2550	2510	2475	65	12	88	105	12	88	-	-	-	-	-	-
2600	2750	2710	2675	70	12	88	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Таблиця Б2 – Прокладки азбестометалеві для фланцевих з'єднань

$D_B$ , мм	$P_y$ , МПа	$D_9$ , мм	$D_{10}$ , мм	$D_B$ , мм	$P_y$ , МПа	$D_9$ , мм	$D_{10}$ , мм
400	1; 1,6; 2,5	464	436	1200	1;	1279	1249
					1,6; 2,5	1289	1259
450	1; 1,6; 2,5	519	491	1400	1;	1484	1448
500	1; 1,6; 2,5	569	541		1,6; 2,5	1497	1461
600	1; 1,6; 2,5	669	641	1600	1;	1689	1649
					1,6; 2,5	1711	1671
700	1;	769	741	1800	1;	1914	1864
	1,6; 2,5	779	751		1,6;	1929	1879
800	1;	874	844	2000	1;	2124	2074
	1,6; 2,5	884	854		1,6;	2139	2039
900	1;	974	944	2200	1;	2334	2284
	1,6; 2,5	981	951		1,6;	2349	2299
1000	1;	1074	1044				
	1,6; 2,5	1089	1059				
1100	1;	1174	1144				
	1,6; 2,5	1189	1159				

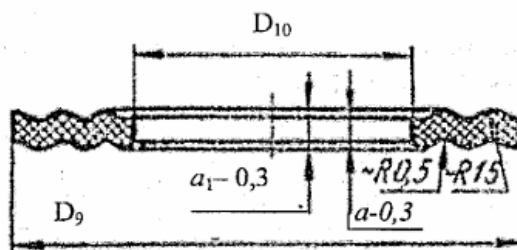


Рисунок Б1 – Прокладка азбестоцементна

Додаток В  
Характеристики опор  
Таблиця В1 – Зварні опорні лапи (ДСТУ ГОСТ 26296:2008)

Допустиме навантаження на опорну лапу, Н	$l_l$ , мм	$b$ , мм	$b_l$ , мм	$S_l$ , мм	$h_l$ , мм	К	$l_F$ , мм	$S_0$ , мм	d, мм	Маса опорної пали, кг
6300	60	50	60	4	99	10	25	4	16	0,4
10000	80	65	80	5	130	15	30	4	24	0,7
16000	100	85	105	6	176	20	35	5	24	1,5
25000	145	130	155	8	253	25	45	6	24	3,8
40000	195	180	210	10	370	25	55	8	35	9,2
63000	240	215	240	12	442	25	65	8	35	13,5
100000	250	240	270	12	472	30	70	10	42	18
160000	300	295	335	16	576	35	80	12	42	34
250000	380	380	425	20	740	40	80	14	42	65
400000	420	400	450	25	825	45	90	16	50	93
630000	460	410	490	25	905	50	100	18	50	111

Приклад умовного позначення опорної лапи виконання 2 із допустимим навантаженням 40000 Н:

**Лапа опорна 2- 40000 ДСТУ ГОСТ 26296:2008**

Таблиця В2 – Зварні опорні лапи зі збільшеним вильотом для ізоляції (ДСТУ ГОСТ 26296:2008)

Допустиме навантаження на опорну лапу, Н	$l_l$ , мм	$b$ , мм	$b_l$ , мм	$S_l$ , мм	$h_l$ , мм	К	$l_F$ , мм	$S_0$ , мм	d, мм	Маса опорної пали, кг
6300	160	130	150	4	99	10	25	4	16	2,4
10000	170	140	160	5	130	15	30	4	24	3,1
16000	210	175	200	6	176	20	40	5	24	5,8
25000	260	215	240	8	253	25	45	6	24	10,5
40000	320	270	300	10	370	25	55	8	35	21
63000	350	295	330	12	442	25	65	8	35	26
100000	390	330	365	16	472	30	70	10	42	42
160000	440	375	420	18	576	35	80	12	42	57
250000	520	445	500	20	740	40	100	14	42	92
400000	580	470	530	25	825	45	120	16	50	145
630000	640	520	580	30	905	50	130	20	50	205

Приклад умовного позначення опорної лапи виконання 3 із допустимим навантаженням 100000 Н:

**Лапа опорна 3- 100000 ДСТУ ГОСТ 26296:2008**

Таблиця В3 – Основні розміри циліндричних опор типів 2,3,4 (розміри в міліметрах) [9]

D	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	d	Болт фундаментний	
								Діаметр нарізі	Кількість, шт
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Максимальне зведене навантаження Q <sub>max</sub> до 0,25 МН									
Мінімальне зведене навантаження Q <sub>max</sub> до 0,125 МН									
400	350	520	600	6	20	16	32	24	6
500	450	620	700						
600	550	720	800						
800	750	960	1080						
1000	950	1160	1280						
1200	1150	1360	1480						
Максимальне зведене навантаження Q <sub>max</sub> до 0,25 МН									
Мінімальне зведене навантаження Q <sub>max</sub> до 0,2 МН									
400	350	520	600	6	20	20	32	24	6
500	450	620	700				50	30	6
600	550	720	800						
800	750	960	1080						
1000	950	1160	1280						
1200	1150	1360	1480						
Максимальне зведене навантаження Q <sub>max</sub> до 0,63 МН									
Мінімальне зведене навантаження Q <sub>max</sub> до 0,32 МН									
500	450	620	700	8	20	25	60	36	6
600	550	720	800						
800	750	960	1080						
1000	950	1160	1280						
1200	1150	1360	1480						

Продовження таблиці В 3

D	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	d	Болт фундаментний	
								Діаметр нарізі	Кількість, шт
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Максимальне зведене навантаження Q <sub>max</sub> до 0,63 МН									
Мінімальне зведене навантаження Q <sub>max</sub> до 0,32 МН									
1400	1300	1560	1680	8	20	25	60	36	6
1600	1500	1700	1880						
1800	1700	1980	2100						
2000	1900	2180	2300	8	20	25	60	36	8
2200	2100	2380	2500						
2400	2250	2580	2720						
2500	2350	2680	2820						
2600	2450	2780	2920						
2800	2650	3000	3140						
3000	2850	3220	3360						
Максимальне зведене навантаження Q <sub>max</sub> до 0,63 МН									
Мінімальне зведене навантаження Q <sub>max</sub> до 0,5 МН									
800	750	960	1080	8	20	25	60	36	10
1000	950	1160	1280						
1200	1150	1360	1480						
1400	1300	1560	1680						
1600	1500	1700	1880						
1800	1700	1980	2100						
2000	1900	2180	2300						
2200	2100	2380	2500						
2400	2250	2580	2720						

Продовження таблиці В 3

D	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	d	Болт фундаментний	
								Діаметр нарізі	Кількість, шт
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Максимальне зведене навантаження Q <sub>max</sub> до 0,63 МН									
Мінімальне зведене навантаження Q <sub>max</sub> до 0,5 МН									
2500	2350	2680	2820	8	20	25	60	36	10
2600	2450	2780	2920						
2800	2650	3000	3140						
3000	2850	3220	3360						
Максимальне зведене навантаження Q <sub>max</sub> до 1,6 МН									
Мінімальне зведене навантаження Q <sub>max</sub> до 0,8 МН									
1400	1300	1560	1680	10	25	25	60	36	16
1600	1500	1700	1880						
1800	1700	1980	2100						
2000	1900	2180	2300	8					
2200	2100	2380	2500						
2400	2250	2580	2720						
2500	2350	2680	2820						
2600	2450	2780	2920						
2800	2650	3000	3140						
3000	2850	3220	3360						
3200	3050	3420	3560						
3400	3200	3620	3760						
3600	3400	3820	3960						
3800	3600	4020	4160						
4000	3800	4220	4360						

Продовження таблиці В 3

D	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	d	Болт фундаментний	
								Діаметр нарізі	Кількість, шт
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Максимальне зведене навантаження Q <sub>max</sub> до 0,63 МН									
Мінімальне зведене навантаження Q <sub>max</sub> до 0,5 МН									
2500	2350	2680	2820	8	20	25	60	36	10
2600	2450	2780	2920						
2800	2650	3000	3140						
3000	2850	3220	3360						
Максимальне зведене навантаження Q <sub>max</sub> до 1,6 МН									
Мінімальне зведене навантаження Q <sub>max</sub> до 0,8 МН									
1400	1300	1560	1680	10	25	25	60	36	16
1600	1500	1700	1880						
1800	1700	1980	2100						
2000	1900	2180	2300	8					
2200	2100	2380	2500						
2400	2250	2580	2720						
2500	2350	2680	2820						
2600	2450	2780	2920						
2800	2650	3000	3140						
3000	2850	3220	3360						
3200	3050	3420	3560						
3400	3200	3620	3760						
3600	3400	3820	3960						
3800	3600	4020	4160						
4000	3800	4220	4360						

Продовження таблиці В3

D	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	d	Болт фундаментний		
								Діаметр нарізі	Кількість, шт	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Максимальне зведене навантаження Q <sub>max</sub> до 1,6 МН										
Мінімальне зведене навантаження Q <sub>max</sub> до 1,32 МН										
1800	1700	1980	2100	10	8	25	30	65	42	16
2000	1900	2180	2300							
2200	2100	2380	2500							
2400	2250	2580	2720							
2500	2350	2680	2820							
2600	2450	2780	2920							
2800	2650	3000	3140							
3000	2850	3220	3360							
3200	3050	3420	3560							
3400	3200	3620	3760							
3600	3400	3820	3960							
3800	3600	4020	4160							
4000	3800	4220	4360	36					24	

Таблиця В4 – Основні розміри конічних опор типу 5 (розміри в міліметрах) [9]

D	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	d	Болт фундаментний ДСТУ ГОСТ24379.1:2008	
									Діаметр нарізі	Кількість, шт
1	2	3	4		5	6	7	8	9	10
Максимальне зведене навантаження Q <sub>max</sub> до 1 МН										
Мінімальне зведене навантаження Q <sub>max</sub> до 0,8 МН										
400	950	1160	1260	1000	10	25	25	60	36	8
500	1050	1260	1380	1100						
600	1150	1360	1480	1200						
800	1300	1560	1680	1400						
1000	1500	1760	1880	1600						
1200	1700	1980	2100	1800	8					16
1400	1900	2180	2300	2000						
Максимальне зведене навантаження Q <sub>max</sub> до 1,6 МН										
Мінімальне зведене навантаження Q <sub>max</sub> до 1,32 МН										
500	1050	1260	1380	1100	12	30	30	65	42	8
600	1150	1360	1480	1200						
800	1300	1560	1680	1400						
1000	1500	1760	1880	1600						
1200	1700	1980	2100	1800						
1400	1900	2180	2300	2000	10					16
1600	2100	2380	2500	2200						
Максимальне зведене навантаження Q <sub>max</sub> до 2,5 МН										
Мінімальне зведене навантаження Q <sub>max</sub> до 2 МН										
600	1150	1360	1480	1200	16	30	36	70	56	8
800	1300	1560	1680	1400	16	30	36	70	56	8

Продовження таблиці В4

D	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	d	Болт фундаментний ДСТУ ГОСТ24379.1:2008	
									Діаметр нарізі	Кількість, шт
1	2	3	4		5	6	7	8	9	10
1000	1500	1760	1880	1600	16	30	30	70	48	12
1200	1700	1980	2100	1800	12					
1400	1900	2180	2300	2000						
1600	2100	2380	2500	2200						
1800	2250	2580	2720	2400					65	42
Максимальне зведене навантаження Q <sub>max</sub> до 4 МН										
Мінімальне зведене навантаження Q <sub>max</sub> до 2,5 МН										
1000	1500	1760	1880	1600	16	36	30	70	48	12
1200	1700	1980	2100	1800						
1400	1900	2180	2300	2000						
1600	2100	2380	2500	2200						
1800	2250	2580	2720	2400		30	65	42	16	
2000	2450	2780	2920	2600						
2200	2650	3000	3140	2800						
Максимальне зведене навантаження Q <sub>max</sub> до 6,3 МН										
Мінімальне зведене навантаження Q <sub>max</sub> до 4 МН										
1600	2100	2380	2500	2200	20	36	40	80	64	12
1800	2250	2580	2720	2400	20	36	36	70	56	16
2000	2450	2780	2920	2600	20	30	36	70	56	16
2200	2650	3000	3140	2800	20	30	36	70	56	16
2400	2850	3320	3360	3000	20	30	36	70	56	16

Продовження таблиці В4

D	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	d	Болт фундаментний ДСТУ ГОСТ24379.1:2008	
									Діаметр нарізі	Кількість, шт
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2500	2850	3320	3460	3160	16	30	36	70	56	16
2600	3050	3420	3560	3280	16	30	36	70	56	16
2800	3200	3620	3760	3400	16	30	36	70	56	16
Максимальне зведене навантаження Q <sub>max</sub> до 10 МН										
Мінімальне зведене навантаження Q <sub>max</sub> до 6,3 МН										
1800	2250	2580	2720	2400	25	40	40	80	64	16
2000	2450	2780	2920	2600						
2200	2650	3000	3140	2800						
2400	2850	3220	3360	3000						
2500	2850	3320	3460	3160						
2600	3050	3420	3560	3280						
2800	3200	3620	3760	3400						
3000	3400	3820	3960	3600						
Максимальне зведене навантаження Q <sub>max</sub> до 16 МН										
Мінімальне зведене навантаження Q <sub>max</sub> до 10 МН										
3000	3400	3820	3960	3600	30	45	45	80	64	24
3200	3600	4020	4160	3800						
3400	3800	4220	4360	4000						
3600	4000	4420	4560	4200						

Додаток Г

Таблиця Г1 – Розміри штуцерів з фланцями приварними плоскими гладенькими (рис. Г1) для тиску  $P_y=1$  Мпа [6]

Прохід умовний $D_y$	l, мм	$d_H$ , мм	S, мм	$D_H$ , мм	$D_1$ , мм	$D_2$ , мм	f, мм	b, мм	Отвори під болти		$H^{\pm S}$ , мм
									$d_0$ , мм	Кількість	
15	90	18	3	95	65	45	2	12	14	4	80
25	130	32	3,5	115	85	68	2	14	14	4	90
40	150	45	4	145	110	88	3	18	18	4	110
50	150	57	4	160	125	102	3	18	18	4	110
80	170	89	6	195	160	138	3	20	18	4	130
100	190	108	6	215	180	158	3	22	18	4	150
150	220	159	6	280	240	212	3	24	23	8	180
200	200	219	8	335	295	268	3	24	23	8	180
	220										
250	210	273	10	390	350	320	3	26	23	12	180
	230										
300	260	325	10	440	400	370	4	28	23	12	200

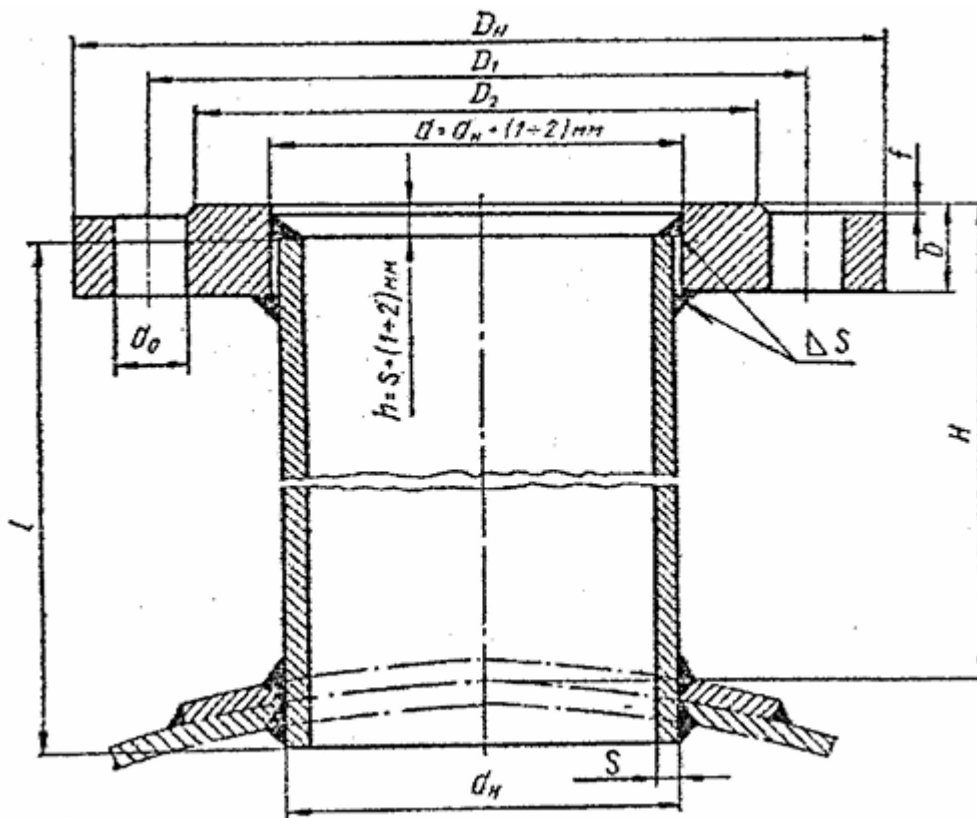


Рисунок Г1 – Штуцер з фланцями приварними плоскими гладенькими



Таблиця ГЗ – Розміри штуцерів з фланцями приварними встик гладенькими для тиску  $P_y=2,5$  МПа [6]

Прохід умовний Dy	l, мм	d <sub>н</sub> , мм	S, мм	D <sub>н</sub> , мм	D <sub>1</sub> , мм	D <sub>2</sub> , мм	b, мм	Отвори під болти (шпильки)		H <sup>±S</sup> , мм	h
								d <sub>0</sub> , мм	Кількість		
15	70	18	4	95	65	45	16	14	4	80	35
25	80	32	4	115	85	68	16	14	4	90	38
	110										
40	90	45	4	145	110	88	18	18	4	110	48
	120										
50	90	57	4	160	125	102	20	18	4	110	48
	120										
80	110	89	6	195	160	138	22	18	8	130	55
	130										
100	120	108	6	230	190	162	24	23	8	150	62
	140										
150	150	159	6	300	250	218	28	25	8	180	72
	170										
200	150	219	10	360	310	278	30	25	12	180	80
	170										
250	150	273	11	425	370	335	32	30	12	180	85
	170										
300	180	325	12	485	430	390	36	30	16	200	92

*Електронне навчальне видання*

**Лілія Анатоліївна Боднар**

**Методичні вказівки до виконання самостійної роботи  
з дисципліни «Основи конструювання» зі спеціальності  
«Енерговиробництво» (освітня програма «Теплоенергетика»)**

Рукопис оформила: *Л. Боднар*

Редактор: *С. Васюта*

Оригінал-макет виготовлено в РВВ ВНТУ

Підписано до видання 7.05.2026

Гарнітура Times New Roman.

Зам № P2026-050.

Видавець та виготовлювач  
Вінницький національний технічний університет  
Редакційно-видавничий відділ  
ВНТУ, ГНК, к. 114  
Хмельницьке шосе, 95,  
м. Вінниця, 21021.  
press.vntu.edu.ua  
Email: rvv.vntu@gmail.com.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.