

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ
СХІДНОУКРАЇНСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ
(м. Сєвєродонецьк)

**ПРОЕКТУВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК
ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТРУБОПРОВІДІВ**
Методичний поради́ник до організації вивчення дисципліни
(для студентів спеціальності 7.090220 – обладнання
хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів)

Сєвєродонецьк 2009

УДК 66.02.

Проектування та розрахунок технологічних трубопроводів.

Методичний poradник до організації вивчення дисципліни (для студентів спеціальності 7.090220 – обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів) /Укл. Ю.М. Штонда, - Сєверодонецьк: Вид-во СТІ, 2009. - 40 с.

Приведені матеріали, необхідні для самостійної роботи студентів з дисципліни “Проектування та розрахунок технологічних трубопроводів”. Наведені мета, завдання та рекомендації щодо вивчення дисципліни. Дані пояснення поточного, модульного та підсумкового контролю знань. Окреслено коло теоретичних питань, які треба опрацювати при вивченні дисципліни та наведені приклади виконання розрахункових задач.

Укладачі:

Ю.М. Штонда, доцент

Відповідальний за випуск

О.І. Барвін, доцент

Рецензент

І.І. Багринцев, доцент

Затверджено на засіданні кафедри ОХП
протокол № 2 від 28.10.2008 р.

Рекомендовано до видання на засіданні
методичної комісії механічного факультету
протокол № ____ від “ ____ ” _____ 2009 р.

ЗМІСТ

1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ	4
1.1 Нормативні дані дисципліни	5
2. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ	5
3. СИСТЕМА ПОТОЧНОГО, МОДУЛЬНОГО ТА ПІДСУМКОВОГО КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ	8
3.1 Питання для проведення поточного, модульного контролю і підсумкового контролю	9
3.2 Контрольна робота для студентів заочної форми навчання	10
3.3. Вимоги до оформлення контрольної роботи	20
4 ПРИКЛАДИ ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ЗАДАЧ	21
5 НАВЧАЛЬНО - МЕТОДИЧНІ МАТЕРІАЛИ З ДИСЦИПЛІНИ	35

1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Дисципліна “Проектування та розрахунок технологічних трубопроводів” є однією з профільюючих дисциплін за спеціальністю 7.090220 “Обладнання хімічних підприємств та виробництв будівельних матеріалів”. Дана дисципліна відноситься до циклу дисциплін вільного вибору студента.

Мета дисципліни “Проектування та розрахунок технологічних трубопроводів”: опанування питань проектування технологічних трубопроводів, навчити сучасним методам розрахунку на міцність та коливання технологічних трубопроводів, забезпечення майбутнім спеціалістам достатнього фахового рівня знань, необхідних при подальшій інженерної діяльності.

Завдання дисципліни “Проектування та розрахунок технологічних трубопроводів” – набуття навичок розрахунку технологічних трубопроводів, з урахуванням вимог діючої нормативно-технічної документації. Навчання студентів ефективному використанню знань, набутих на попереднім етапі навчання.

Вивчення дисципліни “Проектування та розрахунок технологічних трубопроводів” базується на таких дисциплінах як “Гідравліка та гідропневмоприводи”, “Машини та апарати хімічних виробництв”, “Розрахунок і конструювання машин і апаратів хімічних виробництв”.

В результаті вивчення дисципліни студент зобов’язаний:

Знати: – основні вимоги, що пред’являються до проектування технологічних трубопроводів; основні вимоги до конструкційних матеріалів та галузь їх застосування у залежності від робочих параметрів процесів; сучасні методи розрахунку.

Вміти: – проектувати технологічні трубопроводи з різних конструкційних матеріалів за обліком вимог діючої у хімічному машинобудуванні нормативно-технічної документації; самостійно застосовувати на практиці керівні технічні матеріали, державні та галузеві стандарти, довідкову літературу; виконувати розрахунки на міцність труб та окремих деталей.

1.1. Нормативні дані дисципліни

Дані цього підрозділу зведені в таблиці 1 і 2.

Дані цього підрозділу для денної форми навчання наведені у таблиці 1.

Таблиця 1

Форма навчання	Курс	Семестр	Семестровий модуль 1						Семестровий модуль 2						Курсовий проект	Підсумков. контроль
			Усього кредитів ECTS	Лк	Пз	Лб	Сам. робота	Контр. робота	Форма контролю	Усього кредитів ECTS	Лк	Пз	Лб	Сам. робота		
Денна	5	9	1,1258	6	—	26	—	МК1	1,1256	8	—	27	—	МК2	—	залік

Таблиця 2

Форма навчання	Курс	Семестр	Види навчальної роботи					
			Лк	Пз	Лб	Самостійна робота	Контрольна робота	Форма контролю
заочна	5	10	10	4	–	47	20	залік

2. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ

Перелік програмних питань наведено в таблиці 3

Таблиця 3

Навч. Тиж- день	Назва, тема, короткий зміст навчального заняття	Література для само- стійної ро- боти
1	2	3
1	Тема. Призначення і склад трубопроводів. Класифікація трубопроводів Короткий зміст. Мета і задачі курсу. Терміни вживані при виготовленні і монтажі трубопроводів. Умовні проходи і тиск. Класифікація трубопроводів по речовині, що транспортується, матеріалу труб, тиску, температурі, агресивності речовин, залежно від робочих параметрів. Групи речовин, що транспортуються. Розрахунок трубопроводів низького тиску	10, с.5-13 20, с.4-12
2	Тема. Розрахунок трубопроводів низького тиску Короткий зміст. Вибір матеріалу для виготовлення трубопроводу. Група і категорія трубопроводу. Розрахунок допустимих напружень. Надбавка до розрахункових величин. Розрахункова і номінальна товщина стінки. Розрахунок товщини стінок труб. Розрахункова напруга. Допустимий внутрішній тиск.	11, 4-8
3	Тема. Трубопроводи сталеві, з кольорових металів, чавуну, сталеві футеровані, з неметалічних матеріалів. З'єднання трубопроводів. Деталі трубопроводів. Короткий зміст. Безшовні і зварні сталеві труби. Труби з алюмінію і його сплавів, міді, латуні, свинцю, титана, танталу, цирконію. Трубопроводи з поліетилену, поліпропілену, полівінілхлориду, склопластику, фторопласту, скла, кераміки. Чавунні трубопроводи. З'єднання трубопроводів. Нероз'ємні і роз'ємні з'єднання. Зварні паяні клейові з'єднання. Фланцеві, різьбові, дюрітові, бугельні з'єднання.	10, с.49-63; 260-290; 314-353 20, с.13-18; 21-25; 28-35
4	Тема. Розрахунок трубопроводів низького тиску Короткий зміст. Відведення під внутрішнім тиском. Переходи. Відгалуження і трійники під внутрішнім тиском. Розрахунок товщини стінок. Розрахункова напружина. Допустимий внутрішній тиск.	11, 8-18
5	Тема. Деталі трубопроводів. Короткий зміст. Крутовигнуті, гнуті, зварні, штампозварні відводи. Відгалуження і трійники. Зварні відгалуження. Безшовні трійники. Штампозварні трійники. Врізна і накладна сідловина. Переходи концентричні і ексцентричні. Заглушки еліптичні, плоскі, плоскі ребристи	10, с.89-132 20, с.19-18

Продовження таблиці 3

6	Тема. Розрахунок трубопроводів низького тиску Короткий зміст. Плоскі круглі заглушки під внутрішнім тиском. Еліптичні заглушки. Розрахунок товщини стінок. Розрахункова напружина. Допустимий внутрішній тиск.	11, с. 19-22
7	Тема. Вимоги до пристрою трубопроводів. Короткий зміст. Вимоги до розміщення трубопроводів. Пристрої для дренажу і продування трубопроводів. Розміщення арматури. Опори і підвіски трубопроводів. Додаткові вимоги до пристрою трубопроводів при комплексно-блоковому методі монтажу. Компенсація температурних деформацій трубопроводів. Вимоги до зниження вібрації трубопроводів. Теплова ізоляція, обігрівши. Захист від корозії і пофарбування трубопроводів.	17, с.8-13; 13, с.41-66;
9, 10	Модульний контроль	
11	Тема. Розрахунок трубопроводів високого тиску Короткий зміст. Вибір матеріалу для виготовлення трубопроводу. Розрахунок допустимих напружин. Розрахункові значення фізичних характеристик. Надбавка до розрахункових величин. Розрахункова і номінальна товщина стінки. Розрахунок товщини стінок труб.	22, с. 296-299; 342-346;
12	Тема. Компенсація температурних напруг. Конструкція компенсаторів. Короткий зміст. Напруги в трубопроводі при зміні температури. Самокомпенсація компенсація температурних змін довжини трубопроводу. Типи компенсаторів. Компенсатори: гнучкі радіальні; осьові ковзаючого типу; гнучкі осьового типу. Монтаж компенсаторів	10, с.166-185 20, с. 45-51
13	Тема. Розрахунок трубопроводів високого тиску Короткий зміст. Перевірочний розрахунок напруг від сумісної дії тиску і температури. Розрахунок на додаткові навантаження	22, с. 346-349;
14	Лекція 6. Тема. Теплова ізоляція, обігрів трубопроводів Короткий зміст. Вибір теплової ізоляції. Розрахунок теплової ізоляції. Трубопроводи з обігрівом.	31. с.3-50; 13, с. 63-65; 20, с. 246-249;
15	Тема. Розрахунок трубопроводів високого тиску Короткий зміст. Розрахунок криволінійних елементів. Розрахунок кованих деталей. Розрахунок конічних переходів. Приварні патрубки.	22, с.348-353

Продовження таблиці 3

16	Тема. Трубопровідна арматура Короткий зміст. Призначення і класифікація арматури. Умовне позначення. Клапани (вентилі), засувки, крани, запобіжні регулюючі і зворотні клапани, фазороздільна арматура.	10, с. 353-409; 20, с.35-44
17	Тема. Розрахунок фланцевих з'єднань трубопроводів високого тиску. Короткий зміст. Визначення розрахункового зусилля. Розрахунок шпильок. Розрахунок фланців. Розрахунок заглушок.	22, с. 353-361

З СИСТЕМА ПОТОЧНОГО, МОДУЛЬНОГО ТА ПІДСУМКОВОГО КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ

Контроль проводиться з метою визначення якості засвоєння навчального матеріалу, ступеню відповідності сформованих вмінь і навичок цілям і задачам, що ставляться при вивченні дисципліни “Проектування та розрахунок технологічних трубопроводів”. Крім того, в процесі контролю встановлюється ефективність методики викладання дисципліни, формується відповідальне відношення студентів до навчання. При викладанні дисципліни “Проектування та розрахунок технологічних трубопроводів” застосовуються такі види контролю: поточний, модульний (проміжний), підсумковий (семестровий).

Поточний контроль проводиться на практичних заняттях по результатам виконання індивідуальних завдань (для денної форми навчання) і контрольних робіт для заочної форми навчання.

Модульний (проміжний) контроль проводиться для студентів денної форми навчання двічі за семестр і має за мету оцінювання рівня знань та ступеня засвоєння навчального матеріалу певного змістового модуля.

З дисципліни “Проектування та розрахунок технологічних трубопроводів” проводиться два модульних контролю (МК1, МК2) у 9-му семестрі.

М1 – блок змістових модулів “Призначення і склад трубопроводів” “Класифікація трубопроводів”, “Трубопроводи сталеві, з кольорових металів, чавуну, сталеві футеровані, з неметалічних матеріалів” “З'єднання трубопроводів” “Деталі трубопроводів”, “Вимоги до пристрою трубопроводів”, “Розрахунок трубопроводів низького тиску”.

М2 – блок змістових модулів “Компенсація температурних напруг”, “Конструкція компенсаторів”, “Теплова ізоляція, обігрів трубопроводів”, “Трубопровідна арматура”, “Розрахунок трубопроводів високого тиску”.

При проведенні модульного контролю завдання для контрольного заходу носять комплексний характер, студенти виконують їх письмово. Контрольні заходи проводяться під час тижнів модульного контролю окремо у кожній академічній групі за додатковим розкладом.

Оцінка модульного контролю (МК1, МК2) виставляється з урахуванням результатів поточного контролю.

Підсумковий (семестровий) контроль проставляється за результатами модульних контролів як середньозважена з оцінок першого та другого модульних контролів.

3.1 Питання для проведення поточного, модульного контролю і підсумкового контролів

Питання до поточного та модульного контролю (МК1)

1. Мета і задачі курсу.
2. Терміни вживані при виготовленні і монтажі трубопроводів.
3. Умовні проходи і тиск.
4. Класифікація трубопроводів
5. Групи речовин, що транспортуються.
6. Розрахунок трубопроводів низького тиску.
7. Труби з чорного металу.
8. Труби з кольорового металу.
9. Труби з пластмас.
10. Труби з неметалевих матеріалів.
11. Нероз'ємні з'єднання трубопроводів.
12. Роз'ємні з'єднання трубопроводів.
13. Деталі трубопроводів.
14. Вимоги до розміщення трубопроводів.
15. Пристрої для дренажу і продування трубопроводів.
16. Розміщення арматури.
17. Опори і підвіски трубопроводів.
18. Компенсація температурних деформацій трубопроводів.
19. Вимоги до зниження вібрації трубопроводів.
20. Теплова ізоляція, обігрів трубопроводів.
21. Захист від корозії і пофарбування трубопроводів.

Питання до поточного та модульного контролю (МК2)

22. Напруги в трубопроводі при зміні температури.

23. Самокомпенсация та компенсація температурних змін довжини трубопроводу.
24. Типи компенсаторів.
25. Компенсатори гнучкі радіальні.
26. Компенсатори осьові ковзаючого типу.
27. Компенсатори гнучкі осьового типу.
28. Монтаж компенсаторів.
29. Вибір теплової ізоляції.
30. Розрахунок теплової ізоляції.
31. Трубопроводи з обігрівом.
32. Призначення і класифікація арматури.
33. Умовне позначення арматури.
34. Клапани (вентилі).
35. Засувки.
36. Крани.
37. Запобіжні клапани.
38. Регулюючі клапани.
39. Зворотні клапани.
40. Фазорозподільна арматура.

3.2 Контрольна робота для студентів заочної форми навчання

Кожен студент-заочник спеціальності 7.090220 – обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів, виконує одну контрольну роботу, яка вміщує розгорнуті відповіді на ряд теоретичних питань наведених нижче (номери питань згідно таблиці 4) і розрахункові задачі, умови яких приводяться в таблицях 5-9.

Питання для виконання контрольних робіт студентами заочної форми навчання.

1. Область вживання правил будови і безпечної експлуатації технологічних трубопроводів.
2. Основні положення технічних вимог до проектування, будови, виготовлення, монтажу, експлуатації і ремонту технологічних сталевих трубопроводів.
3. Класифікація трубопроводів з умовним тиском до 10 МПа.
4. Вимоги до матеріалів. Труби.
5. Вимоги до матеріалів. Фланці.
6. Вимоги до матеріалів. Кріпильні деталі.
7. Вимоги до матеріалів. Прокладки. Фасонні деталі трубопроводів.
8. Вимоги до зварних деталей.
9. Вимоги до гнутих та штампованих деталей.

10. Вимоги до заглушок.
11. Вимоги до трубопроводу високого тиску (понад 10 МПа). Загальні положення.
12. Вимоги до кованих і штампованих деталей трубопроводів високого тиску.
13. Вимоги до гнутих і зварних елементів трубопроводів високого тиску.
14. Вимоги до роз'ємних з'єднань і кріплення трубопроводів високого тиску.
15. Вимоги до зварних швів і їх розташування трубопроводів високого тиску.
16. Вимоги до матеріалів для виготовлення трубопроводів високого тиску.
17. Вимоги до напівфабрикатів трубопроводів високого тиску.
18. Вимоги до труб які застосовуються в трубопроводах високого тиску.
19. Вимоги до поковок які застосовуються в трубопроводах високого тиску.
20. Вимоги до фланців, кріпильних деталей, лінз, що застосовуються в трубопроводах високого тиску.
21. Вимоги до виготовлення трубопроводів високого тиску. Загальні положення.
22. Вхідний контроль труб і деталей трубопроводів високого тиску.
23. Допуски при виготовленні трубопроводів високого тиску.
24. Вимоги до вживання трубопровідної арматури.
25. Додаткові вимоги до вживання арматури високого тиску.
26. Вимоги до будови трубопроводів. Розміщення трубопроводів.
27. Вимоги до пристроїв для дренажу і продування трубопроводів.
28. Вимоги до розміщення трубопроводів.
29. Вимоги до опор і підвісок трубопроводів.
30. Додаткові вимоги до будови трубопроводів при комплектно-блочному методі монтажу.
31. Вимоги до компенсації температурних деформацій трубопроводів.
32. Вимоги до зниження вібрації трубопроводів.
33. Теплова ізоляція, обігрів.
34. Захист від корозії, фарбування трубопроводів.
35. Загальні вимоги до монтажу трубопроводів.
36. Монтаж трубопроводів.
37. Особливості монтажу трубопроводів з умовним тиском понад 10 МПа.
38. Документація і маркування трубопроводів або складальних одиниць, що поставляються підприємства-виготовлювача.
39. Вимоги до зварювання трубопроводів.
40. Вимоги до термічної обробки трубопроводів.

41. Контроль якості зварних з'єднань.
42. Загальні вимоги до випробування і приймання змонтованих трубопроводів.
43. Гідравлічне випробування на міцність і щільність.
44. Пневматичне випробування на міцність і щільність.
45. Промивка і продувка трубопроводів.
46. Додаткові випробування на герметичність.
47. Здавання та приймання змонтованих трубопроводів.
48. Вимоги до експлуатації трубопроводів. Нагляд і обслуговування трубопроводів.
49. Нагляд під час експлуатації трубопроводів.
50. Ревізія трубопроводів.
51. Обслуговування і ревізія арматури.
52. Контрольні засвердлювання трубопроводів.
53. Періодичне випробування трубопроводів.
54. Норми відбракування трубопроводів.
55. Технічна документація на трубопроводи.
56. Вимоги до підземних трубопроводів.
57. Виконання ремонтних робіт на трубопроводах.
58. Умовний прохід, умовний діаметр.
59. Види сталевих труб.
60. З'єднання сталевих трубопроводів.
61. Деталі трубопроводів (відводи, трійники, переходи, заглушки).
62. Труби з неметалевих матеріалів.
63. З'єднання неметалевих труб.
64. Труби з кольорових металів.
65. Конструкції компенсаторів.
66. Конструкції теплоізоляції трубопроводів.
67. Методи розрахунку теплоізоляції.
68. Розрахунок на міцність труб високого тиску.
69. Розрахунок на міцність відведень високого тиску.
70. Розрахунок на міцність трійників і кутників високого тиску.
71. Конструкції приварних штуцерів високого тиску.
72. Розрахунок на міцність фланцевих з'єднань трубопроводів високого тиску.
73. З'єднання трубопроводів високого тиску.
74. Способи прокладки трубопроводів.
75. Види трубопровідної арматури.
76. Класифікація трубопровідної арматури.
77. Конструкції засувки.

78. Конструкції клапанів (вентилів).
79. Конструкції трубопровідних кранів.
80. Конструкції запобіжної арматури.
81. Конструкції регулюючої арматури.
82. Конструкції фазорозподільної арматури.
83. Умовне позначення трубопровідної арматури.
84. Ремонт трубопровідної арматури.
85. Ремонт технологічних трубопроводів.
86. Монтаж технологічних трубопроводів .
87. Підготовка виробництва робіт і технології монтажу.
88. Розбиття траси трубопроводів.
89. Монтаж опорних конструкцій, опор і підвісок.
90. Збільшувальне складання вузлів і їх установлення в проектне положення.
91. Монтаж арматури і контрольно-вимірювальних приладів.
92. Монтаж дренажних, продувочних і зливних трубопроводів.
93. Способи прокладки міжцехових трубопроводів.
94. Прокладка надземних трубопроводів.
95. Прокладка підземних трубопроводів.
96. Монтаж компенсаторів.
97. Монтаж трубопроводів із полімерних матеріалів.
98. Монтаж скляних трубопроводів.
99. Монтаж трубопроводів з кольорових металів і їх сплавів.
100. Монтаж сталевих трубопроводів з внутрішнім неметалічними покриттями.
101. Хімічне очищення труб і трубопроводів.
102. Монтаж і випробування вакуумних трубопроводів.
103. Монтаж і випробування трубопроводів централізованих систем змащення, охолодження.
104. Монтаж і випробування трубопроводів для кисню.
105. Монтаж і випробування трубопроводів для ацетилену.
106. Монтаж трубопроводів для холодоносіїв.
107. Монтаж трубопроводів з обігрівом.
108. Монтаж трубопроводів високого тиску.
109. Компенсація температурних деформацій.
110. Загальні відомості про компенсатори.
111. Конструкції радіальних компенсаторів.
112. Сальникових компенсаторів.
113. Лінзові компенсатори.
114. Хвильові компенсатори.

- 115.Вимоги до проектування технологічних скляних трубопроводів.
- 116.Вимоги до з'єднань та кріплення скляних трубопроводів.
- 117.Захисні пристрої скляних трубопроводів.
- 118.Вимоги до проектування трубопроводів з пластмасових труб.
- 119.Конструктивні вимоги до трубопроводів з пластмасових труб.
- 120.Теплова ізоляція трубопроводів з пластмасових труб.

Номер варіанту контрольної роботи вибирається студентом за двома останніми цифрами номера залікової книжки.

Таблиця 4

Дві останні цифри залікової книжки	Номери питань					
01	1	101	86	60	42	98
02	2	102	87	59	43	97
03	3	103	88	58	44	96
04	4	104	89	57	45	95
05	5	105	90	56	46	94
06	6	106	91	55	47	93
07	7	107	92	54	48	92
08	8	108	93	53	49	91
09	9	109	94	52	50	90
10	10	110	95	51	59	89
11	11	111	96	50	60	88
12	12	112	97	49	61	87
13	13	113	98	48	62	86
14	14	114	99	47	63	85
15	15	115	100	46	64	84
16	16	116	101	45	65	83
17	17	117	102	44	66	82
18	18	118	103	43	67	81
19	19	119	104	42	68	80
20	20	120	105	41	69	79
21	21	6	106	40	70	78
22	22	7	107	39	71	77
23	23	8	108	38	72	76
24	24	9	109	37	73	75
25	25	10	110	36	74	74
26	26	11	111	35	75	73
27	27	12	112	34	76	72
28	28	13	113	33	77	71
29	29	14	114	32	78	70
30	30	15	115	31	79	69
31	31	16	116	30	80	68
32	32	17	117	29	81	67
33	33	18	118	28	82	66
34	34	19	119	27	83	65
35	35	20	120	26	84	64
36	36	21	1	25	85	63
37	37	22	2	24	86	62
38	38	23	3	23	87	61

Продовження таблиці 4

Дві останні цифри залікової книжки	Номери питань					
39	39	24	4	22	88	60
40	40	25	5	21	89	59
41	41	26	120	20	90	58
42	42	27	119	19	91	57
43	43	28	118	18	92	56
44	44	29	117	17	93	55
45	45	30	116	16	94	54
46	46	31	115	15	95	53
47	47	32	114	14	96	52
48	48	33	113	13	97	51
49	49	34	112	12	98	50
50	50	35	111	11	99	49
51	51	36	110	10	100	48
52	52	37	109	9	101	47
53	53	38	108	8	102	46
54	54	39	107	7	103	45
55	55	40	106	6	105	44
56	56	41	105	5	104	42
57	57	42	104	4	106	43
58	58	43	103	3	107	41
59	59	44	102	2	108	40
60	60	45	101	1	109	39
61	61	46	100	2	110	38
62	62	47	99	3	111	37
63	63	48	98	4	112	36
64	64	49	97	5	113	35
65	65	50	96	6	114	34
66	66	51	95	7	115	33
67	67	52	94	8	116	32
68	68	53	93	9	117	31
69	69	54	92	10	118	30
70	70	55	91	11	119	29
71	71	56	90	12	120	28
72	72	57	89	13	51	27
73	73	58	88	14	52	26
74	74	59	87	15	53	25
75	75	60	86	16	54	24
76	76	61	85	17	55	23

Продовження таблиці 4

Дві останні цифри залікової книжки	Номери питань					
77	77	62	84	18	56	22
78	78	63	83	19	57	21
79	79	64	82	20	58	20
80	80	65	81	21	119	19
81	81	66	80	22	118	18
82	82	67	79	23	117	17
83	83	68	78	24	116	16
84	84	69	77	25	115	15
85	85	70	76	26	114	14
86	86	71	73	27	113	13
87	87	72	74	28	112	12
88	88	73	75	29	111	11
89	89	74	72	30	110	10
90	90	75	71	31	109	9
91	91	76	70	32	108	8
92	92	77	69	33	107	7
93	93	78	68	34	106	6
94	94	79	67	35	105	5
95	95	80	66	36	104	4
96	96	81	65	37	103	3
97	97	82	64	38	102	2
98	98	83	63	39	101	1
99	99	84	62	40	100	2
00	100	85	61	41	99	3

Згідно свого варіанту (таблиця 5) розрахувати товщину стінки деталей трубопроводу (труби, відведення, переходу, трійника, заглушок) і прийняти їх значення по стандарту.

Таблиця 5

Дві останні цифри залікової книжки	Умовний діаметр Ду, мм	Робочий тиск Р, МПа	Температура середовища	Матеріал труб	Клас небезпеки
01	40	9,5	150	Ст3	1
02	50	9,0	155	10	2
03	65	8,5	160	20	3
03	80	7,0	165	25	4
04	100	6,5	170	10Г2	1
06	125	6,0	175	10Г2С1	2
07	150	5,5	180	16ГС	3
08	200	5,0	185	17ГС	4
09	250	4,5	190	17Г1С	1
10	200	4,0	195	12МХ	2
11	150	4,5	200	12Х1МФ	3
12	125	5,0	205	15Х1МФ	4
13	100	5,5	210	15ХМ	1
14	80	6,0	215	15Х5М	2
15	65	6,5	220	08Х18Н10Т	3
16	50	7,0	225	08Х18Н12Т	4
17	40	7,5	230	08Х22Н6Т	1
18	50	8,0	235	12Х18Н10Т	2
19	65	8,5	240	12Х18Н12Т	3
20	80	9,0	245	Ст3	4
21	100	9,5	250	10	1
22	125	9,0	255	20	2
23	150	8,5	260	25	3
24	200	8,0	270	10Г2	4
25	250	7,5	275	10Г2С1	1
26	200	7,0	280	16ГС	2
27	150	6,5	285	17ГС	3
28	125	6,0	290	17Г1С	4
29	100	5,5	295	12МХ	1
30	80	5,0	300	12Х1МФ	2
31	65	4,5	310	15Х1МФ	3
32	50	4,0	315	15ХМ	4
33	40	4,5	320	15Х5М	1
34	50	5,0	325	08Х18Н10Т	2
35	65	5,5	330	08Х18Н12Т	3

Продовження таблиці 5

Дві останні цифри залікової книжки	Умовний діаметр Ду, мм	Робочий тиск Р, МПа	Температура середовища	Матеріал труб	Клас небезпеки
36	80	6,0	335	08Х22Н6Т	4
37	100	6,5	340	12Х18Н10Т	1
38	125	7,0	345	12Х18Н12Т	2
39	150	7,5	350	Ст3	3
40	200	8,0	150	10	4
41	250	8,5	155	20	1
42	200	9,0	160	25	2
43	150	9,5	165	10Г2	3
44	125	9,0	170	10Г2С1	4
45	100	8,5	175	16ГС	1
46	80	8,0	180	17ГС	2
47	65	7,5	185	17Г1С	3
48	50	7,0	190	12МХ	4
49	40	6,5	195	12Х1МФ	1
50	50	6,0	200	15Х1МФ	2
51	65	5,5	205	15ХМ	3
52	80	5,0	210	15Х5М	4
53	100	4,5	215	08Х18Н10Т	1
54	125	4,0	220	08Х18Н12Т	2
55	150	4,5	225	08Х22Н6Т	3
56	200	5,0	230	12Х18Н10Т	4
57	250	5,5	235	12Х18Н12Т	1
58	200	6,0	240	Ст3	2
59	150	6,5	245	10	3
60	125	7,0	250	20	4
61	100	7,5	255	25	1
62	80	8,0	260	10Г2	2
63	65	8,5	270	10Г2С1	3
64	50	9,0	275	16ГС	4
65	40	9,5	280	17ГС	1
66	50	9,0	285	17Г1С	2
67	65	8,5	290	12МХ	3
68	80	8,0	295	12Х1МФ	4
69	100	7,5	300	15Х1МФ	1
70	125	7,0	310	15ХМ	2

Продовження таблиці 5

Дві останні цифри залікової книжки	Умовний діаметр Ду, мм	Робочий тиск Р, МПа	Температура середовища	Матеріал труб	Клас небезпеки
71	150	6,5	315	15X5М	3
72	200	6,0	320	08X18Н10Т	4
73	250	5,5	325	08X18Н12Т	1
74	200	5,0	330	08X22Н6Т	2
75	150	4,5	335	12X18Н10Т	3
76	125	4,0	340	12X18Н12Т	4
77	100	4,5	345	Ст3	1
78	80	5,0	350	10	2
79	65	5,5	345	20	3
80	50	6,0	340	25	4
81	40	6,5	335	10Г2	1
82	50	7,0	330	10Г2С1	2
83	65	7,5	325	16ГС	3
84	80	8,0	320	17ГС	4
85	100	8,5	315	17Г1С	1
86	125	9,0	310	12МХ	2
87	150	9,5	305	12Х1МФ	3
88	200	9,0	300	15Х1МФ	4
89	250	8,5	295	15ХМ	1
90	200	8,0	290	15Х5М	2
91	150	7,5	285	08X18Н10Т	3
92	125	7,0	280	08X18Н12Т	4
93	100	6,5	275	08X22Н6Т	1
94	80	6,0	270	12X18Н10Т	2
95	65	5,5	265	12X18Н12Т	3
96	50	5,0	260	Ст3	4
97	40	4,5	255	10	1
98	50	4,0	250	20	2
99	65	4,5	245	25	3
00	80	5,0	240	10Г2	4

3.3 Вимоги до оформлення контрольної роботи

Завдання на контрольну роботу видається на установчій сесії і виконується в окремих зошитах або на листах формату А4 (рамка не потрібна) з титульним листом загальноприйнятого в інституті зразка.

Текст контрольної роботи повинен бути чітким та ясным.

Не допускаються скорочення слів, за винятком загальноприйнятих. Обов'язково потрібно вказати варіант.

Відповіді на теоретичні питання повинні бути розгорнутими, повними і містити посилання на літературу, що була використана при підготовці відповіді, з вказівкою сторінок. Якщо при підготовці відповіді на теоретичні питання залучалися матеріали лекцій, що викладалися під час установчої сесії, то в списку використовуваної літератури треба навести тему лекції та пункт (чи підпункт) у якому це питання розглядалося.

При розв'язанні розрахункових задач необхідно записати умови задачі і відповідну строку з таблиці вихідних даних. Рішення задачі повинно вміщувати необхідні пояснення. При використанні довідкових даних виписати з довідкових таблиць строчки потрібних величин. Розрахункові формули повинні записуватися у загальному вигляді і лише потім треба підставляти числові значення величин. Обов'язково треба вказувати розмірність отриманих результатів розрахунків.

В кінці контрольної роботи треба навести список використовуваної літератури (вказати авторів, назву, видання, рік, кількість сторінок).

В разі невиконання означених вимог контрольна робота не розглядається викладачем і повертається студенту для переробки.

4 Приклади виконання розрахункової задачі

Приклад 1

Згідно свого варіанту (таблиця 5) вибрати по каталогу запобіжний клапан.

Витяг з таблиці 5

<i>Дві останні цифри залікової книжки</i>	Умовний діаметр Ду, мм	Робочий тиск Р, МПа	Температура середовища	Матеріал труб	Клас небезпеки
<i>XX</i>	40	9,5	270	Сталь 20	4

Трубопровід умовним проходом Ду=40 мм (номінальним діаметром DN=40 мм) виготовлений зі сталі 20, транспортує горючу рідину 4 класу небезпеки за ГОСТ 12.1.007-76 при робочому тиску $P_p = 9,5$ МПа і температурі $t = 270^\circ\text{C}$. Швидкість проникнення корозії складає $\Pi = 0,1$ мм / год. Термін служби трубопроводу 10 років.

Визначити товщину стінки труби і внутрішній допустимий тиск.

Трубопроводи, що транспортують пальні, шкідливі речовини 4 класу небезпеки за ГОСТ 12.1.007-76 відносяться до групи трубопроводів **Бв**. По таблиці 1.1 трубопроводи групи **Бв** при температурі 270 °С відносяться до категорії II, а при розрахунковому тиску 9,5 МПа – до категорії I. Тому категорію трубопроводу приймаємо по параметру, який вимагає віднесення його до більш відповідальної групи або категорії, тобто до I категорії трубопроводів. Коефіцієнт надійності для речовин групи Бв трубопроводів I категорії за таблицею 1.2 складає $\gamma = 1,15$.

За таблицею 1.3 приймаємо сталеві труби по ГОСТ 8731-74.

За таблицею ?? для сталевих безшовних горячедеформованих труб по ГОСТ 8731-74 мінімальне значення межі текучості при температурі 20 °С складає $R_e = 245$ МПа, а мінімальне значення тимчасового опору (межі міцності) при температурі 20 °С – $R_m = 412$ МПа.

Коефіцієнт запасу міцності по межі текучості визначаємо за формулою (2.2)

$$n_T = 1,3 \gamma = 1,3 \cdot 1,15 = 1,495.$$

Коефіцієнт запасу міцності по тимчасовому опору визначаємо за формулою (2.3)

$$n_B = 2,1 \gamma = 2,1 \cdot 1,15 = 2,415$$

Допустиме напруження при температурі 20 °С, без урахування значень межі тривалої міцності і межі повзучості, визначаємо за формулою (2.1)

$$\begin{aligned} [\sigma]_{20} &= \min \left[\frac{R_e \text{ или } R_{p0,2}}{n_T}; \frac{R_m}{n_B} \right] = \min \left[\frac{245}{1,495}; \frac{412}{2,415} \right] = \\ &= \min [163,87; 170,6] = 163,87 \text{ МПа.} \end{aligned}$$

Значення температурного коефіцієнта за таблицею 2.2 для сталі 20 при температурі 250 °С складає $A_t = 0,9$, а при температурі 300 °С $A_t = 0,75$.

Методом лінійної інтерполяції визначаємо значення температурного коефіцієнта при розрахунковій температурі рівної 270 °С

$$A_t = 0,9 + \frac{0,75 - 0,9}{300 - 250} (270 - 250) = 0,84$$

Допустиме напруження при розрахунковій температурі 270 °С, ви-

значасмо за формулою (2.4)

$$[\sigma] = [\sigma]_{20} \cdot A_t = 163,87 \cdot 0,84 = 137,65 \text{ МПа.}$$

Для трубопроводу умовним проходом $D_u=40$ мм (номінальним діаметром $DN=40$ мм) зовнішній діаметр труби за таблицею ?? приймаємо $D=45$ мм

При розрахунку безшовних елементів коефіцієнт міцності приймається $\varphi = 1,0$.

Розрахункову товщину стінки труби визначаємо за формулою (4.1)

$$S_P = \frac{P \cdot D}{2\varphi \cdot [\sigma] + P} = \frac{9,5 \cdot 45}{2 \cdot 1 \cdot 137,65 + 9,5} = 1,5 \text{ мм.}$$

Добавку для компенсації корозії та зносу визначаємо за формулою (3.4), прийнявши добавку для компенсації зносу $C_3 = 0$

$$C_2 = P \cdot \tau + C_3 = 0,1 \cdot 10 + 0 = 1,0.$$

Виконавча товщина стінки труби без урахування технологічної надбавки повинна бути

$$S \geq S_P + C_2 = 1,5 + 1,0 = 2,5 \text{ мм.}$$

Для сталевих безшовних горячедеформованих труб по ГОСТ 8732-78 при зовнішньому діаметрі труб до 219 мм, товщині стінки до 15 мм і звичайної точності виготовлення граничне мінусове відхилення складає 15 %.

Заздалегідь прийнявши товщину стінки труби $S = 3,0$ мм, технологічна добавка складе

$$C_1 = 0,15 \cdot S = 0,15 \cdot 3,0 = 0,45 \text{ мм.}$$

Добавку до розрахункової товщини визначаємо за формулою (3.3)

$$C = C_1 + C_2 = 0,45 + 1,0 = 1,45 \text{ мм.}$$

Номінальну товщину стінки S труби визначаємо за формулою (3.2)

$$S \geq S_P + C = 1,5 + 1,45 = 2,95 \text{ мм.}$$

За ГОСТ 8732-78 приймаємо товщину стінки труби $S = 3,0$ мм.

Розрахункове напруження від внутрішнього тиску приведене до нормальної температури визначаємо за формулою (3.2)

$$\sigma = \frac{P[D - (S - C)]}{2 A_t \cdot \varphi (S - C)} = \frac{9,5 [45 - (3,0 - 1,45)]}{2 \cdot 0,84 \cdot 1 \cdot (3,0 - 1,45)} = 158,5 \text{ МПа.}$$

Умова міцності

$$\sigma = 158,5 \text{ МПа} < [\sigma]_{20} = 163,87 \text{ МПа}$$

виконується.

Допустимий внутрішній тиск обчислюємо за формулою (4.4)

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma]_{20} \cdot A_t \cdot \varphi \cdot (S - C)}{D - (S - C)} = \frac{2 \cdot 163,87 \cdot 0,84 \cdot 1,0 \cdot (3,0 - 1,45)}{45 - (3,0 - 1,45)} = 9,82 \text{ МПа.}$$

Умова міцності

$$P_p = 9,5 < [P] = 9,82 \text{ МПа}$$

виконується.

Вибір та розрахунок відводів.

Крутовигнуті відводи виготовляють типів 2D з радіусом кривизни осевої лінії відводу $R=DN$ та 3D – $R=1,5DN$.

За таблицею ?? приймаємо відвід крутовигнутий типу 3D виконення 2 номінальним діаметром DN 40 мм, зовнішнім діаметром $D=45$ мм, з радіусом кривизни осевої лінії відводу $R=60$ мм.

$$\text{Відношення } \frac{R}{D - S_p} = \frac{60}{45 - 1,66} = 1,384$$

Значення коефіцієнта k_2 за таблицею ?? для відношення

$$\frac{R}{D - S_p} = 1 \text{ складає } k_2 = 1,3, \text{ а для відношення } \frac{R}{D - S_p} = 1,5 \quad k_2 = 1,15.$$

Методом лінійної інтерполяції визначаємо значення коефіцієнта

$$k_2 \text{ при відношенні } \frac{R}{D - S_p} = 1,384$$

$$k_2 = 1,3 + \frac{1,3 - 1,15}{1,0 - 1,5} (1,384 - 1,0) = 1,185.$$

Розрахункову товщину відводу визначаємо за формулою ??

$$S_{p2} = k_2 \cdot S_p = 1,185 \cdot 1,5 = 1,78 \text{ мм.}$$

Для попереднього визначення товщини стінки відводу добавку до

товщини стінки приймаємо рівною $C = 1,45$ мм.

Попередню товщину стінки відводу визначаємо за формулою ??

$$S_2 \geq S_{p2} + C = 1,78 + 1,45 = 3,23 \text{ мм.}$$

Приймаємо виконавчу товщину стінки відводу за таблицею ??

$$S_2 = 3,5 \text{ мм.}$$

Уточнюємо технологічну добавку для відводу виготовленого з труб по ГОСТ 8732-78

$$C_1 = 0,15 \quad S_2 = 0,15 \cdot 3,5 = 0,525 \text{ мм.}$$

Добавку до розрахункової товщини визначаємо за формулою (3.3)

$$C = C_1 + C_2 = 0,525 + 1,0 = 1,525 \text{ мм.}$$

Умовне позначення відводу з кутом $\Theta = 90^\circ$, виповнення 2, зовнішнім діаметром $D = 45$ мм, товщиною стінки $S = 3,5$ мм виготовлений зі сталі марки 20:

Отвод 90-45-3,5 ДСТУ ГОСТ 17375:2003 (ИСО 3419:81).

Розрахункове напруження від внутрішнього тиску приведене до нормальної температури визначаємо за формулою (3.2)

$$\sigma = \frac{k_2 \cdot P [D - (S - C)]}{2 A_t \cdot (S - C)} = \frac{1,185 \cdot 9,5 [45 - (3,5 - 1,525)]}{2 \cdot 0,84 \cdot (3,5 - 1,525)} = 145,98 \text{ МПа.}$$

Умова міцності

$$\sigma = 145,98 \text{ МПа} < [\sigma]_{20} = 163,87 \text{ МПа}$$

виконується.

Допустимий внутрішній тиск для відводу обчислюємо за формулою (4.4)

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma]_{20} \cdot A_t \cdot (S - C)}{k_2 [D - (S - C)]} = \frac{2 \cdot 163,87 \cdot 0,84 \cdot (3,5 - 1,525)}{1,185 [45 - (3,5 - 1,525)]} = 10,66 \text{ МПа.}$$

Умова міцності

$$P_p = 9,5 \text{ МПа} < [P] = 10,66 \text{ МПа}$$

виконується.

Вибір та розрахунок переходів.

За таблицею ?? приймаємо для горизонтального трубопроводу ексцентричний перехід виконання 2 зі зовнішніми діаметрами $D = 45$ мм і $d = 38$ мм. Довжина переходу складає $L = 30$ мм. Радіус скруглення визначаємо по таблиці ??

$$r_1 = 0,3 D = 0,3 \cdot 45 = 13,5 \text{ мм}, \quad r_2 = 0,3 d = 0,3 \cdot 38 = 11,4 \text{ мм}.$$

Приймаємо довжину циліндричного борту $l = 5$ мм.

Довжина конічної частини переходу визначаємо за формулою

$$L_1 = L - 2l = 30 - 2 \cdot 5 = 20 \text{ мм}.$$

Кут нахилу твірної поверхні для ексцентричного переходу обчислюємо за формулою (4.?)

$$\alpha = \arctg \frac{D - d}{L_1} = \arctg \frac{45 - 38}{20} = 19,29^\circ$$

Розрахункову товщину стінки переходу штампованого з труби визначаємо як для труб більшого діаметру за формулою (4.1)

$$S_P = \frac{P \cdot D}{2 \varphi_w \cdot [\sigma]_{20} \cdot \cos \alpha + P} = \frac{9,5 \cdot 45}{2 \cdot 0,84 \cdot 163,87 \cdot \cos 19,29 + 9,5} = 1,587 \text{ мм}.$$

За таблицею ?? приймаємо товщину переходу $S = 4$ мм.

Уточнюємо технологічну добавку для переходу виготовленого з труб по ГОСТ 8732-78

$$C_1 = 0,15 S = 0,15 \cdot 4 = 0,6 \text{ мм}.$$

Добавку до розрахункової товщини визначаємо за формулою (3.3)

$$C = C_1 + C_2 = 0,6 + 1,0 = 1,6 \text{ мм}.$$

Умови вживання розрахункових формул при $15^\circ < \alpha \leq 45^\circ$

$$0,003 \leq \frac{S_{p6}}{D - 2S} = \frac{1,587}{45 - 2 \cdot 4} = 0,043 \leq 0,15 \text{ та}$$

$$\frac{d-2S}{D-2S} = \frac{38-2\cdot 4}{45-2\cdot 4} = 0,81 < 1 - \frac{2\sin\alpha}{\sqrt{\cos\alpha}} \sqrt{\left(1 + \frac{S_{p6}}{D-2S}\right) \cdot \frac{S_{p6}}{D-2S}} =$$

$$= 1 - \frac{2\sin 19,29}{\sqrt{\cos 19,29}} \sqrt{\left(1 + \frac{1,587}{45-2\cdot 4}\right) \cdot \frac{1,587}{45-2\cdot 4}} = 0,856$$

виконуються.

Розрахункове напруження від внутрішнього тиску приведене до нормальної температури визначаємо за формулою (3.2)

$$\sigma = \frac{P[D - (S - C)]}{2 A_t \cdot (S - C) \cdot \varphi_w \cdot \cos\alpha} = \frac{9,5 [45 - (4 - 1,6)]}{2 \cdot 0,84 \cdot (4 - 1,6) \cdot 1 \cdot \cos 19,29} = 106,34 \text{ МПа.}$$

Умова міцності

$$\sigma = 106,34 \text{ МПа} < [\sigma]_{20} = 163,87 \text{ МПа}$$

виконується.

Допустимий внутрішній тиск для переходу обчислюємо за формулою (4.4)

$$[P] = \frac{2[\sigma]_{20} \cdot A_t \cdot \varphi \cdot (S - C) \cdot \cos\alpha}{D - (S - C)} = \frac{2 \cdot 163,87 \cdot 0,84 \cdot 1,0 \cdot (4,0 - 1,6) \cdot \cos 19,29}{45 - (4,0 - 1,6)} =$$

$$= 14,63 \text{ МПа.}$$

Умова міцності

$$P_p = 9,5 < [P] = 14,63 \text{ МПа}$$

виконується.

Умовне позначення ексцентричного переходу виконання 2 зі зовнішніми діаметрами $D = 45 \text{ мм}$, $d = 38 \text{ мм}$, $S = 4,0 \text{ мм}$, $S_1 = 4,0 \text{ мм}$ зі сталі марки 20:

Переход Э – 45·4 – 38·4 ДСТУ ГОСТ 17378:2003 (ИСО 3419:81).

Вибір та розрахунок трійників.

За таблицею (?.?) приймаємо рівнопрохідний трійник $DN = 40 \text{ мм}$ з товщиною стінки $S = 4 \text{ мм}$.

Розрахункову товщину стінки магістралі в трійникових з'єднаннях визначаємо за формулою

$$S_{p7} = \frac{P \cdot D}{2 \varphi_d \cdot [\sigma] + P}$$

де розрахунковий коефіцієнт міцності магістралі обчислюваний за формулою (?.?)

$$\varphi_d = \frac{2}{1,75 + \frac{d_i}{\sqrt{(D-S)(S-C)}}} \left[1 + \frac{\sum A}{2(S-C)\sqrt{(D-S)(S-C)}} \right]$$

Для трійників з відборттованими отворами замість d_i слід приймати величину підраховану за формулою

$$d_{eq} = d_i + 0,5r.$$

Для рівнопрохідних трійників $d_i = D - 2 S_b = 45 - 2 \cdot 4 = 37$ мм.

Внутрішній радіус відборттовки рівний

$$r = r_1 + S_b = 5 + 4 = 9 \text{ мм.}$$

$$d_{eq} = d_i + 0,5 r = 37 + 0,5 \cdot 9 = 41,5 \text{ мм.}$$

Виліт відборттовки штуцера складе

$$h_b = H - 0,5 D = 40 - 0,5 \cdot 45 = 17,5 \text{ мм.}$$

Так як виліт відборттовки штуцера

$$h_b = 17,5 \text{ мм} > \sqrt{(d - S_b) \cdot (S_b - C_b)} = \sqrt{(45 - 4) \cdot (4 - 1,6)} = 9,91 \text{ мм}$$

Зміцнювальну площу відборттованої ділянки визначаємо за формулою

$$\begin{aligned} A_b &= 2 (S_b - C_b - S_{pb}) \sqrt{(d - S_b)(S_b - C_b)} = \\ &= 2 (4 - 1,6 - 1,5) \cdot \sqrt{(45 - 4)(4 - 1,6)} = 17,855 \text{ мм.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \varphi_d &= \frac{2}{1,75 + \frac{d_i}{\sqrt{(D-S)(S-C)}}} \left[1 + \frac{\sum A}{2(S-C)\sqrt{(D-S)(S-C)}} \right] = \\ &= \frac{2}{1,75 + \frac{41,5}{\sqrt{(45-4) \cdot (4-1,6)}}} \left[1 + \frac{17,855}{2 \cdot (4-1,6) \cdot \sqrt{(45-4) \cdot (4-1,6)}} \right] = 0,4634 \end{aligned}$$

Розрахункову товщину стінки трійника

$$S_{p7} = \frac{P \cdot D}{2 \varphi_d \cdot [\sigma]_{20} \cdot A_t + P} = \frac{9,5 \cdot 45}{2 \cdot 0,4634 \cdot 163,87 \cdot 0,84 + 9,5} = 3,118 \text{ мм.}$$

Виконавча товщина трійника

$$S_7 \geq S_{p7} + C_b = 3,118 + 1,6 = 4,718 \text{ мм}$$

перевищує раніше прийняту $S = 4 \text{ мм.}$

Уточнюємо значення прийняв $S = 5 \text{ мм.}$

$$d_i = D - 2 S_b = 45 - 2 \cdot 5 = 35 \text{ мм.}$$

$$r = r_1 + S_b = 5 + 5 = 10 \text{ мм.}$$

$$d_{eq} = d_i + 0,5 r = 35 + 0,5 \cdot 10 = 40 \text{ мм.}$$

$$C_1 = 0,15 S = 0,15 \cdot 5 = 0,75 \text{ мм.}$$

$$C_b = C_1 + C_2 = 0,75 + 1,0 = 1,75 \text{ мм.}$$

$$h_b = 17,5 \text{ мм} > \sqrt{(d - S_b) \cdot (S_b - C_b)} = 1,25 \cdot \sqrt{(45 - 5) \cdot (5 - 1,75)} = 11,4 \text{ мм.}$$

$$\begin{aligned} A_b &= 2 (S_b - C_b - S_{pb}) \sqrt{(d - S_b) \cdot (S_b - C_b)} = \\ &= 2 (5 - 1,75 - 1,5) \cdot \sqrt{(45 - 5)(5 - 1,75)} = 39,9 \text{ мм}^2. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \varphi_d &= \frac{2}{1,75 + \frac{d_i}{\sqrt{(D - S) \cdot (S - C)}}} \left[1 + \frac{\sum A}{2(S - C) \sqrt{(D - S) \cdot (S - C)}} \right] = \\ &= \frac{2}{1,75 + \frac{35}{\sqrt{(45 - 5) \cdot (5 - 1,75)}}} \left[1 + \frac{39,9}{2 \cdot (5 - 1,75) \cdot \sqrt{(45 - 5) \cdot (5 - 1,75)}} \right] = 0,6383 \end{aligned}$$

$$S_{p7} = \frac{P \cdot D}{2 \varphi_d \cdot [\sigma]_{20} \cdot A_t + P} = \frac{9,5 \cdot 45}{2 \cdot 0,6383 \cdot 163,87 \cdot 0,84 + 9,5} = 2,307 \text{ мм.}$$

$$S_7 \geq S_{p7} + C_b = 2,307 + 1,75 = 4,057 \text{ мм.}$$

Виконавча товщина трійника не перевищує раніше прийняту $S = 5 \text{ мм.}$

Розрахункове напруження від внутрішнього тиску приведенне до нормальної температури визначаємо за формулою (3.2)

$$\sigma = \frac{P[D - (S - C)]}{2 \varphi_d \cdot (S - C) \cdot A_t} = \frac{9,5 [45 - (5 - 1,75)]}{2 \cdot 0,6383 \cdot (5 - 1,75) \cdot 0,84} = 113,8 \text{ МПа.}$$

Умова міцності

$$\sigma = 113,8 \text{ МПа} < [\sigma]_{20} = 163,87 \text{ МПа}$$

виконується.

Допустимий внутрішній тиск в магістралі обчислюємо за формулою (4.4)

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma]_{20} \cdot \varphi_d \cdot A_t \cdot (S - C)}{D - (S - C)} = \frac{2 \cdot 163,87 \cdot 0,6383 \cdot 0,84 \cdot (5,0 - 1,75)}{45 - (5,0 - 1,75)} = 13,67 \text{ МПа.}$$

Умова міцності

$$P_p = 9,5 \text{ МПа} < [P] = 13,67 \text{ МПа}$$

виконується.

Умовне позначення рівнопрохідного трійника виконання 2 зі зовнішніми діаметрами $D = 45 \text{ мм}$, $d = 45 \text{ мм}$, $S = 5,0 \text{ мм}$, $S_b = 5,0 \text{ мм}$ зі сталі марки 20:

Трійник 45·5 ДСТУ ГОСТ 17376:2003 (ИСО 3419:81).

Вибір та розрахунок заглушок.

Розрахувати плоску заглушку пропущену всередину труби.

Розрахункову товщину плоскої круглої заглушки пропущеної всередину труби слід визначати по формулі

$$S_{P8} = \gamma_1 \cdot (D_i - r) \sqrt{\frac{P}{[\sigma]_{20} \cdot A_t}},$$

де $\gamma_1 = 0,53$ для заглушки ввареної в трубу (при $r = 0$);

D_i – внутрішній діаметр труби, мм;

r – радіус скруглення заглушки, мм.

Внутрішній діаметр труби складає

$$D_i = D - 2 S = 45 - 2 \cdot 3 = 39 \text{ мм.}$$

$$S_{P8} = \gamma_1 \cdot (D_i - r) \sqrt{\frac{P}{[\sigma]_{20} \cdot A_t}} = \frac{0,53}{1,0} (39 - 0) \cdot \sqrt{\frac{9,5}{163,87 \cdot 0,84}} = 5,43 \text{ мм.}$$

Виконавча товщина стінки плоскої заглушки з урахуванням добавки

для компенсації корозії та зносу складає

$$S \geq S_{p8} + C_2 = 5,43 + 1 = 6,43 \text{ мм.}$$

Виконавчу товщину стінки плоскої заглушки приймаємо рівною $S = 8 \text{ мм.}$

Добавка для компенсації мінусового допуску для сталевого листа товщиною $S = 8 \text{ мм}$ складає $C_1 = 0,8 \text{ мм.}$

Сума добавок до розрахункової товщини дорівнює

$$C = C_1 + C_2 = 0,8 + 1,0 = 1,8 \text{ мм.}$$

Виконавча товщина стінки плоскої заглушки

$$S \geq S_{p8} + C = 5,43 + 1,8 = 7,23 \text{ мм,}$$

що відповідає прийнятій раніше $S = 8 \text{ мм.}$

Допустимий внутрішній тиск розраховуємо за формулою

$$[P] = \frac{[\sigma]_{20} \cdot A_t \cdot (S - C)^2}{\gamma_1^2 \cdot (D_i - r)^2} = \frac{163,87 \cdot 0,84 \cdot (8 - 1,8)^2}{0,53^2 \cdot (39 - 0)^2} = 12,38 \text{ МПа.}$$

Умова міцності

$$P_p = 9,5 < [P] = 12,38 \text{ МПа}$$

виконується.

Розрахувати плоску заглушку привареної до торця труби.

Розрахункову товщину плоскої круглої заглушки привареної до торця труби слід визначати за формулою

$$S_{P8} = \gamma_1 \cdot (D_i - r) \sqrt{\frac{P}{[\sigma]_{20} \cdot A_t}},$$

де $\gamma_1 = 0,45$ для заглушки привареної до торця труби;

D_i – внутрішній діаметр труби, мм;

r – радіус скруглення заглушки, мм.

Приймаємо радіус скруглення заглушки $r = 5 \text{ мм.}$

$$S_{P8} = \gamma_1 \cdot (D_i - r) \sqrt{\frac{P}{[\sigma]_{20} \cdot A_t}} = 0,45 \cdot (39 - 5) \cdot \sqrt{\frac{9,5}{163,87 \cdot 0,84}} = 4,02 \text{ мм.}$$

Виконавча товщина стінки плоскої заглушки з урахуванням добавки для компенсації корозії та зносу складає

$$S \geq S_{p8} + C_2 = 4,02 + 1 = 5,02 \text{ мм.}$$

Виконавчу товщину стінки плоскої заглушки приймаємо рівною $S = 6 \text{ мм.}$

Добавка для компенсації мінусового допуску для сталевих листів товщиною $S = 6 \text{ мм}$ складає $C_1 = 0,6 \text{ мм.}$

Сума добавок до розрахункової товщини дорівнює

$$C = C_1 + C_2 = 0,6 + 1,0 = 1,6 \text{ мм.}$$

Виконавча товщина стінки плоскої заглушки

$$S \geq S_{p8} + C = 4,02 + 1,6 = 5,62 \text{ мм,}$$

що відповідає прийнятій раніше $S = 6 \text{ мм.}$

Допустимий внутрішній тиск розраховуємо за формулою

$$[P] = \frac{[\sigma]_{20} \cdot A_t \cdot (S - C)^2}{\gamma_1^2 \cdot (D_i - r)^2} = \frac{1^2 \cdot 163,87 \cdot 0,84 \cdot (6 - 1,6)^2}{0,35^2 \cdot (39 - 5)^2} = 11,38 \text{ МПа.}$$

Умова міцності

$$P_p = 9,5 < [P] = 11,38 \text{ МПа}$$

виконується.

Розрахувати плоску заглушку між двома фланцями.

Для трубопроводу групи Бв і робочому тиску $P_p = 9,5 \text{ МПа}$ приймаємо фланцеве з'єднання з приварними встик фланцями з ущільнювальними поверхнями «виступ-западина».

Для фланців з ущільнювальними поверхнями «виступ-западина» приймаємо прокладку типу Б.

Розміри прокладки типу Б для номінального розміру $DN = 40 \text{ мм}$ і номінального (умовного) тиску $PN 1,0 - 16,0 \text{ МПа}$ визначаємо за таблицею:

– зовнішній діаметр – $D_n = 75 \text{ мм;}$

– внутрішній діаметр – $d_g = 45 \text{ мм.}$

Ширина прокладки дорівнює

$$b = \frac{D_n - d_v}{2} = \frac{75 - 45}{2} = 15 \text{ мм.}$$

Для прокладок шириною $b \leq 15$ мм ефективний діаметр прокладки приймається рівним середньому діаметру прокладки

$$G = D_n - b = 75 - 15 = 60 \text{ мм.}$$

Визначаємо номінальний (умовне) тиск для фланцевого з'єднання по формулі, МПа

$$PN \geq \frac{P + \frac{4}{3,14 \cdot G^2} \max \left\{ \left(N + \frac{4|M|}{G} \right); 0 \right\}}{A_t},$$

де N – осьова сила, діюча на фланцеве з'єднання, Н;

$M = \left(M_x^2 + M_y^2 \right)^{0,5}$ сумарний згинаючий момент, діючий на трубопроводі, Н·мм;

M_x, M_y – згинаючі моменти, діючі в двох взаємно перпендикулярних площинах, що приходять через вісь труби, Н·мм;

G – ефективний діаметр прокладки, мм.

Осьова сила при розтягуванні приймається зі знаком плюс, а при стисненні – мінус.

Осьова сила діюча на фланцеве з'єднання викликана температурними деформаціями складе

$$N = \alpha \cdot E \cdot f \cdot \Delta t,$$

де α – коефіцієнт лінійного розширення матеріалу труби, $1/^\circ\text{C}$;

E – модуль подовжньої пружності матеріалу труби, МПа;

f – площа поперечного перерізу труби, мм^2 ;

Δt – різниця розрахункової температури і температури монтажу трубопроводу, $^\circ\text{C}$.

Коефіцієнт лінійного розширення матеріалу труби при розрахунковій температурі дорівнює

$$\begin{aligned} \alpha_{270} &= \alpha_{200} + \frac{\alpha_{300} - \alpha_{200}}{300 - 200} (270 - 200) = \\ &= 12,6 \cdot 10^{-6} + \frac{13,1 \cdot 10^{-6} - 12,6 \cdot 10^{-6}}{300 - 200} (270 - 200) = 12,95 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^\circ\text{C}. \end{aligned}$$

Модуль подовжньої пружності матеріалу труби при розрахунковій

температурі дорівнює

$$\begin{aligned} E_{270} &= E_{250} + \frac{E_{300} - E_{250}}{300 - 250} (270 - 250) = \\ &= 1,76 \cdot 10^5 + \frac{1,71 \cdot 10^5 - 1,76 \cdot 10^5}{300 - 250} (270 - 250) = 1,74 \cdot 10^5 \text{ МПа.} \end{aligned}$$

Площа поперечного перерізу труби дорівнює

$$f = \frac{\pi \cdot (D^2 - D_i^2)}{4} = \frac{3,14 \cdot (45^2 - 39^2)}{4} = 395,64 \text{ мм}^2 \left(395,64 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 \right)$$

Приймаємо температуру монтажу трубопроводу $t_m = 20^\circ \text{C}$.

Різниця розрахункової температури і температури монтажу трубопроводу складе

$$\Delta t = t_p - t_m = 270 - 20 = 250^\circ \text{C}.$$

Осьова сила діюча на фланцеве з'єднання викликана температурними деформаціями складе

$$N = \alpha \cdot E \cdot f \cdot \Delta t = 12,96 \cdot 10^{-6} \cdot 1,74 \cdot 10^5 \cdot 395,64 \cdot 10^{-6} \cdot 250 = 223046 \text{ Н.}$$

Оскільки сумарний згинаючий момент діючий на трубопровід не заданий приймаємо його рівним $M = 0$.

Визначаємо номінальний (умовний) тиск для фланцевого з'єднання по формулі

$$\begin{aligned} PN &\geq \frac{P + \frac{4}{3,14 \cdot G^2} \cdot \max \left\{ \left(N + \frac{4|M|}{G} \right); 0 \right\}}{A_t} = \\ &= \frac{9,5 + \frac{4}{3,14 \cdot 60^2} \cdot \max \left\{ -223046 + \frac{4 \cdot |0|}{60}; 0 \right\}}{0,84} = 11,31 \text{ МПа.} \end{aligned}$$

Приймаємо фланці приварні встик на номінальний (умовний) тиск $PN 16 \text{ МПа}$.

Розрахункову товщину плоскої заглушки між двома фланцями визначають по формулі

$$S_{p9} = 0,41 \cdot (D_i + b) \cdot \sqrt{\frac{P}{[\sigma]_{20} \cdot A_t}} = 0,41 \cdot (39 + 15) \cdot \sqrt{\frac{9,5}{163,87 \cdot 0,84}} = 5,82 \text{ мм.}$$

Виконавча товщина стінки плоскої заглушки між двома фланцями з урахуванням добавки для компенсації корозії та зносу складає

$$S \geq S_{p9} + C_2 = 5,82 + 1 = 6,82 \text{ мм.}$$

Виконавчу товщину стінки плоскої заглушки між двома фланцями приймаємо рівною $S = 8 \text{ мм.}$

Добавка для компенсації мінусового допуску для сталевих листів товщиною $S = 5 \text{ мм}$ складає $C_1 = 0,8 \text{ мм.}$

Сума добавок до розрахункової товщини дорівнює

$$C = C_1 + C_2 = 0,8 + 1,0 = 1,8 \text{ мм.}$$

Виконавча товщина стінки плоскої заглушки між двома фланцями

$$S \geq S_{p9} + C = 5,82 + 1,8 = 7,62 \text{ мм,}$$

що відповідає прийнятій раніше $S = 8 \text{ мм.}$

Допустимий внутрішній тиск розраховуємо за формулою

$$[P] = \frac{[\sigma]_{20} \cdot A_t \cdot (S - C)^2}{0,17 \cdot (D_i + b)^2} = \frac{163,87 \cdot 0,84 \cdot (8 - 1,8)^2}{0,17 \cdot (39 + 15)^2} = 10,67 \text{ МПа.}$$

Умова міцності

$$P_p = 9,5 < [P] = 10,67 \text{ МПа}$$

виконується

Розрахувати еліптичну заглушку.

Висоту випуклої частини еліптичної заглушки приймаємо рівною

$$h = 0,25 D = 0,25 \cdot 45 = 11,25 \text{ мм.}$$

Розрахункова товщина стінки безшовної еліптичної заглушки визначимо за формулою

$$S_{10} = \frac{P \cdot D^2}{8 \cdot A_t \cdot h \cdot [\sigma]_{20}} = \frac{9,5 \cdot 45^2}{8 \cdot 0,84 \cdot 11,25 \cdot 163,87} = 1,55 \text{ мм.}$$

Виконавча товщина стінки еліптичної заглушки з урахуванням добавки для компенсації корозії та зносу складає

$$S \geq S_{p9} + C_2 = 1,55 + 1 = 2,55 \text{ мм.}$$

Виконавчу товщину стінки еліптичної заглушки приймаємо рівною $S = 3 \text{ мм}$.

Добавка для компенсації мінусового допуску для сталевого листа товщиною $S = 3 \text{ мм}$ складає $C_1 = 0,22 \text{ мм}$.

Сума добавок до розрахункової товщини дорівнює

$$C = C_1 + C_2 = 0,22 + 1,0 = 1,22 \text{ мм.}$$

Виконавча товщина стінки еліптичної заглушки

$$S \geq S_{p9} + C = 1,55 + 1,22 = 2,77 \text{ мм,}$$

що відповідає прийнятій раніше $S = 3 \text{ мм}$.

Допустимий внутрішній тиск розраховуємо за формулою

$$\begin{aligned} [P] &= \frac{8 \cdot A_t \cdot [\sigma]_{20} \cdot \varphi_d \cdot (S - C) \cdot h}{D^2} = \\ &= \frac{8 \cdot 0,84 \cdot 163,87 \cdot 1 \cdot (3 - 1,22) \cdot 11,25}{45^2} = 10,88 \text{ МПа.} \end{aligned}$$

Умова міцності

$$P_p = 9,5 < [P] = 10,88 \text{ МПа}$$

виконується.

5 НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНІ МАТЕРІАЛИ З ДИСЦИПЛІНИ

1. Аксельрад Э.Л. Ильин В.П. Расчет трубопроводов. Л.: «Машиностроение», 1972. -240 с.
2. Барвін О.І., Генкіна І.М., Іванченко В.В., Тараненко Г.В., Штонда Ю.М. Конструювання і розрахунок сталевих зварних посудин та апаратів. Фланцеві з'єднання. Луганськ.: Вид-во Східноукр. нац. університету ім.. Володимира Даля. 2007. -306 с.
3. Барвін О.І., Генкіна І.М., Іванченко В.В., Тараненко Г.В., В.Г. Табунціков, Штонда Ю.М. Фланці арматури, з'єднувальних частин і трубопроводів: Навч. посібник. – Северодонецьк, Вид-во Северодонецького технологічного інституту, 2006. – 172 с.
4. Барвін О.І., Генкіна І.М., Іванченко В.В., Тараненко Г.В., Штонда Ю.М. Конструювання і розрахунок сталевих зварних посудин та апаратів. Обичайки та днища. Луганськ.: Вид-во Східноукр. нац. університету ім.. Володимира Даля. 2005. -300 с.
5. Бережковский М.И Трубопроводный транспорт химических продуктов. Л.: Химия,1979. -240 с.
6. Ермаков В.И. Ремонт и монтаж химического оборудования. Л.: Химия, 1981. - 327 с.
7. Иванов Е.А., Шепелев А.В., Лялин Г.В. Трубопроводы в химической промышленности. М.: Машгиз, 1963. -428 с.
8. Казакевич М.И., Любин А.Е. Проектирование металлических конструкций надземных промышленных трубопроводов. Киев, «Будивэль-нык», 1989. -160 с.
9. Миркин А.З. Усиныш В.В. Трубопроводные системы. Справ. М.: Химия, 1991. 256с.
10. Николаевский Е.Я. и др. Технологические трубопроводы в промышленном строительстве. Справочник монтажника. М.: Стройиздат, 1979. - 800 с.
11. Пособие по расчету на прочность технологических стальных трубопроводов на Ру до 10 МПа (к СН527 - 80). ВНИИмонтажспецстрой, Москва, 1987.
12. Промышленная трубопроводная арматура. Каталоги Ч. I - IV. М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1988 -1991 г.
13. Правила устройства и безопасной эксплуатации технологических трубопроводов. ПБ 03-585-03. М. ПИО ОБТ 2003, 131 с.
14. ПУГ - 69 «Правила устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов для горючих, токсичных и сжиженных газов. М.: Недра, 1970.

15. РД РТМ 26 - 01 - 44 - 78. Детали трубопроводов на давление свыше 10 до 100 МПа. Нормы и методы расчета на прочность.
16. РТМ 24.038.08 - 72. Расчет трубопроводов энергетических установок на прочность. (Министерство тяжелого, энергетического и транспортного машиностроения. Москва).
17. СН - 527 - 80 «Инструкция по проектированию технологических стальных трубопроводов Ру до 10 МПа».
18. СНиП 2.04.14 - 88. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. Москва, 1989.
19. СНиП 3.05.05. - 80. «Технологическое оборудование и технологические трубопроводы». (Государственный комитет по делам строительства, Москва, 1984 г.)
20. Тавастшерна Р.И. Изготовление и монтаж технологических трубопроводов. М.: Высш. шк., 1990. – 256 с.
21. Трубы металлические и соединительные части к ним. М.: Издательство стандартов, 1978. – 528 с.
22. Хисматулин Е.Р. Королев Е.М. Лившиц В.И. и др. Сосуды и трубопроводы высокого давления Справ. М.: Машиностроение, 1990. -384 с.
23. ДСТУ ГОСТ 30753:2003. Деталі трубопроводів безшовні приварні з вуглецевої і низьколегованої сталі. Відводи крутовигнуті типу 2D ($R \approx DN$). Конструкція. К.: Держспоживстандарт України, 2003. -11 с.
24. ДСТУ ГОСТ 17375:2003. Деталі трубопроводів безшовні приварні з вуглецевої і низьколегованої сталі. Відводи крутовигнуті типу 3D ($R \approx 1,5 DN$). Конструкція. (ГОСТ 17375-2001 (ИСО 3419-81), IDT).К.: Держспоживстандарт України, 2003. -13 с.
25. ДСТУ ГОСТ 17376:2003. Деталі трубопроводів безшовні приварні з вуглецевої і низьколегованої сталі. Трійники. Конструкція. (ГОСТ 17376-2001 (ИСО 3419-81), IDT). К.: Держспоживстандарт України, 2003. - 15 с.
26. ДСТУ ГОСТ 17378:2003. Деталі трубопроводів безшовні приварні з вуглецевої і низьколегованої сталі. Переходи. Конструкція. (ГОСТ 17378-2001 (ИСО 3419-81), IDT). К.: Держспоживстандарт України, 2003. - 19 с.
27. ДСТУ ГОСТ 17379:2003. Деталі трубопроводів безшовні приварні з вуглецевої і низьколегованої сталі. Заглушки еліптичні. Конструкція. (ГОСТ 17379-2001 (ИСО 3419-81), IDT). К.: Держспоживстандарт України, 2003. -9 с.
28. ДСТУ ГОСТ 17380:2003. Деталі трубопроводів безшовні приварні з вуглецевої і низьколегованої сталі. Загальні технічні умови. Конструкція.

(ГОСТ 17380-2001 (ИСО 3419-81), IDT). К.: Держспоживстандарт України, 2003. -21 с.

МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

29. Методические указания к расчету на прочность технологических стальных трубопроводов на P_y до 10 МПа.
30. Методические указания к расчету на прочность труб и деталей трубопроводов на давление свыше 10 до 100 МПа для студентов специальности 7.090220.
31. Методические указания к расчету тепловой изоляции трубопроводов и оборудования для студентов специальности 7.090220.
32. Методические указания к проектированию технологических стальных трубопроводов на P_y до 10 МПа для студентов специальности 7.0902202

Навчальне видання

Проектування та розрахунок технологічних трубопроводів.

Методичний poradник до організації вивчення дисципліни
(для студентів спеціальності 7.090220 – обладнання хімічних
виробництв і підприємств будівельних матеріалів)

Укладачі:

Юрій Миколайович Штонда
Віктор Васильович Іванченко
Володимир Георгійович Табунціков

Редактор
Оригінал-макет

В.В. Іванченко
Ю.М. Штонда

Підписано до друку_17.06.2009

Формат 60x84¹/₁₆. Папір типограф. Гарнітура Times.

Друк офсетний. Умов. друк. арк. 2,5. Облік. видавн. арк. _____

Тираж _____екз. Вид. №64/09. Замовл. № 129/09. Ціна договірна.

Видавництво Сєверодонецького технологічного інституту
СНУ імені Володимира Дала

Адреса видавництва: м. Сєверодонецьк, просп. Радянський, 59а

Телефон: 8 (06452) 4-40-48, факс 8 (06452) 2-89-78

Адреса видавництва: 93400, м. Сєверодонецьк, Луганська обл.
пр. Радянський, 59а, головний корпус

Телефон 8 (06452) 4 40 48 факс 8 (06452) 4-03-42

E-mail: sti@sti.lg.ua