

**Кафедра пожежної і техногенної безпеки об'єктів та технологій
Університету цивільного захисту України**

**ПОЖЕЖНА ПРОФІЛАКТИКА
ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ**

Методичні вказівки до виконання контрольної роботи № 1

Для слухачів факультету заочного навчання
за спеціальністю “Пожежна безпека”

Харків 2006

Друкується за рішенням кафедри
пожежної і техногенної безпеки
об'єктів та технологій
Протокол № 04 від 20.11.2006 р.

Рецензенти: М.М.Удяньський – заступник начальника кафедри профілактики надзвичайних ситуацій у населених пунктах УЦЗУ, кандидат технічних наук;

В.М.Сирих – доцент кафедри наглядово-профілактичної діяльності у сфері цивільного захисту УЦЗУ, кандидат технічних наук.

Пожежна профілактика технологічних процесів. Методичні вказівки до виконання контрольної роботи № 1. Для слухачів факультету заочного навчання за спеціальністю “Пожежна безпека” /Укладачі: Михайлюк О.П., Олійник В.В., Білим П.А.: УЦЗУ, Харків, 2006. – 45 с.

Методичні вказівки до виконання контрольної роботи № 1 з дисципліни “Пожежна профілактика технологічних процесів” призначені для вивчення першого розділу курсу “Теоретичні основи пожежної профілактики технологічних процесів та апаратів” і дають можливість слухачам отримати теоретичні знання та практичні навички з аналізу та оцінки пожежної небезпеки технологічних процесів і апаратів та розробки на інженерному рівні пожежно-профілактичних заходів.

ЗМІСТ

В С Т У П	4
1. Вибір варіантів завдань контрольної роботи	5
2. Контрольні питання до завдання № 1	6
3. Задачі до завдання № 2	11
Література	13
Додатки	14
Додаток А	14
Додаток Б	15
Додаток В	16
Додаток Г	20
Додаток Д	43

ВСТУП

Однією з найважливіших задач, які стоять сьогодні перед Україною, є забезпечення захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру. Актуальність проблеми забезпечення природно-техногенної безпеки обумовлена стійкими тенденціями росту втрат людей та збитків територіям, що причиняється небезпечними природними явищами (стихіями), промисловими аваріями і катастрофами.

Основними причинами екологічно небезпечних аварій на виробництві продовжують залишатися грубі порушення вимог безпеки керівниками робіт, спеціалістами та персоналом, відступи від встановлених технологій і регламентів, конструктивні недоліки та несправність обладнання, машин, механізмів, невірні інженерні рішення, відсутність надійних систем попередження і локалізації аварій, пожеж, приладів контролю і засобів захисту та інші. Особливо небезпечними є виробництва за наявності великої кількості пожежовибухонебезпечних речовин та матеріалів, на яких виникнення навіть локальних пожеж або вибухів при несприятливому збігу обставин може привести, завдяки ланцюговому розвитку, до катастрофічних масштабів.

Пожежна профілактика технологічних процесів є важливою складовою частиною системи забезпечення пожежної безпеки промислових та сільськогосподарських об'єктів і дає змогу фахівцям пожежної безпеки на основі системного підходу оцінити вибухопожежонебезпеку технологічних процесів та апаратів і запропонувати їх ефективний протипожежний захист [1].

Вивчення першого розділу курсу “Теоретичні основи пожежної профілактики технологічних процесів та апаратів” дає можливість слухачам отримати теоретичні знання та практичні навички з аналізу та оцінки пожежної небезпеки технологічних процесів та апаратів і розробки на інженерному рівні пожежно-профілактичних заходів.

Для успішного вивчення цього розділу необхідно знати такі дисципліни, як термодинаміка та теплопередача, теорія розвитку та припинення горіння, пожежна профілактика в населених пунктах та інші.

В процесі вивчення матеріалу кожний слухач повинен самостійно виконати одну контрольну роботу, яку він надсилає в строки, які указані у навчальному плані. Перед виконанням контрольної роботи слухачі повинні вивчити теми курсу в тій послідовності, в якій вони викладені в навчальній програмі. Для вивчення дисципліни слухачам рекомендується використовувати літературу, яка пропонується в кінці методичних вказівок.

1. ВИБІР ВАРІАНТІВ ЗАВДАНЬ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ

При виконанні контрольної роботи № 1 слухачі повинні виконати два завдання, за якими дати відповіді на три теоретичних питання і розв'язати дві задачі.

Варіант 1 та 2 завдання визначається за таблицями (додаток А та Б). Відповідно до цих таблиць слухачі за передостанньою цифрою номеру своєї залікової книжки по горизонталі визначають стовпець, а по останній цифрі - визначають рядок з вертикального стовпця, і таким чином визначають варіант завдання.

Відповіді на теоретичні питання повинні бути короткими, з наведенням розрахункових формул, схем та рисунків.

Розв'язання задач необхідно супроводжувати розшифруванням розрахункових формул (поясненнями величин, що входять до формул, розмірностями в системі

СИ), схемами пристроїв та апаратів (з яких проводяться розрахунки) з посиланням на літературні джерела (із зазначенням сторінки і номера таблиці, рисунку), з яких взяті довідкові дані (наприклад, фізико-хімічні, пожежовибухонебезпечні властивості). В кінці розв'язання задачі необхідно зробити висновки. Приклади розв'язання задач та довідкові дані наведені відповідно в додатку Г і Д.

При виконанні контрольної роботи необхідно додержуватись послідовності при роботі над текстом, виконання вимог до оформлення переліку використаної літератури. Рекомендується використовувати наукові тези, доповіді, інформаційні листи, огляди і описи пожеж та інш.

2. КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ ДО ЗАВДАННЯ № 1

1. Пожежна безпека та умови утворення горючого середовища в апаратах з нерухомим рівнем рідини.

2. Пожежна безпека апаратів з рухомим рівнем рідини. Протипожежні заходи по запобіганню утворення горючого середовища в апаратах та ємностях з рухомим рівнем рідини.

3. Пожежна безпека та протипожежний захист апаратів з горючими газами.

4. Утворення горючого середовища в технологічному обладнанні з горючим пилом та волокнами. Протипожежні заходи.

5. Пожежна безпека та протипожежний захист апаратів з відкритою поверхнею випаровування горючої рідини. Привести формулу розрахунку кількості горючої рідини, що випаровується з відкритої поверхні.

6. Пожежна безпека та протипожежні заходи при експлуатації апаратів з дихальними пристроями. Привести формули розрахунку кількості горючих парів, що

виділяються через дихальні пристрої в результаті “великих” та “малих дихань”.

7. Пожежна небезпека та протипожежний захист апаратів періодичної дії. Привести формулу розрахунку кількості горючих парів, що виходять із періодично діючих апаратів при їх розгерметизації.

8. Пожежна небезпека та протипожежний захист апаратів, що працюють під надмірним тиском. Привести формулу розрахунку кількості парів або газів, що виходять з апаратів, які працюють під тиском.

9. Пожежна небезпека та протипожежний захист апаратів в періоди пуску та зупинки.

10. Пожежна небезпека при попаданні у високонагріті апарати з горючими речовинами рідин з більш низькою температурою кипіння. Протипожежні заходи.

11. Класифікація причин пошкодження технологічного обладнання та умови їх виникнення.

12. Класифікація та загальна характеристика аварійних ситуацій.

13. Локальне та повне пошкодження технологічного обладнання. Визначення кількості горючих речовин, що виходять назовні під час повного та локального пошкодження апаратів.

14. Пожежна небезпека при пошкодженні технологічного обладнання в результаті механічних дій. Основні причини та види механічних пошкоджень.

15. Пожежна небезпека при дії на матеріали стінок апаратів та трубопроводів високих температур.

16. Види температурних дій на матеріали стінок апаратів та трубопроводів. Протипожежний захист технологічного обладнання від температурних дій.

17. Причини виникнення ерозії матеріалів апаратів та трубопроводів. Пожежна небезпека для апаратів з горючими

речовинами явищ ерозії металу апаратів та трубопроводів. Протипожежні заходи.

18. Пожежна небезпека для апаратів з горючими речовинами явищ корозії металу апаратів та трубопроводів.

19. Пожежна небезпека при пошкодженні апаратів та трубопроводів внаслідок хімічних дій. Види хімічної корозії. Способи захисту металів від хімічної корозії.

20. Пожежна небезпека технологічного обладнання внаслідок електрохімічної корозії. Способи захисту технологічного обладнання від електрохімічної корозії. Привести схеми установок катодного та протекторного захисту.

21. Пожежна небезпека та причини пошкодження технологічного обладнання внаслідок гідравлічного удару та вібрації. Заходи попередження пошкодження.

22. Поняття матеріального балансу апаратів. Причини та наслідки порушення матеріального балансу апаратів та трубопроводів.

23. Інженерно-технічні заходи, які виключають пошкодження технологічного обладнання від температурних дій. Привести схеми температурних компенсаторів на трубопроводах.

24. Пожежна небезпека при порушенні нормального процесу конденсації парів. Протипожежні заходи.

25. Джерела запалювання та їх класифікація. Привести приклади джерел запалювання.

26. Пожежна небезпека відкритого вогню, розжарених продуктів горіння та нагрітих ними поверхонь. Пожежно-профілактичні заходи.

27. Пожежна небезпека підвищення температури тіл в результаті перетворення механічної енергії у теплову. Протипожежні заходи. Привести схему каменеуловлювача.

28. Пожежна безпека від іскр печей та двигунів внутрішнього згоряння. Протипожежні заходи. Привести схему та принцип дії турбовихрових іскрогасників.

29. Уловлювання та гасіння іскор при роботі топок та двигунів. Класифікація та принцип дії іскроуловлювачів та іскрогасників. Привести схему відцентрового іскроуловлювача циклонного типу.

30. Пожежна безпека теплових процесів. Теплообмінники, пожежна безпека та їх протипожежний захист.

31. Теплові прояви хімічних реакцій. Пожежна безпека та пожежно-профілактичні заходи.

32. Пожежна безпека теплових проявів електричної енергії.

33. Іскрогасники. Улаштування, принцип дії та галузь їх застосування.

34. Пожежна безпека проведення вогневих ремонтних робіт. Способи підготовки технологічного обладнання до вогневих робіт. Заходи пожежної профілактики.

35. Пожежна безпека та протипожежні заходи при проведенні електрозварювальних робіт. Вимоги нормативних документів.

36. Пожежна безпека та протипожежні заходи при проведенні газозварювальних робіт. Вимоги нормативних документів.

37. Причини виникнення пожеж та вибухів при експлуатації трубчастих печей. Протипожежний захист трубчастих печей. Вимоги нормативних документів.

38. Сутність процесів ректифікації та їх пожежна безпека.

39. Умови поширення пожежі по виробничим комунікаціям. Запобігання поширення пожежі по виробничим та технологічним комунікаціям.

40. Аварійний злив горючих рідин. Вимоги до систем аварійного зливу апаратів під тиском.

41. Аварійний злив горючих рідин. Методика розрахунку системи аварійного зливу. Привести схему аварійного зливу горючих рідин самопливом.

42. Пожежна небезпека ректифікаційних колон. Заходи профілактики.

43. Пожежна небезпека абсорбційних процесів. Заходи профілактики.

44. Захист виробничих приміщень від перевантаження горючими речовинами та матеріалами.

45. Сітчасті та гравійні вогнеперешкоджувачі. Призначення, принцип захисної дії, улаштування. Розрахункове визначення діаметра каналів вогнеперешкоджувача.

46. Вогнеперешкоджувачі. Призначення, класифікація, принцип захисної дії, улаштування. Привести схеми основних видів вогнеперешкоджувачів.

47. Пожежна небезпека адсорбційних процесів. Заходи профілактики.

48. Захист виробничих комунікацій від поширення пожежі. Призначення, улаштування, принцип дії та галузь застосування гідрозатворів.

49. Призначення, класифікація та пожежна небезпека хімічних реакторів. Заходи профілактики.

50. Автоматичні засувки та заслінки. Призначення, принцип дії, улаштування. Привести схему вогнезатримуючих заслінок.

51. Запобіжні клапани, їх призначення. Визначення пропускної здатності запобіжного клапана.

52. Поширення пожежі по трубопроводам, по яким транспортуються тверді подрібнені матеріали. Призначення та принцип дії сухих затворів.

53. Способи захисту технологічного обладнання від руйнування під час вибуху.

54. Складові частини та методика розробки пожежно-технічної карти.

55. Використання гідрозатворів на лініях виробничої каналізації, лотках, зливно-наливних естакадах. Привести схему використання гідрозатворів на виробничій каналізації нафтопереробного заводу.

56. Запобіжні мембрани. Призначення, класифікація, принцип дії. Привести схему розривної мембрани.

57. Способи зниження кількості горючих речовин на стадіях проектування та експлуатації виробництва.

58. Пожежна небезпека хімічних процесів.

59. Інженерно-технічні та організаційні протипожежні заходи при експлуатації апаратів з дихальними пристроями. Привести схему та принцип дії газової обв'язки резервуарів з перемінним рівнем рідини.

60. Пожежна небезпека при підвищенні температури підшипників машин та апаратів. Причини перегрівання та контроль за температурою підшипників. Привести розрахунок максимальної температури підшипника ковзання при відсутності мастил та примусового охолодження.

3. ЗАДАЧІ ДО ЗАВДАННЯ № 2

ЗАДАЧА 1-10. Зробити висновок про горючість середовища в резервуарі з ЛЗР і знайти об'єм вибухонебезпечної зони поблизу його дихального пристрою, якщо протягом години сталося одне "велике дихання". Об'єм резервуару V_p , ступінь його заповнення \mathcal{E} , вид ЛЗР, її температура t_p та робочий тиск P_p наведені в табл. № 3.

ЗАДАЧА 11-20. При пошкодженні апарата в об'єм, обмежений бортиками, вилилась ЛЗР. Визначити кількість рідини, що випаровується з відкритої поверхні площею 6 м^2 протягом 1 години, а також знайти об'єм вибухонебезпечної зони, який при цьому утворюється. Вид ЛЗР, її температура, що дорівнює температурі повітря в приміщенні, наведені в табл. № 4.

ЗАДАЧА 21-30. Визначити кількість горючої рідини, що виходить назовні під час локального пошкодження апарата (пошкодження ліквідовано за 25 хвилин), кількість рідини, що випаровується (випаровування триває протягом години), а також величину об'єму вибухонебезпечної концентрації, яка при цьому утворюється, якщо випаровування здійснюється в рухоме середовище повітря. Швидкість руху повітря становить $0,7 \text{ м/с}$; коефіцієнт витрати α - $0,6$; 1 л рідини розливається на 1 м^2 . Вид горючої рідини, діаметр отвору при пошкодженні апарата та інші параметри взяти з табл. № 5.

ЗАДАЧА 31-40. Визначити площу перерізу запобіжного клапана, що встановлено на ректифікаційній колоні. Через клапан зтрапляються пари бензолу. Робочий тиск в колоні P_p , робоча температура t_p , продуктивність колони по парі G наведені в табл. № 6. Зтраплювання здійснюється на факел через сепаратор, в якому тиск дорівнює $0,115 \text{ МПа}$. Коефіцієнт витрати α становить $0,8$.

ЗАДАЧА 41-50. Визначити критичний діаметр каналів сітчастого вогнеперешкоджувача, який встановлено на лінії аварійного скидання горючого газу з апарата. Вид горючого газу, його температура t_p , тиск у лінії P_p наведені в табл. № 7.

ЗАДАЧА 51-60. Обґрунтувати розрахунком виконання умов аварійного зливу горючої рідини з вертикального апарата квадратного перерізу з розмірами сторін в плані $a=1,5$ м, якщо тривалість операцій $\tau_{\text{опер}}=1$ хв; допустима тривалість аварійного зливу $[\tau]_{\text{зл}} = 15$ хв; робочий тиск $P_p = 0,2$ МПа. Вид горючої рідини, характеристика системи аварійного зливу наведені в табл. № 8.

ЗАДАЧА 61-70. Визначити тривалість аварійного випуску горючих газів з апарата та обґрунтувати виконання умов вибухонебезпеки при скиданні газу в атмосферу. Вид горючого газу, його температура t_p , робочий тиск P_p , об'єм газового простору апарата V_g , діаметр аварійного трубопроводу $d_{\text{тр}}$ та коефіцієнт витрати α наведені в табл. №9. Тривалість операції по приведенню системи в дію прийняти рівною 90 с, а тривалість аварійного режиму - 600с.

ЗАДАЧА 71-80. Визначити площу розливу горючої рідини на підлозі виробничого приміщення при повному руйнуванні апарата. На момент аварії проводилось закачування горючої рідини в апарат відцентровим насосом по трубопроводу діаметром $d_{\text{вн}}= 0,05$ м та довжиною $l_{\text{тр}}= 10$ м. Відключення насоса та засувок на трубопроводі ручне. Вид горючої рідини, об'єм апарата $V_{\text{ап}}$, ступінь його заповнення ϵ , температуру горючої рідини t_p , продуктивність насосу q_n прийняти з табл. №10.

ЛІТЕРАТУРА

1. Михайлюк О.П., Олійник В.В., Мозговий Г.О. Теоретичні основи пожежної профілактики технологічних процесів та апаратів. Навчальний посібник- Харків, 2004. – 407 с.

2. Клубань В.С., Петров А.П., Рябиков В.С. Пожарная безопасность предприятий промышленности и агропромышленного комплекса. -М.: Стройиздат, 1987. – 477с.

3. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: Справ. Изд.: В 2-х кн./ А.Н.Баратов, А.Я. Корольченко, Г.Н. Кравчук и др.- М.: Химия. 1990. Кн. 1- 496 с. Кн.. 2 – 384 с.

4. Алексеев М.В. Основы пожарной профилактики в технологических процессах производств. – М.: ВИПТШ МВД СССР, 1972, – 340 с.

5. НАПБ Б.07. 005-86. Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности. ОНТП 24-86.

ДОДАТКИ

Додаток А Варіанти до завдання №1

Таблиця 1

Остання цифра номера залікової книжки	Передостання цифра номера залікової книжки									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
1	1 23 37	11 35 1	30 47 10	4 48 21	50 16 13	23 42 1	29 6 10	16 54 21	8 29 51	15 36 5
2	2 19 26	12 36 2	31 56 12	5 46 13	49 11 4	57 24 2	28 7 12	17 53 2	7 30 43	6 25 45
3	3 24 36	13 46 3	32 50 1	58 40 24	48 9 21	58 39 3	27 8 35	18 47 3	9 28 56	7 17 27
4	4 16 40	14 45 4	33 59 2	25 7 55	14 35 57	59 38 4	26 9 41	19 60 2	31 1 10	3 13 33
5	5 22 51	21 43 10	34 53 3	18 6 35	15 44 29	47 37 9	25 10 43	22 40 1	42 2 19	9 29 39
6	6 17 52	26 39 5	37 54 4	41 3 17	16 36 2	34 1 60	11 60 1	33 44 3	6 38 45	8 18 28
7	7 18 27	60 40 6	38 55 5	56 5 19	17 42 3	33 2 56	12 50 31	39 1 45	23 40 1	1 21 51
8	8 20 30	27 41 7	1 57 13	55 8 20	19 43 4	32 3 58	13 51 27	45 2 21	24 42 2	22 32 52
9	9 15 35	28 42 8	2 51 12	54 13 1	21 45 1	31 4 51	14 55 28	46 3 25	2 25 55	15 5 45
0	10 25 42	29 44 9	3 49 22	51 20 2	46 22 4	30 5 15	15 56 29	34 4 9	1 38 45	4 44 14

Додаток Б

Варіанти до завдання № 2

Таблиця 2

Остання цифра номера залікової книжки	Передостання цифра номера залікової книжки									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
1	1 51	2 52	3 53	4 54	5 55	6 56	7 57	8 58	9 59	10 60
2	11 61	12 62	13 63	14 64	15 65	16 66	17 67	18 68	19 69	20 70
3	21 71	22 72	23 73	24 74	25 75	26 76	27 77	28 78	29 79	30 80
4	31 60	32 59	33 58	34 57	35 56	36 55	37 54	38 53	39 52	40 51
5	41 10	42 9	43 8	44 7	45 6	46 5	47 4	48 3	49 2	50 1
6	51 80	52 79	53 78	54 77	55 76	56 75	57 74	58 73	59 72	60 71
7	61 20	62 19	63 18	64 17	65 16	66 15	67 14	68 13	69 12	70 11
8	71 40	72 39	73 38	74 37	75 36	76 35	77 34	78 33	79 32	80 31
9	1 31	2 32	3 33	4 34	5 35	6 36	7 37	8 38	9 39	10 40
0	11 41	12 42	13 43	14 44	15 45	16 46	17 47	18 48	19 49	20 50

Додаток В

Дані для розв'язання задачі 1-80

Таблиця 3 – Дані для розв'язання задачі 1-10

№ задачі	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Рідина	ацетон	бензол	толуол	етанол	метанол	ксилол	бутанол	н-гексан	н-декан	оцтова кислота
V_p , м	500	1000	500	600	100	500	600	500	300	1000
ϵ	0,85	0,9	0,95	0,8	0,7	0,75	0,85	0,9	0,9	0,7
t_p , °C	10	10	20	15	5	20	25	15	20	30
P_p , Па	10^5	10^5	10^5	10^5	10^5	10^5	10^5	10^5	10^5	10^5

Таблиця 4 – Дані для розв'язання задачі 11-20

№ задачі	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Розчинник	ацетон	бензол	толуол	етанол	метанол	етилбензол	уайт-спірит	ізобутиловий спирт	етил-ацетат	н-ксилол
t_p , °C	20	20	25	20	25	25	45	30	20	30

Таблиця 5 – Дані для розв'язання задачі 21-30

№ задачі	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Рідина	ацетон	толуол	етанол	метанол	бензол	н-гексан	н-гептан	н-ксилол	н-пропанол	етил-бензол
Дотв., мм	1,5	2	3	2,5	3,5	3,5	2	3	2,5	3,5
P_p , МПа	0,3	0,25	0,2	0,35	0,45	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
t_p , °C	10	30	20	15	20	20	25	25	35	10

Нж, м	1	1,5	2	2,5	3	3,5	1	1,5	2	2,5
-------	---	-----	---	-----	---	-----	---	-----	---	-----

Таблиця 6- Дані для розв'язання задачі 31-40

№ задачі	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Рр, МПа	0,13	0,21	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
t _p , °C	90	95	100	110	120	115	125	130	100	95
G, кг/год	300	600	350	400	450	500	550	550	450	300

Таблиця 7- Дані для розв'язання задачі 41-50

№ задачі	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
Г а з	ацетилен	етилен	метан	етан	пропан	н-бутан	водень	оксид вуглецю	сірково день	аміак
t _p , °C	15	20	25	30	35	40	10	15	20	25
Рр, МПа	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6

Таблиця 8- Дані для розв'язання задачі 51-60

№ задачі	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
Рідина	бензол	толуол	бутилацетат	бутанол	етанол	метанол	н-декан	н-гексан	н-ксилол	н-нонан
H ₁ , м	6,5	6	7	6	6,5	6,3	6	6,1	5,8	5,5
H ₂ , м	4,1	4	5	4	4,1	4	3,9	3,8	3	2,5
ε	0,8	0,9	0,85	0,95	0,8	0,9	0,95	0,95	0,85	0,9
d, мм	50	60	70	80	90	80	60	70	50	65
h, м	3	4	3,5	3	4	3,2	3,8	3,7	4,1	4,2
φ	0,15	0,25	0,3	0,2	0,3	0,25	0,15	0,25	0,23	0,28

$t_p, ^\circ\text{C}$	20	20	20	20	22	24	21	19	20	23
-----------------------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Таблиця 9- Дані для розв'язання задачі 61-70

№ задачі	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
Газ (пара)	ацетилен	н-бутан	водень	етан	сірководень	етилен	міак	н-гексан	н- гептан	ацетон
$t_p, ^\circ\text{C}$	20	25	30	35	40	45	50	100	100	90
$P_p, \text{МПа}$	0,2	0,7	0,8	1,2	1,5	1,8	2,0	2,3	2,5	2,8
$V_{\Gamma}, \text{м}$	1600	200	600	200	500	600	300	700	800	500
$d_{тр.}, \text{м}$	0,15	0,1	0,15	0,07	0,1	0,15	0,2	0,15	0,2	0,1
φ	0,3	0,4	0,5	0,6	0,3	0,4	0,5	0,4	0,3	0,5

Таблиця 10-Дані для розв'язання задачі 71-80

№ задачі	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
$V_{ан}, \text{м}$	0,5	5	3	4	0,6	0,8	0,9	2	1,3	1,1
$t_p, ^\circ\text{C}$	25	30	20	30	20	25	30	18	20	22
Л З Р	ацетон	толуол	метанол	етанол	п- ксилол	бензол	стирол	ацетон	толуол	стирол
Продуктивність насосу, q_n	0,3	0,45	0,40	0,35	0,5	0,45	0,30	0,48	0,5	0,35
ϵ	0,7	0,65	0,75	0,8	0,85	0,75	0,8	0,9	0,8	0,75

Додаток Г
ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ

Задача 1. Зробити висновок про горючість середовища у резервуарі з легкозаймистою рідиною (ЛЗР) та знайти об'єм вибухонебезпечної зони поблизу його дихального пристрою, якщо протягом години сталося одне “велике дихання”. ЛЗР – ацетон, об'єм резервуара 500 м^3 , ступінь заповнення $\varepsilon=0,85$, робоча температура $t_p=10\text{ }^\circ\text{C}$, робочий тиск $P_p=1 \cdot 10^5\text{ Па}$.

Розв'язання:

1. Об'єм вибухонебезпечної зони поблизу місця виходу ацетону з резервуару визначаємо за формулою (1):

$$V_{\text{ВНК}} = \frac{m}{\varphi_{\text{Н}}^*} \cdot K_{\text{Б}} \quad (1)$$

де $V_{\text{ВНК}}$ – об'єм місцевої зони вибухонебезпечних концентрацій (ВНК), м^3 ;

$\varphi_{\text{Н}}^*$ – нижня концентраційна межа поширення полум'я, $\text{кг}/\text{м}^3$;

$K_{\text{Б}}$ – коефіцієнт запасу надійності, дорівнює 2.

2. Спочатку знаходимо тиск насиченої пари (P_s) та концентрацію (φ_s) насиченої пари ацетону за формулами (2,3):

$$P_s = 10^3 \cdot 10^{\left(A - \frac{B}{t_p + C_a} \right)} \quad (2)$$

$$\varphi_s = \frac{P_s}{P_p} \quad (3)$$

де P_s – тиск насиченої пари рідини при робочій температурі, Па;

P_p - робочий тиск пароповітряної суміші в апараті (абсолютний тиск у герметичному апараті або барометричний тиск $P_{\text{бар}}$ у “дихаючому” апараті), Па.

φ_s - концентрація насиченої пари рідини при робочій температурі, об.част. (кг/м^3 , % об.);

A , B та C_a - константи Антуана, які залежать від властивостей рідини [3];

t_p - робоча температура, °С.

Тоді :

$$P_s = 10^3 \cdot 10^{\left(6,37551 - \frac{1281,721}{10 + 237,088}\right)} = 15490 \text{ Па,}$$

де $A=6,37551$; $B=1281,721$; $C_a=237,088$ – константи Антуана [3].

$$\varphi_s = \frac{P_s}{1 \cdot 10^5} = \frac{15490}{1 \cdot 10^5} = 0,15 \text{ об.ч. або } 15\% \text{ об.}$$

3. Знаходимо масу парів ацетону, що виходять з дихального пристрою апарата при його заповненні горючою рідиною (“велике дихання”) за формулою (4) [1]:

$$G_B = V_p \cdot \frac{P_p}{T_p} \cdot \varphi_s \cdot \frac{M}{R} \quad (4)$$

де G_B – кількість парів рідини, що виходять із апаратів при “великому диханні”, кг/цикл;

V_p – об’єм пароповітряної суміші, що витискається з апарата, м^3 ;

P_p – робочий тиск в апараті, Па;

T_p – робоча температура в апараті, К;

M - молекулярна маса горючої рідини, кг/кмоль;

$R=8314,31$ – універсальна газова стала, Дж/кмоль·К.

Тоді :

$$G_B = 425 \cdot \frac{1 \cdot 10^5}{283} \cdot 0,15 \cdot \frac{58,08}{8314,31} = 157,36 \text{ кг},$$

де $V_p = \varepsilon \cdot V_{ап} = 0,85 \cdot 500 = 425 \text{ м}^3$ – об’єм ацетону, що поступає до апарата.

3. Масу парів ацетону, що надходять з “дихаючого” апарата у виробниче приміщення визначаємо за формулою (5):

$$m_{п} = \frac{G_i \cdot N \cdot \tau}{3600} \quad (5)$$

де $m_{п}$ – маса парів, що надходять у виробниче приміщення із періодично діючих апаратів, кг;

G_i – кількість парів, що надходять у приміщення (за один цикл “великого дихання”, “малого дихання” або при розгерметизації апарата), кг/цикл;

N – кількість циклів (операцій) протягом години, год⁻¹;

τ – тривалість (період) роботи апарата, с.

Отже:

$$m_{п} = \frac{157,36 \cdot 1 \cdot 3600}{3600} = 157,36 \text{ кг}.$$

4. Для того, щоб визначити об’єм вибухонебезпечної зони поблизу місця виходу ацетону із резервуара, перерахуємо значення нижньої концентраційної межі поширення полум’я із об’ємних часток в кілограми в кубічному метрі за формулою (6):

$$\varphi^* = \frac{\varphi^0 \cdot M}{V_t} \quad (6)$$

де φ^* , φ^0 - значення концентраційних меж поширення полум'я відповідно в $\text{кг}/\text{м}^3$ та об'ємних частках;

M - молекулярна маса речовини, $\text{кг}/\text{кмоль}$;

V_t - молярний об'єм парів або газів при робочих умовах, $\text{м}^3/\text{кмоль}$. V_t визначається з наступної формули (7):

$$V_t = V_0 \cdot \frac{T_p}{T_0} \cdot \frac{P_0}{P_p}, \quad (7)$$

де $V_0=22,41 \text{ м}^3/\text{кмоль}$ - молярний об'єм парів або газів за нормальних умов;

$T_0=273,15 \text{ К}$ - температура за нормальних фізичних умов;

$P_0=1,01325 \cdot 10^5 \text{ Па}$ - тиск за нормальних фізичних умов ($P_0=1 \cdot 10^5 \text{ Па}$);

T_p та P_p - відповідно робоча температура (К) та робочий тиск системи, Па.

$$V_t = 22,41 \cdot \frac{283}{273} \cdot \frac{1 \cdot 10^5}{1 \cdot 10^5} = 23,2 \text{ м}^3/\text{кмоль}.$$

$$\varphi_n^* = \frac{58,08 \cdot 0,022}{23,2} = 0,055 \text{ кг}/\text{м}^3$$

5. Тоді об'єм вибухонебезпечної зони поблизу дихального пристрою апарата з ацетоном становить:

$$V_{\text{ВНК}} = \frac{157,36}{0,055} \cdot 2 = 5722,18 \text{ м}^3.$$

Таким чином, об'єм зони вибухонебезпечних концентрацій поблизу дихального пристрою апарата з ацетоном становить $5722,18\text{м}^3$. Вибухонебезпечне середовище усередині апарата з ацетоном утворюється, якщо в об'ємі апарата є окислювач та виконується наступне співвідношення:

$$\Phi_{\text{H}} \leq \Phi_{\text{p}} \leq \Phi_{\text{B}}$$

Задача 2. У виробничому приміщенні, при заповненні апаратів, лишки горючої рідини н-гептану накопичуються у піддоні. Визначити кількість н-гептану, що випаровується з відкритої поверхні протягом 1 години, якщо температура повітря та рідини $t_{\text{p}} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, площа поверхні випаровування $F = 0,7\text{ м}^2$.

Розв'язання:

1. Кількість н-гептану, що випаровується з відкритої поверхні піддону, визначається за формулою (8) [1]:

$$m_{\text{H}} = 1,155 \cdot \varphi_{\text{s}} \cdot \rho_{\text{t}} \cdot F_{\text{B}} \cdot \sqrt{D_{\text{t}} \cdot \tau / (1 - \varphi_{\text{s}})} \quad (8)$$

де m_{H} – маса рідини, що випаровується у нерухоме середовище, кг;

φ_{s} - концентрація насиченої пари, об. частки;

ρ_{t} - густина пари рідини за робочою температурою, кг/м^3 ;

F_{B} - площа поверхні випаровування, м^2 ;

D_{t} - коефіцієнт дифузії парів за температурою пароповітряної суміші, $\text{м}^2/\text{с}$;

τ - тривалість випаровування, с.

Для цього спочатку знаходимо тиск насиченої пари н-гептану за формулою (2):

$$P_s = 10^3 \cdot 10^{\left(6,95154 - \frac{1295,405}{20+219,819}\right)} = 31623 \text{ Па.}$$

2. Визначаємо концентрацію насиченої пари горючої рідини над її поверхнею:

$$\varphi_s = \frac{P_s}{P_p} = \frac{31623}{1 \cdot 10^5} = 0,3162 \text{ об.ч.,}$$

де $P_p = 1 \cdot 10^5$ Па.

3. Густина пари н-гептану за робочою температурою становить:

$$\rho_t = \frac{M}{V_t} = \frac{100,21}{24,05} = 4,166 \text{ кг/м}^3,$$

де M - молекулярна маса рідини, кг/кмоль;

V_t - молярний об'єм пари при робочій температурі, м³/кмоль, визначається за формулою (7) і становить:

$$V_t = 22,4 \cdot \frac{293}{273} \cdot \frac{1 \cdot 10^5}{1 \cdot 10^5} = 24,05 \text{ м}^3/\text{кмоль.}$$

4. Знаходимо значення коефіцієнта дифузії (за робочою температурою) за формулою (9):

$$D_t = D_0 \left(\frac{t_p + 273}{273} \right)^n, \quad (9)$$

де D_0 - значення коефіцієнта дифузії за нормальних умов ($T_0=273$ К, $P_0=1 \cdot 10^5$ Па), м²/с, наведені в довідковій літературі (табл. 1 додатку Д);

n - показник ступеню, приймаємо по табл. 1 додатку Д.

$$D_t = 0,0609 \cdot \left(\frac{293}{273} \right)^2 = 0,0701 \text{ см}^2 / \text{с} = 7,01 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 / \text{с},$$

де $D_0 = 0,0609 \text{ см}^2 / \text{с}$ – табличні значення коефіцієнта дифузії (табл. 1, додатку Д) за нормальними умовами $T_0 = 273 \text{ К}$; $P_0 = 1 \cdot 10^5 \text{ Па}$.

5. Кількість парів n -гептану, що випаровується протягом 1 години, становить:

$$m_{\text{н.}} = 1,155 \cdot 0,3162 \cdot 4,166 \cdot 0,7 \cdot \sqrt{\frac{7,01 \cdot 10^{-6} \cdot 3600}{1 - 0,3162}} = 0,2046 \text{ кг.}$$

Отже, за годину з відкритої поверхні випаровується 0,2046 кг n -гептану.

Задача 3. Визначити кількість горючої рідини, що виходить назовні під час локального пошкодження апарата (пошкодження ліквідовано за 25 хвилин.) ЛЗР- ацетон, робочий тиск $P_r = 0,3 \text{ МПа}$, коефіцієнт витрати $\alpha = 0,6$, діаметр отвору $d_{\text{отв}} = 1,5 \text{ мм}$, висота стовпа рідини в апараті $H = 1 \text{ м}$.

Розв'язання:

1. Знаходимо масу ацетону, що виходить через отвір апарата, за формулою (10):

$$m_{\text{л}} = \alpha \cdot f \cdot \omega \cdot \rho_t \cdot \tau, \quad (10)$$

де $m_{\text{л}}$ - кількість горючих речовин, що виходять назовні, кг;
 α - коефіцієнт витрати, змінюється в межах $0,45 \div 0,85$;

f - площа перерізу отвору, через який горюча речовина виходить назовні, м²;

ω - швидкість витікання речовини через отвір, м/с;

ρ_t - густина речовини за робочою температурою, кг/м³;

τ - тривалість витікання, с.

2. Визначаємо площу перерізу отвору (f) в апараті:

$$f = \frac{\pi \cdot d_{\text{отв}}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,0015^2}{4} = 1,76 \cdot 10^{-5} \text{ м.}$$

3. Швидкість витоку ацетону через отвір апарата знаходимо за формулою (11):

$$\omega = \sqrt{2g \cdot H_{\text{прив}}}, \quad (11)$$

де $g=9,81 \text{ м/с}^2$ - прискорення сили ваги;

$H_{\text{прив}}$ – приведений напір в апараті, під дією якого відбувається витікання рідини через отвір (м), знаходимо за формулою (12):

$$H_{\text{прив}} = \frac{P_{\text{р.н}}}{\rho_t \cdot g} + H, \quad (12)$$

де $P_{\text{р.н.}}$ – надлишковий тиск середовища в апараті над поверхнею рідини, Па. ($P_{\text{р.н.}}=P_p-1 \cdot 10^5 \text{ Па}$, де P_p - абсолютний робочий тиск середовища в апараті, Па);

H – висота стовпа рідини, м.

Якщо витікання рідини проходить самопливом, тоді:

$$P_{\text{р.н.}} = P_p - 1 \cdot 10^5 = 3 \cdot 10^5 - 1 \cdot 10^5 = 2 \cdot 10^5 \text{ Па},$$

звідки
$$N_{\text{прив.}} = \frac{2 \cdot 10^5}{801,9 \cdot 9,81} + 1 = 26,4 \text{ м.}$$

$$\omega = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 26,4} = 22,76 \text{ м/с,}$$

4. Підставляємо знайдені величини у формулу (10):

$$m_{\text{л}} = 0,6 \cdot 1,75 \cdot 10^{-5} \cdot 22,76 \cdot 801,9 \cdot 1500 = 287,36 \text{ кг.}$$

Таким чином, при пошкодженні апарата з ацетоном через отвір діаметром 1,5 мм за 25 хвилин вийде у виробниче приміщення 287,36 кг горючої рідини.

Задача 4. Визначити критичний діаметр отворів сітчастого вогнеперешкоджувача, який встановлено на лінії аварійного стравлювання горючого газу з апарата. Горючий газ - пропан, температура газу $t_p = 40^{\circ}\text{C}$; тиск в лінії $P_p = 0,3$ МПа.

Розв'язання:

1. Запишемо реакцію горіння пропану:



2. Визначаємо концентрацію пропану у вихідній суміші стехіометричного складу:

$$\varphi_{\text{r}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n n_i} = \frac{1}{1 + 5 \cdot (1 + 3,76)} = 0,04 \text{ об. частки або } 4\% \text{ об.}$$

де $\sum_{i=1}^n n_i$ - сума компонентів горючої суміші, які приймають участь в реакції горіння.

3. З таблиць 4 та 7 додатку Д знаходимо відповідно коефіцієнти теплопровідності пропану та повітря:

$$\lambda_{\Gamma}=1,9 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/м} \cdot \text{К}, \quad \lambda_{\Pi}=2,59 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/м} \cdot \text{К}.$$

4. Визначаємо коефіцієнт теплопровідності газоповітряної суміші з формули (14):

$$\lambda = \varphi_{\Gamma} \cdot \lambda_{\Gamma} + (1 - \varphi_{\Gamma}) \cdot \lambda_{\Pi}, \quad (14)$$

де φ_{Γ} - вміст горючої речовини в суміші (стехіометричного складу), об.частки;

λ_{Γ} та λ_{Π} - коефіцієнти теплопровідності відповідно горючого газу та повітря, Вт/м·К (табл. 4,7 додатку Д);

C_p - питома теплоємність горючої суміші при постійному тиску, Дж/кг·К.

$$\lambda = 0,040 \cdot 1,9 \cdot 10^{-2} + (1 - 0,040) \cdot 2,59 \cdot 10^{-2} = 2,56 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/м} \cdot \text{К}.$$

5. Знаходимо питому теплоємність пропаноповітряної суміші з формули (15):

$$C_p = \varphi_{\Gamma} \cdot C_{p,\Gamma} + (1 - \varphi_{\Gamma}) \cdot C_{p,\Pi}, \quad (15)$$

де $C_{p,\Gamma}$ - питома теплоємність горючих парів або газів, Дж/кг·К (табл. 4 додатку Д);

$C_{p,\Pi}$ - питома теплоємність повітря, Дж/кг·К (табл. 7 додатку Д);

$$C_p = 0,04 \cdot 1,667 + (1 - 0,04) \cdot 1005 = 1031 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К},$$

де $C_{p,Г.}=1667 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$ - питома теплоємність пропану;

$C_{p,П.}= 1005 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$ - питома теплоємність повітря.

6. Розраховуємо питому газову сталу горючої пропаноповітряної суміші з формули (16):

$$R = \frac{8314,31}{\sum_{i=1}^n \varphi_i \cdot M_i}, \quad (16)$$

$$R = \frac{8314,31}{0,04 \cdot 44,1 + (1 - 0,04) \cdot 29} = 280,85 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$$

де $M_i = 44,1 \text{ кг/кмоль}$ - молекулярна маса пропану;

φ_i - концентрація i -го компонента у суміші, об. частки,

тоді $\varphi_{Г.} = 0,040$ об. частки - концентрація пропану у суміші;

$M_{П.}$ - молекулярна маса повітря, дорівнює 29 кг/кмоль .

7. Визначаємо критичний діаметр каналів вогнеперешкоджувача за формулою (17) [1]:

$$d_{кр} = \frac{Pe_{кр} \cdot R \cdot (t_p + 273) \cdot \lambda}{U_n \cdot C_p \cdot P_p}, \quad (17)$$

де $d_{кр}$ - критичний діаметр каналів сухого вогнеперешкоджувача, м;

$Pe_{кр}$ - критичне значення числа Пекле на межі гасіння полум'я (приймають рівним 6,5);

U_n - нормальна швидкість поширення полум'я в сумішах різних парів і газів з повітрям, м/с. Максимальні значення нормальної швидкості поширення полум'я в сумішах різних парів та газів з повітрям наведені в табл. 1 додатку Д;

λ - коефіцієнт теплопровідності горючої суміші, Вт/м·К.

Отже:

$$d_{кр} = \frac{65 \cdot 28085 \cdot (40 + 273) \cdot 2,56 \cdot 10^{-2}}{0,39 \cdot 1031 \cdot 3 \cdot 10^5} = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 1,2 \text{ мм.}$$

Таким чином, критичний діаметр каналів вогнеперешкоджувача, який встановлено на лінії аварійного стравлювання горючого газу (пропану), складає 1,2 мм.

Задача 5. Обґрунтувати розрахунком виконання умов аварійного зливу горючої рідини з резервуара. Горюча рідина - ацетон; резервуар – вертикальний апарат квадратного перерізу; розміри сторін в плані $a=1,5$ м; висота $h=3$ м; тривалість операцій $\tau_{опер} = 1$ хв; допустима тривалість аварійного зливу $[\tau]_{зл} = 15$ хв; відстань по вертикалі від рівня рідини до аварійної ємкості $H_1=6,5$ м; $H_2 = 4,1$ м; $P_{р.н} = 0,2$ МПа; $\Phi_{сист} = 0,22$; $d_{вих} = 100$ мм.

Розв'язання:

1. Визначаємо площу поперечного перерізу резервуара:

$$F = a^2 = 1,5^2 = 2,25 \text{ м}^2.$$

2. Знаходимо площу прохідного перерізу труб системи аварійного зливу:

$$f_{\text{тр}} = f_{\text{вих}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{вих}}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,1^2}{4} = 0,00785 \text{ м}^2.$$

3. Визначаємо величини H_1 та H_2 за формулою (12), враховуючи, що горюча рідина в резервуарі знаходиться під тиском $P_{p.H}=0,2$ МПа:

$$H_1 = \frac{2 \cdot 10^5}{790,5 \cdot 9,81} + 6,5 = 32,29 \text{ м},$$

$$H_2 = \frac{2 \cdot 10^5}{790,5 \cdot 9,81} + 4,1 = 29,89 \text{ м}.$$

4. Визначаємо тривалість спорожнення апарата за формулою (18):

$$\tau_{\text{спор}} = \frac{0,452 \cdot F \cdot (\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2})}{\Phi_{\text{сист}} \cdot f_{\text{вих}}}, \quad (18)$$

де F - площа поперечного перерізу апарата, м^2 ;

H_1 та H_2 - відстань (по вертикалі) від рівня рідини в апараті на початку зливу до вихідного перерізу аварійного трубопроводу (H_1), та від випускного отвору апарату до вихідного перерізу аварійного трубопроводу в аварійній ємкості (H_2);

$\Phi_{\text{сист}}$ - коефіцієнт витрати системи;

$f_{\text{вих}}$ - площа прохідного перерізу вихідного патрубку апарата, м^2 .

$$\tau_{\text{спор}} = \frac{0,452 \cdot 2,25 \cdot (\sqrt{32,29} - \sqrt{29,89})}{0,22 \cdot 0,00785} = 126,8 \text{ с.}$$

5. Тоді тривалість аварійного зливу становить згідно з формулою (19):

$$\tau_{\text{спор.м}} = [\tau]_{\text{зл}} - \tau_{\text{опер}}, \quad (19)$$

де $\tau_{\text{спор.м}}$ - максимально допустима тривалість аварійного спорожнення апарата, с;

$[\tau]_{\text{зл}}$ - допустима тривалість аварійного зливу, с. В більшості випадків приймають рівною $[\tau]_{\text{зл}} \leq 900$ с., або обґрунтовується розрахунком, виходячи з вогнестійкості будівельних конструкцій та обладнання, тривалості вигорання горючої рідини та середнього часу виклику пожежних підрозділів;

$\tau_{\text{опер}}$ - тривалість операцій по приведенню системи в дію, яка на діючому підприємстві складається з часу виявлення аварійної ситуації $\tau_{\text{в.а.}}$, прийняття рішення $\tau_{\text{п.р.}}$, продування (при необхідності) системи інертним газом $\tau_{\text{пр}}$ та відкривання привідних засувок $\tau_{\text{п.з.}}$.

$$\tau_{\text{опер}} = \tau_{\text{в.а.}} + \tau_{\text{п.р.}} + \tau_{\text{пр}} + \tau_{\text{п.з.}} \quad (20)$$

При проектуванні систем аварійного зливу приймають: при ручному пуску системи в дію $\tau_{\text{опер.р.}} = 300$ с., а при автоматичному - $\tau_{\text{опер.а}} = 120$ с.

Таким чином,

$$[\tau]_{\text{зл}} = 126,8 + 60 = 186,6 \text{ с,}$$

де $\tau_{\text{опер}} = 60$ с - за умовою задачі.

Отже, при $[\tau]_{\text{вл}} = 900$ с умови аварійного зливу ацетону з апарата виконуються, так як $\tau_{\text{вл}} < [\tau]_{\text{вл}}$ ($186,8 \text{ с} < 900 \text{ с}$).

Задача 6. Визначити діаметр аварійного трубопроводу за умов, що тривалість спорожнення апарату самопливом не повинна перевищувати 5 хвилин. Об'єм горючої рідини, яку необхідно злити $V_p = 3 \text{ м}^3$; $H_1 = 7 \text{ м}$; $H_2 = 5 \text{ м}$. Аварійний трубопровід має вхід з гострими кромками ($\xi_{\text{вх}} = 0,5$); трійник для бокового потоку ($\xi_{\text{тр}} = 1,2$); гідрозатвір ($\xi_{\text{г}} = 1,3$); чотири повороти коліна з кутом повороту 90° при ($R = 2d_{\text{тр}}$; $\xi_{\text{п}} = 0,5$). Величину коефіцієнта місцевого опору виходу рідини з трубопроводу приймаємо ($\xi_{\text{вих}} = 0,5$).

Розв'язання:

1. Визначаємо сумарний коефіцієнт місцевих опорів за формулою (21)

$$\xi_{\text{сист}} = \sum_{i=1}^n N_i \cdot \xi_i, \quad (21)$$

де N_i - кількість місцевих опорів одного виду;

ξ_i - числове значення i -го коефіцієнта;

n - число видів місцевих опорів.

$$\xi_i = \xi_{\text{вх}} + \xi_{\text{тр}} + n \cdot \xi_{\text{п}} + \xi_{\text{вих}} = 0,5 + 1,2 + 1,3 + 4 \cdot 0,5 + 0,5 = 5,5.$$

де $n=4$ - кількість колін у трубопроводі.

2. За формулою (22) визначаємо коефіцієнт витрати системи:

$$\varphi_{\text{сист}} = \sqrt{\frac{1}{1+3 \cdot \xi_{\text{сист}}}} \quad (22)$$

$$\varphi_{\text{сист}} = \sqrt{\frac{1}{1+3 \cdot 5,5}} = 0,239.$$

2. Визначаємо діаметр аварійного трубопроводу за формулою (23):

$$d_{\text{тр}} = 0,758 \cdot \sqrt{\frac{V_p}{\tau_{\text{спор.м}} \cdot \varphi_{\text{сист}} \cdot (\sqrt{H_1} + \sqrt{H_2})}}, \quad (23)$$

де V_p - об'єм рідини, що зливають з апаратів (м^3), визначають за формулою (24):

$$V_p = \sum_{i=1}^n V_i \cdot \varepsilon_i, \quad (24)$$

де V_i - геометричний об'єм і-го апарата, що підлягає спорожненню, м^3 ;

ε_i - ступінь заповнення і-го апарата;

n - число апаратів, що одночасно спорожнюються.

Отже:

$$d_{\text{тр}} = 0,758 \cdot \sqrt{\frac{3}{300 \cdot 0,239 \cdot (\sqrt{7} + \sqrt{5})}} = 0,7\text{м}$$

Таким чином, діаметр аварійного трубопроводу за наведеними умовами аварійного зливу становить 70 мм.

Задача 7. Визначити площу розливу горючої рідини на підлозі виробничого приміщення при повному руйнуванні апарата з ацетоном. На момент аварії проводилось закачування ацетону в апарат відцентровим насосом по трубопроводу діаметром $d_{\text{вн}}=0,05$ м. Відключення насоса та засувок на трубопроводі ручне. Об'єм апарата $V_{\text{ап}}=0,5$ м³, ступінь його заповнення продуктом $\varepsilon=0,7$, продуктивність насоса $q_{\text{н}}=0,3$ л/с, довжина трубопроводу, який живить апарат $l_{\text{тр}}=10$ м, температура продукту 20 °С.

Розв'язання:

1. Приймаємо при ручному відключенні насоса та засувок тривалість відключення $\tau = 300$ с. Визначаємо площу перерізу нагнітального трубопроводу:

$$f_{\text{тр}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{вн}}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,05^2}{4} = 0,00196 \text{ м}^2.$$

2. Знаходимо кількість ацетону, що виходить при повному руйнуванні апарата, за формулою (25) [1]:

$$m_{\text{п}} = \left(V_{\text{ап}} \cdot \varepsilon + \sum_i^n g_{i,\text{н}} \cdot \tau_i + \sum_{j=1}^k L_{j,\text{тр}} \cdot f_{j,\text{тр}} \right) \cdot \rho_{\text{т.п}} =$$

$$(0,5 \cdot 0,7 + 0,0003 \cdot 300 + 10 \cdot 0,00196) \cdot 790 = 363,3 \text{ кг.} \quad (25)$$

де $\rho_{\text{т.п}}=790,5$ кг/м³ - густина ацетону (табл. 2 додатку Д);

$V_{\text{ап}}$ – внутрішній об'єм апарата, м³;

ε – ступінь (коефіцієнт) заповнення апарата;

$g_{\text{ін}}, g_{\text{ік}}$ – відповідно продуктивність насосу, компресора (або пропускна спроможність трубопроводу), які подають в апарат горючі речовини, м³/с;

$L_{j_{тp}}$, $f_{j_{тp}}$ – відповідно довжина (м) та площа перерізу (m^2) ділянки трубопроводу (від аварійного апарата до запірного пристрою), з якого витікає рідина або газ;

$\rho_{t.p}$, $\rho_{t.g}$ – густина рідини або газу, $кг/м^3$;

k – кількість ділянок трубопроводів, приєднаних до аварійного апарата.

Тривалість вимикання насоса або компресора дорівнює 120 с (при автоматичному вимкненні запірного пристрою на трубопроводах) або 300 с (ручне вмикання).

Тоді об'єм ацетону становить:

$$V_p = \frac{m_p}{\rho_t} = \frac{363,3}{790,5} = 0,459 \text{ м}^3.$$

3. Виходячи з того, що 1 л ацетону може розлитися на площі 1 м^2 підлоги приміщення ($f_p=1000 \text{ м}^{-1}$) [5] маємо:

$$F_p = 1000 \cdot V_p = 1000 \cdot 0,459 = 459 \text{ м}^2,$$

де f_p - питома площа розливу рідини, $м^{-1}$.

Таким чином, внаслідок повного руйнування апарата з ацетоном площа розливу горючої рідини на підлозі виробничого приміщення становить 459 м^2 .

Задача 8. Визначити площу перерізу запобіжного клапана, що встановлено на ректифікаційній колоні. Через клапан стравлюються пари бензолу. Робочий тиск в колоні $P_p= 0,13 \text{ МПа}$, робоча температура $t_p = 90^{\circ}\text{C}$, продуктивність колони по парі $G= 300 \text{ кг/год}$. Стравлювання здійснюється на факел через сепаратор, в якому тиск дорівнює $0,115 \text{ МПа}$. Коефіцієнт витрати α становить $0,8$.

Розв'язання:

1. Знаходимо пропускну здатність запобіжного клапана за формулою (26):

$$G = 1,41 \cdot \varphi \cdot F \cdot V \cdot \sqrt{(P_{\text{сп.н.}} - P_{\text{с.н.}}) \cdot \rho} \quad (26)$$

де $P_{\text{сп.н.}} = P_{\text{сп}} - 1 \cdot 10^5$ Па - надлишковий тиск спрацьовування запобіжного клапана;

$P_{\text{с.н.}}$ - надлишковий тиск середовища, в яке проводиться скидання парів або газів, МПа. При скиданні парів або газів через клапан безпосередньо в атмосферу $P_{\text{с.н.}} = 0$ ($P_{\text{с.н.}} = P_{\text{с}} - 1 \cdot 10^5$ Па);

V - коефіцієнт розширення парів або газів при їх витіканні через отвори (табл.5 додатку Д). Для рідини $V=1$;

F - площа прохідного перерізу клапана, м²;

ρ_t - густина середовища в апараті при спрацьовуванні запобіжного клапана, кг/м³;

α - коефіцієнт скидання парів або газів через запобіжний клапан (величина складає 0,06-0,17 і приводиться в паспорті клапана);

2. Визначаємо робочий надлишковий тиск ($P_{\text{р.н.}}$), тиск спрацьовування запобіжного клапана ($P_{\text{сп.н.}}$) та надлишковий тиск середовища в апараті ($P_{\text{с.н.}}$);

$$P_{\text{р.н.}} = 1,3 \cdot 10^5 - 1 \cdot 10^5 = 0,3 \cdot 10^5 \text{ Па};$$

$$P_{\text{сп.н.}} = P_{\text{р.н.}} + 0,05 \text{ МПа} = 0,03 + 0,05 = 0,08 \cdot 10^5 \text{ Па};$$

$$P_{\text{с.н.}} = 1,15 \cdot 10^5 - 1 \cdot 10^5 = 0,15 \cdot 10^5 \text{ Па}.$$

3. Знаходимо густину парів бензолу в апараті при спрацьовуванні клапана за формулою (7):

$$\rho_t = \frac{M}{V_t} = \frac{M \cdot P_p \cdot T_0}{V_0 \cdot P_0 \cdot T_p} = \frac{78,11 \cdot 1,8 \cdot 10^5 \cdot 273}{22,41 \cdot 1 \cdot 10^5 \cdot 363} = 4,72 \text{ кг/м}^3$$

де $T_p = 273 + 90 = 363 \text{ К}$,

$P_{\text{сп}} = P_{\text{сп. н.}} + 1 \cdot 10^5 = 0,8 \cdot 10^5 + 1 \cdot 10^5 = 1,8 \cdot 10^5 \text{ Па}$.

$V_0 = 22,41 \text{ м}^3/\text{кмоль}$ - об'єм одного молу пари рідини за нормальних умов.

4. Визначаємо площу перерізу запобіжного клапана за формулою (26):

$$300 = 1,41 \cdot 0,8 \cdot F \cdot I \sqrt{0,65 \cdot 4,72 \cdot 10^5}$$

Розв'язуємо рівняння відносно F , звідки площа перерізу становить $0,48 \text{ м}^2$.

Таким чином, площа перерізу запобіжного клапана складає $0,48 \text{ м}^2$.

Задача 9. Визначити розрахунком час аварійного випуску горючих газів (парів) з апарата і обґрунтувати виконання умови безпеки при скиданні газу (пари) в атмосферу. Вид горючого газу - ацетилен, його температура $t_p = 20 \text{ }^\circ\text{С}$, робочий тиск $P_p = 0,2 \text{ МПа}$, об'єм газового простору апарата $V_{\Gamma} = 1600 \text{ м}^3$, діаметр аварійного (скидного) трубопроводу $d_{\text{тр}} = 0,15 \text{ м}$, коефіцієнт витрати $\phi = 0,3$. Тривалість операції по приведенню системи стравлювання в дію дорівнює 90 с , тривалість аварійного режиму - 600 с .

Розв'язання:

1. Тривалість аварійного випуску горючих парів та газів з технологічних апаратів, які працюють під тиском, визначають з формули (27) [1]:

$$\tau_{\text{ВИП.}} = \tau_{\text{ВИП.}}^{\text{КР.}} + \tau_{\text{ВИП.}}^{\text{ДОКР.}} + \tau_{\text{ОП.}} \leq [\tau]_{\text{ВИП.}} \quad (27)$$

$\tau_{\text{ВИП.}}^{\text{КР.}}$ - тривалість випуску газів і парів з критичною швидкістю, с;

$\tau_{\text{ВИП.}}^{\text{ДОКР.}}$ - тривалість випуску газів або парів з докритичною швидкістю, с;

$\tau_{\text{ОП.}}$ - тривалість операцій по приведенню системи в дію, (звично $t=60$ с), с;

$[\tau]_{\text{ВИП.}}$ - допустима тривалість аварійного режиму (в більшості випадків $[t]$ не повинна перевищувати 300 с;

2. Знаходимо тривалість випуску газів і парів з критичною швидкістю з формули (28):

$$\tau_{\text{ВИП.}}^{\text{КР.}} = \frac{V_{\text{В.}} \cdot (P_{\text{Р}} - P_{\text{КР.}})}{P_{\text{БАР}} \cdot \Phi_{\text{СИСТ.}} \cdot f_{\text{ТР.}} \cdot \sqrt{\frac{2k}{k+1}} \cdot R \cdot T_{\text{Р}}} \quad (28)$$

де $P_{\text{с}}$ - тиск середовища, в яке здійснюється скидання газів або парів з апарата, Па. При скиданні в атмосферу $P_{\text{с}} = P_{\text{бар}} = 1 \cdot 10^5$ Па;
 $P_{\text{кр.}}$ - критичний тиск, що визначають за формулою (29):

$$P_{\text{КР.}} = P_{\text{Р}} \cdot \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}} \quad (29)$$

де K - показник адіабати (див. табл.3 додатку Д). Для ацетилену $K=1,26$

Отже,

$$P_{кр.} = 0,2 \left(\frac{2}{1,26 + 1} \right)^{\frac{1,26}{1,26 - 1}} = 0,11 \text{ МПа}$$

2. Визначаємо площу перерізу трубопроводу:

$$f_{тр.} = 0,785 \cdot d_{тр.}^2 = 0,785 \cdot 0,15^2 = 0,0176 \text{ м}^2,$$

тоді

$$\tau_{\text{ВИП}}^{\text{КР}} = \frac{1600 \cdot (0,2 - 0,11)}{0,1 \cdot 0,3 \cdot 0,0176 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 1,26}{1,26 + 1}} \cdot 315 \cdot 293} = 850 \text{ с}$$

де

$$R = \frac{8314,31}{M_{г}} = \frac{8314,31}{26} = 315 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}$$

3. Знаходимо тривалість випуску газів з докритичною швидкістю за формулою (30):

$$\begin{aligned} \tau_{\text{ВИП}}^{\text{ДОКР.}} &= \frac{V_{в} \cdot (P_{кр} - P_{с.})}{P_{\text{БАР}} \cdot \varphi_{\text{СИСТ.}} \cdot f_{\text{ТР.}} \cdot \sqrt{\frac{2k}{k-1}} \cdot R \cdot T_{п} \left[1 - \left(\frac{P_{с.}}{P_{кр.}} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]} = (30) \\ &= \frac{1600 \cdot (0,11 - 0,1)}{0,1 \cdot 0,3 \cdot 0,0176 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 1,26}{1,26 - 1}} \cdot 315 \cdot 293 \left[1 - \left(\frac{0,1}{0,11} \right)^{\frac{1,26-1}{1,26}} \right]} = 229 \text{ с} \end{aligned}$$

Якщо $P_{с.} > P_{кр.}$, швидкість витікання парів або газів з апарата буде менше критичної. В цьому випадку в формулі (28) величина $\tau_{\text{ВИП}}^{\text{КР}}$ відсутня.

4. Визначаємо тривалість випуску ацетилену за формулою (27):

$$\tau_{\text{ВИП}} = 850 + 229 + 90 = 1169 \text{ с} > \tau_{\text{ВИП.}}^{\text{ДОП.}} = 600 \text{ с}$$

Отже, умови аварійного випуску ацетилену з апарата не виконуються.

Додаток Д
Довідкові дані

Речовина (клас)	М	t _{сп} , °С	t _{ссп} , °С	ТМП, °С		КМП, об.частки		W _{min} , mD _{гц}	D ₀ ·10 ⁶ , м ² /с	n	И _н , м/с	ГДК ^{с**} , мг/м ³
				нижн.	верх.	нижн.	верх.					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Аміак (ГГ)	17,03	-	650	-	-	0,15	0,28	680	19,8	1,88	0,23	20
Ацетилен (ГГ)*	26,04	-	335	-	-	0,025	0,81	-	14,0	1,79	1,57	-
Ацетон (ЛЗР)	58,08	-9	435	-20	6	0,027	0,13	0,41	10,9	1,90	0,44	200
Бензол (ЛЗР)	78,11	-11	580	-14	13	0,0143	0,8	0,22	7,75	1,86	0,478	5
н-Бутан (ГГ)	58,12	-	405	-	-	0,018	0,091	0,25	6,05	1,87	0,45	-
н-Бутилацетат (ЛЗР)	116,16	29	330	22	61	0,0135	0,09	-	6,6	1,87	0,4	200
н-Бутиловий спирт (ЛЗР)	74,12	-41	340	34	67	0,018	0,109	0,28	8,1	1,86	0,3	10
Водень (ГГ)	2,016	-	510	-	-	0,0412	0,75	0,017	68,0	1,70	2,70	-
н-Гексадекан (ГЖ)	226,44	128	207	126	-	0,0047	-	-	3,47	1,86	0,4	-
н-Гексан (ЛЗР)	86,18	-23	233	-26	4	0,0124	0,075	0,25	6,63	1,55	0,385	180
н-Гептан (ЛЗР)	100,2	-4	223	-7	26	0,0107	0,067	0,24	6,09	1,54	0,424	2000
н-Декан (ЛЗР)	142,28	47	230	46	87	0,007	0,051	-	5,02	1,45	0,42	-
Діетиловий ефір (ЛЗР)	74,12	-41	180	-44	16	0,017	0,49	0,2	7,72	2,14	0,49	300
н-Додекан (ГР)	170,34	77	202	76	120	0,0068	0,048	-	3,99	1,88	0,4	-
Ізобутиловий спирт (ЛЗР)	74,12	28	390	26	60	0,018	0,114	-	8,4	1,87	0,3	10
Ізооктан (ЛЗР)	114,23	10	411	-	-	0,009	0,058	1,35	5,03	1,77	0,49	100
Ізопропилбензол (ЛЗР)	120,19	36	424	37	74	0,0093	0,06	-	6,15	1,87	0,4	50
Ізопропиловий спирт (ЛЗР)	60,1	18	430	11	42	0,0223	0,127	0,65	9,5	1,92	0,415	10
н-Ксилол (ЛЗР)	106,17	26	528	24	58	0,011	0,065	84,5	5,7	1,87	0,35	50
Метан (ГГ)	16,04	-	537	-	-	0,0528	0,141	0,28	19,6	1,76	0,338	-
Метилловий спирт (ЛЗР)	32,04	6	440	5	39	0,0698	0,355	0,14	16,2	2,08	0,572	5
Метилетилкетон (ЛЗР)	72,11	-6	514	-11	20	0,019	0,10	-	7,6	1,86	0,3	200
н-Нонан (ЛЗР)	128,26	31	205	31	68	0,0078	-	-	4,99	1,57	0,4	-
Оксид вуглецю (ГГ)	28,01	-	605	-	-	0,125	0,74	-	14,9	1,72	0,45	20

Продовження додатку Д

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
н-Октан (ЛЗР)	114,23	14	215	13	49	0,009	0,062	-	5,03	1,77	0,4	2350
н-Пентадекан (ГР)	212,42	115	203	114	163	0,005	0,041	-	3,58	1,90	0,4	-
н-Пентан (ЛЗР)	72,15	-44	286	-48	-23	0,0147	0,077	0,22	7,29	1,83	0,385	2350
Пропан (ГГ)	44,1	-	470	-	-	0,023	0,094	0,25	9,77	1,80	0,39	1800
н-Пропиловий спирт (ЛЗР)	60,1	29	371	21	55	0,023	0,136	-	8,03	1,88	0,4	10
Сірководень (ГГ)	34,08	-	246	-	-	0,043	0,46	0,068	14,1	1,82	0,41	10
Сірковуглець (ЛЗР)	76,14	-43	102	-50	26	0,01	0,5	0,009	8,9	1,69	0,59	10
Стирол (ЛЗР)	104,14	37	490	27	67	0,011	0,072	0,99	6,74	1,88	0,57	5
н-Тетрадекан (ГР)	198,39	103	201	103	149	0,005	0,043	-	3,70	1,89	0,4	-
Толуол (ЛЗР)	92,14	7	535	6	37	0,0127	0,068	0,26	7,53	1,65	0,388	50
н-Тридекан (ГР)	184,36	90	204	90	135	0,0058	0,046	-	3,84	1,89	0,4	-
Оцтова кислота (ЛЗР)	60,05	54	465	35	76	0,04	0,19	-	10,7	1,90	0,4	5
н-Ундекан (ГР)	156,31	62	205	62	104	0,006	0,051	-	4,17	1,88	0,403	-
Хлорбензол (ЛЗР)	112,56	29	637	28	62	0,014	0,098	-	6,28	2,09	0,3	50
Циклогексан (ЛЗР)	84,16	-17	259	-17	20	0,013	0,078	0,22	6,46	1,89	0,436	80
Етан (ГГ)	30,07	-	515	-	-	0,029	0,15	0,24	12,1	1,78	0,476	-
Етилацетат (ЛЗР)	88,1	-3	446	-6	28	0,02	0,114	0,282	8,2	1,89	0,39	200
Етилбензол (ЛЗР)	106,16	24	421	20	59	0,01	0,068	0,2	5,7	1,87	0,4	1
Етилен (ГГ)	28,05	-	435	-	-	0,027	0,34	0,12	10,9	1,80	0,735	-
Етиловий спирт (ЛЗР)	46,07	16	400	11	41	0,036	0,177	0,246	13,2	1,51	0,556	1000
Етилцеллозольв (ЛЗР)	90,1	52	235	39	81	0,018	0,157	0,15	7,21	1,86	0,474	-
Бензин АИ-92 "Л" (ЛЗР)	98,2	-37	380	-37	-10	0,0098	0,055	0,3	6,15	2,0	0,44	100
Дизельне пальне "Л" (ГР)	203,6	65	210	58	108	0,005	0,062	-	4,81	2,0	0,4	-
Керосин КО-22 (ЛЗР)	153,1	50	245	43	82	0,007	0,068	-	1,95	2,0	0,4	-
Уайт-спірит (ЛЗР)	147,3	43	250	33	68	0,007	0,056	0,33	4,97	2,0	0,52	-

Примітка: * - речовина здатна до вибухового розкладання при підвищеному тиску та дії потужних джерел запалювання;

** - у повітрі виробничої зони.

Таблиця 2 - Густина пожежонебезпечних рідин (кг/м³) при різних температурах

t, °C	Бензол	Метилловий спирт	Пропиловий спирт	Толуол	Оцтова кислота	Етиловий спирт	Ацетон
0	900,1	809,7	819,3	884,9	-	806,2	813,0
10	889,5	800,0	803,5	875,6	-	797,9	801,9
20	879,0	791,5	787,5	865,8	1049,1	789,5	790,5
30	868,5	782,5	778,5	856,9	1039,2	780,5	778,8
40	857,6	774,0	770,0	840,4	1028,4	772,2	767,4
50	846,6	765,0	760,5	838,2	1017,5	762,7	756,4
60	835,7	755,5	752,0	829,2	1006,0	754,1	744,6
70	823,4	746,0	746,5	819,7	994,8	744,1	732,6
80	814,5	735,5	742,5	810,4	983,5	734,8	720,6
90	804,1	725,0	732,5	800,6	971,8	724,9	-
100	792,7	714,0	722,0	791,1	959,9	715,7	-

Таблиця 3 - Показник адіабати k для деяких парів та газів.

Речовина	t, °C	k	Речовина	t, °C	k
Аміак	15	1,31	Повітря	0	1,403
	100	1,28		100	1,399
Ацетилен	15	1,26		1000	1,365
	100	1,10	Метан	15	1,31
Бензол	100	1,324		Оксид вуглецю	15
	200	1,310	300		1,379
	Водяна пара	300	1,304	Сірководень	15
Вуглець		-20	1,42		300
		+15	1,41	Етанол	90
Метанол	200	1,398	Оцтова кисло-та		135
	77	1,203		Етан	15
	100	1,26	50		1,21
Етилен			Етилен	15	1,255
				100	1,18

Таблиця 4 - Фізичні властивості деяких горючих газів при атмосферному тиску ($1 \cdot 10^5$ Па)

Речовина	C_p , кДж/(кг·К) (при 20°C)	$\lambda \cdot 10^2$, Вт/(м·К) (при 20°C)	$t_{\text{кип}}$, °C	$\mu \cdot 10^6$, Па·с (при 20°C)	°C
Аміак	2,09	2,4	-33,4	9,18	899
Ацетилен	1,69	2,2	-83,7	9,35	471
н-Бутан	1,679	1,6	-0,5	6,835	650
Вуглець	14,335	17,6	-252,75	8,355	346
Метан	2,232	3,3	-161,6	10,395	419
Оксид вуглецю	0,837	2,3	-191,5	16,573	374
Пропан	1,059	1,3	-60,2	11,66	273
Сірководень	1,753	2,4	-88,5	8,6	525
Етан	1,554	2,0	-103,7	9,85	514
Етилен					

Таблиця 5 - Коефіцієнти об'ємного розширення скраплених газів та води ($\beta \times 10^5$), K^{-1}

t , °C	Аміак	Хлор	Вуглекислота	Сірководень
-40	174	153	-	157
-30	180	158	-	160
-20	185	165	300	164
-10	194	175	386	169
0	204	187	568	175
10	217	199	704	182
20	234	212	708	192
30	257	226	724	206
40	285	242	-	223
50	313	250	-	240
60	338	278	-	261

Примітка. Для пропану $\beta = 300 \times 10^{-5} K^{-1}$; для бутану $\beta = 200 \times 10^{-5} K^{-1}$.

Таблиця 6 - Коефіцієнти об'ємного стиснення скраплених газів та води ($\beta_{ст} \times 10^{11}$), Па^{-1}

t, °C	Аміак	Хлор	Вуглекислота	Сірководень
0	111	130	824	118
10	123	149	1333	128
20	128	172	3564	141
30	158	200	11592	158
40	185	237	-	181
50	220	276	-	205
60	262	327	-	237

Примітка. Для пропану $\beta_{ст} = 200 \times 10^{-11} \text{ Па}^{-1}$; для бутану $\beta_{ст} = 200 \times 10^{-11} \text{ Па}^{-1}$; для води $\beta_{ст} = 49 \times 10^{-11} \text{ Па}^{-1}$.

Таблиця 7 - Фізичні параметри для сухого повітря при атмосферному тиску ($1,01325 \cdot 10^5 \text{ Па}$)

t, °C	ρ , кг/м^3	C_p , $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$	$\alpha \cdot 10^2$, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$	$\mu \cdot 10^6$, $\text{Па} \cdot \text{с}$
1	2	3	4	5
-40	1,515	1,013	2,12	15,21
-20	1,395	1,009	2,28	16,91
0	1,295	1,005	2,44	17,17
20	1,205	1,005	2,59	18,15
40	1,128	1,005	2,76	19,13
60	1,060	1,005	2,90	20,11
80	1,000	1,009	3,05	21,09
100	0,946	1,009	3,21	21,88
120	0,898	1,009	3,24	22,86
140	0,854	1,013	3,49	23,74
160	0,815	1,017	3,64	24,52
180	0,779	1,022	3,78	25,31
200	0,776	1,026	3,94	26,00
250	0,674	1,038	4,27	27,37

Підписано до друку 22.11.2006 р. Формат 60х84 1/16.
Папір 80 г/м². Друк ризограф. Ум.друк. арк. 2,8
Тираж 200 прим. Вид.№ 02/06. Зам.№

Відділення редакційно-видавничої діяльності
Університету цивільного захисту України
61023, м. Харків, вул. Чернишевська, 94