

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

«Харківський політехнічний інститут»

ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Навчально-методичний посібник з курсового проектування для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

За редакцією А. К. Бабіченка

Затверджено

редакційно-видавничою

радою університету,

протокол № 1 від 25.02.2021 р.

Харків

Друкарня «Мадрид»

2021

УДК 681.3
ТЗ8

*Затверджено редакційно-видавничою радою університету,
(протокол № 1 від 25.02.2021 р.)*

Авторський колектив:

*А. К. Бабіченко, М. О. Подустов, І. Л. Красніков, О.Г. Шутинський,
І. Г. Лисаченко, Ю. А. Бабіченко, О. М. Дзевочко, В.І. Вельма, О.В. Пугановський*

Рецензенти:

Г.А. Кучук, докт. техн. наук, проф., кафедри обчислювальної техніки та програмування Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».

В.Є.Корсун, канд. техн. наук, доц., зав. Кафедри автоматизації виробничих процесів Харківського національного університету будівництва і архітектури.

Технічні засоби автоматизації : навч.-метод. посібник / уклад.:

ТЗ8 А.К. Бабіченко, М. О. Подустов, І. Л. Красніков, О. Г. Шутинський,
І. Г. Лисаченко, Ю. А. Бабіченко, О. М. Дзевочко, В. І. Вельма, О.В.
Пугановський ; за ред. А. К. Бабіченка. – Х.: НТУ «ХПІ», 2021. – 217 с.
ISBN 978-617-7988-54-9

У посібнику наведені основні вимоги до виконання курсового проекту з дисципліни «Технічні засоби автоматизації», наведена структура проекту та рекомендації щодо оформлення пояснювальної записки, а також варіанти завдання до курсового проекту.

Призначено для студентів спеціальності «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».

Табл.28, Іл.37, Дод.5, Бібліогр. 3

УДК 681.3

ISBN 978-617-7988-54-9

© Колектив авторів, 2021
© НТУ «ХПІ», 2021
© ТОВ «Друкарня Мадрид», 2021

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1 ФУНКЦІОНАЛЬНІ СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ	9
1.1 Зображення технологічного обладнання і комунікацій	9
1.2 Зображення приладів і засобів автоматизації.....	11
1.3. Позиційне позначення приладів і засобів автоматизації.....	19
1.4. Розробка функціональних схем	20
1.5. Вибір технічних засобів автоматизації	22
1.6. Приклади побудови функціональних схем автоматичного управління та опису їх функціональної дії	22
РОЗДІЛ 2 ВИБІР І РОЗРАХУНОК СТАНДАРТНИХ ЗВУЖУВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ	27
2.1 Рекомендації щодо вибору вимірювального комплексу витратоміру. 27	
2.2 Алгоритм розрахунку стандартних звужувальних пристроїв	28
2.3 Приклади розрахунків стандартних діафрагм	62
2.3.1 Розрахунок діафрагми для вимірювання витрати води.....	62
2.3.2 Розрахунок діафрагми для вимірювання витрати природного газу .	68
2.3.3 Розрахунок діафрагми для вимірювання витрати водяної пари	77
РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК І ВИБІР ВИКОНАВЧИХ ПРИСТРОЇВ.....	82
3.1 Алгоритм розрахунку і вибору виконавчого пристрою	82
3.1.1 Розрахунок і вибір регулюючого органу.....	82
3.1.2 Розрахунок перестановочного зусилля виконавчих механізмів	100
3.2 Алгоритм розрахунку площі відкритого перерізу та профілю затвора регулюючих клапанів.....	107
3.3 Вибір і розрахунок зчленувань виконавчих механізмів з регулюючими органами	113
3.4 Приклади розрахунків і вибору виконавчих пристроїв	119
3.4.1 Розрахунок і вибір виконавчого пристрою САУ тиску в деаераторі	119

3.4.2 Розрахунок і вибір виконавчого пристрою САУ витрати сировини у ректифікаційну колону	123
3.4.3 Розрахунок і вибір виконавчого механізму САУ тиску пари в котельні.....	134
3.4.4. Розрахунок і вибір виконавчого пристрою САУ концентрації кисню у димових газах котлоагрегату.....	138
РОЗДІЛ 4 РЕКОМЕНДОВАНИЙ ЗМІСТ ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ	142
СПИСОК ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ	143
ДОДАТОК А. Схема зовнішніх з'єднань САУ технологічного параметра..	144
ДОДАТОК Б. Тиск P і густина ρ насиченої водяної пари	145
Додаток В. Густина ρ перегрітої водяної пари.....	149
Додаток Г. Коефіцієнт стисливості природних газів, що не містять у своєму складі CO_2 і N_2	181
Додаток Д. Варіанти завдань для курсового проектування.....	194

ВСТУП

Ефективність експлуатації сучасного виробництва в значній мірі визначається не тільки рівнем його технологічного процесу, але і рівнем автоматизованої системи керування. При цьому ефективність функціонування автоматизованої системи керування технологічним процесом (АСКТП) залежить від обраної технічної структури системи, яка обумовлює необхідність застосування тих чи інших комплексів технічних засобів автоматизації.

В процесі створення АСКТП має бути виконаний цілий комплекс робіт по вивченню технологічного процесу як об'єкта керування, з використанням системного підходу. Системний підхід до проектування передбачає облік системних зв'язків між окремими частинами системи, встановлення структури системи, типізацію зв'язків, аналіз впливу зовнішнього середовища. При цьому системні зв'язки зумовлюють обмеження на якісні та кількісні характеристики компонентів системи.

Задача інженера-спеціаліста полягає у розробці за певних обмежень системи, що забезпечує оптимальне виконання поставленої задачі. Усвідомлення і конкретизація таких обмежень дозволяє визначити раціональний шлях проектування, уникнути невиправданих витрат, обґрунтувати вибір необхідних технічних засобів реалізації щодо проєкта. Такий вибір здійснюється як правило під час формування, аналізу та конкретизації рішень щодо створюваної системи автоматизації і управління (САУ). Технічні засоби автоматизації використовуються в САУ для розв'язання наступних задач:

- збір і перетворення інформації про стан технологічного процесу;
- передача інформації по каналах зв'язку;
- перетворення, обробка і збереження інформації;
- формування команд керування;

- використання і надання інформації для впливу на процес (використання енергії, механіки, засобів фізичних дій для впливу на процес);
- надання інформації оператору.

У відповідності з цими задачами застосовуються і певні класи технічних засобів:

- засоби на вході САУ – датчики (первинні перетворювачі);
- засоби на виході САУ – вихідні перетворювачі, виконавчі пристрої;
- внутрішньосистемні пристрої САУ – блоки регулювання, спостерігачі для обчислення додаткової інформації або формування регулюючого впливу;
- допоміжні пристрої – техніко-документуючі, обладнання візуалізації і сповіщення.

З ускладненнями задач що вирішує АСКТП в цілому, зростають вимоги до якості роботи локальних САУ. Тому у навчальному посібнику для курсового проектування зосереджено увагу на розробці найбільш розповсюджених локальних систем регулювання технологічних параметрів, що найчастіше входять до складу АСКТП виробництв хімічної, харчової, нафтогазової та інших галузей промисловості. Структурна схема локальної САУ представлена на рис. В1.

Згідно рисунку В1 основна частина, що виділена рамкою, становить собою класичну систему з локальним регулятором. Пунктирними стрілками показаний шлях, який дозволяє особі (ОПР) крізь пристрої зв'язку (ПЗ) і ручного керування (РК) впливати на виконавчий пристрій (ВП) безпосередньо. Ручне керування застосовують тільки при необхідності, тобто за необхідності обробки аварійних ситуацій або недопущення великих відхилень параметрів в ТОУ. При цьому ручне керування повинно мати високий коефіцієнт надійності.

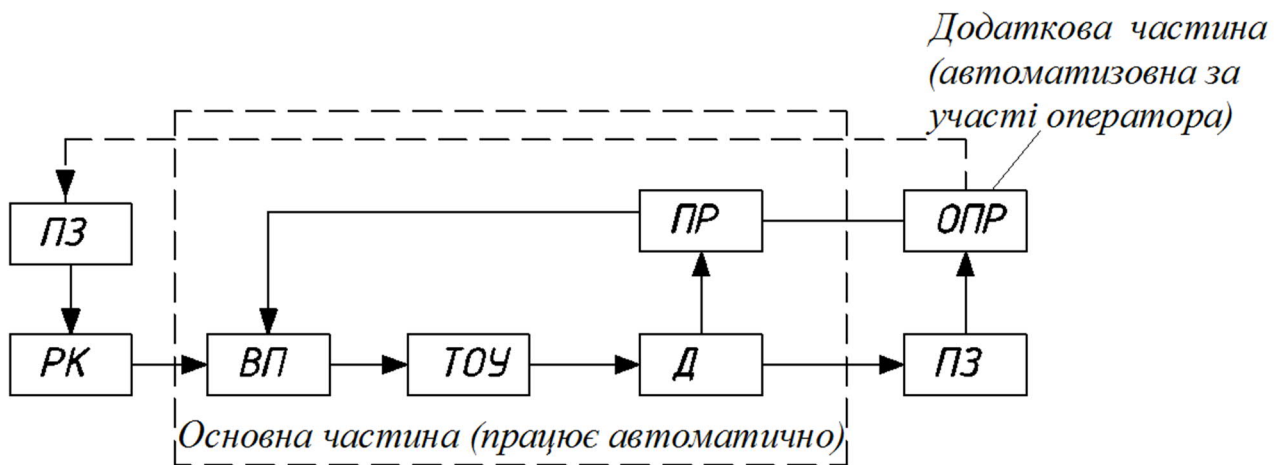


Рис. В1. Структурна схема локальної САУ: ЛР – локальний регулятор може мати декілька входів (датчики та нормування датчиків, передача даних з комп'ютера, корегування задатчика); ОПР – особа-оператор, що приймає рішення (змінює уставки задатчика локального регулятора, здійснює ручне управління); РК – ручне керування; ВП – виконавчий пристрій; Д – датчик; ПЗ – пристрій зв'язку та супрядження (Ethernet, інтерфейс RS-485 та ін.); ТОУ – технологічний об'єкт управління

Виконання курсового проекту розподіляється в певній мірі на три основних етапи. Перший етап передбачає створення функціональної схеми локальної САУ певного технологічного параметру на окремих комплексах технічних засобів автоматизації (ТЗА), зокрема пневматичних, електричних і мікропроцесорних, складання специфікації на всі засоби, які входять до цієї САУ, та опис функціональної дії окремої САУ. На другому етапі виконується розробка схеми зовнішніх з'єднань (елементна схема) САУ технологічного параметру, що реалізована на базі мікропроцесорного регулятора чи контролера, починаючи від датчика (первинного перетворювача) і закінчуючи виконавчим пристроєм. Третій, заключний етап має на меті виконання розрахунку і вибору виконавчого пристрою або датчика витрати того чи іншого потоку згідно запропонованого варіанту завдання. При цьому вибір алгоритму управління та параметрів його настроювання проектом не передбачено, тому

що в достатній мірі студентами цей етап було засвоєно під час вивчення дисципліни теорія автоматичного керування.

Навчальний посібник написаний на підставі досвіду викладання дисципліни «Технічні засоби автоматизації» на кафедрі автоматизації технологічних систем та екологічного моніторингу Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут".

РОЗДІЛ 1

ФУНКЦІОНАЛЬНІ СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Функціональна схема автоматизації визначає об'єм автоматизації технологічної системи і окремого обладнання. Функціональна схема є основним технічним документом проєкту з автоматизації і становить собою креслення, на якому схематично умовними позначеннями зображені технологічне обладнання, комунікації, органи керування і засоби автоматизації з зазначенням зв'язків між технологічним обладнанням і елементами автоматизації, а також зв'язків поміж окремими елементами автоматизації.

1.1 Зображення технологічного обладнання і комунікацій

Зображення технологічного обладнання і комунікацій на функціональних схемах виконують спрощено і у скороченому вигляді, без показу окремого обладнання і трубопроводів допоміжного призначення, але у відповідності зі схемою, що прийнята у технологічній частині проєкту. Контури графічних зображень обладнання і машин, а також співвідношення їх габаритних розмірів повинні, як правило, відповідати дійсним. Припустиме зображення об'єктів керування також у вигляді прямокутників. Біля кожного технологічного обладнання і машини повинно бути найменування чи позиційне позначення (арабськими цифрами). Найменування може бути вписане усередину умовного графічного зображення обладнання. Дозволяється використовувати і буквено-цифрове позначення обладнання (машин), наприклад Т-2, Н-4, А-1, де буква позначає назву обладнання (Т – теплообмінник, Н – насос, А – абсорбер), а цифра – порядковий номер обладнання серед йому подібних. При позначенні обладнання цифрами (чи буквами з цифрами) в схемі має бути представлена специфікація з переліком обладнання і його деякими характеристиками (матеріал, поверхня теплообміну, продуктивність насосу, загальна вага і т. ін.).

Трубопроводи на функціональних схемах відображують суцільною лінією з зазначенням напрямку потоку. Для позначення тієї чи іншої речовини, що проходить по трубопроводу, рекомендується використовувати переривисті лінії з цифрами, які проставляють у розривах цих ліній (див табл. 1.1). Для рідин і газів, не представлених у табл. 1.1, можуть бути використані для позначення і інші цифри, але обов'язково з необхідними поясненнями на схемі цих новоутворених умовних позначень. Товщина ліній контурів технологічного обладнання і трубопроводів повинна складати 0,6 ÷ 1,5 мм.

Таблиця 1.1 – Позначення речовин, що протікають по трубопроводам

Найменування речовини	Позначення
Вода	— 1 — 1 —
Пара	— 2 — 2 —
Повітря	— 3 — 3 —
Азот	— 4 — 4 —
Кисень	— 5 — 5 —
Інертні гази:	
аргон	— 6 — 6 —
неон	— 7 — 7 —
гелій	— 8 — 8 —
криптон	— 9 — 9 —
ксенон	— 10 — 10 —
Аміак	— 11 — 11 —
Кислота (окислювач)	— 12 — 12 —
Луг	— 13 — 13 —
Масило	— 14 — 14 —
Рідке паливо	— 15 — 15 —

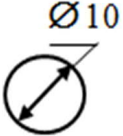
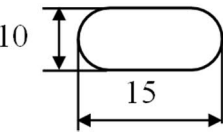

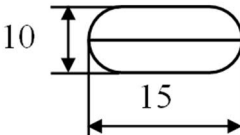
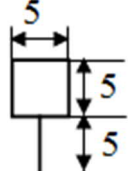
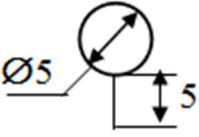
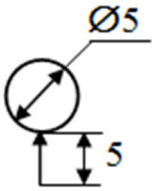
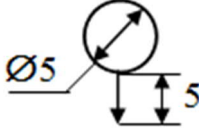
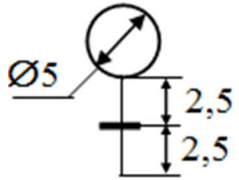
Найменування речовини	Позначення
Горючі і вибухонебезпечні гази:	
водень	— 16 — 16 —
ацетилен	— 17 — 17 —
фреон	— 18 — 18 —
метан	— 19 — 19 —
етан	— 20 — 20 —
етилен	— 21 — 21 —
пропан	— 22 — 22 —
пропілен	— 23 — 23 —
бутан	— 24 — 24 —
бутилен	— 25 — 25 —
Протипожежний трубопровід	— 26 — 26 —
Вакуум	— 27 — 27 —

1.2 Зображення приладів і засобів автоматизації

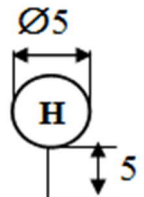
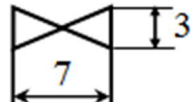


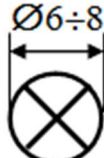
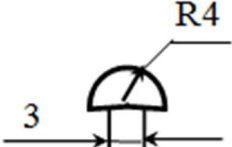
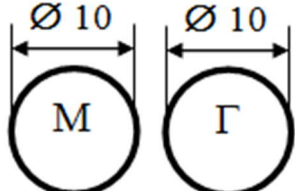
На функціональних схемах зображення приладів і засобів автоматизації здійснюють у відповідності з ДСТУ 21.404-85 і галузевими нормативними документами. Умовні графічні позначення засобів автоматизації та деякої електроапаратури наведені у табл. 1.2

У стандарті встановлені два способи побудови умовних позначень за функціональними ознаками, що виконуються засобами автоматизації: спрощений і розгорнутий. Для спрощеного способу побудови достатньо основних умовних позначень, наведених у табл. 1.2, і буквених позначень, представлених у табл. 1.3.

Таблиця 1.2 – Основні умовні позначення засобів автоматизації і окремої електроапаратури

Найменування	Позначення	
Первинний вимірювальний перетворювач (датчик) чи прилад, встановлений за місцем	Базове 	Припустиме 
Прилад, встановлений на щиті чи пульті	Базове  Припустиме 	
Виконавчий механізм. Загальне позначення. Положення РО при припиненні подачі енергії до виконавчого механізму не регламентується	Базове 	Припустиме 
Виконавчий механізм, що при припиненні подачі енергії чи керуючого сигналу (наведено припустиме позначення): відкриває РО закриває РО залишає РО у незмінному положенні	  	

Закінчення табл. 1.2

1	2
Виконавчий механізм з додатковим ручним приводом	
Лінія зв'язку. Загальне позначення	—
Регулювальний орган	
Перетинання ліній зв'язку без з'єднання між собою	
Перетинання ліній зв'язку із з'єднанням між собою	
Лампа розжарювання (освітлювальна і сигнальна)	
Дзвоник електричний	
Машина електрична (М – двигун, Г – генератор)	
<p>Примітка: умовні графічні позначення засобів автоматизації мають бути виконані лініями завтовшки 0,5 ÷ 0,6 мм, а горизонтальна розділювальна риса усередині позначення і лінія зв'язку повинні виконуватися лініями завтовшки 0,2 ÷ 0,3 мм.</p>	

Розгорнутий спосіб побудови умовних графічних позначень може бути виконаний шляхом комбінованого застосування основних (табл. 1.2 і 1.3) і додаткових (табл. 1.4 і 1.5) позначень.

Таблиця 1.3 – Буквені умовні позначення за ДГСТ 21.104-85

Позначення	Вимірювана величина		Функції, виконувані приладом		
	Основне позначення	Додаткове уточнююче позначення	Відображення інформації	Формування вихідного сигналу	Додаткове призначення
1	2	3	4	5	6
A	+	–	Сигналізація	–	–
B	+	–	–	–	–
1	2	3	4	5	6
C	+	–	–	Регулювання, керування	–
D	Густина	Різниця, перепад	–	–	–
E	Будь-яка електрична величина	–	+	–	–
F	Витрата	Співвідношення, доля, дріб	–	–	–
G	Розмір, положення, переміщення	–	+	–	–
H	Ручне діяння	–	–	–	Верхня межа вимірюваної величини
I	+	–	Показання	–	–
J	+	Автоматичне переключення, обминання	–	–	–
K	Час, часова програма	–	–	+	–

Закінчення табл. 1.3

1	2	3	4	5	6
L	Рівень	–	–	–	Нижня межа вимірюваної величини
M	Вологість	–	–	–	–
N	Резервна буква	+	–	–	–
O	Резервна буква	+	–	–	–
P	Тиск, вакуум	–	–	–	–
Q	Якість: склад, концентрація	Інтегрування, підсумовування за часом	–	+	–
R	Радіоактивність	–	Реєстрація	–	–
S	Швидкість, частота	–	–	Включення, відключення, переключення, сигналізація	–
T	Температура	–	–	+	–
U	Декілька різних вимірюваних величин	–	–	–	–
V	В'язкість	–	+	–	–
W	Маса	–	–	–	–
X	Резервна буква, що не рекомендується	–	–	–	–

Таблиця 1.4 – Додаткові буквені позначення, що відбивають функціональні ознаки приладів за ДГСТ 21.104-85

Найменування	Позначення
Чутливий елемент (первинне перетворення)	Е
Дистанційна передача (проміжне перетворення)	Г
Станція керування	К
Перетворення, обчислювальні функції	У

Складні прилади, що виконують кілька функцій, припускається зображувати декількома окружностями з примиканням одна до одної. Методика побудови графічних умовних позначень для спрощеного і розгорнутого способів є загальною. У верхній частині окружності наносяться буквені позначення вимірюваної величини і функціональної ознаки засобу (приладу) автоматизації. У нижній частині окружності наноситься позиційне позначення (цифрове чи буквено-цифрове), що служить для нумерації комплекту вимірювання чи регулювання (за спрощеним способом побудови умовних позначень) чи окремих елементів комплекту (за розгорнутим способом побудови умовних позначень).

Порядок розташування буквених позначень у верхній частині (зліва направо) наступний: позначення основної вимірюваної величини; позначення, що уточнює (якщо необхідно) основну вимірювану величину; позначення функціональних ознак приладу. При цьому функціональні ознаки (якщо їх декілька в одному приладі) слід розташовувати у певному порядку, тобто ІРСА. Приклад побудови умовного позначення приладу з функціональними ознаками вимірювання, реєстрації і автоматичного регулювання перепаду тиску наведено на рис. 1.1.

При побудові умовних позначень приладів вказують не всі функціональні ознаки приладу, а лише ті, що використовуються у даній схемі. Так, при

позначенні показуючих і самописних приладів (якщо функція показання не використовується) припустимо писати TR, а не TIR.

У випадку побудови умовного позначення сигналізатора тиску, блок сигналізації якого є безшкальним приладом з умонтованим контактним пристроєм і сигнальними лампами, варто писати:

Таблиця 1.5 – Додаткові позначення, що застосовують для побудови перетворювачів сигналів і обчислювальних приладів за ДГСТ 21.104-85

Найменування	Позначення
Рід сигналу: електричний пневматичний гідравлічний	E P G
Види сигналу: аналоговий дискретний	A D
Операції, виконувані обчислювальним пристроєм: підсумовування множення сигналу на постійний коефіцієнт K зведення сигналу f у степінь n логарифмування диференціювання інтегрування	Σ K f n lg dx/dt \int

–PS, якщо прилад використовується тільки для дистанційної сигналізації відхилення тиску, включення чи виключення компресора, блокувань і т. п.;

– PA, якщо використовуються тільки сигнальні лампи самого приладу;

– PSA, якщо використовуються обидві вище перелічені функції;

– PC, якщо прилад використовується для позиційного регулювання тиску.

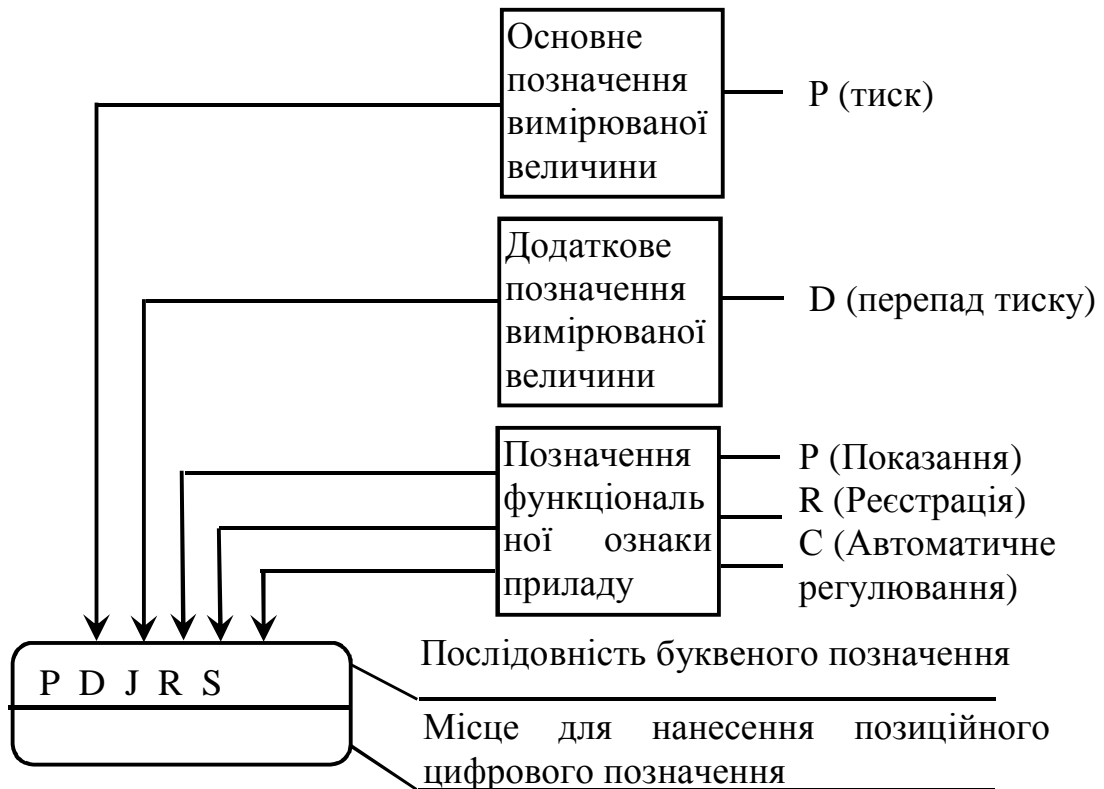


Рис. 1.1. Приклад побудови умовного графічного позначення приладу

Функціональні зв'язки між технологічним обладнанням і встановленими на ньому первинними перетворювачами, а також із засобами автоматизації, встановленими на щитах і пультах, на схемах показуються тонкими суцільними лініями. При цьому кожний зв'язок позначається однією лінією незалежно від фактичного числа проводів чи труб, що здійснюють цей зв'язок. До умовних позначень приладів і засобів автоматизації для вхідних і вихідних сигналів припускається лінії зв'язку підводити з будь-якого боку, у тому числі і під кутом. Лінії зв'язку мають бути на кресленні нанесені по найкоротшій відстані і нанесені з мінімальною кількістю перетинань. До того ж припускається перетинання лініями зв'язку зображень технологічного обладнання і комунікацій. Перетинання лініями зв'язку умовних позначень приладів і засобів автоматизації не припускається.

1.3. Позиційне позначення приладів і засобів автоматизації

Позиційне позначення на функціональних схемах автоматизації присвоюється всім приладам і засобам автоматизації без винятку і зберігається в усіх матеріалах проєкту. При формуванні умовного позначення приладу у нижній частині окружності, як вже було сказано вище, розташовують позиційне його позначення. Всі елементи одного комплекту, тобто однієї функціональної групи приладів (первинний, проміжний і передавальний перетворювачі, вимірювальний прилад, регулятор, виконавчий пристрій) позначають однією і тією ж цифрою. При цьому цифру *1* присвоюють першому (зліва) комплекту, цифру *2* – другому і т. д.

Щоб відрізнити елементи одного комплекту, поряд з цифрою ставлять буквений індекс: у первинного перетворювача (датчика) – індекс *a*, у передавального перетворювача – *б*, у вимірювального приладу – *в* і т. д. Таким чином, для одного комплекту повне позначення первинного перетворювача буде *1a*, передавального вимірювального перетворювача – *1б*, вимірювального (вторинного) приладу – *1в* і т. д. При цьому висота цифри дорівнює *3,5 мм*, а висота букви – *2,5 мм*.

У разі цифрового позиційного позначення приладів замість букв використовують цифри: *1-1*, *1-2*, *1-3* і т. д. Не надають позиційних позначень лише відбірним і приймальним пристроям, що поставляються разом з приладом (входять у комплект – роздільні чи вирівнювальні посудини, спонукачі витрати, фільтри та холодильники для відбору проб на аналіз і т. ін.).

При визначенні меж кожної функціональної групи варто враховувати наступну обставину: якщо будь-який прилад чи регулятор зв'язаний з декількома датчиками або одержує додаткові впливи по іншим параметрам (наприклад, сигнал, що коректує), то всі елементи схеми, що здійснюють додаткові функції, відносяться до тієї функціональної групи, на яку вони роблять вплив. Зокрема, регулятор співвідношення входить до складу тієї функціональної групи, на яку здійснюється ведучий вплив за незалежним

параметром. Те ж відноситься і до прямого цифрового керування, де вхідним ланцюгам контуру регулювання надається та сама позиція.

У системах централізованого контролю із застосуванням обчислювальної техніки, у схемах телевимірювання, у складних схемах автоматичного керування з загальними для різних функціональних груп пристроями всі загальні елементи виносяться в самостійні функціональні групи.

Електроапаратурі на функціональній схемі автоматизації можна присвоювати позначення, прийняте у принципових електричних схемах керування. В окремих випадках, коли позиційне позначення неможливо помістити в окружності, наносять його зовні меж окружності.

1.4. Розробка функціональних схем

Виконання функціональних схем може здійснюватись з більшим чи меншим ступенем деталізації. Однак обсяг інформації, що наводиться на схемі, як правило, забезпечує повну уяву про прийняті технічні рішення з автоматизації певного технологічного процесу та можливість складання замовної специфікації на прилади і засоби автоматизації, запірно-регулювальної арматури, щитів і пультів, основних монтажних матеріалів і виробів.

Функціональну схему, як правило, виконують на одному аркуші, на якому зображують засоби автоматизації й апаратуру всіх систем контролю, регулювання, керування і сигналізації, що відноситься до даної технологічної системи (установки). Допоміжні пристрої, такі як редуктори і фільтри для повітря, джерела живлення, сполучні коробки й інші пристрої, а також монтажні елементи на функціональних схемах не показують.

Складні технологічні схеми рекомендується розчленовувати на окремі технологічні вузли і виконувати функціональні схеми цих вузлів у вигляді окремих креслень.

Функціональні схеми автоматизації можуть бути виконані двома способами:

– з умовним зображенням щитів і пультів керування у вигляді прямокутників (як правило, у нижній частині креслення), в межах якого показують встановлені на них засоби автоматизації;

– із зображенням засобів автоматизації на технологічних схемах поблизу відбірних і приймальних пристроїв без побудови прямокутників, що умовно позначають щити, пульти, пункти контролю і керування.

Перший (розгорнутий) спосіб більш детально розкриває рішення з автоматизації, тому їм користуються частіше. Крім того, завдяки його наочності значно полегшується читання схеми і робота з проєктними матеріалами. За цим способом прямокутники щитів і пультів розташовують у такій послідовності, щоб при розміщенні у їх межах позначень приладів і засобів автоматизації забезпечувалася простота та ясність схем і мінімум перетинань ліній зв'язку. У кожному прямокутнику з лівої сторони надається його найменування. В прямокутниках також можуть бути вказані номери креслень загальних виглядів щитів і пультів.

Прилади і засоби автоматизації, які розташовані зовні щитів та пультів і не зв'язані безпосередньо з технологічним обладнанням і трубопроводами, умовно показуються у прямокутнику “Прилади місцеві”. У разі побудови складних функціональних схем автоматизації для запобігання великого числа ізломів і перетинань ліній зв'язку їх обривають і нумерують. номери ліній зв'язку розташовують у горизонтальних рядах. номери ліній зв'язку нижнього ряду (над верхнім прямокутником “Прилади місцеві”) розташовують у зростаючому порядку, а у верхніх рядів (у технологічного обладнання і трубопроводів) – у будь-якому. Для кращого розуміння технологічної сутності процесів в об'єкті автоматизації і можливості вибору діапазону вимірювання приладів, а також завдання регуляторів на ділянках ліній зв'язку над верхнім прямокутником показують граничні робочі (максимальні і мінімальні) значення технологічних параметрів контролю і регулювання, що відповідають регламентним нормам. Ці значення наводять в одиницях шкали приладів чи у міжнародних одиницях без буквених позначень.

Для роботи з функціональними схемами автоматизації необхідно мати пояснювальну записку до проєкту, опис креслень і специфікацію на прилади і засоби автоматизації, електроапаратуру і запірно-регулюючу арматуру. Специфікації на прилади, засоби автоматизації, електроапаратуру і запірно-регулюючу арматуру дозволяють з'ясувати: характер взаємодії окремих технічних засобів автоматизації з елементами технологічного обладнання; зв'язок вузлів даної схеми автоматизації між собою і з вузлами інших (можливих) схем.

1.5. Вибір технічних засобів автоматизації

В процесі вибору технічних засобів автоматизації необхідно враховувати умови пожежно- і вибухонебезпечності технологічного процесу, агресивності і токсичності довкілля, параметрів і фізико-хімічних властивостей вимірюваного середовища, дальності передачі сигналів інформації від місця установки пристроїв безпосереднього зв'язку з об'єктом (вимірювальні перетворювачі, допоміжні пристрої, виконавчі пристрої та ін.) до щитів (пультів) керування і контролю, необхідної точності і швидкодії приладів і регуляторів. Системи автоматизації технологічних процесів повинні бути реалізовані на базі серійно виготовлених засобів автоматизації. При цьому слід застосовувати однотипні пристрої і уніфіковані системи, для яких характерна простота сполучення.

Вибір засобів вимірювання може здійснюватися виходячи з умов можливостей тих чи інших приладів, наведених у навчальних посібниках [1,2], а регуляторів, функціональних блоків, допоміжних та виконавчих пристроїв згідно інформаційного матеріалу та номенклатури, що представлені у навчальному посібнику [2] та підручнику [3].

1.6. Приклади побудови функціональних схем автоматичного управління та опису їх функціональної дії

Функціональні схеми САУ концентрації та витрати розчину відповідно на виході і вході випарного апарату наведені на рис.1.2.

Специфікація на прилади та засоби автоматизації для функціональної схеми, наведеній на рис. 1.2а, представлена у таблиці 1.6. Опис функціональної схеми автоматизації є невід'ємною складовою пояснювальної записки проєктної документації. Цей опис має здійснюватись з поясненням дії систем контролю, регулювання, сигналізації і блокування, наведених на кресленні по кожному параметру із зазначенням елементів, що входять до системи та їх позиційного позначення у відповідності до специфікації. Нижче розглянуто приклад опису функціональної дії САУ концентрації розчину на виході випарного апарату згідно рис. 1.2а.

Стабілізація концентрації забезпечується шляхом зміни витрати розчину на вході випарного апарату. Контроль концентрації розчину здійснюється кондуктометричним аналізатором типу КВЧ-5М-1 (поз.1а), вимірювальний перетворювач ПИ якого на виході має сигнал постійного струму, пропорційний величині питомої електричної провідності, а отже і концентрації розчину. Отриманий таким чином сигнал з ПИ надходить до передавального перетворювача ПП, у якому він нормується в уніфікований струмовий сигнал $0 \div 5$ мА. Далі сигнал прямує одночасно як на вхід вторинного приладу РП-160-1 (поз.1б), так і на вхід мікропроцесорного регулятора МИНИТЕРМ 400.00 (поз.1в).

Вторинний прилад забезпечує реєстрацію величини концентрації, а також завдяки умонтованому контактному пристрою і сигналізацію у випадку зменшення величини нижче заданої. Мікропроцесорний регулятор у разі появи сигналу розбіжності на вході здійснює перетворення її величини за ПІ-законом регулювання у режимі "автоматичне" у вихідний струмовий сигнал $0 \div 5$ мА. Далі цей сигнал надходить на електропневматичний перетворювач типу ПЕП-95 (поз.1г), пневматичний вихідний сигнал $0,02 \div 0,1$ МПа якого прямує на мембранний виконавчий пристрій ПОУ-7 (поз.1д). Якщо концентрація прийняла значення нижче заданого, то регулятор відпрацьовує сигнал дії, що призводить до зменшення величини витрати розчину на виході ВА, а отже і

підвищення концентрації до заданої величини. Для контролю положення регулюючого органу виконавчого пристрою застосовується вторинний прилад типу ПКП.1 (поз.1е).

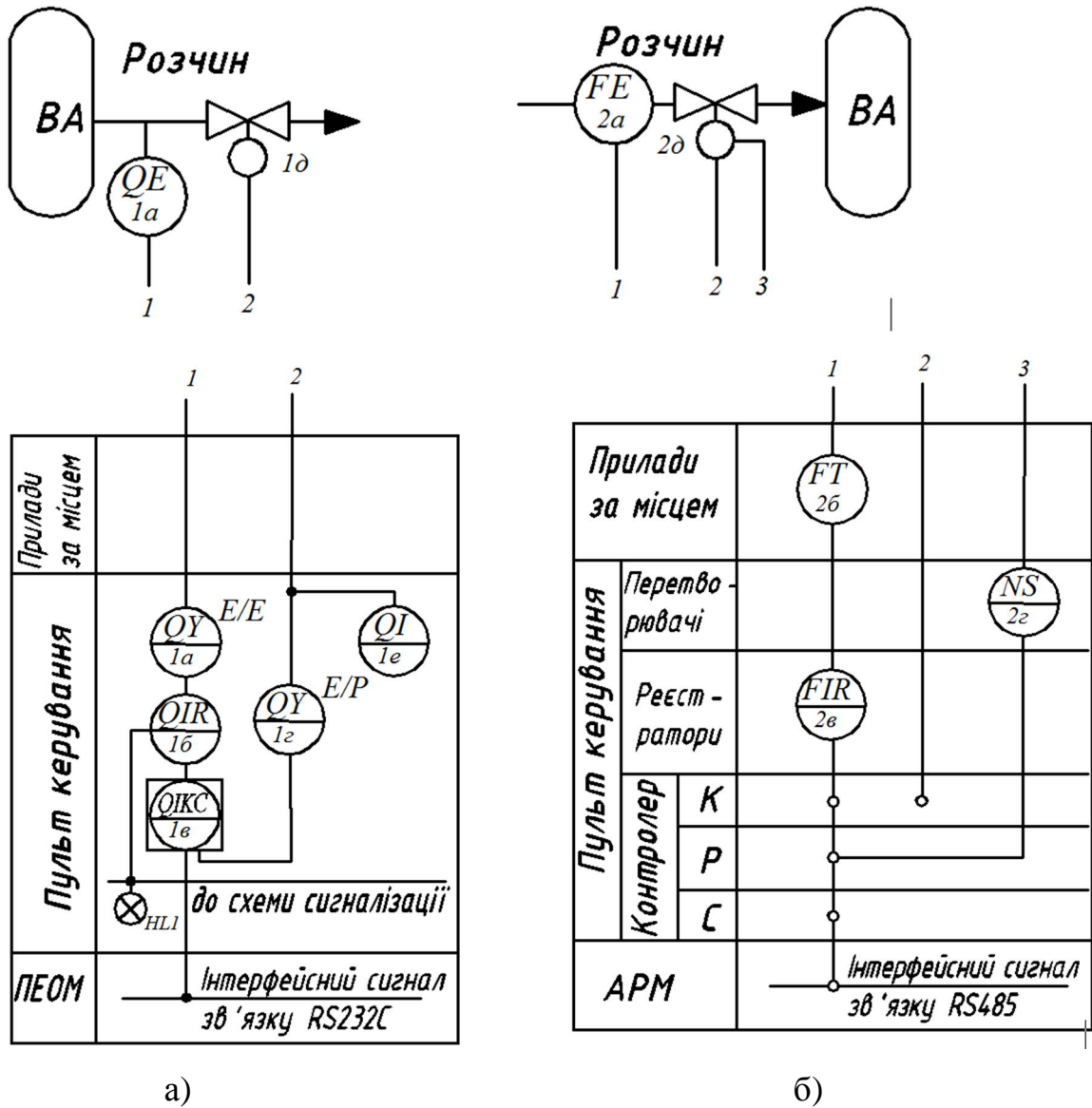


Рис.1.2. Функціональні схеми САУ, реалізованих з використанням мікропроцесорних регуляторів (а) та контролера (б): ВА – випарний апарат; К,Р,С – функціональні можливості контролера, відповідно контролю, регулювання, сигналізації; АРМ – автоматизоване робоче місце оператора.

Одночасно регулятор зв'язаний каналом інтерфейсного зв'язку з послідовним портом ПЕОМ верхнього рівня за протоколом RS-232. По каналу

інтерфейсного зв'язку здійснюється вивід на ПЕОМ усіх виходів і параметрів настроювання регулятора, а також у разі необхідності може здійснюватися і зміна завдання по командах з ПЕОМ. Живлення регулятора напругою 24В постійного струму відбувається від джерела групового живлення ПЗ00.2, яке одночасно може забезпечувати живлення двох регуляторів. Сигнал $0 \div 5 \text{ мА}$ подається на вхід регулятора через пристрій узгодження ВП05М, який перетворює струмовий сигнал $0 \div 5 \text{ мА}$ у сигнал постійної напруги $0 \div 50 \text{ мВ}$.

Слід відзначити, що після розробки САУ з використанням контролерів необхідно виконати функціональну схему конфігурування автоматичної системи регулювання на базі бібліотеки алгоритмів того чи іншого контролера згідно із завданням на проєкт, а також здійснити опис цієї схеми, які детально розглянуті у рекомендованій літературі [2, 3]. Функціональні можливості та схеми зовнішніх з'єднань мікропроцесорних регуляторів і контролерів наведені також у цій літературі. Приклад виконання схеми зовнішніх з'єднань наведена у додатку А.

Таблиця 1.6 – Специфікація на прилади і засоби автоматизації

Поз. позн.	Найменування параметра контролю чи регулювання	Граничне значення параметру	Місце установки	Найменування і характеристика засобу автоматизації	Тип, марка, модифікація	Підприємство виготовник	Кількість по проєкту
1а	Регулювання концентрації розчину на виході випарного апарату	3,5 % об.	Трубопровід (для ПИ) Пульт керування (для ПП)	Аналізатор рідини кондуктометричний проточного типу в комплекті з ПП і ПИ. Діапазон вимірювання 5-100 Ом/м Клас точності 1,5	КВЧ-5М-1	АТ «ІЦПК» м.Харків	1
1б			Пульт керування	Показуючий і реєструючий прилад Клас точності 0,5	РП-160-01	АТ «Лівів прилад» м. Львів	1
1в			Пульт керування	Регулятор мікропроцесорний з узгоджувачем пристроєм ВП05М та джерелом живлення ПЗ00.2	МІНІТЕРМ 400.00	ВАТ, МЗА м. Москва	1
1г			Пульт керування	Перетворювач електропневматичний	ПЕП-35	НВП«Мікротерм», м. Северодонецьк	1
1д			Трубопровід	Виконавчий пристрій односідельний з мембранним приводом: Ду20, Ру 6,4МПа	ПОУ-7.706.0802.40	ПТ «Конотопський арматурний завод», м.Конотоп	1
1е			Трубопровід	Виконавчий пневматичний прилад	ПКП-1	АТ «Саранський прилад обуд. з-д», м. Саранськ	1

РОЗДІЛ 2

ВИБІР І РОЗРАХУНОК СТАНДАРТНИХ ЗВУЖУВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ

2.1 Рекомендації щодо вибору вимірювального комплексу витратоміру

Серед стандартних звужувальних пристроїв найчастіше застосовуються діафрагми, виготовлення і монтаж яких значно простіший, ніж інших типів звужувальних пристроїв (сопел, сопел і труб Вентурі, нестандартних пристроїв).

Методика вибору звужувального пристрою передбачає урахування наступних технологічних особливостей: втрати тиску ΔP (енергетичні втрати) у звужувальних пристроях підвищуються у такій послідовності – труба Вентурі, довге сопло Вентурі, коротке сопло Вентурі, сопло, діафрагма; при одних і тих же значеннях модулю діафрагми m і ΔP та інших рівних умовах сопло дозволяє вимірювати більшу витрату, ніж діафрагма, і забезпечує більш високу точність вимірювання у порівнянні з діафрагмою (особливо при малих значеннях m); зміна і забруднення вхідного профілю звужувального пристрою в процесі експлуатації впливає на коефіцієнт витрати діафрагми α у більшій мірі, ніж на коефіцієнт α сопла.

Вибір типу і різновиду дифманометра здійснюють, виходячи з наступних умов: дифманометр можливо застосувати для вимірювання таких середовищ, які вказані у технічній документації по експлуатації цього приладу, якщо додатково не застосовуються роздільні посудини; дифманометр, що споживає електроенергію (у випадку його встановлення у пожежно- і вибухонебезпечному приміщенні), повинен задовольняти вимогам відповідних нормативних документів; максимальний робочий тиск у трубопроводі перед звужувальним пристроєм має бути не більше максимального робочого тиску, на який розрахований дифманометр; номінальний перепад тиску ΔP

дифманометра визначається зі стандартного ряду, що наведений далі, урахувавши, що чим більше перепад тиску ΔP_n , тим менше повинна бути відносна площа m звужувального пристрою для заданої витрати, а чим менше m , тим вище точність вимірювання заданої витрати і тим більше втрата тиску у звужувальному пристрої.

Розрахунок може виконуватись по декількох варіантах. Якщо задана припустима втрата тиску на звужувальному пристрої, то за найбільше значення ΔP_n приймають таке, за яким втрата тиску ще залишається менше припустимої. Коли втрата тиску у звужувальному пристрої не має значення, перепад ΔP_n обирають таким, щоб значення m було близьким до 0,2 (подальше зменшення m доцільне тільки для зниження впливу числа Re на вимірювану витрату чи для зменшення похибки внаслідок скорочення довжини прямої ділянки трубопроводу).

2.2 Алгоритм розрахунку стандартних звужувальних пристроїв

В процесі розрахунку звужуючого пристрою визначаються: діаметр отвору, коефіцієнт витрати, динамічний діапазон вимірювання, що залежить від числа Рейнольдсу, перепад тиску або втрата тиску на звужувальному пристрої, а також похибка вимірювання. При цьому визначення похибки вимірювання завданням на курсовий проєкт не передбачено.

У якості вихідних даних повинні бути задані: максимальна і мінімальна витрати; параметри вимірюваного середовища (тиск, температура, вологість, в'язкість, густина, склад потоку); внутрішній діаметр трубопроводу при температурі 20 °С та його матеріал; припустимі втрати тиску, відповідні максимальній витраті; середній барометричний тиск у місті експлуатації дифманометра-витратоміра.

У наведеному нижче алгоритмі розрахунку для фізичних величин прийняті наступні позначення та одиниці виміру:

температура вимірюваного середовища перед звужувальним пристроєм,
°С або К.....t або Т

абсолютний тиск середовища перед звужувальним пристроєм в умовах вимірювання, кгс/см ²	P
барометричний тиск, кгс/см ²	P _Б
надмірний тиск, кгс/см ²	P _И
густина середовища в робочих умовах, кг/м ³	ρ
густина сухого газу (або сухої частини вологого газу) в нормальному стані, кг/м ³	ρ _{НОМ}
коефіцієнт стисливості газу	K _С
тиск водяної пари у вологому газі при температурі t, кгс/см ²	P _{ВП}
найбільший можливий тиск водяної пари у вологому газі при температурі t, кгс/см ²	P _{ВПmax}
тиск насиченої водяної пари при температурі t, кгс/см ²	P _{НП}
густина вологого газу в робочих умовах, кг/м ³	ρ _{ВГ}
густина насиченої водяної пари при температурі t, кг/м ³	ρ _{НП}
максимально можлива густина водяної пари у вологому газі при тиску P і температурі t, кг/м ³	ρ _{ВПmax}
густина речовини над врівноважувальною рідиною при тиску P і температурі t=20 °С, кг/м ³	ρ'
припустима втрата тиску при витраті, що дорівнює Q _{ПР} , кгс/см ² ..	P _{ПД}
припустима втрата тиску при витраті, що дорівнює Q _{max} , кгс/см ²	P' _{ПД}
втрата тиску на звужувальному пристрої, кгс/см ²	P _П
межевий найменший перепад тиску дифманометра, кгс/см ²	ΔP _Н
динамічна в'язкість середовища, що вимірюється, в робочих умовах, кгс·с/м ²	μ
об'ємна витрата, м ³ /год	Q
масова витрата, кг/год	Q̄
об'ємна витрата, що приведена до нормального стану, м ³ /год ...	Q _{НОМ}

верхня межа вимірювань дифманометру, м ³ /год.....	Q _{гр}
максимальна витрата, що вимірюється, м ³ /год.....	Q _{max}
мінімальна витрата, що вимірюється, м ³ /год.....	Q _{min}
розрахункове значення витрат при вимірюванні перепаду тиску тим чи іншим типом дифманометру, м ³ /год.....	Q'
густина врівноважувальної рідини при тиску P і температурі 20 °С, кг/м ³	ρ' _y
густина врівноважувальної рідини при атмосферному тиску і температурі 20 °С, кг/м ³	ρ _y
відносна вологість газу	φ

До початку розрахунку потрібно вибрати типи, класи точності та верхню межу вимірювання дифманометра - витратоміра, манометра і термометра, інформація по яких наведена у розділах 2 і 5 навчального посібника [1], а також матеріал діафрагми та засіб відбору перепаду тиску (кутовий чи фланцевий).

Наступний етап розрахунку полягає у визначенні основних параметрів потоків середовища, що вимірюється.

Абсолютна температура потоку середовища

$$T = 273,15 + t \quad (2.1)$$

Абсолютний тиск потоку середовища

$$P = P_{II} + P_B \quad (2.2)$$

Густина рідких речовин та водних розчинів може бути визначена по таблиці 2.1.

Густина сухого газу в робочих умовах при відомій густині у нормальних умовах:

$$\rho = 283,73 \rho_{НОМ} \frac{P}{TK_C} \quad (2.3)$$

Густина окремих газів у нормальному стані визначається по таблиці 2.2, а коефіцієнт стисливості – по графікам на рис. 2.1-2.11.

Густина сумішей сухих газів за нормальних умов розрахунковим методом по відомому компонентному складу суміші визначається так:

- при відомій об'ємній долі N_i компонентів суміші

$$\rho_{НОМ} = \sum_{i=1}^n N_i \rho_{НОМi}; \quad (2.4)$$

- при відомій масовій долі \bar{N}_i компонентів суміші

$$\rho_{НОМ} = \left[\sum_{i=1}^n \frac{\bar{N}_i}{\rho_{НОМi}} \right]^{-1}. \quad (2.5)$$

Густина вологого газу (суміші газів) при P і t обчислюють по рівнянням:

- у загальному випадку

$$\rho_{\text{вз}} = 283,73 \rho_{НОМ} \frac{P - \phi P_{\text{вн max}}}{TK_{CM}} + \phi \rho_{\text{вн max}}; \quad (2.6)$$

- для насиченого вологого газу

$$\rho'_{\text{вз}} = 283,73 \rho_{НОМ} \frac{P - P_{\text{вн max}}}{TK_{CM}} + \rho_{\text{вн max}}. \quad (2.7)$$

Таблиця 2.1 – Густина рідких речовин та водних розчинів, кг/м^3 , у залежності від температури, $^{\circ}\text{C}$

Речовина	-20	0	20	40	60	80	100	120
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Азотна кислота /100%/	1582	1547	1513	1478	1443	1408	1373	1338
Азотна кислота /50%/	–	1334	1310	1287	1263	1238	1212	1186
Аміак рідкий	665	639	610	580	545	510	462	390
Аміачна вода /25%/	–	918	907	897	887	876	866	856
Анілін	–	1039	1022	1004	987	969	952	933

Закінчення табл.2.1

Ацетон	835	813	791	768	746	719	693	665
Бензол	–	900	879	858	836	815	793	769
Бутиловий спирт	838	824	810	795	781	766	751	735
Вода	–	1000	998	992	983	972	958	943
Діхлоретан	1310	1282	1254	1224	1194	1163	1133	1102
Хлористий кальцій /25% розчин/	1248	1239	1230	1220	1210	1200	1190	1180
Метиловий спирт /100% розчин/	828	810	792	774	756	736	714	-
Мурашина кислота	–	1244	1220	1195	1171	1147	1121	1096
Їдкий натр /50% розчин/	–	1540	1525	1511	1497	1487	1469	1454
Хлористий натрій /20% розчин/	–	1157	1148	1189	1130	1120	1110	1100
Олеум /20 % SO ₃ /	–	1922	1896	1870	1844	1818	1792	1766
Сірчана кислота /60%/	1532	1515	1498	1482	1466	1450	1434	1418
Соляна кислота /30%/	1173	1161	1149	1138	1126	1115	1103	1090
Толуол	902	884	866	847	828	808	788	766
Оцтова кислота /100%/	–	1072	1048	1027	1004	981	958	922
Хлорбензол	1150	1128	1107	1085	1056	1041	1021	995
Чотири хлористий вуглець	1670	1633	1594	1556	1517	1471	1434	1390
Вінілацетат	947	924	901	876	851	825	797	768
Етиловий спирт /80%/	–	857	843	828	813	797	783	768

Таблиця 2.2 – Основні фізичні властивості деяких газів

Газ	Густина, кг/м ³ , при тиску 1 кгс/см ² і температурі, °С		Молекуляр на маса	Критичні точки		Показник адіабати при 0 °С і 1 кгс/см ²
	0	20		Темпера -тура, °С	Тиск, кгс/см ²	
1	2	3	4	5	6	7
Азот	1,25	1,66	28	-147,1	33,49	1,4
Аміак	0,77	0,718	17	+132,4	111,5	1,29
Аргон	1,78	-	39,9	-122,4	48,0	1,66
Ацетилен	1,171	1,091	266	+35,7	61,6	1,24
Бутан	2,673	2,519	58,1	+152	37,5	1,08
Повітря	1,293	1,205	29	-140	37,2	1,4
Водень	0,0899	0,0837	2,02	-239,9	12,8	1,407
Двуокись:						
сірки	2,93	2,727	61,4	+157,5	77,78	1,25
вуглецю	1,98	1,842	44	+31,1	72,9	1,3
Кисень	1,429	1,331	32	-118,8	49,71	1,4
Метан	0,72	0,668	16	-82,15	45,6	1,31
Оксид вуглецю	1,25	1,165	28	-140,2	34,53	1,4
Пентан	3,457	3,221	72,2	+197,1	33,0	1,09
Пропан	2,022	1,872	44,1	+95,6	43,0	1,13
Пропілен	1,91	1,784	42,1	+91,4	45,4	1,17
Сірководе нь	1,54	1,434	34,1	+100,4	188,9	1,3
Хлор	3,22	2,9955	70,9	+144	76,1	1,36
Хлористий метил	2,3	-	50,5	+148	66	1,28
Етан	1,36	1,263	30,1	+32,1	48,85	1,2
Етилен	1,26	1,174	28,1	+9,7	50,7	1,2

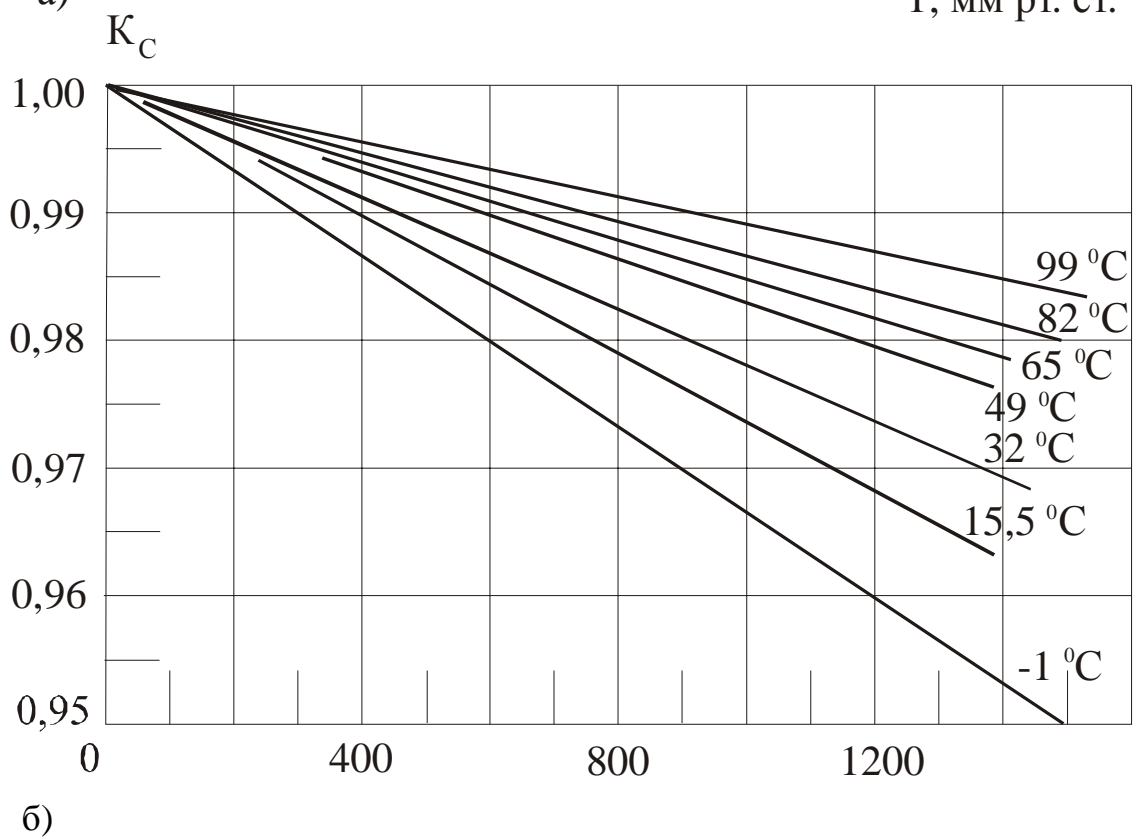
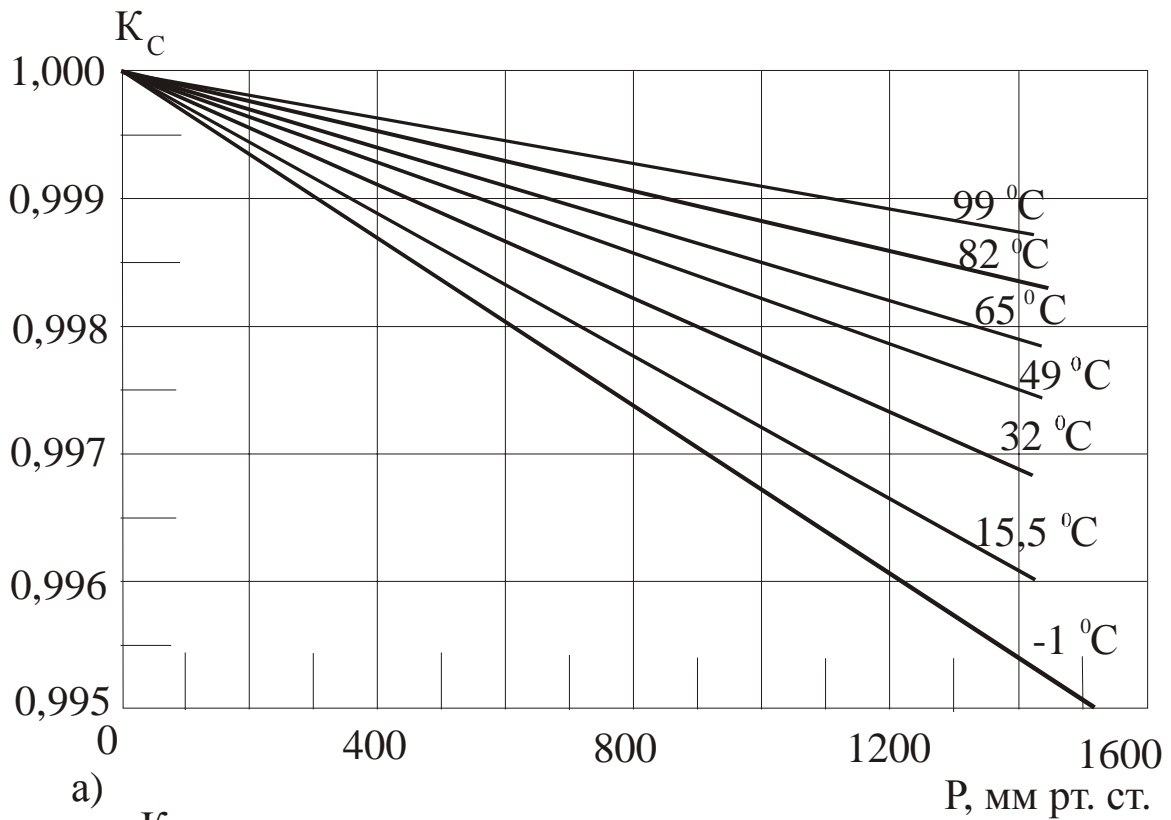


Рис. 2.1. Залежність коефіцієнту стисливості метану (а), пропану (б) від тиску та температури

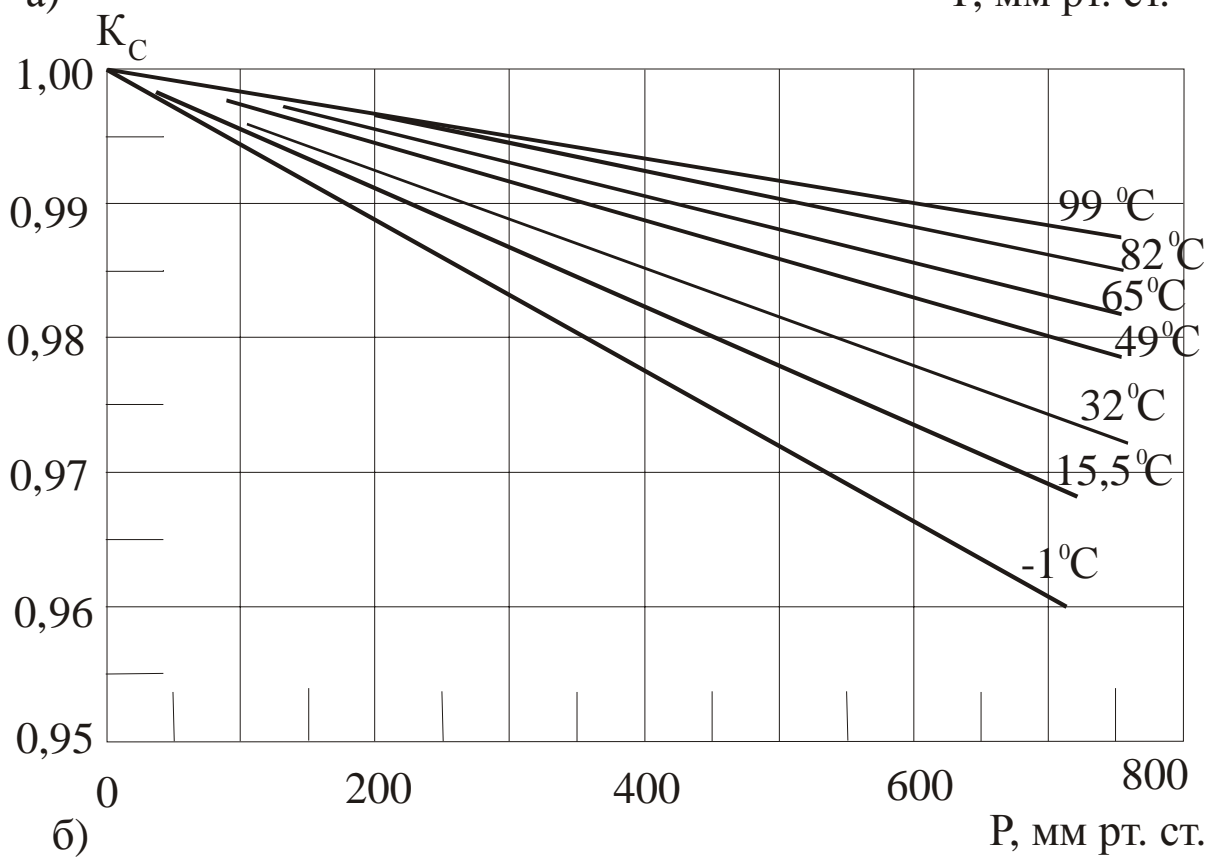
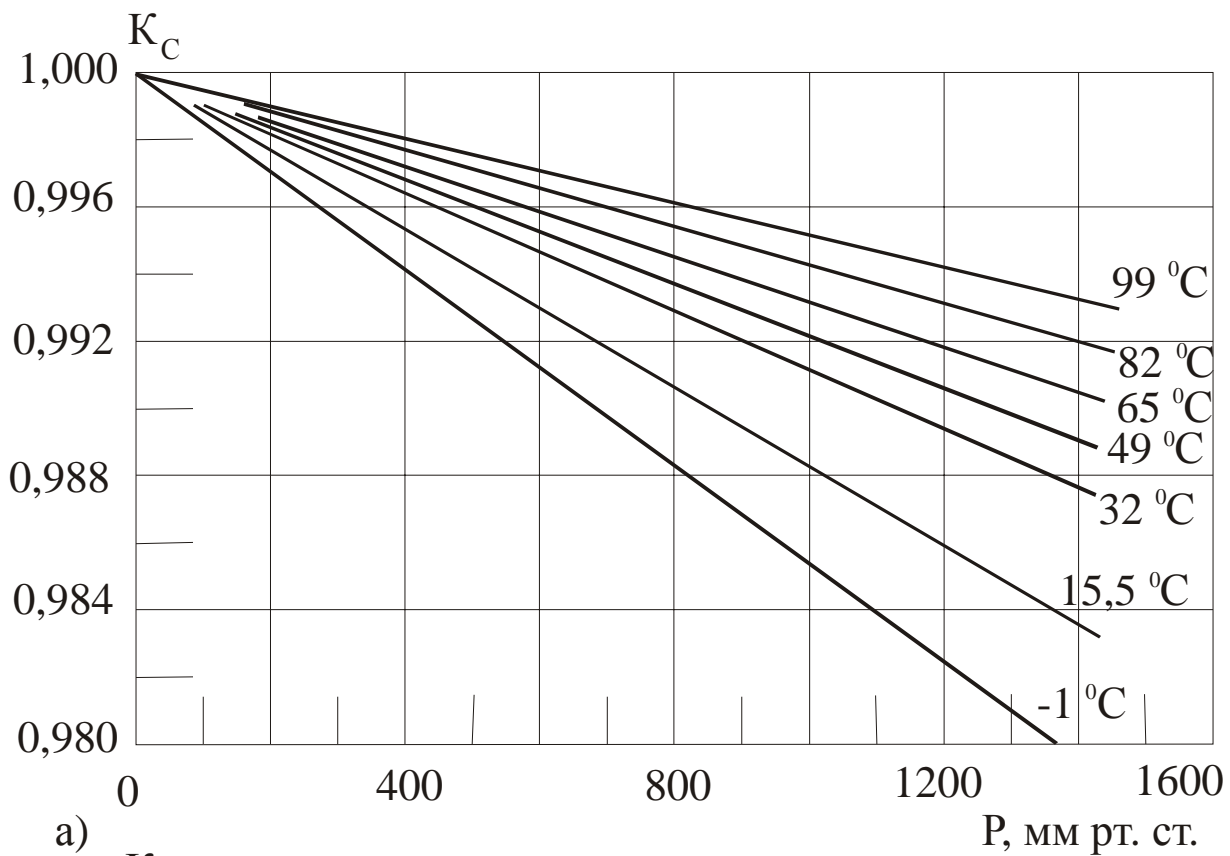


Рис. 2.2. Залежність коефіцієнту стисливості етану (а) н-бутану (б) від тиску та температури.

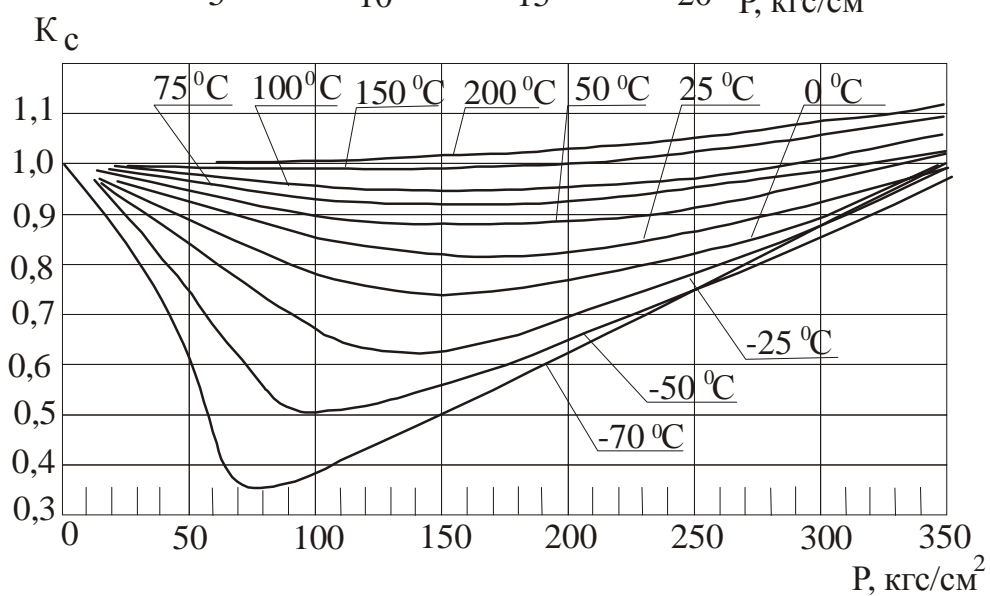
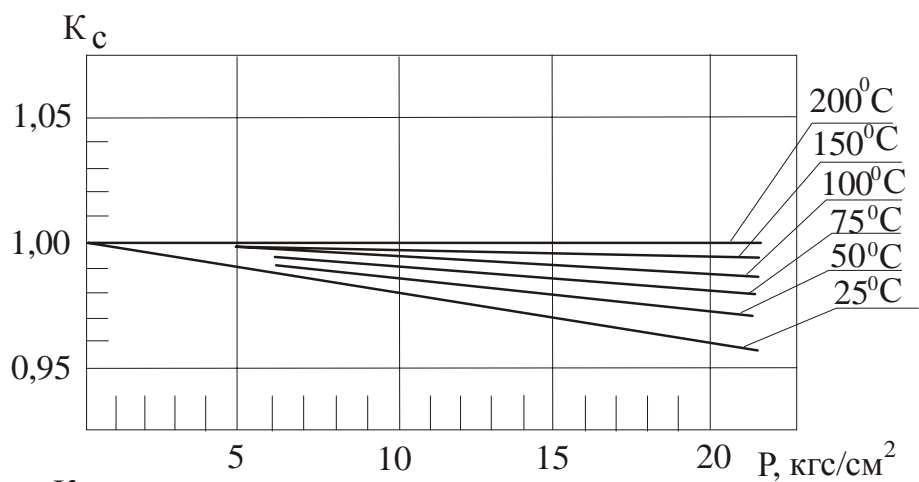


Рис. 2.3. Залежність коефіцієнту стисливості метану від тиску та температури.

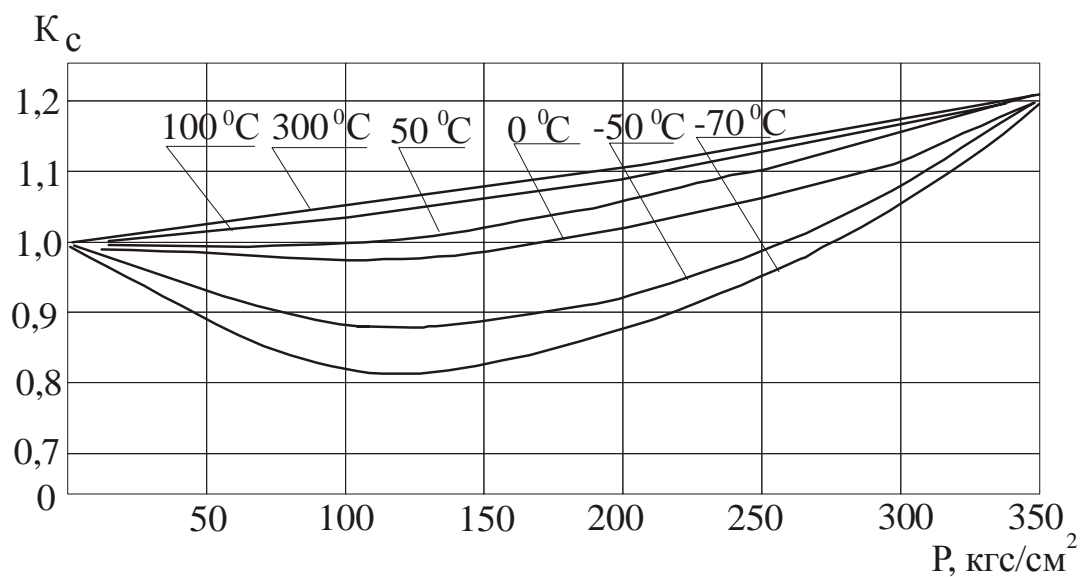


Рис. 2.4. Залежність коефіцієнту стисливості етану н-бутану (б) від тиску та температури.

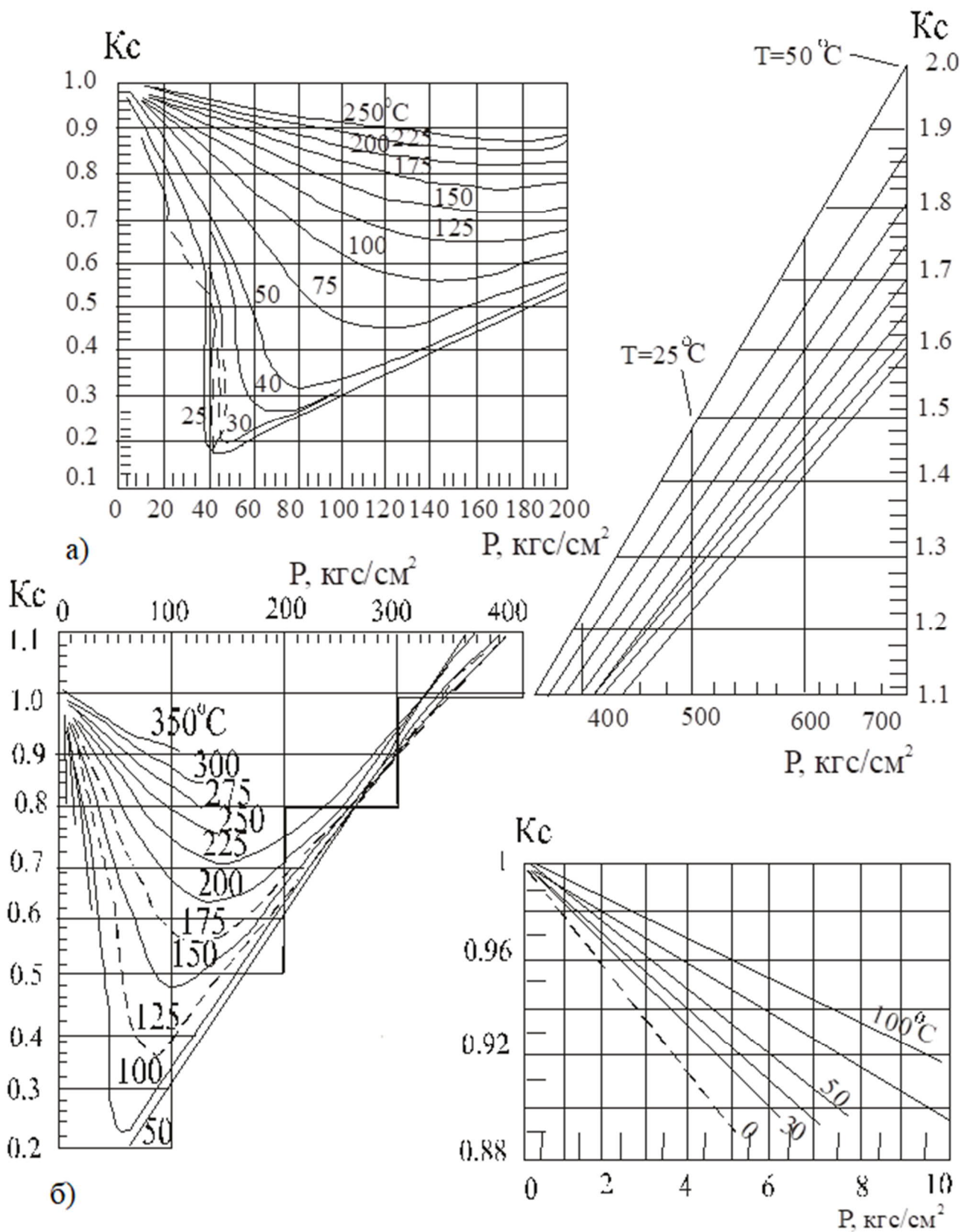


Рис. 2.5 Залежність коефіцієнту стисливості етану (а), пропану (б) від тиску і температури.

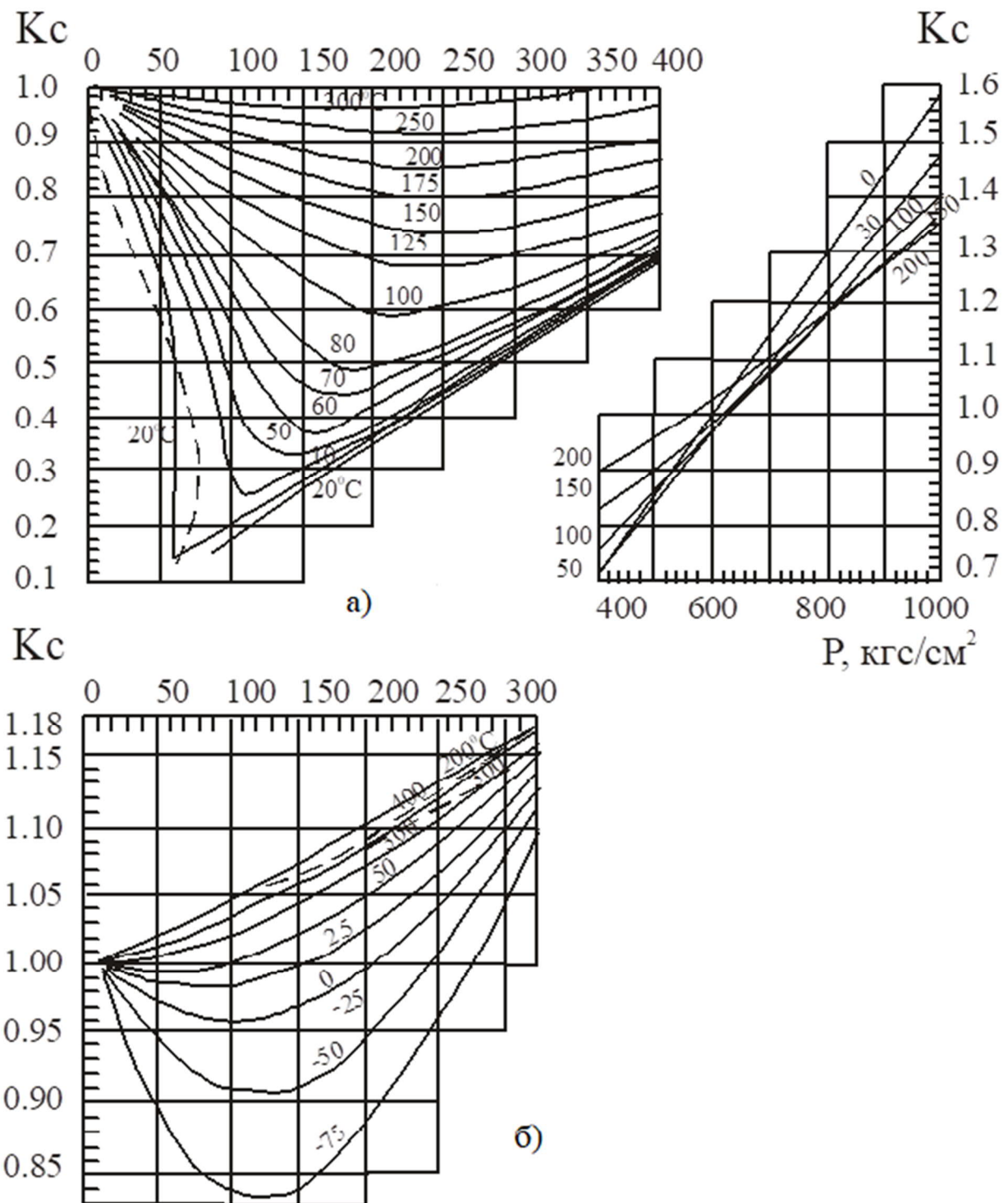


Рис. 2.6. Залежність коефіцієнту стисливості двооксиду вуглецю (а), азоту (б) від тиску і температури.

Кс

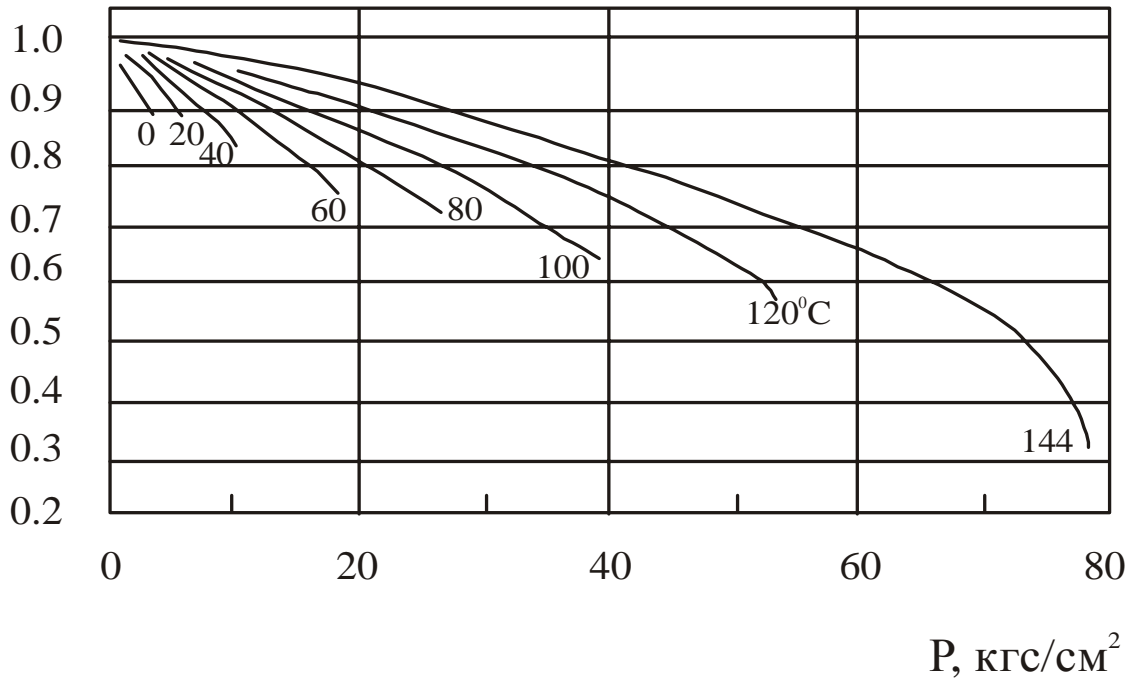
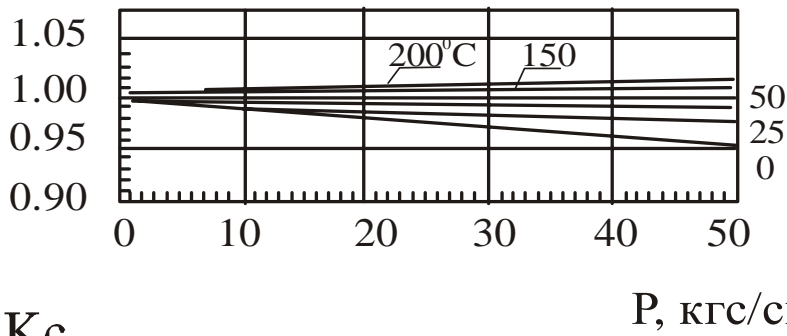


Рис. 2.7. Залежність коефіцієнту стисливості хлору від тиску і температури.

Кс



Кс

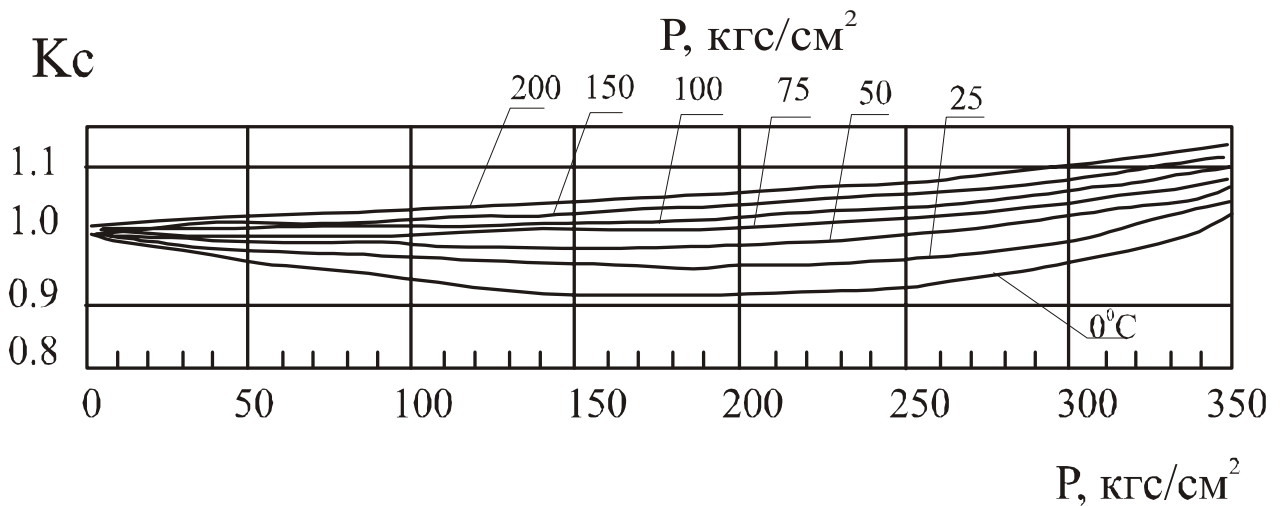


Рис. 2.8. Залежність коефіцієнту стисливості кисню від тиску і температури.

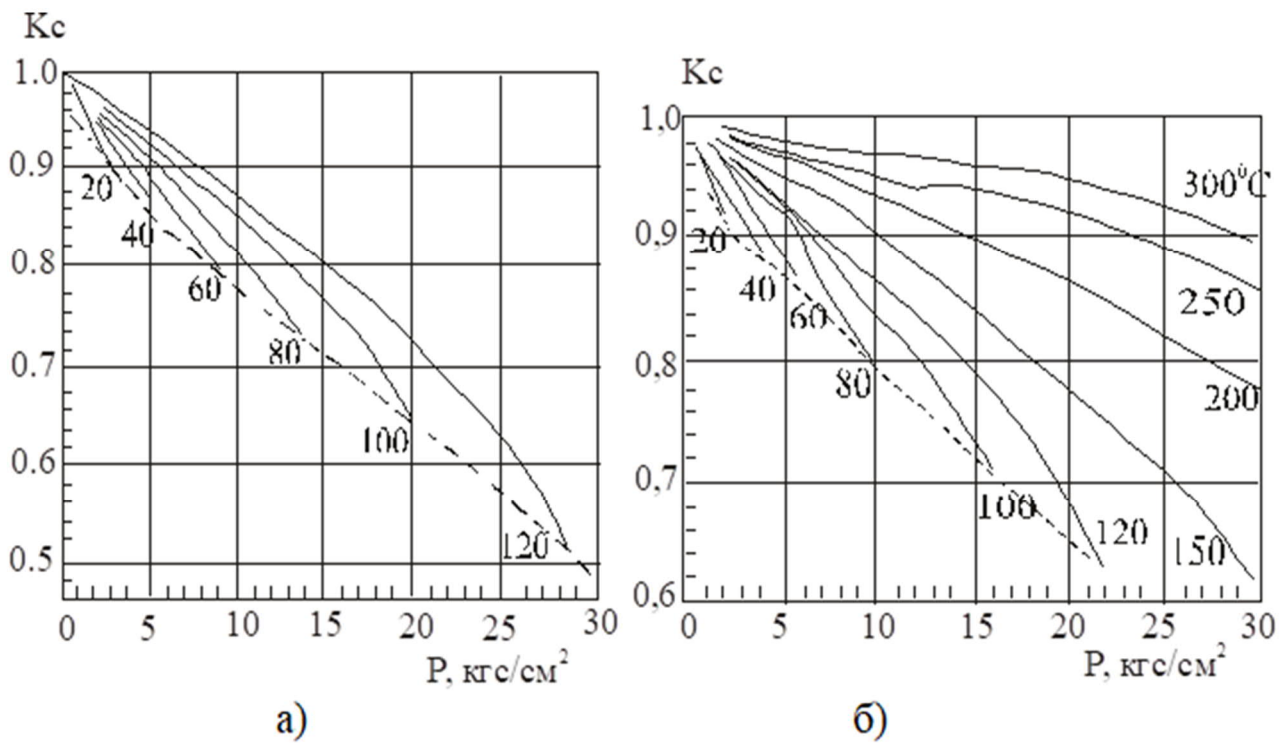


Рис.2.9. Залежність коефіцієнту стисливості н-бутану (а), ізобутану (б) від тиску і температури

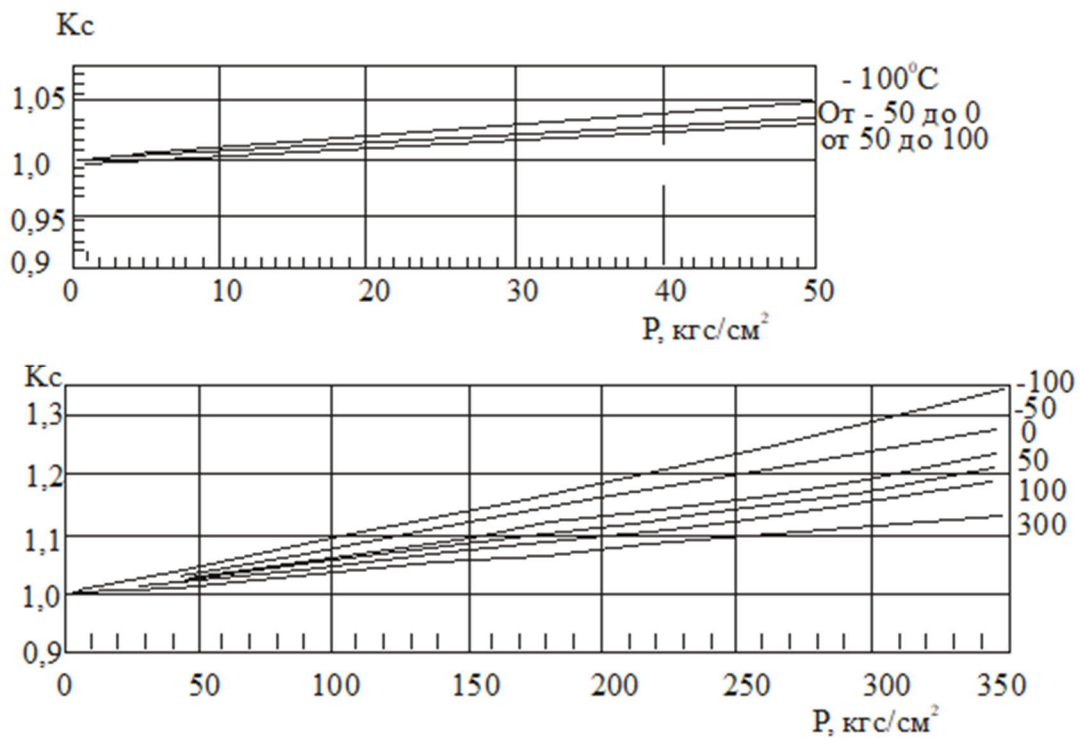


Рис.2.10. Залежність коефіцієнта стисливості водню від тиску і температури.

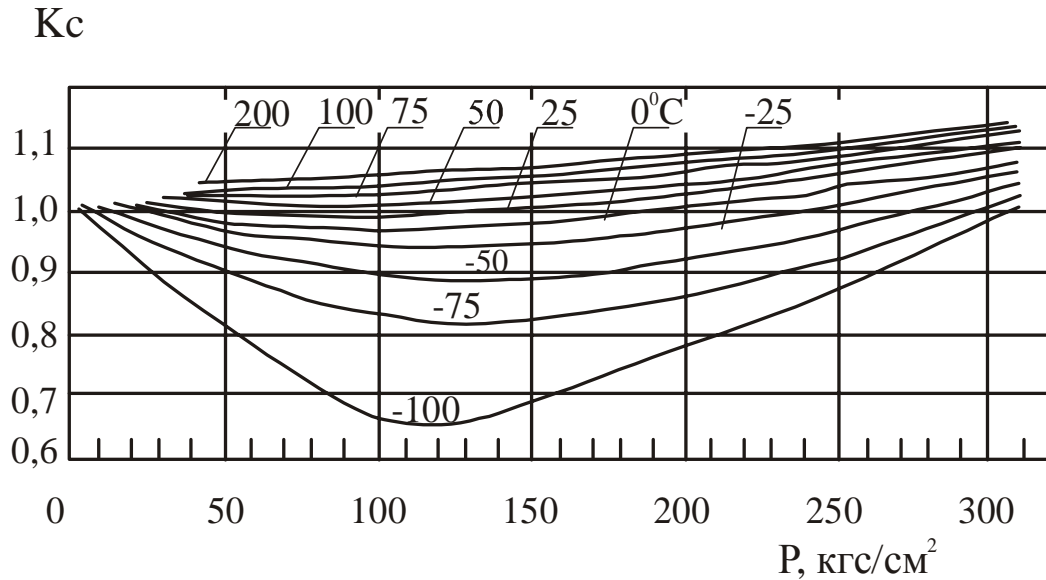
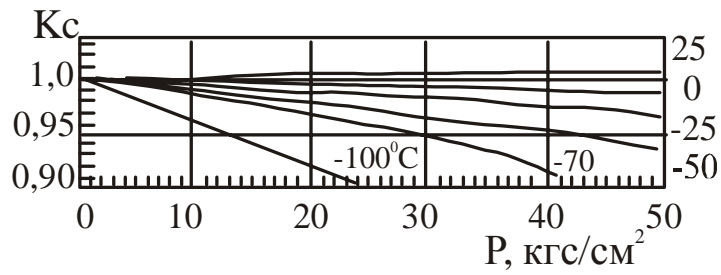


Рис. 2.11. Залежність коефіцієнта стисливості повітря від тиску і температури.

Густина вологого газу ρ_{BG} у загальному випадку, як виходить з (2.6) і (2.7), визначається сумою густин його сухої частини ρ_{CG} і водяної пари ρ_{BP} при їх парціальних тисках і температурах.

Якщо робоча температура t газу не перебільшує температуру насичення водяної пари t_{HP} , що відповідна робочому тиску P , то $\rho_{BP_{max}} = \rho_{HP}$ та $P_{BP_{max}} = P_{HP}$. При цьому ρ_{HP} та P_{HP} визначають по таблиці, наведеній в додатку Б.

Якщо $t > t_{HP}$, то $\rho_{BP_{max}}$ дорівнює густині перегрітої водяної пари при даних P і t , а $P_{BP_{max}} = P$. Густина перегрітої водяної пари знаходять по таблиці додатку В.

Коефіцієнт стисливості суміші газів

$$K_{CM} = \sum_{i=1}^n K_{ci} N_i. \quad (2.8)$$

Коефіцієнт стисливості сумішей природних газів густиною $\rho_{НОМ}=0,55...0,9$ кг/м³ визначають по таблиці додатку Г у залежності від псевдонаведених температур $t_{П}$ (°С) та надмірного тиску $P_{ИП}$ (кгс/см²), густини $\rho_{НОМ}$ та вмісту CO₂ та N₂.

Псевдонаведений надмірний тиск і температура визначаються так:

$$P_{ИП}=P_{И} K_P; \quad (2.9)$$

$$t_{П}=K_T(t+273,15) - 273,15, \quad (2.10)$$

де K_P і K_T – комплексні коефіцієнти наведення відповідно надмірного тиску і температури.

Комплексні коефіцієнти знаходять за рівняннями:

- для сумішей природних газів, що не містять CO₂ та N₂

$$K_P=26,1082/(26,831 - \rho_{НОМ}); \quad (2.11)$$

$$K_T=1,2864/(0,56364+\rho_{НОМ}); \quad (2.12)$$

- для сумішей природних газів, що містять CO₂ та N₂

$$K_P = \frac{156,47}{5,993(26,831\rho_{НОМ})(N_{CO_2} + 0,392N_{N_2})}; \quad (2.13)$$

$$K_T = \frac{226,29}{175,91(0,56364 + \rho_{НОМ}) - (N_{CO_2} + 1,681N_{N_2})}, \quad (2.14)$$

де N_{CO_2} та N_{N_2} - об'ємні концентрації двооксиду вуглецю і азоту, %.

Відносна вологість газу:

$$\phi = \frac{P_{ВП}}{P_{ВП\max}} = \frac{\rho_{ВП}}{\rho_{ВП\max}}. \quad (2.15)$$

Якщо задана абсолютна вологість газу f , тоді її у відносну вологість перераховують наступним чином:

- при абсолютній вологості f_C , що виражена масою водяної пари (кг) в 1 кг сухого газу

$$\phi = \frac{P f_C}{P_{ВП\max} (f_C + 0,7496 \frac{K_C}{\rho_{НОМ}})}; \quad (2.16)$$

- при абсолютній вологості $f_{НОМ}$, що виражена масою водяної пари (кг) в 1 м³ сухого газу в нормальних умовах

$$\phi = \frac{P f_{НОМ}}{P_{ВП\max} (f_{НОМ} + 0,7496 K_{КС})}; \quad (2.17)$$

- при абсолютній вологості f_B , що виражена масою водяної пари (кг) в 1 м³ вологого газу

$$\phi = f_B / \rho_{ВП\max}. \quad (2.18)$$

Динамічна в'язкість рідини визначається по таблиці 2.3, а для індивідуальних газів по графікам на рис.2.12 – 2.14.

Таблиця 2.3 – Динамічні коефіцієнти в'язкості, мПа·с, рідких речовин і водних розчинів у залежності від температури, °С

Речовина	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60	80	100	120
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Азотна кислота (100%-ва)	1,49	1,24	1,05	0,92	0,8	0,72	0,64	0,57	0,5	0,39	0,35	0,31
Азотна кислота (50%-ва)	-	4,0	3,05	2,4	1,88	1,55	1,28	1,07	0,9	0,68	0,53	0,44
Аміак рідкий	0,258	0,251	0,244	0,235	0,226	0,217	0,208	0,199	0,19	-	-	-
Аміачна вода	-	-	-	1,72	1,3	1,05	0,855	0,71	0,6	0,42	0,32	0,23
Анілін	-	-	10,2	6,5	4,4	3,12	2,3	1,8	1,5	1,1	0,8	0,59
Ацетон	0,5	0,442	0,395	0,356	0,322	0,293	0,268	0,246	0,23	0,2	0,17	0,15
Бензол	-	-	0,91	0,76	0,65	0,56	0,492	0,436	0,39	0,316	0,261	0,219
Бутиловий спирт	10,3	7,4	5,19	3,87	2,95	2,28	1,78	1,41	1,14	0,76	0,54	0,38
Вода	-	-	1,79	1,31	1,0	0,801	0,656	0,549	0,496	0,357	0,284	0,232
Діхлоретан	1,54	1,24	1,08	0,95	0,84	0,74	0,65	0,565	0,51	0,42	0,36	0,31
Кальцій хлористий (25%-вий розчин)	10,6	7	4,47	3,36	2,74	2,25	1,85	1,55	-	-	-	-

Закінчення табл. 2.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Метиловий спирт (100%-вий)	1,16	0,97	0,817	0,68	0,58 4	0,51	0,45	0,396	0,35 1	0,29	0,24	0,21
Мурашина кислота	-	-	--	2,25	1,78	1,46	1,22	1,03	0,89	0,68	0,54	0,4
Їдкий натр(50%-вий розчин)	-	-	-	-	-	46	25	16	8,03	5,54	3,97	3,42
Хлористий натрій (20%-вий розчин)	-	4,08	2,67	1,99	1,56	1,24	1,03	0,87	0,74	0,57	0,46	0,38
Олеум (20% SO ₃)	-	-	95	80	36,6	28,8	20,8	12,8	9	5,3	-	-
Сірчана кислота (60%-ва)	20	15	10,5	7,7	5,52	4,08	3,42	2,8	2,4	1,5	1,07	0,9
Соляна кислота (30%-ва)	-	-	--	2,1	1,7	1,48	1,3	-	-	-	-	-
Толуол	1,06	0,9	0,768	0,66 7	0,58 6	0,52 2	0,466	0,42	0,38 1	0,31 9	0,27 1	0,23 1
Оцтова кислота(100%-ва)	-	-	-	-	1,22	1,04	0,9	0,79	0,7	0,56	0,4 6	0,37
Хлорбензол	1,48	1,24	1,06	0,91	0,8	0,71	0,64	0,57	0,52	0,43 5	0,37	0,32
Чотири хлористий вуглець	1,9	1,68	1,35	1,13	0,97	0,84	0,74	0,65	0,59	0,47 2	0,38 7	0,32 3
Етилацетат	0,79	0,67	0,578	0,50 7	0,44 9	0,4	0,36	0,326	0,29 7	0,24 8	0,21	0,17 8
Етиловий спирт	-	-	3,69	2,71	2,01	1,53	1,2	0,97	0,79	0,57	0,52	0,43

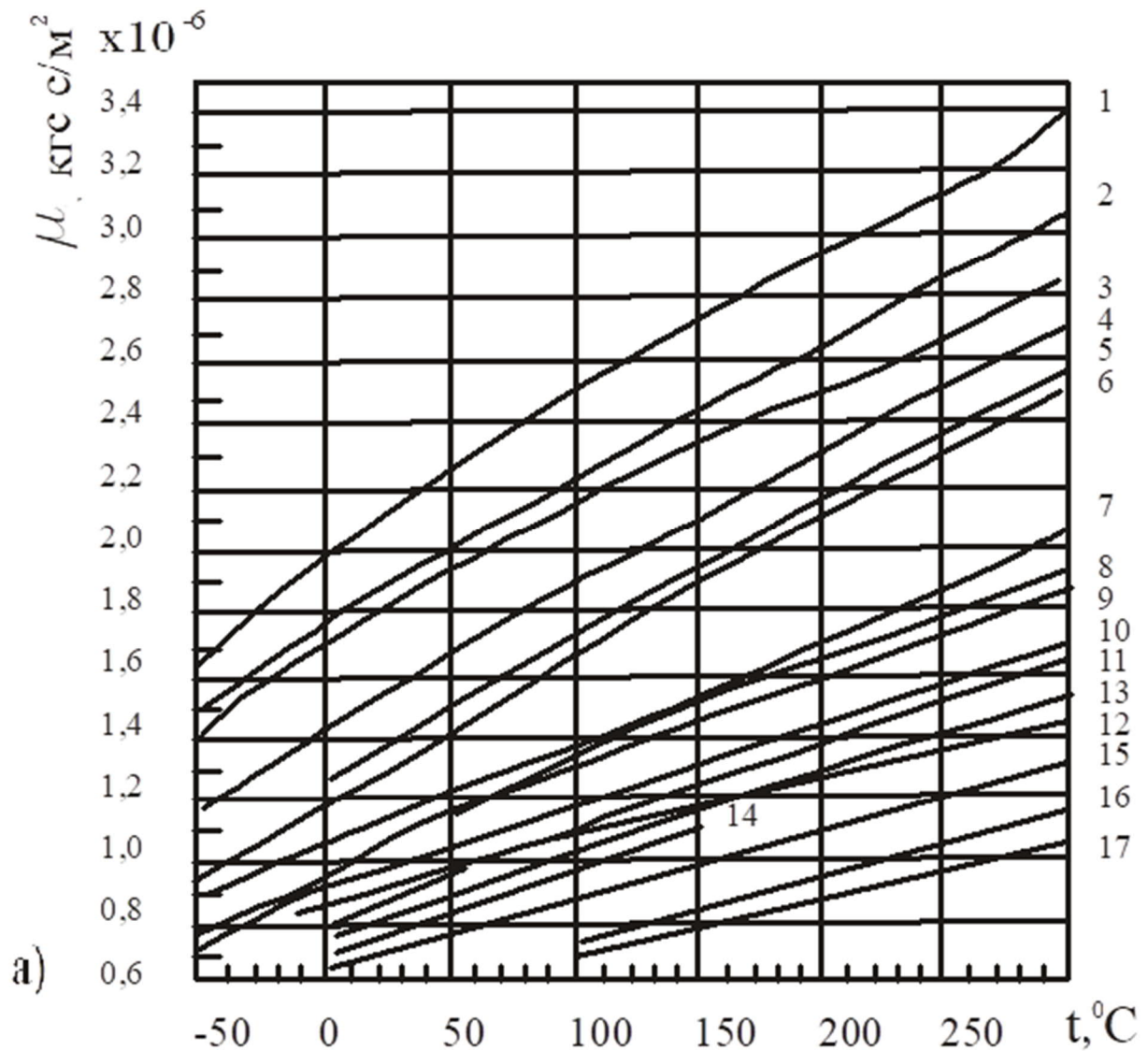


Рис. 2.12. Графіки залежності коефіцієнту динамічної в'язкості газів при нормальному тиску у діапазоні температур, $^{\circ}\text{C}$: а - $-50\dots300$; б - $300\dots600$; в - $600\dots900$; 1 – кисень; 2 – повітря; 3 – азот, оксид вуглецю ($-50\dots500$ $^{\circ}\text{C}$); 4 – диоксид вуглецю; 5 – хлор; 6 – сірчистий газ, сірководень; 7 – аміак, ацетилен ($0\dots50$ $^{\circ}\text{C}$), етилен ($-50\dots50$ $^{\circ}\text{C}$); 8 – метан, етилен ($300\dots500$ $^{\circ}\text{C}$); 9 – ацетилен ($50\dots100$ $^{\circ}\text{C}$), етилен ($50\dots300$ $^{\circ}\text{C}$); 10 – етан; 11 – пропілен; 12 – водень; 13 – пропан; 14 – н-бутан, ізобутан; 15 – н-гексан, ізопентан ($0\dots150$ $^{\circ}\text{C}$), н-пентан; 16 – н-гексан; 17 – н-оксан.

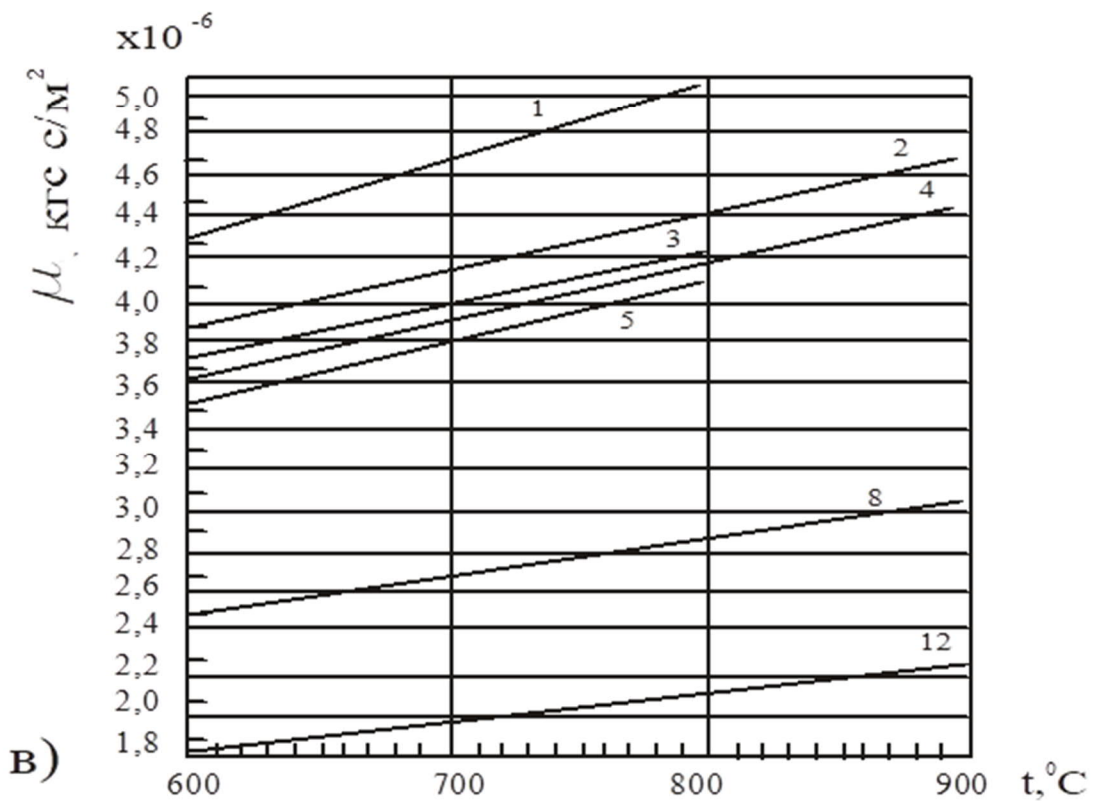
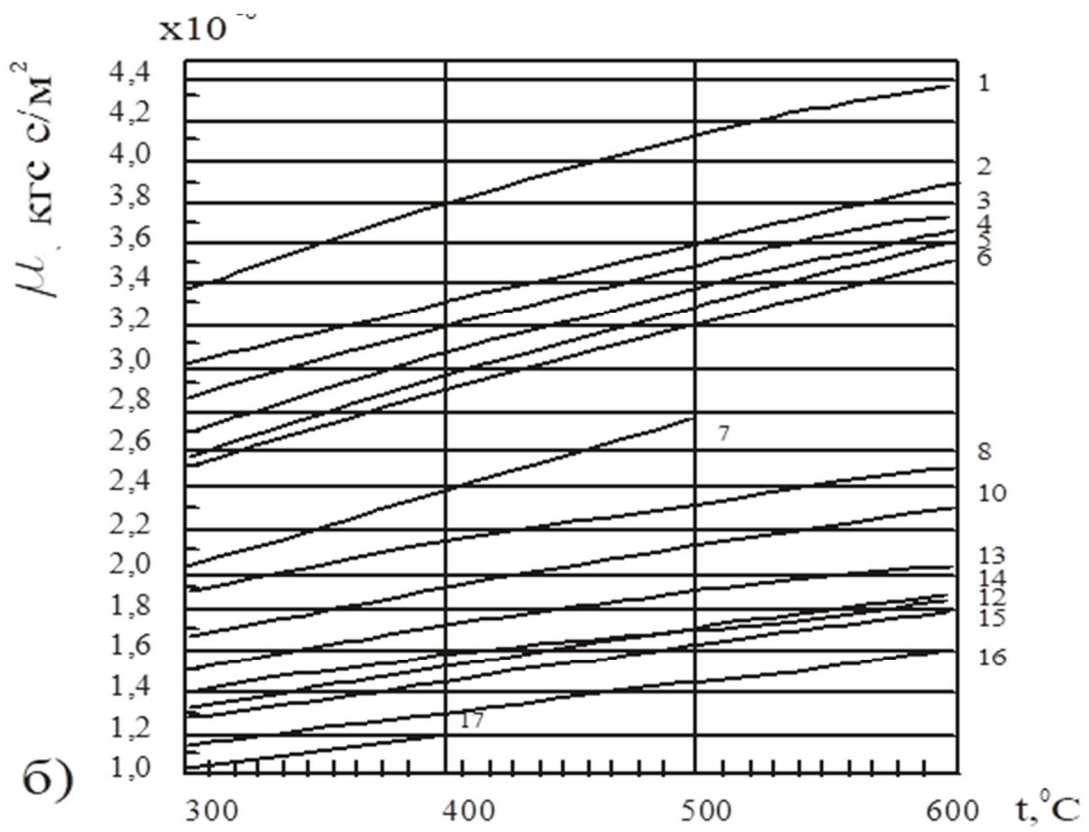


Рис. 2.12. Закінчення.

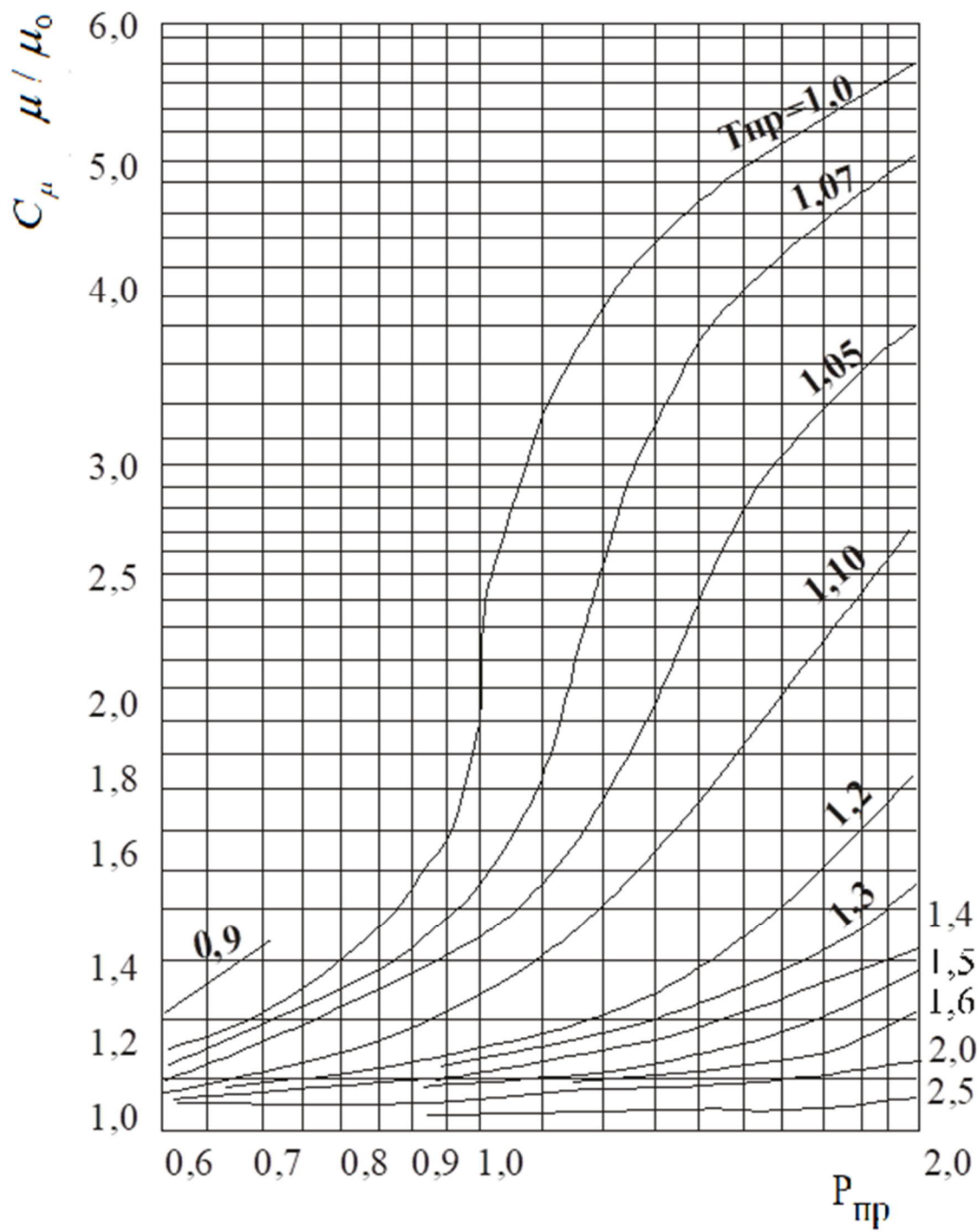


Рис. 2.13. Залежність поправочного множника C_{μ} від наведених тисків і температури.

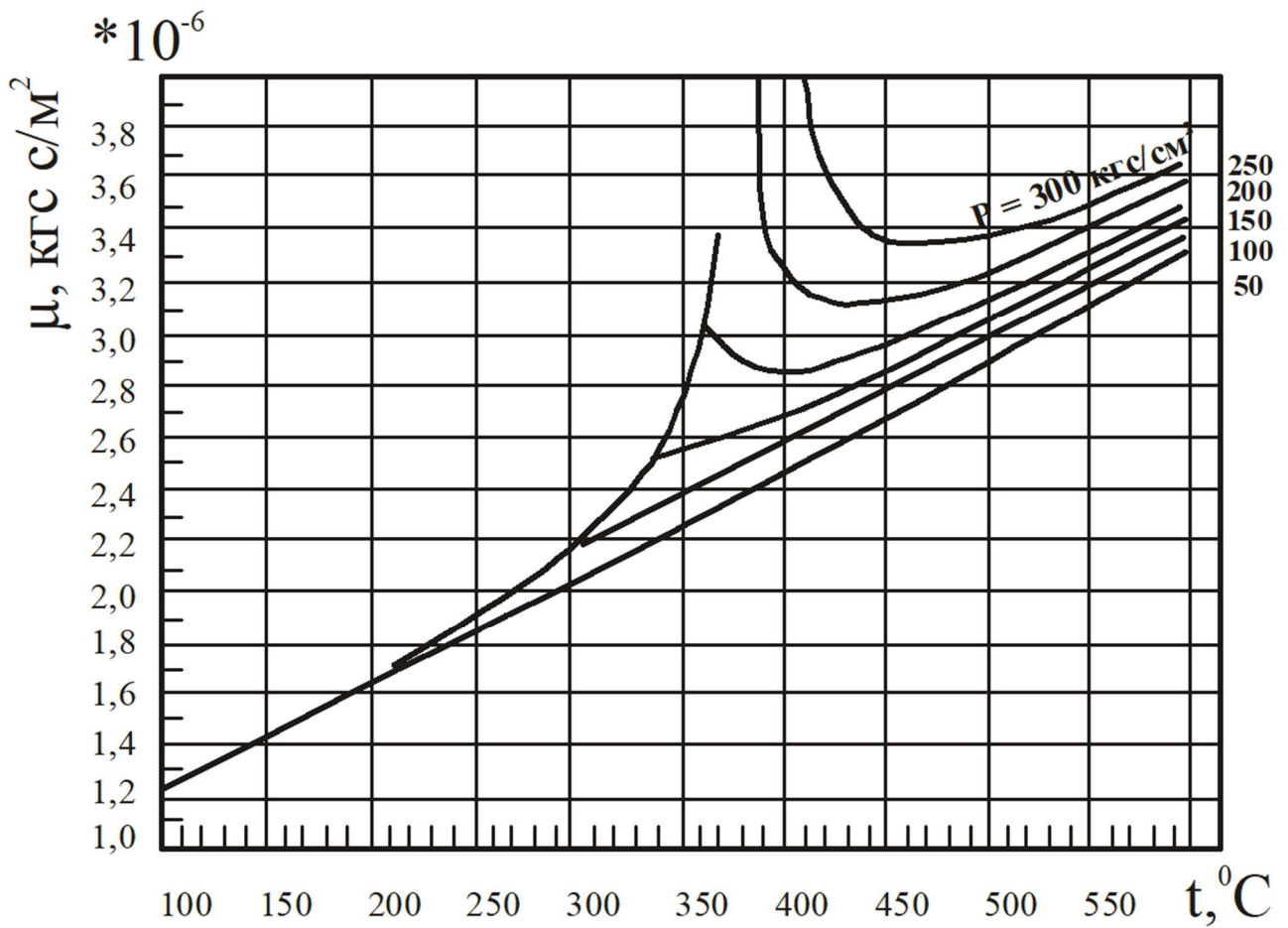


Рис. 2.14. Динамічна в'язкість водяної пари у залежності від тиску і температури.

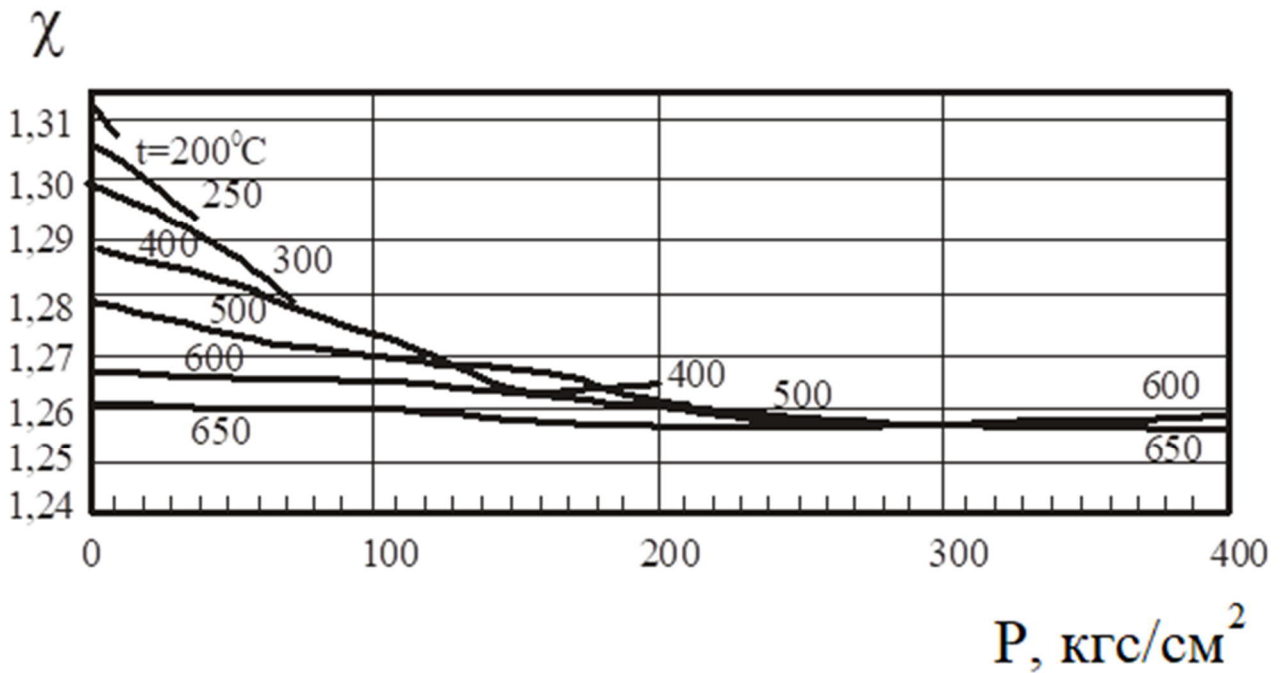


Рис. 2.15. Значення показника адіабати перегрітої водяної пари у залежності від тиску і температури.

Динамічну в'язкість суміші газів за робочих умов знаходять таким чином. Визначають динамічну в'язкість кожного компонента суміші μ_i при робочій температурі та атмосферному тиску по рис. 2.13 – 2.15, а далі динамічну в'язкість суміші μ_{CM} при робочій температурі та атмосферному тиску:

$$\mu_{CM} = \frac{\sum_{i=1}^n N_i \mu_i \sqrt{M_i}}{\sum_{i=1}^n N_i \sqrt{M_i}} = \frac{A}{B}, \quad (2.19)$$

де M_i – молекулярна маса i -го компонента, яка визначається по табл. 2.2.

Визначення значень псевдокритичного тиску $P_{ПК}$ і температури $T_{ПК}$ газової суміші виконується за рівняннями:

$$P_{ПК} = \sum_{i=1}^n N_i P_{КРi}; \quad (2.20)$$

$$T_{ПК} = \sum_{i=1}^n N_i T_{КРi}. \quad (2.21)$$

Критичні значення тиску $P_{КРi}$ та температури $T_{КРi}$ i -того компонента газу знаходять по таблиці 2.2.

Псевдокритичні параметри тиску $P_{ПК}$ і $T_{ПК}$ сумішей природних газів, що містять CO_2 та N_2 , визначають так:

$$P_{ПК} = 30,168 \left[0,05993(26,831 - \rho_{НОМ}) + (N_{CO_2} - 0,392N_{N_2}) \right]; \quad (2.22)$$

$$T_{ПК} = 88,25 \left[1,7591(0,56364 + \rho_{НОМ}) - (N_{CO_2} + 1,681N_{N_2}) \right]. \quad (2.23)$$

Псевдокритичні параметри $P_{КП}$ і $T_{КП}$ сумішей природних газів, що не містять H_2S , CO_2 та N_2 , знаходять по таблиці 2.4 в залежності від значення густини газу за нормальних умов.

Визначаються відповідно приведені тиск $P_{ПР}$ і температура $T_{ПР}$ газової суміші:

$$P_{\text{ПР}}=P/P_{\text{ПК}}; \quad (2.24)$$

$$T_{\text{ПР}}=T/T_{\text{ПК}} \quad . \quad (2.25)$$

Таблиця 2.4 – Псевдокритичні параметри $P_{\text{ПК}}$ та $T_{\text{ПК}}$ сумішей природних газів, що не містять H_2S , CO_2 і N_2 .

$\rho_{\text{НОМ}}$	$P_{\text{ПК}}$	$T_{\text{ПК}}$	$\rho_{\text{НОМ}}$	$P_{\text{ПК}}$	$T_{\text{ПК}}$	$\rho_{\text{НОМ}}$	$P_{\text{ПК}}$	$T_{\text{ПК}}$
0,600	47,41	180,64	0,700	47,23	196,16	0,800	47,09	211,68
0,605	47,40	181,41	0,705	47,22	196,99	0,805	47,04	212,46
0,610	47,39	182,19	0,710	47,21	197,71	0,810	47,03	212,23
0,615	47,38	182,96	0,715	47,20	198,49	0,815	47,02	214,01
0,620	47,37	183,74	0,720	47,19	199,26	0,820	47,01	214,79
0,625	47,36	184,52	0,725	47,18	200,04	0,825	47,00	215,56
0,630	47,35	185,29	0,730	47,17	200,82	0,830	46,99	216,34
0,635	47,34	186,07	0,735	47,16	201,59	0,835	46,98	217,12
0,640	47,33	186,85	0,740	47,15	202,37	0,840	46,97	217,89
0,645	47,32	187,62	0,745	47,14	203,14	0,845	46,96	218,67
0,650	47,32	188,40	0,750	47,14	203,92	0,850	46,96	219,44
0,655	47,31	189,17	0,755	47,13	204,70	0,855	46,95	220,22
0,660	47,30	189,95	0,760	47,12	207,47	0,860	46,94	221,00
0,665	47,29	190,73	0,765	47,11	206,25	0,865	46,93	221,77
0,670	47,28	191,50	0,770	47,10	207,03	0,870	46,92	222,55
0,675	47,27	192,28	0,775	47,09	207,80	0,875	46,91	223,32
0,680	47,26	193,06	0,780	47,08	208,58	0,880	46,90	224,10
0,685	47,25	193,83	0,785	47,07	209,35	0,885	46,89	224,88
0,690	47,24	194,61	0,790	47,06	210,13	0,890	46,88	225,65
0,695	47,24	195,38	0,795	47,05	210,19	0,895	46,87	226,43
-	-	-	-	-	-	0,900	46,86	227,21

По графіку на рис.2.13 знаходять значення c_μ в залежності від $P_{\text{ГР}}$ і $T_{\text{ГР}}$. По відомим значенням c_μ та $\mu_{\text{СМ}}$ обчислюють динамічну в'язкість газової суміші за робочих умов:

$$\mu = c_\mu \mu_{\text{СМ}}. \quad (2.26)$$

Якщо $P_{\text{ГР}} \leq 0,6$, то $c_\mu = 1$, а отже $\mu = \mu_{\text{СМ}}$.

Динамічну в'язкість водяної пари визначають по графіку, що наведений на рис. 2.14.

Показник адіабати χ для окремих газів з достатньою точністю для розрахунків знаходять по таблиці 2.2, а перегрітої водяної пари – по графіку на рис. 2.15.

Для суміші газів при тисках не більше 10 кгс/см^2 :

$$\chi = \sum_{i=1}^n N_i \chi_i, \quad (2.27)$$

де χ_i – показник адіабати i -того компонента при робочих умовах.

Внутрішній діаметр трубопроводу при робочій температурі:

$$D = K'_t D_{20}, \quad (2.28)$$

де K'_t – поправочний множник на теплове розширення матеріалу трубопроводу у діапазоні температур $-20 \dots 60 \text{ }^\circ\text{C}$ з достатньою точністю може бути прийнятим рівним одиниці, а при $t > 60 \text{ }^\circ\text{C}$ його значення для різноманітних марок сталі знаходиться у діапазоні $1,001 \dots 1,002$.

Після того як установлені основні параметри середовища, яке вимірюється, згідно стандарту, обирають верхню межу шкали дифманометру $Q_{\text{ГР}}$ з стандартного ряду чисел, що має наступні значення: $(1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,2; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0)10^n$, де n – будь яке ціле позитивне число або нуль.

При цьому необхідно, щоб стандартне значення $Q_{\text{ГР}}$ було найближчим більшим до заданої величини Q_{max} .

Число Рейнольдса для діаметру D при $Q_{\text{ПР}}$ визначають так:

- при відомій об'ємній витраті рідини та пари в робочих умовах

$$\text{Re} = 0,0361 \frac{Q\rho}{D\mu}; \quad (2.29)$$

- при відомій витраті сухого газу в нормальному стані

$$\text{Re} = 0,0361 \frac{Q_{\text{НОМ}}\rho_{\text{НОМ}}}{D\mu}; \quad (2.30)$$

- при відомій витраті сухої частини вологого газу в нормальному стані

$$\text{Re} = 0,0361 \frac{Q_{\text{НОМ}}\rho_{\text{НОМ}}\rho_{\text{ВГ}}}{D\rho_{\text{СГ}}\mu}. \quad (2.31)$$

Наступний етап – визначення допоміжної величини C :

- при вимірюванні витрати рідини і пари

$$C_1 = \frac{Q_{\text{ПР}}\sqrt{\rho}}{0,01252D^2}; \quad (2.32)$$

$$C_2 = \frac{\bar{Q}_{\text{ПР}}}{0,01252D^2\sqrt{\rho}}; \quad (2.33)$$

- при вимірюванні витрати сухого газу

$$C_1 = \frac{Q_{\text{НОМПР}}}{0,2109D^2} \sqrt{\frac{\rho_{\text{НОМ}}TK_{\text{С}}}{P}}; \quad (2.34)$$

- при вимірюванні витрати сухої частини вологого газу

$$C_2 = \frac{Q_{НОМПР} T K_C \sqrt{\rho_{ВГ}}}{3,553 D^2 (P - \phi P_{ВП\max})}. \quad (2.35)$$

Після визначення значення C можливі три варіанти розрахунку: за заданим перепадом тиску ΔP_H , за заданою втратою тиску $P_{ПД}$ ($P'_{ПД}$), значення ΔP_H і $P_{ПД}$ не задані.

Варіант 1. Розрахунок діафрагми за заданим перепадом тиску ΔP_H на звужувальному пристрої здійснюється за допомогою застосування методу послідовного наближення. Задають перше наближення модуля звужувального пристрою на рівні $m=0,5$.

Визначають відносну шорсткість трубопроводу: $K10^4/D$, де K – абсолютна шорсткість трубопроводу, що визначається по таблиці 2.5.

Перевіряється граничне значення B для заданого m діафрагм з кутовим способом відбору ΔP :

$$K10^4 / D \leq B \begin{cases} 25 - \text{для } m \leq 0,09, \\ 2375m - 1817,5\sqrt{m} + 356,5 - \text{для } 0,09 < m \leq 0,13, \\ 3,9 + 10^3 \exp(-14,2\sqrt{m}) - \text{для } m = 0,13. \end{cases} \quad (2.36)$$

Якщо $B > K10^4/D$, то поправочні множники на притуплення вихідної кромки $K_{П}$ і шорсткість трубопроводу $K_{Ш}$ в рівняння коефіцієнту витрати α_y не вводять, тобто $K_{П} = K_{Ш} = 1$.

Якщо $B < K10^4/D$, то в рівняння коефіцієнту витрати вводять поправочні коефіцієнти $K_{П}$ і $K_{Ш}$. При цьому значення цих коефіцієнтів визначають за наступними рівняннями:

$$K_{Ш} = am + b, \quad (2.37)$$

де $a = (c - 0,3)(-1,066c^2 + 0,36c - 0,13)$ при $c \leq 0,3$;

$a = 0$ при $c > 0,3$;

$$b = 1 + (c - 0,3)(-0,08c^2 + 0,024c - 0,0046) \text{ при } c \leq 0,3;$$

$$b = 1 \text{ при } c > 0,3;$$

$$C = D/10^3.$$

Таблиця 2.5 – Значення абсолютної шорсткості для різних умов експлуатації трубопроводу

Вид труб і матеріалу	Стан поверхні труб та умови експлуатації	Абсолютна шорсткість, мм
1	2	3
Алюмінієві труби	Ті, що знаходяться в експлуатації без відкладень на внутрішній поверхні	0,03
Цільнотягнуті сталеві труби	Нові, що не були в експлуатації	0,02...0,1
	Очищені після багатьох років експлуатації	до 0,04
	Паропроводи перегрітого пару при наявності деаерації та хімічної очистки	0,1
	Паропроводи, що працюють періодично, і конденсатопроводи з відкритою системою конденсату	0,5
	Водяні теплопроводи при відсутності деаерації та хімічної очистки і конденсатопроводи, що працюють періодично	1,0
	Трубопроводи водяних систем опалювання	0,2
	Водяні та теплопроводи при наявності деаерації та хімічної очистки	0,15
	Газопроводи після одного – кількох років експлуатації	0,12...0,22
	Повітряпроводи стиснутого повітря	0,8
	Водопровідні труби, що знаходяться в експлуатації	1,2...1,5

1	2	3
Цільнозварені сталеві труби	Нові чи старі в гарному стані	0,04...0,1
	Труби з гальванічним покриттям	0,13
	Магістральні газопроводи після багатьох років експлуатації	0,5
	Труби, що були в експлуатації, бітум частково розчинений, кородовані	0,1
	Нові труби бітумізовані	0,05
	Труби зі слабкими відкладеннями	1,5
Чавунні труби	Нові труби	0,25...1,0
	Труби, що були в експлуатації, кородовані	1,1...1,5
	Нові бітумізовані	0,1...0,15
Оцинковані сталеві труби	Нові труби з чистим оцинкуванням	0,07...0,1
	Труби зі звичайним оцинкуванням	0,1...0,15

$$K_{\Pi} = a + b \exp[-n(m-0,05)], \quad (2.38)$$

$$\text{де } a = 1 + 0,011 \exp[-55,2(c-0,05)^{1,3}];$$

$$b = 0,002 + 0,2558 c - 1,68c^2 + 2,867c^3;$$

$$n = 4,25 + 142,94(c-0,05)^{1,92}.$$

Якщо вихідна кромка діафрагми гостра, то $K_{\Pi} = 1$.

У залежності від m обирають значення Re_{\min} , виходячи з умови:

для $0,05 \leq m \leq 0,2$

$$Re_{\min} = 5 \cdot 10^3;$$

для $0,2 < m \leq 0,59$ $Re_{\min} = 10^4$;

для $0,59 < m \leq 0,64$ $Re_{\min} = 2 \cdot 10^4$.

При цьому в діапазоні чисел $Re_{\min} \leq Re \leq 10^8$ коефіцієнт витрати діафрагми α_y з кутовим способом відбору проб визначається так:

$$\alpha_y = \frac{1}{\sqrt{1-m^2}} \left[0,5959 + 0,0312 m^{1,05} - 0,184 m^4 + 0,0029 m^{1,25} \left(\frac{10^6}{Re} \right)^{0,75} \right] * \quad (2.39)$$

* $K_{II} K_{III}$

Необхідність введення поправочних коефіцієнтів K_{II} і K_{III} для діафрагм з фланцевим способом відбору ΔP та заданого m перевіряється за умовою:

$$K \cdot 10^4 / D \leq B \begin{cases} 25 & \text{для } m \leq 0,09 \\ 2375m - 1817,5\sqrt{m} + 356,5 & \text{для } 0,09 < m \leq 0,13 \\ 10 & \text{для } m > 0,13 \end{cases} \quad (2.40)$$

Мінімальне значення числа Рейнольдса

$$Re_{\min} = 1260mD. \quad (2.41)$$

У діапазоні чисел $Re_{\min} \leq Re \leq 10^8$ коефіцієнт витрати діафрагм з фланцевим типом відбору ΔP визначається так:

$$\alpha_\phi = \frac{1}{\sqrt{1-m^2}} \left[0,5959 + 0,0312 m^{1,05} - 0,184 m^4 + 0,0029 m^{1,25} * \right. \\ \left. * \left(\frac{10^6}{Re} \right) + 0,09 l_1 m^2 |1-m^2|^{-1} - 0,03371 l_2 m^{1,5} \right] K_{II} K_{III}, \quad (2.42)$$

$$\text{де } l_1 = \begin{cases} 0,4333 & \text{при } D \leq 58,62 \text{ мм;} \\ 25,4 / D & \text{при } D > 58,62 \text{ мм;} \end{cases} \quad (2.43)$$

$$l_2 = 25,4 / D \quad (2.44)$$

Для діафрагм з кутовим та фланцевим відбором ΔP коефіцієнт розширення газу:

$$\varepsilon_D = 1 - (0,41 + 0,35m^2) \frac{\Delta P_H}{P\chi}, \quad (2.45)$$

де ΔP_H и P – в кгс/см².

Далі визначається допоміжна величина:

$$F = m\alpha\varepsilon_D \sqrt{\Delta P_H}. \quad (2.46)$$

Відносне відхилення δ_C допоміжних величин C і F встановлюється за рівнянням:

$$\delta_C = \left(\frac{F}{C} - 1 \right) 100. \quad (2.47)$$

Якщо $\delta_C > 0,2$, то приймають мінімальне значення для $m=0,05$, та повторюють цикл розрахунку по (2.36 – 2.47).

Для прискорення розрахунків має сенс застосовувати метод хорд, згідно якому наступне наближення, починаючи з третього, для m знаходять так:

$$m_{n+1} = m_{n-1} - \frac{(m_n - m_{n-1})}{(F_n - F_{n-1})} (F_{n-1} - C). \quad (2.48)$$

Розрахунок продовжують до виконання умови: $\delta_C < 0,2$.

Визначають число Рейнольдса при Q_{\min} по (2.28 – 2.30) в залежності від виду середовища, що вимірюється, та перевіряють умову $Re > Re_{\min}$. Якщо ця умова виконується, то розрахунок продовжують. В іншому випадку треба ще раз переглянути вихідні дані D і m .

По знайденому значенню m визначають діаметр отвору діафрагми:

$$d_{20} = \frac{D}{K_t} \sqrt{m}, \quad (2.49)$$

де K_t – поправний множник на теплове розширення матеріалу звужувального пристрою, що встановлюється аналогічно K'_t .

Втрата тиску P_{Π} для діафрагми з кутовим та фланцевим відборами перепаду тиску:

$$P_{\Pi} = \frac{1 - \alpha m}{1 + \alpha m} \Delta P_H \cdot 10^{-4}. \quad (2.50)$$

Правильність (похибку) розрахунку перевіряють визначенням значення витрати Q' для отриманих значень значеннях m , d_{20} , α_y , ΔP_H , ε . При цьому витрату, яка вимірюється сільфонними та мембранними (тензометричними) дифманометрами, визначають так:

- для сухих газів

$$Q'_{НОМ} = 0,2109 \alpha_y \varepsilon_D K_t^2 d_{20}^2 \sqrt{\frac{\Delta P_H P}{\rho_{НОМ} T K_C}}; \quad (2.51)$$

- для сухої частини вологих газів

$$Q'_{НОМ} = 3,553 \alpha_y \varepsilon_D K_t^2 d_{20}^2 \frac{P - \phi P_{ВЛ\max}}{T K_C} \sqrt{\frac{\Delta P_H}{\rho_{вг}}}; \quad (2.52)$$

- для рідини та пари

$$Q' = 0,01252 \alpha_y K_t^2 d_{20}^2 \sqrt{\frac{\Delta P_H}{\rho}}. \quad (2.53)$$

Витрата, що вимірюється поплавковими дифманометрами:

- для сухих газів

$$Q'_{НОМ} = 0,2109 \alpha_v \varepsilon_D K_t^2 d_{20}^2 \sqrt{\frac{\Delta P_H P (\rho'_v - \rho)}{\rho_{НОМ} \rho_v T K_C}}; \quad (2.54)$$

- для сухої частини вологих газів

$$Q'_{НОМ} = 3,553 \alpha_v \varepsilon_D K_t^2 d_{20}^2 \frac{P - \phi P_{ВП\max}}{T K_C} \sqrt{\frac{\Delta P_H (\rho'_v - \rho')}{\rho_{вг} \rho_v}}; \quad (2.55)$$

- для рідини та пари

$$Q' = 0,01252 \alpha_v \varepsilon_D K_t^2 d_{20}^2 \sqrt{\frac{\Delta P_H (\rho'_v - \rho')}{\rho \rho_v}}. \quad (2.56)$$

Відносне відхилення максимальної витрати при вимірюванні:

$$\delta_{розр} = \left(\frac{Q'_{ПР}}{Q_{ПР}} - 1 \right) 100. \quad (2.57)$$

Якщо $\delta_{розр} < 0,2$, то розрахунок слід вважати закінченим. В іншому випадку необхідно змінити m або D , щоб виконувалась нерівність для $\delta_{розр}$. По розд. 4 навчального посібника «Промислові засоби автоматизації» ч.1 остаточно обирають звужувальний пристрій.

Варіант 2. Розрахунок діафрагми по заданій припустимій втраті тиску $P_{ПД}$ на звужувальному пристрої при витраті $Q_{НОМ ПР}$ виконується за допомогою номограми, що наведена на рис. 2.16.

За визначеним по (2.32 – 2.35) значенням C , яке округлене до трьох значущих цифр, та заданої величини $P_{\text{ПД}}$ по номограмі знаходять значення ΔP_H і наближене значення m . Якщо задана припустима втрата тиску $P'_{\text{ПД}}$ при Q_{max} , то

$$P_{\text{ПД}} = P'_{\text{ПД}} \left(\frac{Q_{\text{np}}}{Q_{\text{max}}} \right)^2. \quad (2.58)$$

Якщо знайдена точка розташована між двома кривими ΔP_H , то приймають найближче менше значення ΔP_H , а по ньому при тому ж значенні C знаходять m .

Значення ΔP_H (безперервні лінії номограми) використовують при розрахунку звужувального пристрою в комплекті з мембранними (тензометричними) та сильфонними дифманометрами. При використанні поплавкових дифманометрів обирають такі значення ΔP_H (пунктирні лінії), при котрих густина потоку речовини ρ' , що вимірюється, при робочому тиску P і $t=20$ °С дорівнює 1000 кг/м^3 , значення ΔP_H (штрих-пунктирна лінія) при $\rho'=2000 \text{ кг/м}^3$ та значення ΔP_H (безперервні лінії), при яких ρ' зневажаючи мале. Для проміжних значень ρ' виконують лінійну інтерполяцію.

Визначають число Рейнольдса для діаметру D при Q_{np} і Q_{min} по (2.28 – 2.30), а потім – допоміжну величину (ma) з чотирма значущими цифрами:

$$(ma) = C / \varepsilon_D \sqrt{P_H}, \quad (2.59)$$

де $\varepsilon_D=1$ для рідин, а для газів і пари розраховують за (2.45).

По формулах (2.36 – 2.44) визначають Re_{min} і α , перевіряють умову $Re > Re_{\text{min}}$ та при його виконанні продовжують розрахунок по (2.49 – 2.57) аналогічно варіанту 1.

Варіант 3. Перепад тиску ΔP_H і втрата тиску $P_{\text{ПД}}$ не задані, тобто коли втрата тиску в звужувальному пристрої не має суттєвого значення.

У такому випадку по визначеному з (2.32 – 2.35) значенню C , що округлене до трьох значущих цифр, та $m=0,2$ по номограмі (рис. 2.16)

знаходять ΔP_H . Якщо при цьому точка на лінії $m = 0,2$, яка відповідна визначеному C , розташовується між двома кривими ΔP_H , то приймається найближче значення ΔP_H і визначається відповідне йому значення m при тій самій ж величині C , а також фактична втрата тиску P_{II} на звужувальному пристрої. Після цього розрахунок продовжують аналогічно варіанту 2.

2.3 Приклади розрахунків стандартних діафрагм

У наведених прикладах застосовані різні варіанти завдання вихідних даних, які виконані у відповідності з вищенаведеними алгоритмами.

2.3.1 Розрахунок діафрагми для вимірювання витрати води

Розрахунок виконано у відповідності з варіантом 3 за таких вихідних даних:

- звужувальний пристрій – діафрагма зі сталі марки 2Х17 з кутовим способом відбору перепаду тисків;
- максимальна витрата, що вимірюється $\bar{Q}_{\max} = 3200 \text{ м} / \text{год}$;
- мінімальна витрата, що вимірюється $\bar{Q}_{\min} = 2500 \text{ м} / \text{год}$;
- температура води перед звужувальним пристроєм $t = 70 \text{ }^\circ\text{C}$;
- надмірний тиск води біля звужувального пристрою $P_H = 3 \text{ кгс} / \text{см}^2$;
- барометричний тиск навколишнього середовища $P_B = 1 \text{ кгс} / \text{см}^2$;
- внутрішній діаметр сталюго (сталь 20) трубопроводу при температурі $20 \text{ }^\circ\text{C}$ $D_{20} = 705,89 \text{ мм}$;
- абсолютна шорсткість трубопроводу $K = 0,2 \text{ мм}$;
- густина води $\rho = 978 \text{ кг} / \text{м}^3$;
- динамічна в'язкість $\mu = 41,4 \cdot 10^{-6} \text{ кгс} \cdot \text{с} / \text{м}^2$;

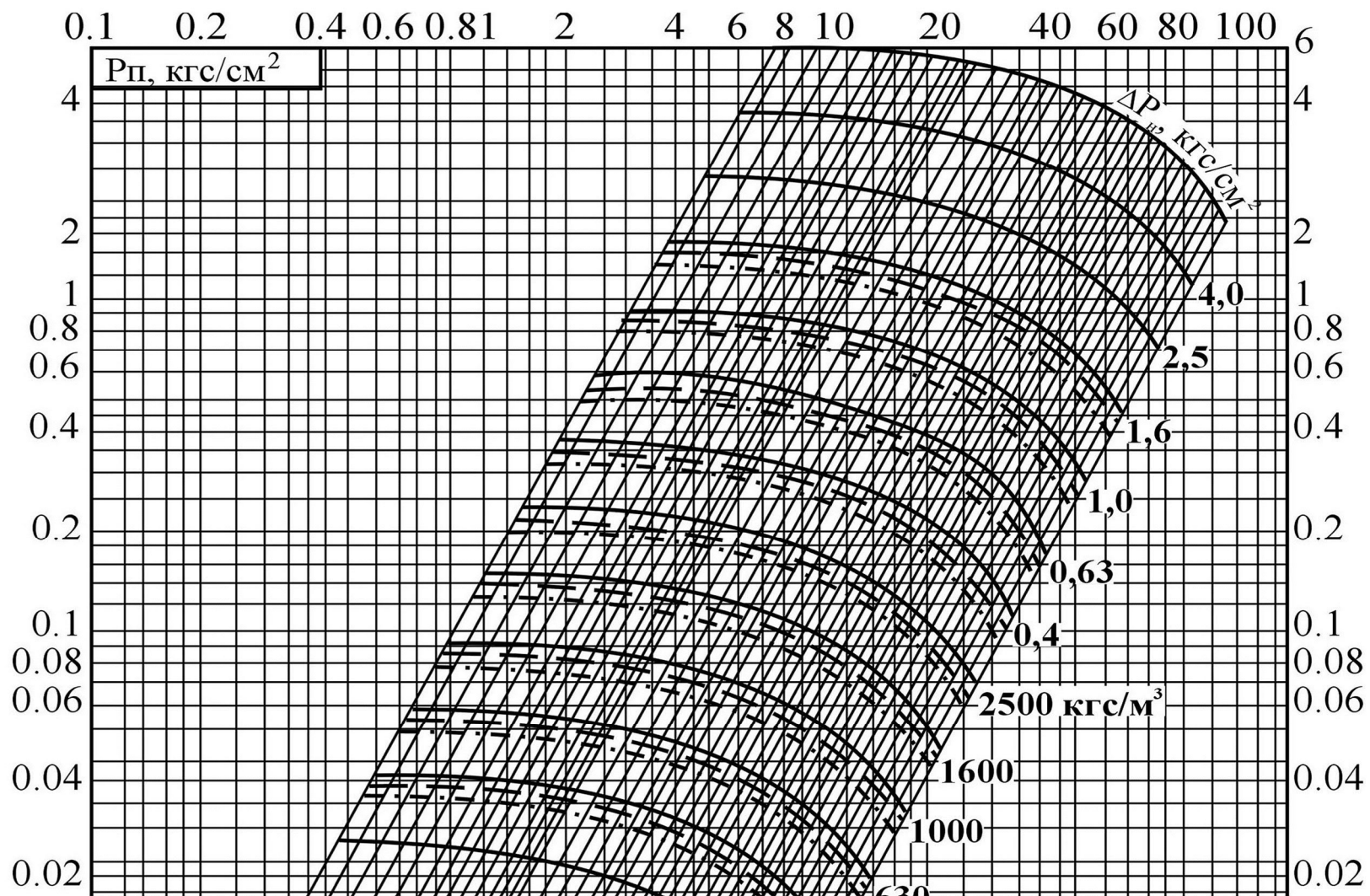


Рис.2.16. Номограма для розрахунку звужувальних пристроїв

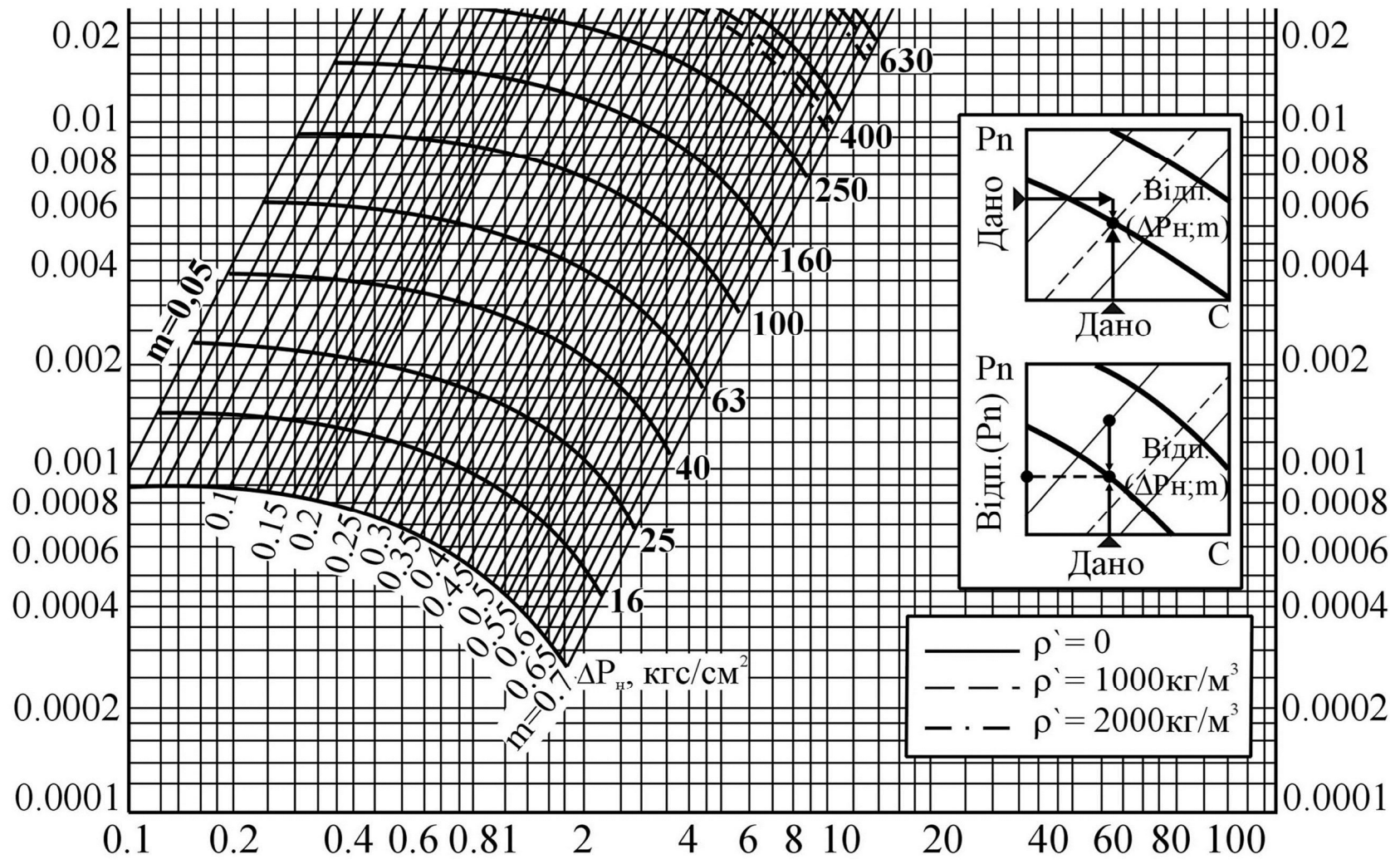


Рис.2.16.Закінчення

- поправочний множник на теплове розширення трубопроводу $K_t'=1,0006$;
- поправочний множник на теплове розширення звужувального пристрою $K_t=1,0008$.

В якості вторинного вимірювального пристрою обирають сильфонний самопишучий дифманометр типу ДСС-711 класу точності по витраті 1,0 з електричним приводом діаграмного диску.

Абсолютну температуру води перед звужувальним пристроєм розраховують за (2.1):

$$T=273,15+70=343,15 \text{ К.}$$

Абсолютний тиск води перед звужувальним пристроєм – за (2.2):

$$P=3+1=4 \text{ кгс/см}^2.$$

Внутрішній діаметр трубопроводу перед діафрагмою при температурі t – за (2.28):

$$D=705,89 \cdot 1,0006=706,3135 \text{ мм.}$$

Число Рейнольдса відповідно при Q_{np} – за (2.29):

$$Re_{max} = 0,0361 \frac{3200000 \cdot 978}{706,3135 \cdot 41,4 \cdot 10^{-6}} = 3950565;$$

Число Рейнольдса відповідно при Q_{min} – за (2.29):

$$Re = 0,0361 \frac{2500000}{706,3135 \cdot 41,4 \cdot 10^{-6}} = 3086379.$$

Допоміжну величину C_2 за:

$$C_2 = \frac{3200000}{0,01252 \cdot 706,3135^2 \sqrt{978}} = 16,38254.$$

По визначеному значенню C_2 з рис.2.16 знаходять приблизні значення $m=0,3944$, $\Delta P_H=4000$ кгс/м² і $P_{II}=0,23$ кгс/см².

Допоміжну величину $(m\alpha)$ визначають за (2.59):

$$(m\alpha) = 16,38254 / \sqrt{4000} = 0,2590307.$$

Відносна шорсткість:

$$\frac{K}{D} 10^4 = \frac{0,2 \cdot 10^4}{706,3135} = 2,8316.$$

Верхню границю відносної шорсткості обчислюють при $m > 0,13$ по (2.36):

$$B = 3,9 + 10^3 \exp(-14,2 \sqrt{0,3944}) = 4,03398.$$

$B > K \cdot 10^4 / D = 2,8316$, то коефіцієнти $K_{II} = K_{III} = 1$.

Значення m знаходиться у діапазоні $0,2 \dots 0,59$, тому $Re_{\min} = 10^4$.

В діапазоні чисел Рейнольдса $10^4 \leq Re < 10^8$ коефіцієнти витрати визначають по (2.39):

$$\alpha_y = \frac{1}{\sqrt{1-0,3944}} \left[0,5959 + 0,0312 \cdot 0,3944^{1,05} - 0,184 \cdot 0,3944^4 + \right. \\ \left. + 0,0029 \cdot 0,3944^{1,25} \left(\frac{10^6}{3950565} \right)^{0,75} \right] = 0,65675.$$

Порівняймо Re_{\max} з Re_{\min} . У нашому випадку $Re_{\max} > Re_{\min}$, то продовжимо розрахунок, визначивши при цьому діаметр отвору діафрагми по (2.49):

$$d_{20} = \frac{706,3135}{1,0008} \sqrt{0,3944} = 443,22 \text{ мм.}$$

При знайдених значеннях m , α_y , d_{20} і ΔP_H перевіримо правильність розрахунку обчисленням витрати по (2.53):

$$\bar{Q}' = 0,01252 \cdot 0,65675 \cdot 433,22^2 \cdot 1,0008^2 \sqrt{4000 \cdot 978} \\ = 3199928,4 \text{ кг / год.}$$

Відносне відхилення витрати при його вимірюванні визначається по (2.57):

$$\delta_{\text{розр}} = \left(\frac{3199928,4}{3200000} - 1 \right) 100 = 0,002 \text{ \%}.$$

$\Delta < 0,2$, отже розрахунок завершено. По розділу 4.3 навчального посібника «Промислові засоби автоматизації» ч.1. обирають діафрагму ДБ0,6-705-Г (ГОСТ 14322-77).

2.3.2 Розрахунок діафрагми для вимірювання витрати природного

газу

Розрахунок виконано у відповідності з варіантом 1 за таких вихідних даних:

- звужувальний пристрій – діафрагма зі сталі марки 2Х18Н10Т з кутовим способом відбору перепаду тисків;
- температура газу перед звужувальним пристроєм, $t=20\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- надмірний тиск газу перед звужувальним пристроєм, $P_{\text{И}}=9\text{ кгс/см}^2$;
- діаметр сталевого трубопроводу перед звужувальним пристроєм при температурі $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $D_{20}=513,8\text{ мм}$;
- барометричний тиск навколишнього середовища, $P_{\text{Б}}=1,027\text{ кгс/см}^2$;
- перепад тиску середовища при течії крізь звужувальний пристрій, $\Delta P_{\text{Н}}=1600\text{ кгс/см}^2$;
- найменша об'ємна витрата газу, що вимірюється, і наведена до нормальних умов, $Q_{\text{НОМmin}}=50000\text{ нм}^3/\text{год.}$;
- максимальна об'ємна витрата газу, що вимірюється, і наведена до нормальних умов, $Q_{\text{НОМmax}}=90000\text{ нм}^3/\text{год.}$;
- компонентний склад природного газу N_i , об'ємних долей:

$N_1=0,9336$ – метан;

$N_2=0,0165$ – етан;

$N_3=0,0113$ – пропан;

$N_4=0,004$ – н-бутан;

$N_5=0,0023$ – н-пентан;

$N_6=0,0019$ – і-бутан;

$N_7=0,0015$ – і-пентан;

$N_8=0,0273$ – азот;

$N_9=0,0014$ - вуглекислий газ;

$N_{10}=0,0002$ – кисень;

- відносна вологість газу $\varphi=0$;

- абсолютна шорсткість трубопроводу $K=0,1$ мм;
- поправочний множник на теплове розширення матеріалу діафрагми і трубопроводу $K_t=K_{t'}=1$.

Розрахунок проводиться в такій послідовності.

По розд. 2.2. ч.1 навчального посібника «Промислові засоби автоматизації» обирають вторинний вимірювальний прилад типу ДСС-711-2С класу точності по витраті 1,0 з електричним приводом діаграмного диску та пристроєм для додаткового запису надмірного тиску класу точності 1,0 і межею вимірювань 16 кгс/см^2 . Межевий перепад тиску дифманометру $\Delta P_H=1600 \text{ кгс/см}^2$, а верхня межа шкали $Q_{\text{НОМПР}}=100000 \text{ м}^3/\text{год}$. Для запису температури газу обирають самопишучий манометричний термометр типу ТЖС-712 класу точності 0,5 з межею вимірювань $-50\dots 50 \text{ }^\circ\text{C}$ і електричним приводом діаграмного диску.

Абсолютну температуру газу перед звужувальним пристроєм знаходять за (2.1):

$$T=273,15+20=293,15 \text{ К.}$$

Абсолютний тиск газу перед звужувальним пристроєм – за (2.2)

$$P=9+1,027=10,027 \text{ кгс/см}^2.$$

Внутрішній діаметр трубопроводу перед звужувальним пристроєм при температурі t – за (2.28):

$$D=513,8 \cdot 1=513,8 \text{ мм.}$$

Показник адіабати суміші газів визначають за (2.27):

$$\begin{aligned} \chi &= 0,9336 \cdot 1,31 + 0,0165 \cdot 1,19 + 0,0113 \cdot 1,148 + 0,004 \cdot 1,096 + 0,0023 \cdot 1,076 + \\ &+ 0,0019 \cdot 1,096 + 0,0015 \cdot 1,076 + 0,0273 \cdot 1,4 + 0,0014 \cdot 1,3 + 0,0002 \cdot 1,398 = 1,3064982 \end{aligned}$$

Густина сухого природного газу при нормальних умовах розраховують за (2.4):

$$\rho_{\text{НОМ}}=0,9336 \cdot 0,6681 + 0,0165 \cdot 1,26 + 0,0113 \cdot 1,8659 + 0,004 \cdot 2,4947 +$$

$$+0,0023 \cdot 3,1633 + 0,0019 \cdot 2,4911 + 0,0015 \cdot 3,1633 + 0,0273 \cdot 1,1889 + \\ + 0,0014 \cdot 1,8346 + 0,0002 \cdot 1,3311 = 0,7276369 \text{ кг/м}^3.$$

Динамічну в'язкість кожного компонента при робочій температурі та атмосферному тиску визначають за (2.19):

$$A = 0,9336 \cdot 1,12 \cdot 10^{-6} \sqrt{16,042} + 0,0165 \cdot 0,94 \cdot 10^{-6} \sqrt{30,068} + \\ + 0,0113 \cdot 0,82 \cdot 10^{-6} \sqrt{44,094} + 0,004 \cdot 0,75 \cdot 10^{-6} \sqrt{58,12} + \\ + 0,0023 \cdot 0,69 \cdot 10^{-6} \sqrt{72,15} + 0,0019 \cdot 0,75 \cdot 10^{-6} \sqrt{58,12} + \\ + 0,0015 \cdot 0,69 \cdot 10^{-6} \sqrt{72,15} + 0,0273 \cdot 1,78 \cdot 10^{-6} \sqrt{28,016} + \\ + 0,0014 \cdot 1,5 \cdot 10^{-6} \sqrt{44,011} + 0,0002 \cdot 2,08 \cdot 10^{-6} \sqrt{32} = \\ = 4,6640905 \cdot 10^{-6};$$

$$B = 0,9336 \cdot \sqrt{16,042} + 0,0165 \cdot \sqrt{30,068} + 0,0113 \cdot \sqrt{44,094} + \\ + 0,004 \cdot \sqrt{58,12} + 0,0023 \cdot \sqrt{72,15} + 0,0019 \cdot \sqrt{58,12} + 0,0015 \cdot \\ * \sqrt{72,15} + 0,0273 \cdot \sqrt{28,016} + 0,0014 \cdot \sqrt{44,011} + 0,0002 \cdot \sqrt{32} = \\ 4,1369856 ;$$

$$\mu_{CM} = \frac{4,6640905 \cdot 10^{-6}}{4,1369856} = 1,1274127 \cdot 10^{-6} \text{ кгс} \cdot \text{с} / \text{м}^2.$$

Псевдо критичні параметри $P_{ПК}$ і $T_{ПК}$ природного газу, що містить CO_2 і N_2 , знаходять з (2.22), (2.23):

$$P_{ПК} = 30,168 [0,05993(26,831 - 0,7276369) + \\ + (0,0014 - 0,392 \cdot 0,0273)] = 46,913442 \text{ кгс} / \text{см}^2;$$

$$T_{ПК} = 88,25 [1,7591(0,56364 - 0,7276369) - \\ - (0,0014 + 1,681 \cdot 0,0273)] = 196,2851 \text{ К}.$$

Наведені тиск і температуру визначають по (2.24), (2.25):

$$P_{ПР} = 10,027 / 46,913442 = 0,2137341 ;$$

$$T_{ПР} = 293,15 / 196,2851 = 1,4934908 .$$

$P_{\text{ИП}}=0,2137341 \leq 0,6$, то $C_{\mu}=1$, динамічна в'язкість $\mu=C_{\mu} \mu_{\text{СМ}}=1,127412 \cdot 10^{-6}$ кгс·с/м².

Коефіцієнт наведення надмірного тиску для газу, що містить CO₂ і N₂, знаходять за (2.13):

$$K_P = \frac{156,47}{5,993(26,831 - 0,7276369) + (0,14 - 0,392 \cdot 2,73)} = 1,0061907 .$$

Коефіцієнт наведення надмірної температури для газу, що містить CO₂ і N₂, знаходять за (2.14):

$$K_T = \frac{226,29}{175,91(0,56364 + 0,7276369) - (0,14 + 1,681 \cdot 2,73)} = 1,0174023 .$$

Псевдонаведені надмірний тиск $P_{\text{ИП}}$ і температуру $t_{\text{П}}$ визначають відповідно за (2.9) і (2.10):

$$P_{\text{ИП}} = 9 \cdot 1,0061907 = 9,0557163 \text{ кгс} / \text{см}^2;$$

$$t_{\text{П}} = 1,0174023 (20 + 273,15) - 273,15 = 25,10148 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Коефіцієнт стисливості $K_{\text{СМ}}$ природного газу знаходять з таблиці, що наведена ц додатку Г, в залежності від $P_{\text{ИП}}$, $t_{\text{П}}$, $\rho_{\text{НОМ}}$ та вмісту CO₂ і N₂. При цьому $K_{\text{СМ}}=0,9817$.

Густина газу в робочих умовах при відомій густині в нормальних умовах обчислюють за (2.6):

$$\rho_{\text{ВГ}} = 283,73 \frac{10,027}{293,15 \cdot 0,9817} 0,7276369 = 7,1932023 \text{ кг} / \text{м}^3.$$

Додаткову величину С при вимірюванні витрати сухої частини вологого газу обчислюють за (2.35):

$$C_2 = \frac{100000 \cdot 291,15 \cdot 0,9817 \cdot 7,1932023}{3,553 \cdot 513,8^2 \cdot 10,027} = 8,2068 .$$

Число Рейнольдса для $Q_{\text{НОМПР}}$ визначають за (2.30):

$$\text{Re}_{\text{max}} = \frac{0,0361 \cdot 100000 \cdot 0,7276369}{513,8 \cdot 1,127413 \cdot 10^{-6}} = 4534660,4 .$$

Задають перше наближення відносної площини $m_1=0,5$ (приймають звичайно середину).

Відносна шорсткість трубопроводу:

$$\frac{K}{D} 10^4 = \frac{0,1}{513,8} 10^4 = 1,94628 .$$

Для $m > 0,13$ границю відносної шорсткості трубопроводу обчислюють за (2.36):

$$B = 3,9 + 10^3 \exp(-14,2\sqrt{0,5}) = 3,9435799 .$$

Границя B більше відносної шорсткості, тому поправочні множники на притуплення вхідної кромки $K_{\text{П}}=1$ і на шорсткість трубопроводу $K_{\text{Ш}}=1$.

Значення m знаходиться в діапазоні $0,2 \dots 0,59$, тому $\text{Re}_{\text{min}}=10^4$.

В діапазоні $10^4 \leq \text{Re} < 10^8$ коефіцієнт витрати діафрагми визначають за (2.39):

$$\alpha_{y_1} = \frac{1}{\sqrt{1-0,5^2}} \left[0,5959 + 0,0312 \cdot 0,5^{1,05} - 1,184 \cdot 0,5^4 + \right.$$

$$+0,0029 \cdot 0,5^{1,25} \left(\frac{10^6}{4534660,4} \right)^{0,75} \Big] = 0,69265968 .$$

Коефіцієнт розширення газу, що враховує зміну густини при проходженні через діафрагму, знаходять по (2.45):

$$\varepsilon_{\text{д1}} = 1 - (0,41 + 0,35 \cdot 0,5^2) \frac{0,16}{10,027 \cdot 1,3064982} = 0,9939238 .$$

Допоміжну величину F_1 обчислюють за (2.46):

$$F_1 = 0,5 \cdot 0,69265968 \cdot 0,9939238 \sqrt{1600} = 13,769017 .$$

Відносне відхилення допоміжних величин знаходять по (2.47):

$$\delta_{C_1} = \left(\frac{F_1}{C} - 1 \right) \cdot 100 = \left(\frac{13,769017}{8,2068} - 1 \right) \cdot 100 = 67,78 \% .$$

Відносне відхилення $|\delta_{C_1}| > 0,2 \%$, то процес пошуку m продовжується. В цьому випадку $F_1 > C$, тоді модуль приймаємо меншим m_1 (мінімальний можливий модуль дорівнює 0,05), тому $m_2 = 0,05$.

Для $m \leq 0,9$ з умови (2.36) границя відносної шорсткості трубопроводу $V = 25$.

Границя V більше величини $(K \cdot 10^4 / D)$, то $K_{II} = K_{III} = 1$.

Коефіцієнт витрати за (2.39) буде

$$\alpha_{y_2} = \frac{1}{\sqrt{1-0,05^2}} \left[0,5959 + 0,0312 \cdot 0,05^{1,05} - 1,184 \cdot 0,05^4 + \right. \\ \left. + 0,0029 \cdot 0,05^{1,25} \left(\frac{10^6}{4534660,4} \right)^{0,75} \right] = 0,59801175 .$$

Коефіцієнт розширення – за (2.45):

$$\varepsilon_{\lambda_2} = 1 - \left(0,41 + 0,35 \cdot 0,05^2 \right) \frac{0,16}{10,027 \cdot 1,3064982} = 0,9949818 .$$

Допоміжну величину F_2 знаходять за (2.46):

$$F_1 = 0,05 \cdot 0,59801175 \cdot 0,9949818 \sqrt{1600} = 1,19002 .$$

Відносне відхилення допоміжних величин δ_{C_2} знаходять по (2.47):

$$\delta_{C_2} = \left(\frac{1,19002}{8,2068} - 1 \right) \cdot 100 = -85,499 \% .$$

Продовжимо процес визначення m при $|\delta_{C_2}| > 0,2 \%$. Для скорішої сходимості використаємо метод хорд до того часу, поки $|\delta_C| \leq 0,002 \%$.

За формулою (2.48):

$$m_3 = 0,5 - \frac{(0,05 - 0,5)}{1,19002 - 13,769017} (13,769017 - 8,2068) = 0,301017$$

Границю відносної шорсткості для m_3 знайдемо по (2.36):

$$B = 3,9 + 10^3 \exp(-14,2\sqrt{0,3010177}) = 4,3135505 .$$

$B > (K \cdot 10^4 / D)$, то $K_{II} = K_{III} = 1$.

Коефіцієнт витрати визначимо за (2.39):

$$\alpha_{y_3} = \frac{1}{\sqrt{1-0,3010177^2}} \left[0,5959 + 0,0312 \cdot 0,3010177^{1,05} - \right. \\ \left. -0,184 \cdot 0,3010177^4 + 0,0029 \cdot 0,3010177^{1,25} \left(\frac{10^6}{4534660,4} \right)^{0,75} \right] = \\ = 0,632791 ,$$

а коефіцієнт розширення в третьому наближенні – за (2.45):

$$\varepsilon_{Д3} = 1 - (0,41 + 0,35 \cdot 0,3010177^2) \frac{0,16}{10,027 \cdot 1,3064982} = 0,994603$$

Допоміжну величину F_3 визначають по (2.46):

$$F_3 = 0,3010177 \cdot 0,9946032 \cdot 0,63279166 \sqrt{1600} = 7,5781392 .$$

Відносне відхилення δ_{C3} знаходять за (2.47):

$$\delta_{C_3} = \left(\frac{7,5781392}{8,2068} - 1 \right) \cdot 100 = -7,66025 \% .$$

$|\delta_{C3}| > 0,2$, проведемо четверте наближення і т.д. до n , при цьому $m_n = 0,3234281$.

Границя відносної шорсткості B , коефіцієнт витрати α_y , коефіцієнт розширення ε_d і допоміжна величина F для n -го наближення відповідно будуть дорівнювати:

$$B_n = 4,211029 ; \quad \alpha_{yn} = 0,63793892 ; \\ \varepsilon_{Дn} = 0,9945454 ; \quad F_n = 8,20808 .$$

Відносне відхилення для n-го наближення:

$$\delta_n = \left(\frac{8,2808}{8,2068} - 1 \right) 100 = 0,015 \% .$$

$|\delta_n| < 0,2$, то остаточно маємо $m=0,3234281$, а $\alpha=0,63793892$.

Число Рейнольдса для діаметру D і витрати $Q_{\text{НОМmin}}$ розраховують по (2.30):

$$\text{Re} = 0,0361 \frac{50000 \cdot 0,7276369}{513,8 \cdot 1,127413 \cdot 10^{-6}} = 2267330,1 .$$

При $m=0,2 \dots 0,59$ величина $\text{Re}_{\text{min}}=10^4$ і менше Re , то розрахунок продовжимо.

Поправочний множник на теплове розширення $K_t = 1$.

Діаметр отвору діафрагми знаходять за (2.49):

$$d_{20} = \frac{513,8}{1} \sqrt{0,3234281} = 292,2 \text{ мм} .$$

Втрату тиску на діафрагмі обчислюють за (2.50):

$$P_{\text{II}} = \frac{1 - 0,63793892 \cdot 0,3234281}{1 + 0,63793892 \cdot 0,3234281} \cdot 0,16 = 0,10526797 \text{ кгс / см}^2 .$$

Витрату, що є відповідною межовому перепаду тиску, знаходять по (2.52):

$$Q'_{НОМ} = 3,553 \cdot 0,63793892 \cdot 0,9945454 \cdot 1^2 \cdot 292,2^2 \times \\ \times \frac{10,027}{293,15 \cdot 0,9817} \cdot \sqrt{\frac{1600}{7,1932023}} = 100013,9 \text{ нм}^3 / \text{год} .$$

Відносне відхилення при вимірюванні витрати визначимо за (2.57):

$$\delta_{расч} = \left(\frac{Q'_{НОМ}}{Q_{НОМ.ПР}} - 1 \right) \cdot 100 = \left(\frac{100013,9}{100000} - 1 \right) \cdot 100 = 0,014 \% .$$

Оскільки $\delta < 0,2$, то розрахунок вважається завершеним. За розділом 4.3 навчального посібника «Промислові засоби автоматизації» ч.1. обираємо діафрагму ДБ16-514-б (ГОСТ 14322-77).

2.3.3 Розрахунок діафрагми для вимірювання витрати водяної пари

Розрахунок виконано у відповідності з варіантом 3 за таких вихідних даних:

- звужувальний пристрій – діафрагма зі сталі 2Х18Н10Т з кутовим способом відбору перепаду тисків;
- мінімальна витрата, що вимірюється, $Q_{\min}=2500$ кг/год. ;
- максимальна витрата, що вимірюється, $Q_{\max}=5000$ кг/год. ;
- температура пари перед звужувальним пристроєм, $t=150$ °С;
- надмірний тиск пари біля звужувального пристрою, $P_{И}=3,2$ кгс/см²;
- барометричний тиск навколишнього середовища, $P_{Б}=1$ кгс/см²;
- внутрішній діаметр трубопроводу при температурі 20 °С, $D_{20}=207$ мм;
- абсолютна шорсткість трубопроводу, $K=0,1$ мм;
- густина пари, $\rho=2,189$ кг/м³;
- динамічна в'язкість, $\mu=1,42 \cdot 10^{-6}$ кгс·с/м²;

- поправочний множник на теплове розширення трубопроводу, $K'_t=1,00157$;
- поправочний множник на теплове розширення матеріалу звужувального пристрою $K_t=1.00216$;
- показник адіабати $\chi=1,31$;
- перепад тиску пари на звужувальному пристрої $\Delta P_H=1600$ кгс/см².

Розрахунок виконується за наступною методикою.

По розд. 2.2. навчального посібника «Промислові засоби автоматизації» обирають самопишучий сильфонний дифманометр типу ДСС-712-2с класу точності по витраті 1,5 з межовим перепадом тиску $\Delta P_H=1600$ кгс/см², верхню межу вимірювання $Q_{ПР}=5000$ кг/год, пристроєм для доповнюючого запису надмірного тиску класу точності 1,5 і верхню межу вимірювання $P_{ПР}=6$ кгс/см², електричним приводом діаграмного диску.

Абсолютну температуру пари перед звужувальним пристроєм знаходять за (2.1), а абсолютний тиск його – за (2.2):

$$T=273,15+150=423,15 \text{ К,}$$

$$P=3,2+1=4,2 \text{ кгс/см}^2.$$

Внутрішній діаметр трубопроводу при температурі t розраховують за (2.28):

$$D=207 \cdot 1,00157=207,32499 \text{ мм.}$$

Число Рейнольдса при $\bar{Q}_{ПР}$ визначають за (2.29):

$$Re_{\max} = 0,0361 \frac{5000}{207,32499 \cdot 1,42 \cdot 10^{-6}} = 613108,3.$$

Допоміжну величину C_2 – за (2.33):

$$C_2 = \frac{5000}{0,01252 \cdot 207,32499^2 \cdot 2,189^{0,5}} = 6,2797 .$$

Використовуючи раніше наведений метод послідовних наближень, визначимо модуль звужувального пристрою, який з точністю до 0,002 % буде дорівнювати $m=0,2538298$.

При значенні m і заданому перепаді тиску пари на звужувальному пристрої ΔP_H за (2.45) знаходять коефіцієнт розширення пари:

$$\varepsilon_D = 1 - (0,41 + 0,35 \cdot 0,2538298^2) \frac{0,16}{4,2 \cdot 1,31} = 0,9874214 .$$

Відносна шорсткість трубопроводу:

$$\frac{K}{D} \cdot 10^4 = \frac{0,1}{207,32499} \cdot 10^4 = 4,823345 .$$

За (2.36) розраховують верхню границю відносної шорсткості трубопроводу при $m > 0,13$:

$$B = 3,9 + 10^3 \exp(-14,2 \sqrt{0,2538298}) = 4,681593 .$$

$B < K \cdot 10^4 / D$, то $K_{\Pi} \neq 1$, $K_{Ш} \neq 1$.

$$C = D / 10^3 = 207,32499 / 10^3 = 0,20732499 .$$

При $C \leq 0,3$ коефіцієнти a і b знаходять за (2.37):

$$a = (0,20732499 - 0,3)(-1,066 \cdot 0,20732499^2 + 0,36 \cdot 0,20732499 - 0,13) = 0,0093772 ;$$

$$b = 1 + (0,20732499 - 0,3)(-0,08 \cdot 0,20732499^2 + 0,024 \cdot 0,20732499 - 0,0046) = 1,0002838 .$$

Тоді за (2.37):

$$K_{III} = 0,0093722 \cdot 0,2538298 + 1,0002838 = 1,002664 .$$

Для визначення коефіцієнту K_{II} також необхідно за (2.38) розрахувати допоміжні коефіцієнти:

$$a = 1 + 0,011 \exp[-55,2(0,20732499 - 0,05)^{1,3}] = 1,000075 ;$$

$$b = 0,002 + 0,2558 \cdot 0,20732499 - 1,68 \cdot 0,20732499^2 + 2,867 \cdot 0,20732499^3 = 0,0083707 ;$$

$$n = 4,25 + 142,94(0,20732499 - 0,05)^{1,92} = 8,352092 ;$$

$$K_{II} = 1,000075 + 0,0083707 \exp[-8,352092(0,2538298 - 0,05)] = 1,0016006 .$$

Коефіцієнт витрати з урахуванням обох поправочних коефіцієнтів визначають за (2.39):

$$\alpha_y = \frac{1}{\sqrt{1 - 0,2538298^2}} \left[0,5959 + 0,0312 \cdot 0,2538298^{1,05} - 0,184 \cdot 0,2538298^4 + 0,0029 \cdot 0,2539298^{1,25} \left(\frac{10^6}{613108,3} \right)^{0,75} \right] \times 1,0016006 \cdot 1,002664 = 0,62637461 ;$$

$$0,2 < m \leq 0,59, \text{ то } Re_{\min} = 10^4 .$$

Число Рейнольдса при \bar{Q}_{\min} знаходять за (2.29):

$$Re = \frac{0,0361 \cdot 2500}{207,32499 \cdot 1,42 \cdot 10^{-6}} = 306554,15.$$

$Re > Re_{min}$, то розрахунок продовжують і за (2.49) знаходять діаметр отвору діафрагми при 20 °С:

$$d_{20} = \frac{207,32499}{1,00216} \sqrt{0,2538298} = 104,22834 \text{ мм}.$$

Приймаємо $d_{20} = 104,23$ мм з точністю до сотих.

Дійсну втрату тиску після діафрагми визначають за (2.50):

$$P_{II} = \frac{1 - 0,62637461 \cdot 0,2538298}{1 + 0,62637461 \cdot 0,2538298} \cdot 0,16 = 0,1161 \text{ кгс / см}^2.$$

Перевіримо правильність розрахунку обчисленням витрати \bar{Q}' при знайдених значеннях m , d_{20} , α_y та ΔP_H за (2.53):

$$\begin{aligned} \bar{Q}' &= 0,01252 \cdot 0,62637461 \cdot 104,23^2 \cdot 1,00216^2 \sqrt{1600 \cdot 2,189} = \\ &= 5000,1548 \text{ кг / год.}; \end{aligned}$$

Відносне відхилення витрати знаходять за (2.57):

$$\delta_{расч} = \left(\frac{5000,1548}{5000} - 1 \right) \cdot 100 = 0,003 \text{ \%}.$$

$\delta_{расч} < 0,2$, то розрахунок завершено. За розділом 4.3 навчального посібника «Промислові засоби автоматизації» ч.1. обираємо діафрагму типу ДК0,6-207-II-6-2 (ГОСТ 14321-73).

РОЗДІЛ 3

РОЗРАХУНОК І ВИБІР ВИКОНАВЧИХ ПРИСТРОЇВ

3.1 Алгоритм розрахунку і вибору виконавчого пристрою

Серед виконавчих пристроїв (ВП) у хімічній, нафтохімічній, харчовій та багатьох інших галузях промисловості найчастіше застосовуються пристрої з регулюючим органом (РО) у вигляді клапану і поворотної заслінки.

3.1.1 Розрахунок і вибір регулюючого органу

Алгоритм розрахунку і вибору виконавчого пристрою з дросельним РО полягає у визначенні розмірів РО з точки зору пропускання потрібної кількості потоку для заданих параметрів трубопровідної мережі, форми пропускної характеристики, а також значення перестановочного зусилля (моменту) для обладнання ІУ певним виконавчим механізмом (ИМ) у відповідності з місцем розташування ІУ на об'єкті. Форму пропускної характеристики вибирають у два етапи. На першому етапі встановлюється форма витратної характеристики, що забезпечує по можливості сталість коефіцієнта підсилення РО в усьому діапазоні навантажень, а на другому етапі – форма пропускної характеристики РО, що забезпечує при даних параметрах середовища бажану форму витратної характеристики. При виборі форми витратної характеристики РО можна керуватися практичними даними, наведеними в табл. 3.1.

Якщо для регулювання найкращою виявилась рівновідсоткова витратна характеристика, то слід вибрати і РО з рівновідсотковою пропускною характеристикою, що пов'язано з менш різким падінням коефіцієнта рівновідсотковості порівняно з лінійною. У випадку, коли за умовами регулювання потрібна лінійна витратна характеристика, тоді при $n < 1,5$ переважаючою є лінійна пропускна характеристика, при $n > 3$ – рівновідсоткова, для проміжного n з цього діапазону можна вибрати будь-яку з двох форм. При

цьому величина n визначається відношенням перепадів тиску в трубопровідній лінії ΔP_{Δ} та на регулюючому органі ΔP_{PO} .

Вихідними даними для розрахунку регулюючих органів є:

- максимальна об'ємна $V_{\text{МАКС}}$ (масова $M_{\text{МАКС}}$, кг/с) витрата середовища, м³/с;
- мінімальна об'ємна $V_{\text{МИН}}$ (масова $M_{\text{МИН}}$, кг/с) витрата середовища, м³/с;
- характеристика каналу регулювання і регульованого середовища;
- перепад тиску в мережі ΔP_C , Н/м²;
- характеристика чи схема мережі.

Таблиця 3.1 – Рекомендації щодо вибору форми витратної характеристики

Регульований параметр	Параметр, що спричинює збурення	Форма витратної характеристики, що рекомендується
Рівень	Витрата	Лінійна
Частота обертання		
Тиск після РО	Перепад тиску на РО	Рівновідсоткова
	Витрата	Лінійна
Тиск до РО	Витрата	Лінійна
Температура	Витрата чи температура регульованого середовища	Рівновідсоткова
	Перепад тиску на РО чи тепловміст потоку	
Витрата	Перепад тиску на РО	Лінійна
	Задана величина, програмне регулювання	
Якість (рН, густина і т. ін), регулювання якої здійснюється змішуванням	Витрата чи якість потоків	Рівновідсоткова
	Витрата чи якість одного потоку	
Співвідношення	Витрата одного потоку	Лінійна
	Задана величина, програмне регулювання	

Розрахунок виконують у такій послідовності. За видом середовища та його параметрами визначають необхідні дані для розрахунку густини ρ (кг/м³), кінематичної в'язкості ν (м²/с) і показника адиабати κ .

Знаходять втрати тиску в лінії ΔP_{Λ} при максимальній витраті:

$$\Delta P_{\Lambda} = \Delta P_{\text{ПР}} + \Delta P_{\text{М}}. \quad (3.1)$$

При цьому значення $\Delta P_{\text{ПР}}$ і $\Delta P_{\text{М}}$ визначають за рівняннями

$$\Delta P_{\text{ПР}} = \sum_{i=1}^n \lambda_i \rho \frac{L_i \omega_i^2}{2D_i}; \quad (3.2)$$

$$\Delta P_{\text{М}} = \sum_{j=1}^m \xi_j \rho \frac{\omega_j^2}{2}, \quad (3.3)$$

де $\Delta P_{\text{ПР}}$ – втрати тиску на прямих ділянках трубопроводу при $V_{\text{МАКС}}$, Н/м²; $\Delta P_{\text{М}}$ – втрати тиску в місцевих опорах при $V_{\text{МАКС}}$, Н/м²; λ_i – коефіцієнти гідравлічних опорів тертя, що залежать від режиму руху потоку; ξ_j – коефіцієнти місцевих гідравлічних опорів (входу, виходу, трійників, поворотів, запірних органів, діафрагм та ін.), що визначаються з табл. 3.2; L_i – довжина прямих ділянок трубопроводів, м; D_i – умовні діаметри прямих ділянок трубопроводів, м; ω_i , ω_j – середні за перерізом швидкості потоку в трубопроводі чи місцевому опорі, м/с.

Величина ω визначається з рівняння:

$$\omega = 4V / \pi D_i^2 3600. \quad (3.4)$$

Коефіцієнт λ для круглих шорстких сталевих і чавунних трубопроводів знаходять за формулою, що застосовується при $Re > 2320$:

$$\frac{I}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left[\frac{\varepsilon}{3,7} + \left(\frac{6,81}{\text{Re}} \right)^{0,9} \right], \quad (3.5)$$

де $\varepsilon = e/D_i$ – відносна шорсткість; e – середня висота виступів, що визначається за табл. 3.3, мм.

При величині $\text{Re} < 2320$ коефіцієнт λ визначається рівнянням:

$$\lambda = 64 / \text{Re} . \quad (3.6)$$

Для круглих труб число Re знаходять за формулою:

$$\text{Re} = \omega_i D / \nu . \quad (3.7)$$

Перепад тиску $\Delta P_{\text{po}}^{\text{макс}}$ у РО обчислюють при $V_{\text{макс}}$ за формулою:

$$\Delta P_{\text{po}}^{\text{макс}} = \Delta P_c - \Delta P_{\Lambda} \pm \Delta P_r, \quad (3.8)$$

де $\Delta P_r = \rho g \Delta h$, а Δh – різниця рівня верхньої і нижньої відміток трубопроводу.

Визначають за одним із наступних рівнянь значення пропусконої здатності $K_{V_{\text{макс}}}$ залежно від $V_{\text{макс}}$ ($M_{\text{макс}}$) і $\Delta P_{\text{po}}^{\text{макс}}$.

Для потоку рідини:

$$K_{V_{\text{макс}}} = 36 \cdot 10^3 V_{\text{макс}} \sqrt{\rho / \Delta P_{\text{po}}}; \quad (3.9)$$

$$K_{V_{\text{макс}}} = 36 \cdot 10^3 M_{\text{макс}} / \sqrt{\rho \Delta P_{\text{po}}}. \quad (3.10)$$

Таблиця 3.2 – Коефіцієнти місцевих опорів

Вид опору	Значення коефіцієнту місцевого опору ξ							
Вхід у трубу	З гострими кроями: $\xi = 0,5$							
Вихід з труби	З закругленими кроями: $\xi = 0,2$							
Діафрагма (отвір) у прямій трубі	$\xi = 1,0$							
	М	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	
	ξ	7000	1670	730	400	245	1 5	
	М	0,24	0,28	0,34	0,50	0,70	0,90	
	ξ	32	22,3	13,1	4	0,97	0,13	
	m – модуль діафрагми							
Косинець (коліно) 90° стандартний чавунний нарізбї Плавний поворот круглої труби на 90°	Умовний прохід D_y , мм	12,5	25,0	37,0	50,0			
	ξ	2,2	2,0	1,6	1,1			
	R/ D_y	1	2	4	5÷7			
	ξ	1,1	0,7	0,63	0,6			
	R – радіус повороту труби							
Заслінка	D_y , мм	15÷100	175÷200	300 і вище				
	ξ	0,5	0,25	0,15				
Вентиль нормальний	Значення ξ при повному відкритті							
	D_y , мм	20	40	80	100	200	250	350
	ξ	8	4,9	4,0	4,1	4,7	5,1	5,5
Вентиль прямоточний	D_y , мм	25	50	100	150	200	250	
	ξ	1,04	0,79	0,5	0,42	0,36	0,32	
Раптове розширення	$\xi = (F_2/F_1 - 1)$, де F_1 і F_2 – відповідно площа більшого і меншого поперечного перерізу, м ²							
Раптове звуження	$\xi = 0,5 (1 - F_2/F_1)^2$, де F_1 і F_2 – відповідно площа більшого і меншого поперечного перерізу, м ²							

Таблиця 3.3 – Середні значення шорсткості стінок труб.

Трубопроводи	Шорсткість ϵ , мм
Труби сталеві цільнотягнуті та зварні при незначній корозії	0,2
Чавунні труби водопровідні, що були в експлуатації	1,4
Нафтопроводи при середніх умовах експлуатації та паропроводи насиченої пари	0,2
Паропроводи, що працюють періодично	0,5
Конденсаторопроводи, що працюють періодично	1,0
Повітропроводи стиснутого повітря від компресора	0,8
Теплофікаційні паропроводи перегрітої пари та водяні теплопроводи при наявності деаерації і хімічної очистки підживленої води	0,1
Старі заіржавлені сталеві труби	0,67

Для потоку газу при його докритичному режимі течії, коли $\Delta P_{po} < \Delta P_{кр} = 0,5P_1$:

$$K_{v \text{ макс}} = 7 \cdot 10^5 V_{\text{макс}}^H \sqrt{\frac{\rho_H T_1 K'}{P_2 \Delta P_{po}}}; \quad (3.11)$$

$$K_{v \text{ макс}} = 7 \cdot 10^5 M_{\text{макс}} \sqrt{\frac{T_1 K'}{\rho_H P_2 \Delta P_{po}}}. \quad (3.12)$$

При критичному режимі течії газу ($\Delta P_{po} > 0,5P_1$):

$$K_{v \text{ макс}} = 14 \cdot 10^5 \frac{V_{\text{макс}}^H}{P_1} \sqrt{\rho_H T_1 K'}; \quad (3.13)$$

$$K_{v \text{ макс}} = 14 \cdot 10^5 \frac{M_{\text{макс}}}{P_1} \sqrt{\frac{T_1 K'}{\rho_H}}, \quad (3.14)$$

де $V_{\text{макс}}^H$ - максимальна об'ємна витрата газу при нормальних умовах, $\text{нм}^3/\text{с}$; ρ - густина рідини, $\text{кг}/\text{м}^3$; ρ_H - густина газу при нормальних умовах, $\text{кг}/\text{м}^3$; T_1 - температура газу перед РО, К; P_1 - тиск газу перед РО, $\text{Н}/\text{м}^2$; P_2 - тиск газу після РО, $\text{Н}/\text{м}^2$; K' - коефіцієнт стисливості, що враховує відхилення газу від закону ідеального газу.

Коефіцієнт стисливості визначається з наступних умов: якщо $(P_1 - P_2)/P_1 < 0,08$, то $K' = 1$; при $(P_1 - P_2)/P_1 > 0,08$ його розраховують із співвідношення

$$K' = 1 - [0,46(P_1 - P_2)/P_1]. \quad (3.15)$$

Для потоку водяної пари при її докритичному режимі течії ($\Delta P_{po} < 0,5P_1$):

$$K_{v \text{ макс}} = 36 \cdot 10^3 M_{\text{макс}} \sqrt{\frac{I}{\rho_{п2} \Delta P_{po}}}. \quad (3.16)$$

При критичному режимі водяної пари ($\Delta P_{po} > 0,5P_1$):

$$K_{v \text{ макс}} = \frac{50,7 \cdot 10^3 M_{\text{макс}}}{\sqrt{\rho_{п1} P_1}}, \quad (3.17)$$

де $\rho_{п2}$ - густина пари при температурі T_1 і тиску P_2 , $\text{кг}/\text{м}^3$; $\rho_{п1}$ - густина пари при температурі T_1 і тиску $0,5P_1$, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Пропускна здатність шлангових РО визначається за такими рівняннями:

- для потоку “рідина – тверде” (пульпа)

$$K_{v \text{ макс}} = \frac{3600V_{\text{макс}} K_{\text{ТВ}}}{\sqrt{\frac{\Delta P_{\text{ро}}^{\text{макс}} K_p}{10^5}}}; \quad (3.18)$$

- для потоку “газ - тверде “

$$K_{v \text{ макс}} = \frac{3600V_{\text{макс}} K_{\text{ТВ}}}{0,14 \cdot P_1 \cdot K_p \cdot K_T \cdot K_c \cdot K_p \sqrt{\frac{\Delta P_{\text{ро}}^{\text{макс}}}{10^5}}} \quad (3.19)$$

де $K_{\text{ТВ}}$ – коефіцієнт, що визначається з рис. 3.1; K_p – коефіцієнт, що враховує відносну густину середовища ρ_0 (відношення густини регульованого середовища при T_1 і P_1 до густини води для середовища “рідина – тверде” чи для середовища “газ - тверде “ при нормальних умовах) і визначається за табл.3.4; $K_T = 293/T_1$ - температурний коефіцієнт; K_c – коефіцієнт, що враховує умови розширення газу і визначається за табл. 3.5 K_p – коефіцієнт тиску, що знаходиться з табл. 3.6.

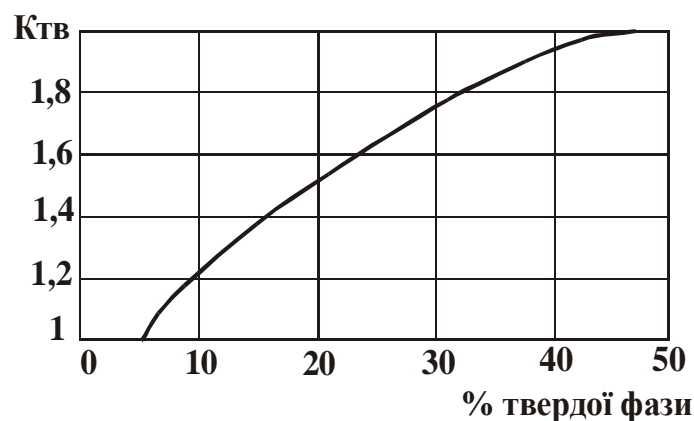


Рис. 3.1. Залежність коефіцієнта $K_{\text{ТВ}}$ від вмісту твердої фази.

За знайденим значенням $K_{v \text{ макс}}$ обчислюють умовну пропускну здатність K_{vy} , яка перевищує розрахункове значення на 20%, за формулою:

$$K_{vy} = 1,2 K_{v \text{ макс}} \quad (3.20)$$

Таблиця 3.4 – Залежність коефіцієнта K_p від ρ_0

ρ_0	K_p	ρ_0	K_p	ρ_0	K_p	ρ_0	K_p
0,069	3,801	0,15	2,581	0,45	1,489	0,75	1,155
0,070	3,779	0,20	2,240	0,50	1,414	0,80	1,117
0,080	3,535	0,25	2,000	0,55	1,350	0,85	1,081
0,090	3,333	0,30	1,825	0,60	1,290	0,90	1,055
0,100	3,126	0,35	1,688	0,65	1,240	0,95	1,025
0,138	2,691	0,40	1,580	0,70	1,195	1,0	1,000
1,05	0,972	1,40	0,845	2,25	0,664	4,50	0,472
1,10	0,953	1,50	0,817	2,50	0,633	5,00	0,447
1,20	0,923	1,75	0,756	3,00	0,577	-	-
1,30	0,877	2,00	0,707	4,00	0,500	-	-

Таблиця 3.5 – Залежність коефіцієнта K_c від відношення C_p / C_v

C_p / C_v	1,001	1,02	1,04	1,08	1,1	1,2	1,4	1,6	1,8
K_c	1,000	1,005	1,016	1,029	1,038	1,07	1,13	1,182	1,203

Таблиця 3.6 – Залежність коефіцієнта K_p від перепаду тиску $\Delta P_{po}^{\text{макс}}$ на РО

$\Delta P_{po}, \% \text{ від } P_1$	50	30	25	20	15	10	5	2
K_p	1,0	0,94	0,9	0,84	0,76	0,65	0,45	0,25

Користуючись табл.3.7, беруть найближче більше значення K_{vy} , вибирають характеристику РО і визначають діаметр умовного проходу D_y .

Після вибору РО перевіряють вплив в'язкості рідини на пропускну здатність, тому що збільшення в'язкості середовища, що проходить через РО, вище деякої межі може спричинити зменшення пропускну здатності.

Поправочний коефіцієнт на вплив в'язкості залежить від виду РО і числа Re потоку через РО. Число Re , що віднесене до обраного проходу РО, знаходять за формулою (3.7). Якщо $Re > 2000$, то обирають РО з раніше визначеною пропускною здатністю K_{vy} з подільшою перевіркою на можливість виникнення кавітації. Якщо $Re < 2000$, то визначають поправочний коефіцієнт ϵ на вплив в'язкості рідини з рис. 3.2.

Значення пропускної здатності K_{vy1} з урахуванням в'язкості рідини знаходять за формулою

$$K_{vy1} = 1,2 \epsilon K_{v \text{ макс}} \quad (3.21)$$

Якщо для попередньо обраного РО $K_{vy1} \leq K_{vy}$, вибір вважають закінченим.

Таблиця 3.7 – Умовна пропускна здатність регулювальних органів залежно від типу регулювального органа і його умовного тиску, МПа

Діаметр умовного проходу, мм	Умовна пропускна здатність, м ³ /год							
	Односідельні			Двосідельні				
	1,6	4,0	6,4	1,6	4,0	6,4	10,0	16,0
15	3,2	3,2	3,2	4	4	4	4	4
20	5	5	5	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3
25	8	8	8	10	10	10	10	10
40	20	20	20	25	25	25	25	25
50	32	32	32	40	40	40	40	40
65	50	50	50	63	63	63	63	63
80	80	80	80	100	100	100	100	100
100	125	125	125	160	160	160	160	160
125	200	200	200	250	250	250	250	250
150	320	320	320	400	400	400	400	400
200	500	500	500	630	630	630	630	630
250	-	-	-	1000	1000	1000	1000	1000
300	-	-	-	1600	1600	1600	1600	1600

Продовження табл.3.7

Діаметр умовного проходу, мм	Умовна пропускна здатність, м ³ /год							
	Триходові			Шлангові				
	1,6	4,0	6,4	0,1	0,25	0,4	0,6	1,0
15	3,2	3,2	3,2	12	12	12	12	12
20	5	5	5	20	20	20	20	20
25	8	8	8	32	32	32	32	32
40	20	20	20	80	80	80	80	80
50	32	32	32	125	125	125	125	125
65	50	50	50	200	200	200	200	200
80	80	80	80	320	320	320	-	-
100	125	125	125	600	600	600	-	-
125	200	200	200	800	800	800	-	-
150	400	400	400	1250	1250	1250	-	-
200	600	600	600	2000	2000	-	-	-
250	-	-	-	3200	3200	-	-	-
300	-	-	-	5000	5000	-	-	-

Діаметр умовного проходу, мм	Умовна пропускна здатність, м ³ /год									
	Діафрагмові					Заслінкові				
	0,25	0,4	0,6	1,0	1,6	0,6	0,6	1,6	2,5	4,0
15	3	3	3	3	3	-	-	-	-	-
20	5	5	5	5	5	-	-	-	-	-
25	8	8	8	8	8	-	-	-	-	-
40	20	20	20	20	20	-	-	-	-	-
50	32	32	32	32	32	60	60	60	60	60
65	5	5	5	5	5	100	100	100	100	100
80	80	80	80	80	80	160	160	160	160	160
100	125	125	125	125	125	250	250	250	250	250

Закінчення табл.3.7

125	200	200	-	-	-	400	400	400	400	400
150	320	320	-	-	-	600	600	600	600	600
200	500	500	-	-	-	1000	1000	1000	1000	1000
250	-	-	-	-	-	1600	1600	1600	1600	1600
300	-	-	-	-	-	2500	2500	2500	2500	2500
400	-	-	-	-	-	4000	4000	4000	4000	4000
500	-	-	-	-	-	600	6000	6000	6000	6000
600	-	-	-	-	-	$1 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^4$	-	-	-
700	-	-	-	-	-	12,5x 10^3	12,5x 10^3	-	-	-
800	-	-	-	-	-	$16 \cdot 10^3$	-	-	-	-
900	-	-	-	-	-	$2 \cdot 10^4$	-	-	-	-
1000	-	-	-	-	-	$2,5x 10^4$	-	-	-	-

При $K_{vy1} > K_{vy}$ наново обирають РО із значенням K_{vy} , найближчим більшим до K_{vy1} , згідно табл.3.7 і знову визначають Re_y , ε і K_{vy1} з перевіркою зазначених умов. При перевірці можливості виникнення кавітації визначають коефіцієнт кавітації $K_{кав}$ і перепад тиску $\Delta P_{кав}$, при якому виникає кавітація, за формулами:

$$\xi_y = 25,4 F_y^2 / K_{vy}^2; \quad (3.22)$$

$$\Delta P_{кав} = K_{кав} (P_1 - P_n), \quad (3.23)$$

де $F_y = 0,785 D_y^2$ – площа перерізу вхідного патрубку РО, $см^2$; P_1 – абсолютний тиск перед РО, $Н/м^2$; P_n – абсолютний тиск насичених парів рідини при температурі T_1 , $Н/м^2$.

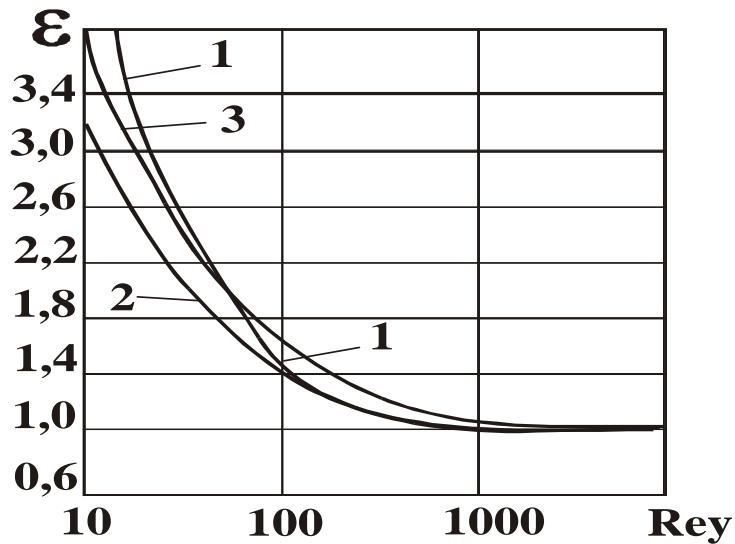


Рис. 3.2. Поправочний коефіцієнт ε для умови повного відкриття РО: 1 – двосідельний клапан; 2 – односідельний клапан; 3 – заслінка з кутом повороту $\alpha_y=60^\circ$

Коефіцієнт $K_{\text{кав}}$ визначають з рис. 3.3.

Перевіряється умова

$$\Delta P_{\text{ро}} \leq \Delta P_{\text{кав}} . \quad (3.24)$$

Якщо вона виконується, то обирають РО з раніш знайденою умовною пропускною здатністю K_{vy} . Якщо умова не виконується ($\Delta P_{\text{ро}} > \Delta P_{\text{кав}}$), то обирають РО з найближчим більшим K_{vy} , згідно табл. 3.7, для якого знову визначають ξ_y , $K_{\text{кав макс}}$ з рис. 3.3 (крива 3) і максимальний перепад тиску $\Delta P_{\text{кав макс}}$, при якому припиняється приріст витрати, за формулою:

$$\Delta P_{\text{кав макс}} = K_{\text{кав макс}} (P_1 - P_H) . \quad (3.25)$$

За отриманим значенням $\Delta P_{\text{кав макс}}$ знаходять пропускну здатність $K_{\text{vy кав}}$ за допомогою рівнянь (3.9) і (3.10), а потім перевіряють умову для заново обраного K_{vy} :

$$1,2 K_{vy\text{ кав}} \leq K_{vy} . \quad (3.26)$$

Якщо умова (3.26) виконується, то заново обраний РО забезпечить задану максимальну витрату в умовах кавітації і вибір РО за пропускну здатністю вважається закінченим. Якщо не виконується, беруть інший РО з іще більшим значення K_{vy} і розрахунки за формулами (3.22) - (3.26) повторюють.

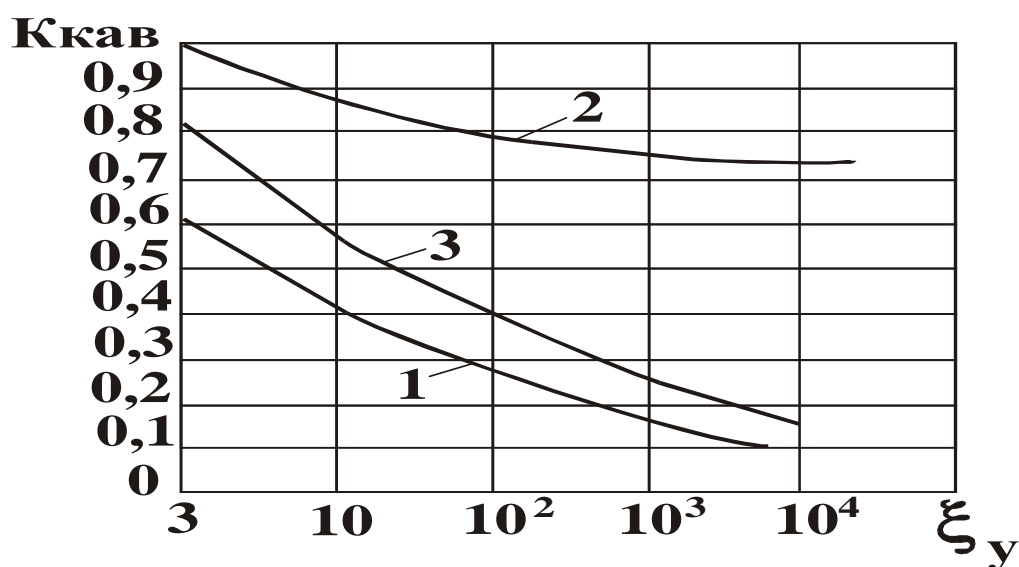


Рис. 3.3. Залежність коефіцієнта кавітації $K_{кав}$ і $K_{кав\ макс}$ від ξ_y : 1 - $K_{кав}$ для одно – і двосідельних РО при подачі середовища на затвор; 2- $K_{кав}$ і $K_{кав\ макс}$ для одно-і двосідельних РО при подачі середовища під затвор; 3 - $K_{кав\ макс}$ для одно- і двосідельних РО при подачі середовища на затвор.

Діапазон переміщення РО з урахуванням поправки на в'язкість для рідини визначають у такій послідовності.

Знаходять відношення n при максимальній витраті за рівнянням:

$$n = \Delta P_n / \Delta P_{po}^{макс} . \quad (3.27)$$

Якщо $K_{vy} > K_v^{макс}$, то уточнюють значення n за формулою:

$$n' = n [K_{vy} / (\varepsilon K_{v\max})]^2. \quad (3.28)$$

Уточнюють перепад тиску на РО за рівнянням:

$$\Delta P_{\text{роу}} = \Delta P_c / (n' + 1). \quad (3.29)$$

За значенням $\Delta P_{\text{роу}}$ і прийнятими значеннями K_{vy} знаходять уточнене значення максимальної витрати через РО $V'_{\text{макс}}$ ($M'_{\text{макс}}$) за рівнянням:

$$V'_{\text{макс}} = K_{vy} / (36 \cdot 10^3 \varepsilon \sqrt{\rho / \Delta P_{\text{роу}}}) \quad (3.30)$$

$$M'_{\text{макс}} = K_{vy} \sqrt{\rho / \Delta P_{\text{роу}}} / 36 \cdot 10^3 \varepsilon \quad (3.31)$$

Для газів, пари та рідини без урахування поправки на в'язкість значення $V'_{\text{макс}}$ ($M'_{\text{макс}}$) знаходять за формулами:

$$V'_{\text{макс}} = V_{\text{макс}} K_{vy} / K_{v\max}; \quad (3.32)$$

$$M'_{\text{макс}} = M_{\text{макс}} K_{vy} / K_{v\max} \quad (3.33)$$

Визначають відносні значення витрат $\varphi_{\text{макс}}$ і $\varphi_{\text{мін}}$ за формулами

$$\varphi_{\text{макс}} = V_{\text{макс}} / V'_{\text{макс}}; \quad (3.34)$$

$$\varphi_{\text{мін}} = V_{\text{мін}} / V'_{\text{мін}}. \quad (3.35)$$

Обирають форму пропускну характеристики РО на підставі наведених рекомендацій і знаходять діапазон $\Delta S(\Delta\alpha)$ переміщень (зміни кута повороту) РО для визначеної величини n' за рис. 3.4 – 3.8.

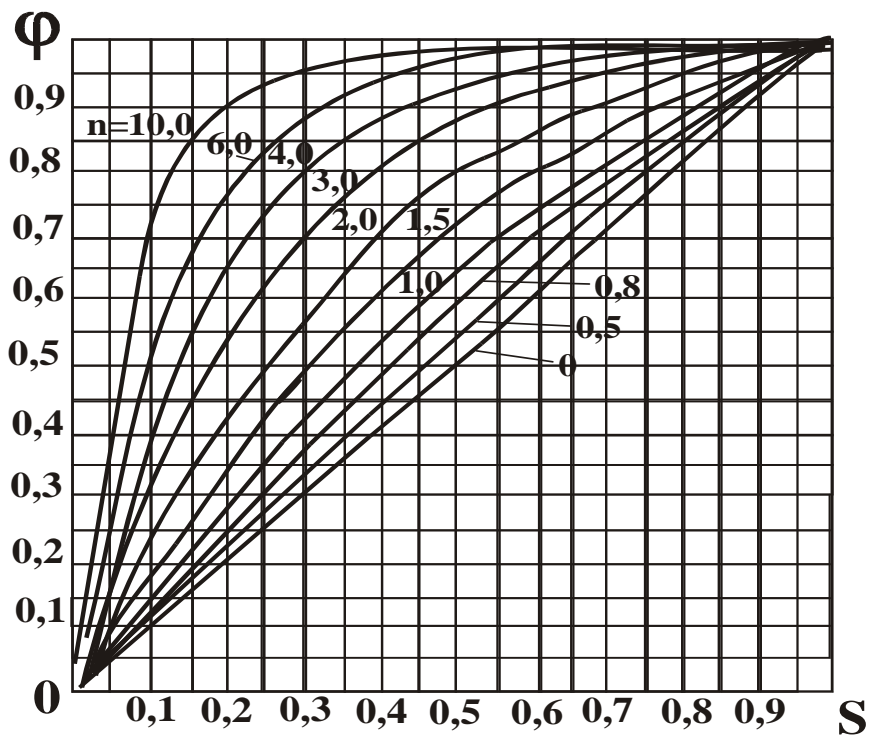


Рис. 3.4. Витратні характеристики РО з лінійною пропускнуою характеристикою.

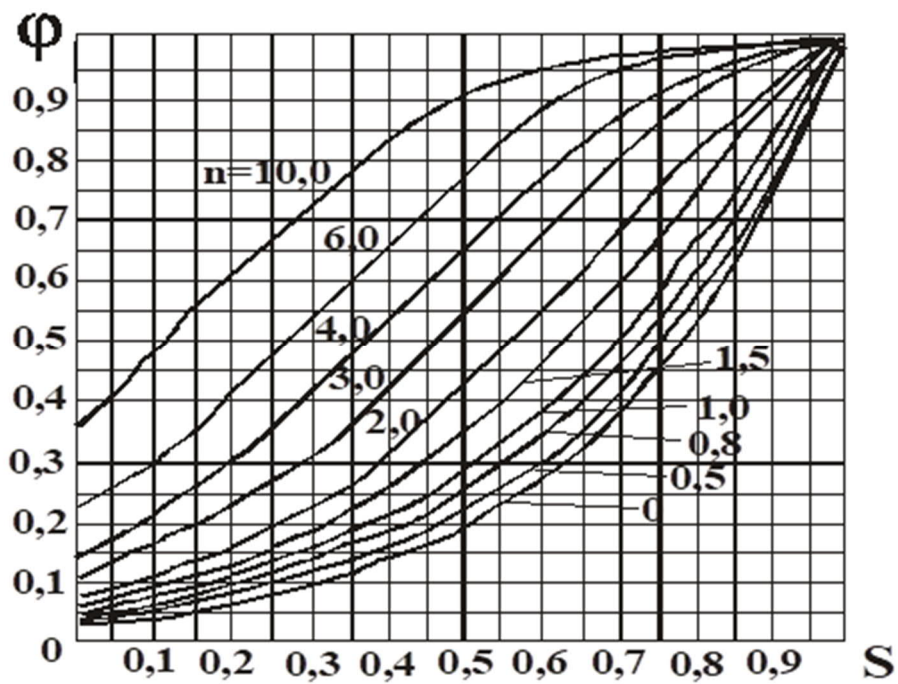


Рис. 3.5. Витратні характеристики РО з рівновідсотковою пропускнуою характеристикою.

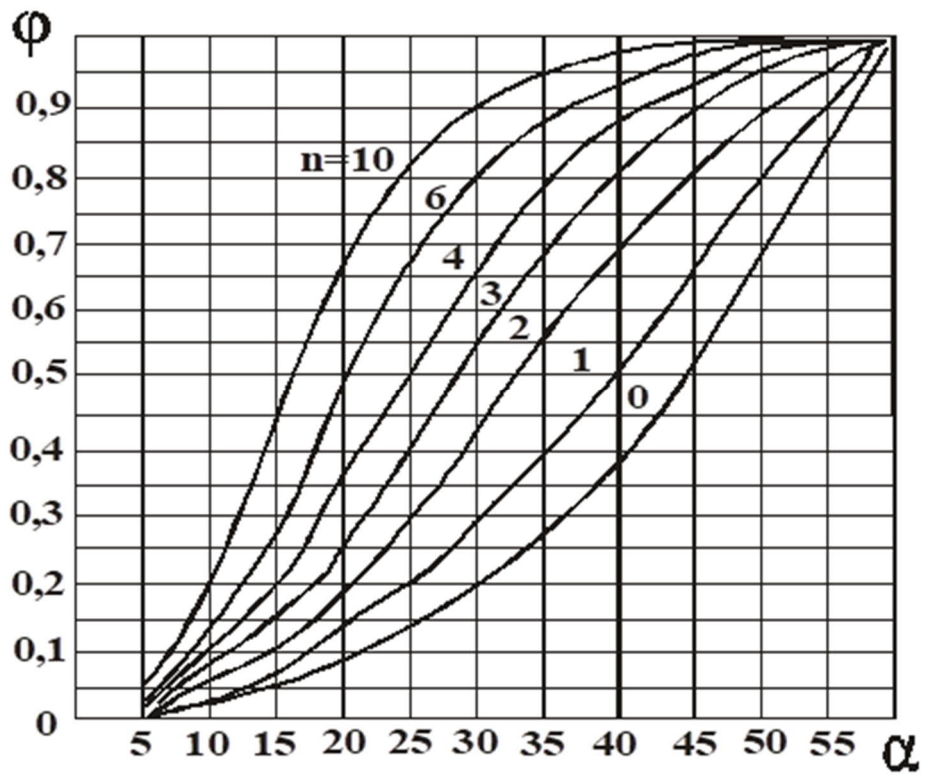


Рис. 3.6. Витратна характеристика заслінкового РО від кута повороту α .

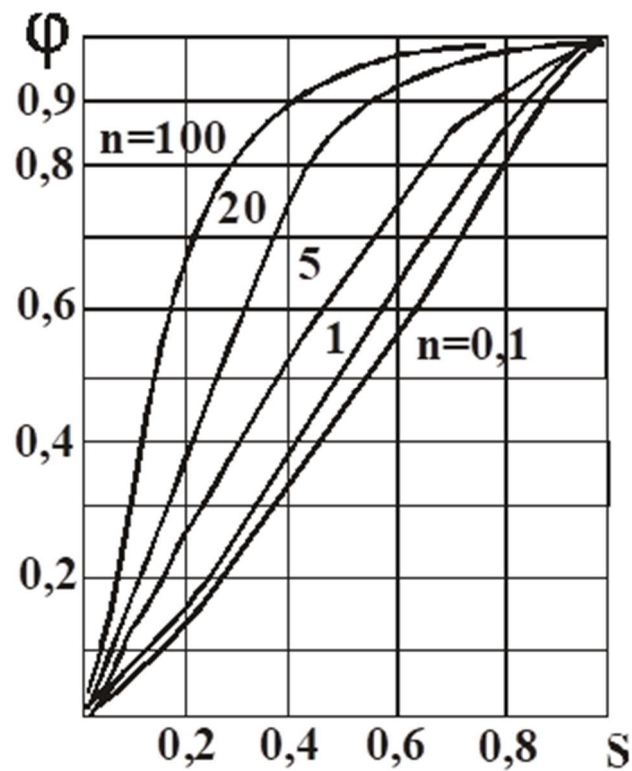


Рис. 3.7. Витратна характеристика шлангового РО .

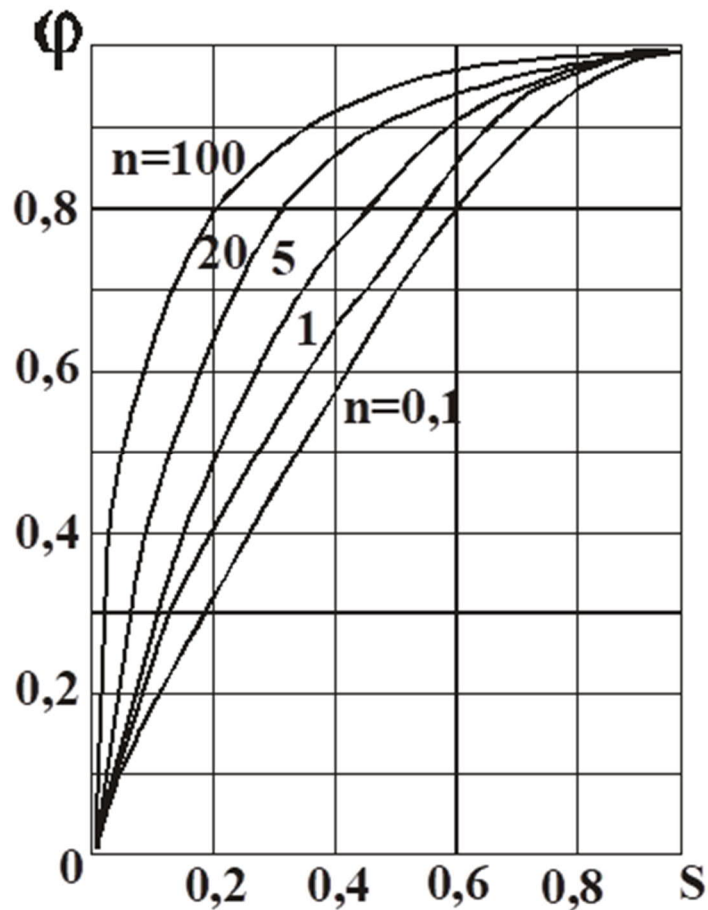


Рис. 3.8. Витратна характеристика діафрагмового РО.

Коефіцієнти передачі для максимального $(d\phi/dS)_{\text{Макс}}$ і мінімального $(d\phi/dS)_{\text{мін}}$ навантажень РО визначають з рис. 3.9 - 3.11.

На рис. 3.9 - 3.11 лінії I, II, III позначають залежність відносної витрати ϕ від коефіцієнта передачі $d\phi/dS$ при $n = 0$ для ИУ з лінійною (I) і рівновідсотковою (II) пропускними характеристиками та для заслінкових ВП (лінія III).

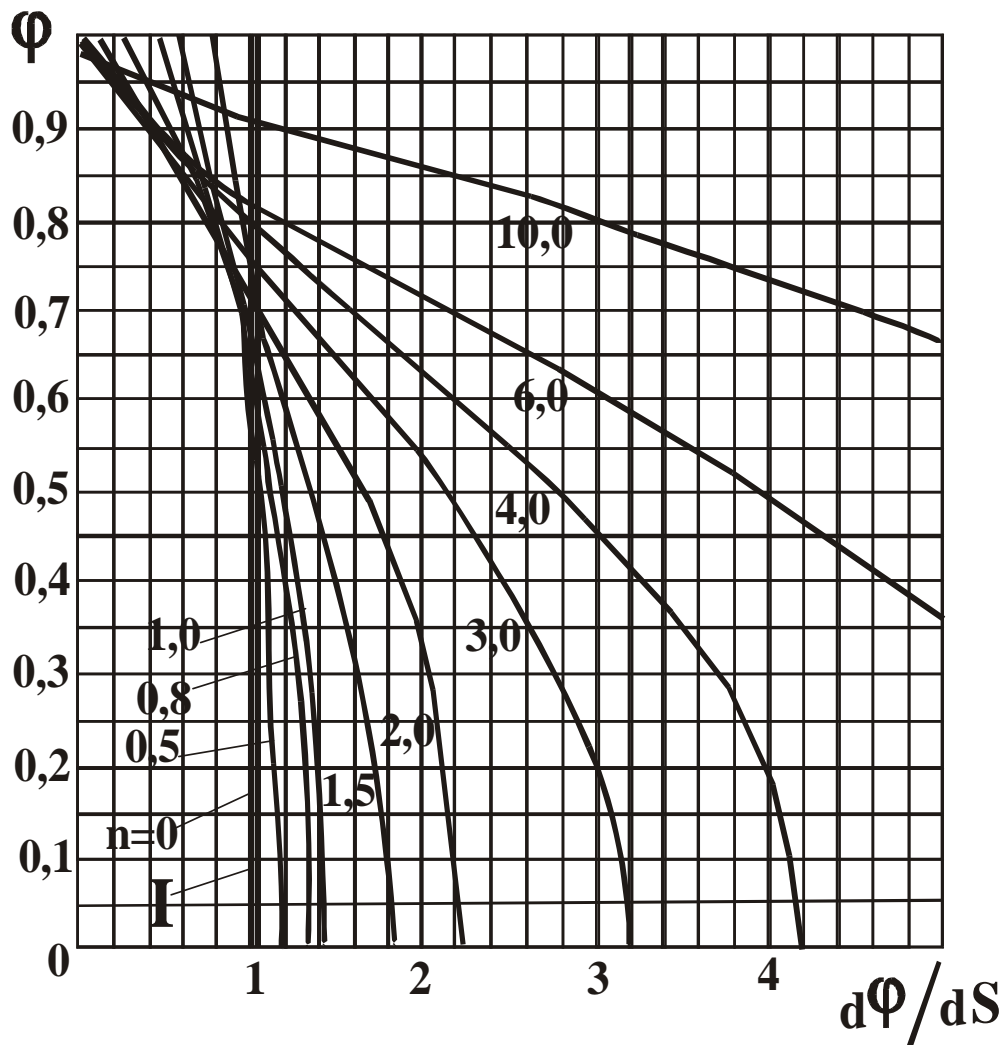


Рис. 3.9. Значення коефіцієнта передачі РО з лінійною пропускною характеристикою.

3.1.2 Розрахунок перестановочного зусилля виконавчих механізмів

Цей розрахунок передбачає застосування даних, отриманих при виборі регулюючого органа. Загальна формула визначення перестановочного зусилля $N_{пс}$, для переміщення РО має вигляд:

$$N_{пс} = n(N_c + N_d + N_{ш} + N_{тр}), \quad (3.36)$$

де $n = 1, 2, \dots, 1, 3$ – коефіцієнт запасу, що враховує масу рухомих деіалей; N_c , N_d , $N_{ш}$ і $N_{тр}$ – відповідно зусилля статичної і динамічної невірноваженості, тиску середовища на шток і сила тертя в сальнику і напрямних, Н.

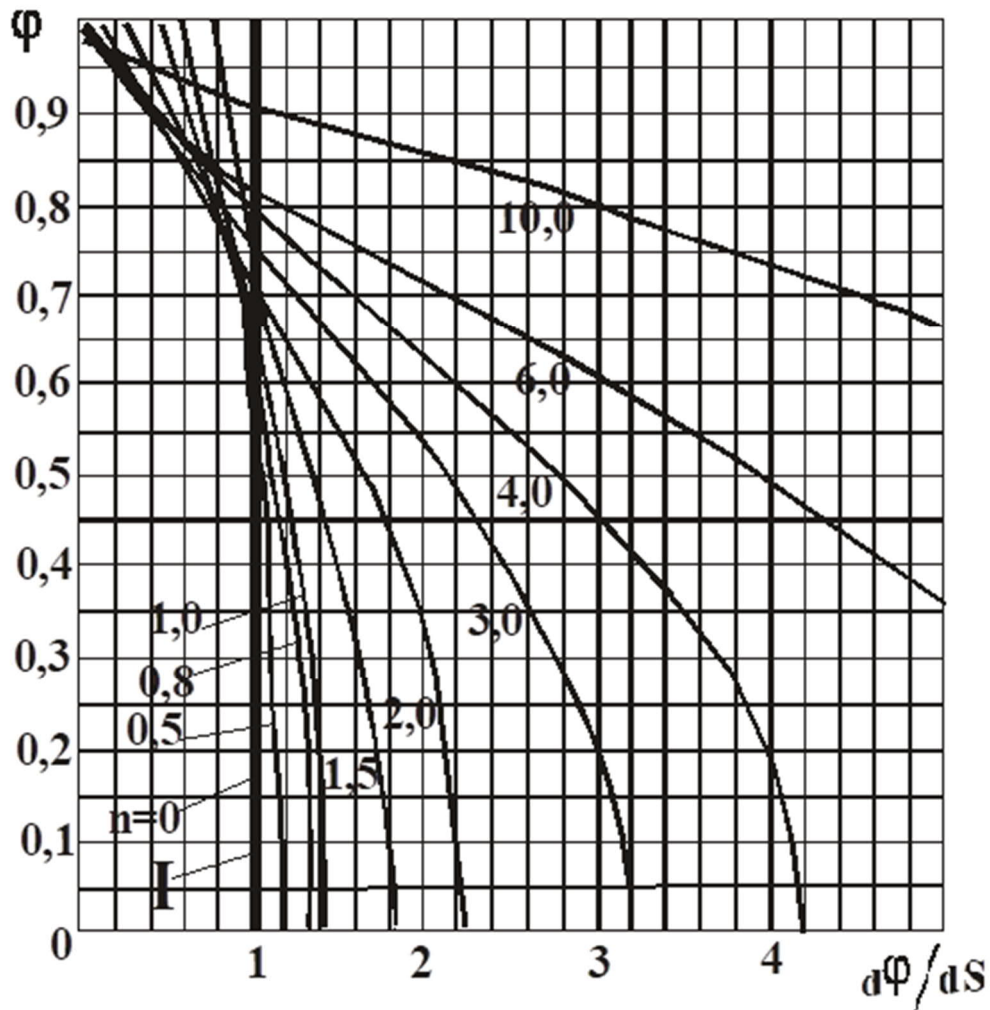


Рис. 3.10. Значення коефіцієнта передачі РО з рівновідсотковою пропускною характеристикою.

Зусилля N_c визначають за такими рівняннями:

для двосідельних РО

$$N_c = \Delta P_{po}^{\max} \Delta F_c \quad . \quad (3.37)$$

для односідельних РО

$$N_c = \Delta P_{po}^{\max} \Delta F_z \quad , \quad (3.38)$$

де ΔP_{po}^{\max} – перепад тиску на РО, Н/м²; ΔF_c – різниця площ верхнього і нижнього сідел, значення якої наведено в табл. 5.16;

$\Delta F_3 = 0,785 (D_3^2 - d_{ш}^2)$ – невірноважена площа затвору (D_3 – зовнішній діаметр затвору, $d_{ш}$ – діаметр штока), m^2 .

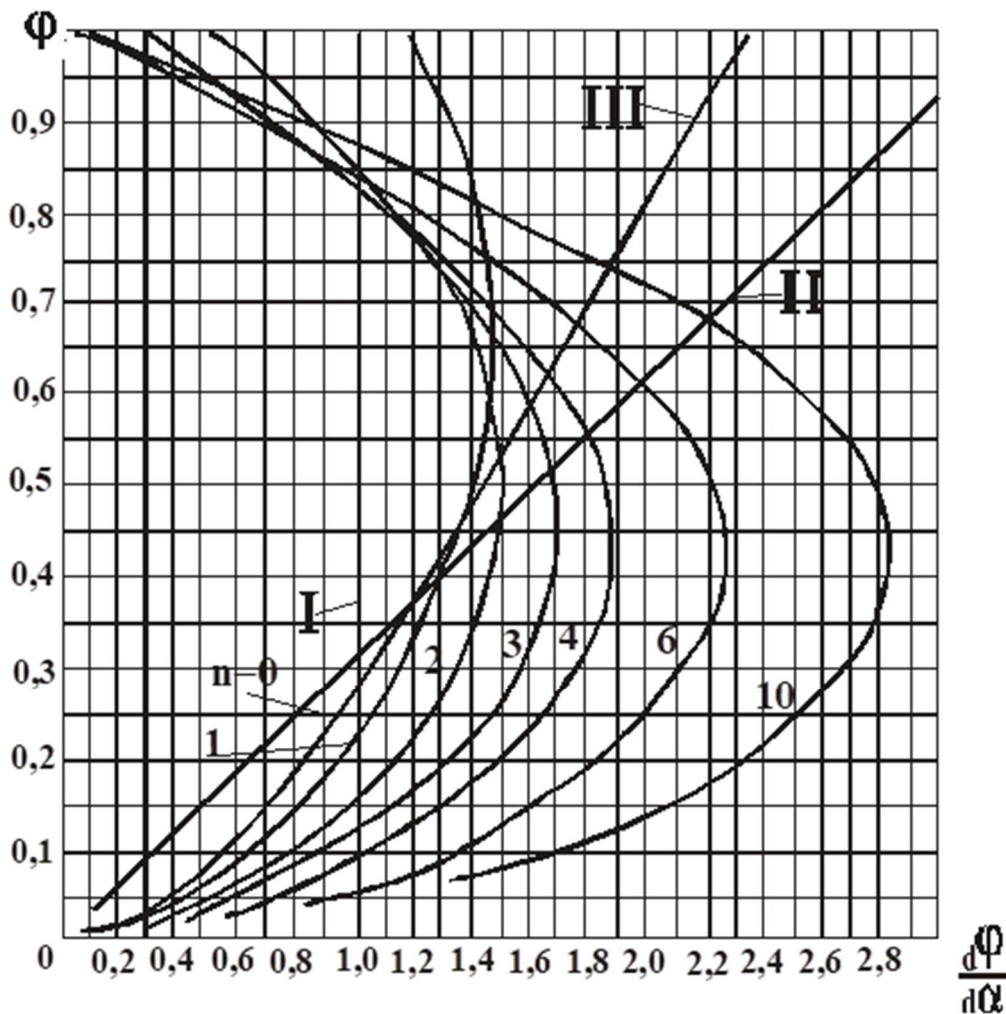


Рис. 3.11. Значення коефіцієнта передачі заслінкового РО

Таблиця 3.8 – Функціональна залежність ΔF_c і $d_{ш}$ від діаметра умовного проходу для двосідельних РО.

Умовний прохід	15	32	65	100	200
D_y , мм	20	40	80	125	250
	25	50	80	150	300
Різниця площ					
ΔF_c , cm^2	0,7	1,2	2,0	5,0	20,0
Діаметр штока					
$d_{ш}$, мм	8,0	10,0	12,0	14,0	16,0

У розрахунках можна приблизно взяти D_3 однаковим з діаметром сідла D_c . При цьому значення $D_c = D_y$ знаходять з табл. 3.7 для РО. Значення S_y умовного ходу для тарілчастого затвора визначають із рівняння

$$S_y = (0,3 \dots 0,4) D_c \quad (3.39)$$

Для тарілчастого (пробкового і поршневого) затвора з конічною опорною поверхнею S_y знаходять із виразів

$$1 = 1,42 \left[\frac{2S_y}{D_c} + \left\langle \frac{S_y}{D_c} \right\rangle^2 \right]; \quad (3.40)$$

$$1 = 1,5 \left[\frac{2,3S_y}{D_c} + \left\langle \frac{S_y}{D_c} \right\rangle^2 \right]. \quad (3.41)$$

Рівняння (3.40) і (2.41) справджуються при конусності кутів відповідно $\delta = 90^\circ$ і 120° .

Для конічного затвора з конусністю кутів відповідно $120, 90, 60$ і 30° S_y визначають з наступних рівнянь:

$$1 = 1,5 \left[\frac{2,3S_y}{D_c} + \left\langle \frac{S_y}{D_c} \right\rangle^2 \right]; \quad (3.42)$$

$$1 = 1,42 \left[\frac{2S_y}{D_c} + \left\langle \frac{S_y}{D_c} \right\rangle^2 \right]; \quad (3.43)$$

$$1 = 0,867 \left[\frac{2,3S_y}{D_c} + \left\langle \frac{S_y}{D_c} \right\rangle^2 \right].; \quad (3.44)$$

$$1 = 0,26 \left[\frac{2,3S_y}{D_c} + \left\langle \frac{S_y}{D_c} \right\rangle^2 \right]. \quad (3.45)$$

Величину S_y , отриману з виразів (3.40) - (3.45), округлюють до найближчої більшої величини зі стандартного ряду: 6; 10; 16; 25; 40; 60; 100; 200; 400мм.

Зусилля N_d відповідно для односідельних тарілчастого (поршневого), тарілчастого з кінчною опорною поверхнею, кінчного і пробкового (профільованого) затворів знаходять із рівнянь:

$$N_d = F_c \frac{\omega_{cp}^2}{2} \rho \left[2,5 + \left(\frac{D_c}{2,45 S_y} \right)^2 \right]; \quad (3.46)$$

$$N_d = F_c \frac{\omega_{cp}^2}{2} \rho \left[1,05 + \left(\frac{D_c}{3,65 S_y} \right)^2 \right]; \quad (3.47)$$

$$N_d = F_c \frac{\omega_{cp}^2}{2} \rho \left[0,38 + \left(\frac{D_c}{2,72 S_y} \right)^2 \right]; \quad (3.48)$$

$$N_d = F_c \frac{\omega_{cp}^2}{2} \rho \left[0,96 + \left(\frac{D_c}{4,6 S_y} \right)^2 \right], \quad (3.49)$$

де F_c – площа проходу сідла, м²; ω_{cp} – середня швидкість потоку середовища через РО, м/с; ρ – густина середовища, кг/м³.

Для двосідельних РО зусилля N_d і $N_{тр}$ важко враховувати. Тому значення пересувного зусилля, що визначається також сумою сил N_c і $N_{ш}$, вибирають з деяким запасом, звичайно з коефіцієнтом запасу 1,5.

Зусилля від тиску на шток

$$N_{ш} = 0,785 d_{ш}^2 P_2, \quad (3.50)$$

де P_2 – максимальний вихідний тиск за клапаном, Н/м².

Перестановочний момент $M_{пс}$ (Н·м), необхідний для обертання затвора заслінкового РО з урахування сил тертя, визначають за формулою

$$M_{\text{ПС}} = 2 m D_{\text{д}}^3 \Delta P_{\text{ро}}, \quad (3.51)$$

де $D_{\text{д}}$ – діаметр диску заслінки, м; $\Delta P_{\text{ро}}$ – перепад тиску на диску, Н/м^2 ; m – коефіцієнт, що залежить від кута повороту диску α і який визначають за графіком (рис. 3.12). Діаметр $D_{\text{д}}$ і товщину δ круглої поворотної заслінки з упорами визначають за формулами

$$D_{\text{д}} = 0,95 D_{\text{у}}, \quad \delta = 0,02 D_{\text{у}}. \quad (3.52)$$

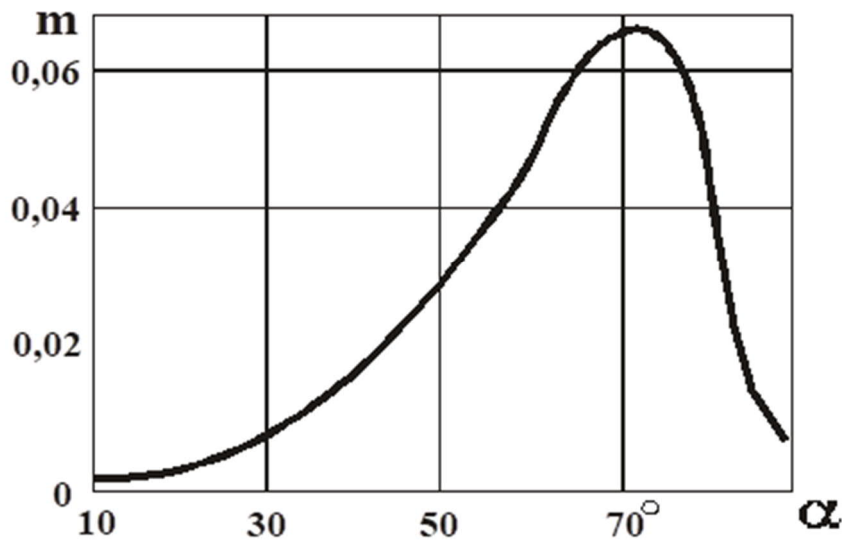


Рис. 3.12. Залежність коефіцієнта m від кута повороту заслінки α

Найбільше зусилля для переміщення шиберів у положення мінімального відкриття знаходять за рівнянням

$$N_{\text{пс}}^{\text{ш}} = 1,5 (K \Delta P_{\text{ро}} F + G), \quad (3.53)$$

де F – площа рухомої частини шибера, на яку діє перепад тиску, м^2 ; G – вага рухомої частини, Н ; K – коефіцієнт тертя (для чавуна по чавуну - 0,15; для чавуна по сталі – 0,18; для сталі по чавуну – 0,14); $\Delta P_{\text{ро}}$ – перепад тиску на шибері, Н/м^2 .

Вибір виконавчих механізмів (ВМ) згідно з розрахунковим значенням перестановочного зусилля чи моменту здійснюється за табл. 5.17 – 5.22. При

цьому перерахунок перестановочного моменту $M_{ПВ}$, що утворюється ИМ, у перестановочне зусилля $N_{ПВ}$ можна виконати за формулою

Таблиця 3.9 – Характеристики прямохідних електродвигунних ВМ типу МЕР

Перестановочне зусилля $N_{ПВ}$, Н	Час робочого ходу штока T_c , с	Робочий хід вихідного елемента, мм	Розгін (не більше)	Вибіг (не більше)	Люфт (не більше), мм
63; 160; 400	16; 40; 100	10; 40	1%повного ходу штока при $T_c=16с$; 0,5% повного ходу при $T_c>16с$	1%повного ходу штока при $T_c=16с$; 0,5% повного ходу при $T_c>16с$	0,2
1000; 2500	16; 40; 100; 250	25; 100			0,5
6300; 16000	40; 100; 250	63; 250			

Таблиця 3.10 – Характеристики багатооборотних електродвигунних ВМ типу МЕР

Перестановочний момент $M_{ПВ}$, Н·м	Час одного оберту вала T_c , с	Робочий хід вихідного елемента, мм	Розгін (не більше)	Вибіг (не більше)	Люфт (не більше), град
6,3	1; 2,5	10; 25; 63 мм (за 160 оборотів)	50° при $T_c=1 с$; 20 при $T_c>1с$	50 пр $T_c= 1с$; 20 при $T_c>1с$	3
16	1; 2,5; 6,3				
40; 10	1; 2,5; 6,3; 16				
250	2,5; 6,3; 16				
630	6,3; 16				
1600	16				

$$M_{пу} = N_{пу} r, \quad (3.54)$$

де r – радіус важеля ВМ, м.

Таблиця 3.11 – Характеристика однооборотних електродвигунних ВМ типу МЕО

Перестановочний момент $M_{пу}$, $N \sim M$	Час одного оберту T_c , с	Кут повороту вихідного елемента, град	Розгін (не більше)	Вибіг (не більше)	Люфт (не більше), град
6,3	40; 100	0-90	1° при $T_c = 40с$;	1° при $T_c = 40с$;	1
16; 40	40; 100; 250				
100; 250; 630; 1000	40; 100; 250; 630	0-240	30' при $T_c > 40с$;	30' при $T_c > 40с$;	
4000	100; 250; 630				
10000	250; 630				

3.2 Алгоритм розрахунку площі відкритого перерізу та профілю затвора регулюючих клапанів

Розрахунок здійснюється у відповідності з отриманою формою пропускної характеристики РО. Найчастіше в РО при регулюванні застосовуються пробкові й поршневі затвори, що мають два типи профілю – стрижневий і порожнистий. Вихідними даними для розрахунку профілю затвора є: залежність коефіцієнта опору РО від ступеня відкриття $\xi_{ро}=f(l)$; умовний хід штока (затвора) S_y ; діаметр сідла D_c .

Коефіцієнт опору РО залежно від ступеня його відкриття $L_x=S/S_y$ знаходять за рівнянням

$$\xi = \xi_{\text{po}}^{\text{макс}} \left(\frac{1}{L_x}\right)^2, \quad (3.55)$$

де $L_x = 0 \dots 1$.

Коефіцієнт $\xi_{\text{po}}^{\text{макс}}$ визначається за експериментальними характеристиками чи приблизно з умови

$$\xi_K \leq 0,9 \xi_{\text{po}}^{\text{макс}}, \quad (3.56)$$

яка визначає нормальну роботу РО. Коефіцієнт ξ_K опору корпусу для одно- і двосідельних плунжерних РО орієнтовно можна вибрати з табл. 3.15.

Встановлюють масштаб, у якому буде побудований профіль затвора РО (звичайно 10:1), і проводять вісь затвора, по один бік якої проводять паралельну лінію на відстані $D/2$ у обраному масштабі. На цій лінії вибирають відрізок, що дорівнює S_y . Цей відрізок далі розбивають на рівні частини (звичайно 10 чи 5), що відповідають ступеню відкриття L регулюючого органу.

Таблиця 3.12 – Перестановочне зусилля $N_{пу}$, яке розвивають мембранні ИМ типу МИМ, кН

Тип	Елемент механізму, що розвиває зусилля		Діаметр забиття мембрани D_m , мм					
			160	200	250	320	400	500
1	2		3	4	5	6	7	8
МИМ прямої і зворотної дії	Вихідна ланка	На початку ходу	3,5	5,6	9,0	14	22,5	35,5
		У кінці ходу	2,4	3,75	6,0	9,5	15,0	23,5
	Пружина	Попередньо стиснута	0,32	0,5	0,8	1,25	2,0	3,15

		Стиснута на величину робочого ходу	1,6	2,5	4,0	6,3	10,0	16,0
МІМ прямої дії	Вихідна ланка	На початку ходу	3,75	6,0	9,5	15	23,5	37,5
		У кінці ходу	3,35	5,3	8,5	13,2	21,2	33,5
	Пружина	Попередньо стиснута	0,2	0,32	0,5	0,8	1,25	2,0
		Стиснута на величину робочого ходу	0,6	0,95	1,5	2,4	3,75	6,0
МІМ зворотної дії	Вихідна ланка	На початку ходу	2,0	3,15	5,0	8,0	12,5	20,5
		У кінці ходу	0,8	1,25	2,0	3,15	5,0	8,0
	Пружина	Попередньо стиснута	2,0	3,0	4,5	7,5	11,8	18
		Стиснута на величину робочого ходу	4,0	5,0	8,0	12,5	20	31,5

Для кожного з перерізів L_x будують криву Y твірних, яка задається рівнянням:

$$Y^2 = \left(\frac{f_{PO}}{\pi} \right)^2 \frac{I}{(D_C - x)^2} - x^2, \quad (3.57)$$

де f_{PO} – площа відкритого перерізу для відповідного ступеня L_x відкриття РО, мм²; x – відстань від лінії $D_C/2$ до твірної профілю, мм.

Значення f_{PO} визначають з рівняння

$$f_{po} = m_p F_{po}, \quad (3.58)$$

де $m_p=0...1$ – відносний прохідний переріз РО; $F_{po} = \frac{\pi D_y^2}{4}$ – площа перерізу на вході у РО.

Таблиця 3.13 – Характеристика поршневих прямоходних пневмоциліндрів.

Параметр	Діаметр поршня Dп, мм				
	50	100	125	160	200
Статичне зусилля на штоку при максимальному тиску Nпс, Н (не менше):					
Штовхаюче	1590	6750	10600	18100	28400
Тягове	1390	6350	9900	17000	27200
Швидкість переміщення штока, м/с (не більше)	1				0,5
Тиск початку руху без навантаження, МПа (не більше)	0,025			0,02	

Таблиця 3.14 – Характеристика поршневих поворотних пневмодвигунів типу ПДП.

Модифікація	Престановочний момент Mпс при номінальному тиску, Н·м	Мінімальний тиск, МПа	Кут повороту вала двигуна, град
ПДП.1 – 10.040.180	10	1	180

ПДП.2 – 80.063.180	80		
--------------------	----	--	--

Таблиця 3.15 – Залежність коефіцієнта ξ_k від діаметра D_u умовного проходу РО.

D_u , мм	25	50	80	100	150 і більше
ξ_k	2,4	2,9	4,3	4,9	5,5

Значення m_p знаходять за формулою:

$$m_p = \frac{1}{\alpha_k \sqrt{\xi_{\Sigma 0} + 1}}, \quad (3.59)$$

де α_k – коефіцієнт витрати відкритого перерізу РО; $\xi_0 = \xi_{po} - \xi_k$ - коефіцієнт опору відкритого перерізу РО.

Оскільки m_p і α_k взаємозалежні, розрахунок m_p виконують методом послідовних наближень. Початково задають величину m_3 і за графіком з рис. 3.13 знаходять значення α_k . Знайдене значення α_k підставляють у формулу (3.59) і обчислюють m_p . Якщо задане m_3 збіглося з розрахунковим m_p , то розрахунок припиняють, а якщо ні – задаються іншим значенням m_3 і розрахунок повторюють до забезпечення збіжності.

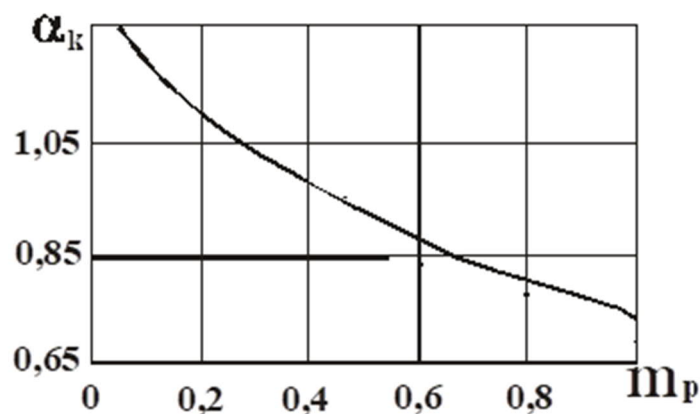


Рис. 3.13. Залежність α_k для РО з профільованим затвором від m_p

Для двосідельних РО площа відкритого перерізу

$$f_{po} = \frac{m_p F_{po}}{2}, \quad (3.60)$$

Перевіряють співвідношення:

$$u = \frac{Y_0}{X_0} \geq 0,9, \quad (3.61)$$

де Y_0 – ордината при $X=0$, що визначається з рівняння (3.57); X_0 – абсциса при $Y=0$.

Якщо умова (3.61) виконується, то крива з достатньою точністю замінюється колом, радіус якого дорівнює:

$$r = \frac{(X_0 + Y_0)}{2}. \quad (3.62)$$

Проведена обвідна побудованих кривих(X, Y) і буде профілем плунжера.

У порожнистих плунжерах витрата регулюється зміною площини вікон плунжера для проходження потоку. Розрахунок площі вікна зводиться до визначення його ширини H залежно від ступеня відкриття L . Ширина вікна в перерізі, що розглядається, мм:

$$L_k = \frac{2(f_{po.k} - f_{po.k-1})}{ab} - L_{k-1}, \quad (3.63)$$

де $f_{po.k}$ – площа відкритої частини вікна в перерізі, що розглядається, мм^2 ; $f_{po.k-1}$ – площа відкритої частини вікна в попередньому перерізі, мм^2 ; a – відстань між перерізами, мм; b – кількість вікон на плунжері; H_{k-1} – ширина вікна в попередньому перерізі, мм.

За отриманими точками викреслюють криву, яка являтиме собою профіль вікна.

3.3 Вибір і розрахунок зчленувань виконавчих механізмів з регулюючими органами

Розрахунок передбачає визначення типу і конструкції РО та ВМ, взаємне їх розміщення, характер переміщення РО, конкретні умови об'єкта регулювання.

Найчастіше застосовують два типи зчленування: безпосереднє та жорстке. У схемах безпосереднього зчленування переміщення вихідного пристрою ВМ і рухомої частини РО однакові, а швидкості рівні. Такий вид зчленування частіше застосовують при компонованні РО з багатооборотними (рідше одно оборотними) електродвигунними, пневматичними і гідравлічними ВМ. При цьому забезпечується лінійність зв'язку ВМ з РО та коефіцієнт передачі $K_c=1$.

Найбільшого поширення набули зчленування другого типу, що забезпечують нелінійність зв'язку РО і ИМ. Ці зчленування дають змогу завдяки нелінійності зв'язку змінювати (виправляти) витратну характеристику РО, а також розширювати границі взаєморозміщення РО і ВМ. На рис. 3.14 показано дві схеми зчленування РО і ВМ.

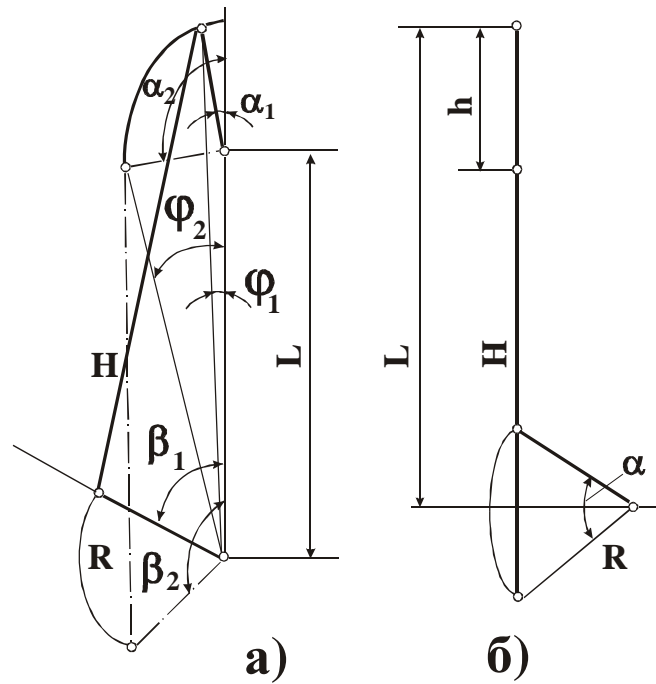


Рис. 3.14. Кінематична схема зчленування ВМ і РО: а – при обертовому русі рухомої частини РО і вихідного пристрою ВМ; б – при обертовому русі рухомої частини РО і поступальному русі вихідного пристрою ВМ.

Розрахунок зчленування, зображеного на рис. 3.14а, зводиться до визначення довжини R важеля РО і довжини з'єднувальної тяги H . Вихідними даними є: довжина r важеля ВМ, відстань L між осями РО і ВМ, повний кут повороту $(\alpha_1 - \alpha_2)$ вала ВМ і повний кут повороту $(\beta_1 - \beta_2)$ вала РО. Довжина R і H визначаються за формулами:

$$R = \frac{A^2 - B^2}{2[A \cos(\beta_1 - \alpha_1) - B \cos(\beta_2 - \alpha_2)]}; \quad (3.63)$$

$$H = \sqrt{R^2 + A^2 - 2R \cos(\beta_1 - \alpha_1)}. \quad (3.64)$$

Величину A визначають з системи рівнянь:

$$A = \sqrt{r^2 + L^2 + 2rL \cos \varphi_1}; \quad (3.65)$$

$$A = r \frac{\sin \varphi_1}{\sin \alpha_1}. \quad (3.66)$$

Величину В знаходять з системи рівнянь за формулами:

$$B = \sqrt{r^2 + L^2 + 2rL \cos \varphi_2}; \quad (3.67)$$

$$B = r \frac{\sin \varphi_2}{\sin \alpha_2}. \quad (3.68)$$

При $(\alpha_1 - \alpha_2) = (\beta_1 - \beta_2) = 90^\circ$ величина

$$R = r \frac{\sin \varphi_1 + \cos \varphi_1}{1,414}. \quad (3.69)$$

Звичайно величина $\varphi_1 = 10^\circ$. Тоді рівняння (3.69) буде мати наступний вигляд:

$$R = 0,8197r. \quad (3.70)$$

Цей вид механічного зв'язку широко застосовується для з'єднання регулюючих клапанів з електричними ВМ. На рис. 3.15 зображено найпоширеніші випадки такого механічного зв'язку.

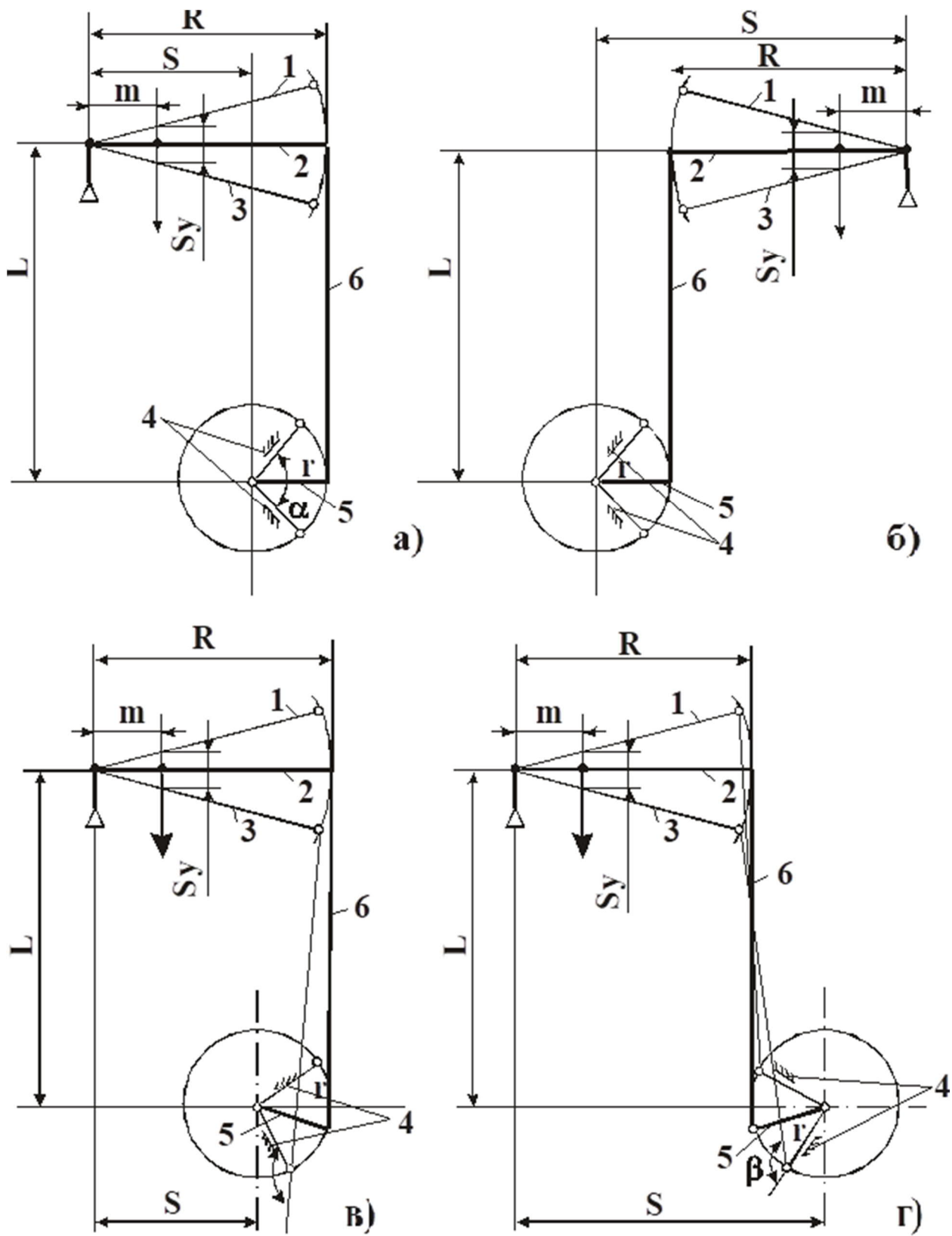


Рис. 3.15. Кінематичні схеми жорсткого зчленування РО з електродвигунними ВМ: 1 – положення важеля “відкрито”; 2 – середнє положення важеля; 3 – положення важеля “закрито”; 4 – механічні упори; 5 – кривошип ВМ; 6 – тяга.

Для цих схем кут повороту α кривошипа ВМ слід взяти 90° , тоді довжина важеля РО визначиться рівнянням:

$$R = c \frac{mr}{S_y}, \quad (3.71)$$

де c – коефіцієнт, що залежить від витратної характеристики РО ($C=1,4$ – при лінійній і $C=1,2$ – при нелінійній); m – задана відстань між віссю обертання важеля РО і пальцем, що скріплює шток і важіль, мм; r – довжина кривошипа, мм; S_y – робочий хід РО, мм.

Для виконання зчленувань без лінеаризації характеристики РО важіль встановлюють у положення, при якому РО має $L_x=0,5$, тобто шток піднятий на $0,5S_y$. У цьому разі важіль перпендикулярний до штока. Далі ВМ встановлюють так, щоб коло радіусом r , описане кінцем кривошипа, торкалося перпендикулярно до кінця важеля в положенні РО $L_x=0,5$. Кривошип встановлюють паралельно важелю, і у цьому положенні їх з'єднують тягою. Залежно від розміщення обладнання (РО і ВМ) зчленування можна виконати як пряме (рис.3.15а), так і зворотне (рис. 3.15б). Відстань S між осями обертання важеля і кривошипа відповідно для прямого і зворотного зчленувань визначається за формулами:

$$S = R - r; \quad (3.72)$$

$$S = R + r. \quad (3.73)$$

Відстань L згідно рис. 3.15 між осями обертання звичайно беруть у діапазоні $(3...5)r$.

Для РО з нелінійною характеристикою з метою її лінеаризації ВМ установлюють так, щоб для прямого (рис.3.15в) і зворотного (рис.3.15г) зчленувань виконувались відповідно співвідношення:

$$S = R - 0,6r; \quad (3.74)$$

$$S = R + 0,6r. \quad (3.75)$$

Потім важіль устанавлюють у положення $L_x = 1$ (закрито), а кривошип – у таке положення, щоб кут $\beta = 160 \dots 170^\circ$. У цьому положенні кривошип і важіль з'єднують тягою. При з'єднуванні ВМ з РО за схемою, що зображена на рис. 3.15б, вихідними даними для розрахунку є: хід h вихідного пристрою ВМ, відстань L від кінця вихідного пристрою ВМ у початковому положенні до осі РО, повний кут повороту α вала РО. За результатом розрахунку встановлюють довжину R важеля РО і довжину H з'єднувальної тяги, що визначається за рівняннями

$$R = \frac{h}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}, \quad (3.76)$$

$$H = \sqrt{\left(L - \frac{h}{2}\right)^2 + \left(\frac{h}{4} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{4}\right)^2}. \quad (3.77)$$

Перестановочне зусилля ВМ обчислюють за формулою

$$N_{\text{пв}} = 1,2 K_c N_{\text{пс}} \quad (3.78)$$

Коефіцієнт передачі K_c механічних зв'язків для зчленувань, зображених на рис. 3.14 і 3.15а визначають за формулами:

$$K_c = \frac{R}{r}; \quad (3.79)$$

$$K_c = \frac{m}{r}. \quad (3.80)$$

3.4 Приклади розрахунків і вибору виконавчих пристроїв

3.4.1 Розрахунок і вибір виконавчого пристрою САУ тиску в деаераторі

Розрахунок виконано за таких вихідних даних: максимальна витрата пари $M_{\text{макс}}=10$ т/год; мінімальна витрата пари $M_{\text{мін}}=3$ т/год; тиск пари в магістралі $P_{\text{м}}=0,5$ МПа; тиск у деаераторі $P_{\text{д}}=0,12$ МПа; температура пари $T=483$ К; внутрішній діаметр паропроводу $D=250$ мм; динамічна в'язкість пари $\nu=1,68 \cdot 10^5$ Па·с; густина пари $\rho_{\text{п}}=2,25$ кг/м³; характеристика паропроводу (є три повороти під кутом 90° з радіусом вигину $0,7$ м і дві запірні заслінки).

Схему паропроводу зображено на рис. 3.16.

Розрахунок виконують у такій послідовності.

Визначають швидкість потоку ω при $M_{\text{макс}}$ за формулою (3.4):

$$\omega = \frac{4 \times 10 \times 10^3}{2,25 \times 3,14 \times 0,25^2 \times 3600} = 25,16 \text{ м/с}$$

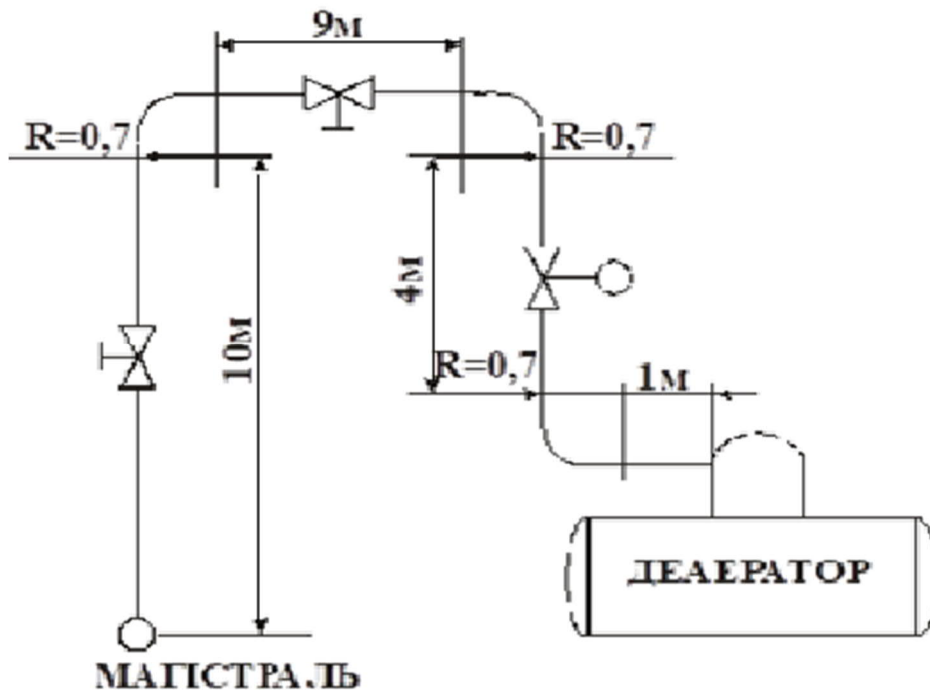


Рис. 3.16. Схema трубопровідної лінії при регулюванні тиску пари в деаераторі.

Знаходять число Рейнольдса з рівняння (3.7):

$$\text{Re} = \frac{25,16 \times 0,25 \times 2,25}{1,68 \times 10^{-5}} = 841500$$

За табл. 3.3 знаходять середню висоту виступів ($\epsilon=0,1$), а для $\text{Re} > 2320$ за формулою (3.5) визначають коефіцієнт λ :

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left(\frac{0,1}{3,7} + \left(\frac{6,81}{841500} \right)^{0,9} \right) = 3,136$$

$$\lambda = 0,564$$

Втрату тиску на прямих ділянках трубопроводу визначають з рівняння (3.2):

$$\Delta P_{\text{пр}} = \frac{0,546 \times 2,25 \times 28,29 \times 25,16^2}{2 \times 0,25} = 45451,3 \text{ Н / м}^2,$$

де $L=10+9+4+1+(3 \cdot 0,7 \cdot 2\pi/4)=28,29$ м – підсумкова довжина трубопроводу.

Втрату тиску в місцевих опорах знаходять за формулою (3.3):

$$\Delta P_{\text{м}} = \frac{3,6 \times 2,25 \times 25,16^2}{2} = 2563,7 \text{ Н / м}^2,$$

де $\Sigma \xi_j = 0,5 + 1 + 0,6 \cdot 3 + 0,15 \cdot 2 = 3,6$

Втрату тиску в лінії визначають з рівняння (3.1):

$$\Delta P_{\text{л}} = 2563,7 + 45451,3 = 48015 \text{ Н / м}^2$$

Перепад тиску РО знаходять за формулою (3.8):

$$\Delta P_{\text{ро}}^{\text{макс}} = 380000 - 48015 - 235,9 = 331749 \text{ Н / м}^2,$$

де

$$\Delta P_{\text{с}} = (0,5 - 0,12) \times 10^6 = 0,38 \times 10^6 \text{ Н / м}^2;$$

$$\Delta P_{\text{г}} = 2,25 \times 9,8 \times 10,7 = 235,9 \text{ Н / м}^2.$$

З урахуванням умови $\Delta P_{\text{рс}} \geq 0,5 P_1$ коефіцієнт пропускної здатності обчислюють з рівняння (3.17):

$$K_{V_{\text{макс}}} = \frac{50,7 \times 10^3 \times 10 \times 10^3}{3600 \sqrt{2,25 \times 0,5 \times 10^6}} = 132,79 \text{ м}^3 / \text{год},$$

де $\rho_{\text{ш}} = \rho_{\text{п}} = 2,25 \text{ кг / м}^3$; $P_1 \approx P_{\text{М}} = 0,5 \text{ МПа}$.

Згідно з (3.20) умовна пропускна здатність буде становити:

$$K_{Vy} = 1,2 \times 132,79 = 159,35 \text{ м}^3 / \text{год}$$

Згідно з табл. 3.1 витратна характеристика РО буде лінійною, а оскільки $n = (48015/331749) = 0,14 < 1,5$, бажано, щоб пропускна характеристика РО також була лінійною. За табл. 3.7 вибирають двосідельний РО з $K_{Vy} = 160 \text{ м}^3 / \text{год}$ і $D_y = 100 \text{ мм}$ типу 22ч32ж (НО) з тарілчастим плунжером (див. табл.4.25 навчального посібника «Промислові засоби автоматизації» ч.2.).

За формулою (3.33) визначають максимальну витрату для вибраного РО:

$$M'_{\text{макс}} = \frac{10^4 \times 160}{132,79} = 12049 \text{ кг / год.}$$

За формулами (3.34) і (3.35) знаходять відносні значення витрат:

$$\varphi_{\text{макс}} = \frac{10^4}{12049} = 0,829;$$

$$\varphi_{\text{мін}} = \frac{3 \times 10^3}{12049} = 0,248.$$

Згідно з рис. 3.4 діапазон переміщення РО при $n=0$

$$\Delta S = 0,829 - 0,248 = 0,581.$$

Визначаємо з рис. 3.9 коефіцієнти передачі для максимального і мінімального навантажень РО:

$$\left(\frac{d\varphi}{dS} \right)_{\text{макс}} = \left(\frac{d\varphi}{dS} \right)_{\text{мін}} = 1.$$

Отже, обраний РО ідеально забезпечує сталість коефіцієнта передачі в робочому діапазоні.

За формулою (3.37) знаходять зусилля N_c :

$$N_c = 331749 \times 5 \times 10^{-4} = 165,87 \text{ Н},$$

де $\Delta F_c = 5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ (див. табл. 3.8).

З виразу (3.41) при конусності $\delta = 120^\circ$ визначають для тарілчастого затвора величину S_y :

$$1 = 1,5 \left(\frac{2,3 \times S_y}{10^2} + \frac{S_y^2}{10^4} \right);$$

$$S_y = 25 \text{ мм}.$$

Згідно із стандартом беруть величину $S_y=25$ мм.

Обчислюють з рівняння (3.50) зусилля $N_{ш}$:

$$N_{ш} = 0,785(14 \times 10^{-3})^2 \times 0,12 \times 10^6 = 18,46 \text{ Н},$$

де $d_{ш}=14 \cdot 10^{-3}$ м (див. табл. 3.8).

Зусилля N_d беруть з коефіцієнтом запасу 1,5 для двосідельних РО від суми зусиль N_c і $N_{ш}$:

$$N_d = 1,5(165,87 + 18,46) = 184,33 \text{ Н}.$$

Перестановочне зусилля N_d для РО визначають за формулою (3.36):

$$N_{пс} = 1,3(165,87 + 18,46 + 184,33) = 479,26 \text{ Н}.$$

За табл. 3.12 обирають для комплектації з РО виконавчий механізм типу МИМ прямої дії із зусиллям $N_{пс}$ у кінці прямого ходу 2,4 кН, що має діаметр $D_M=160$ мм.

3.4.2 Розрахунок і вибір виконавчого пристрою САУ витрати сировини у ректифікаційну колону

Розрахунок виконано за таких вихідних даних: максимальна витрата сировини $V_{\max}=100$ м³/год; мінімальна витрата сировини $V_{\min}=50$ м³/год; тиск після насоса $P_0=1,038$ МПа; тиск у колоні $P_k=0,01$ МПа; температура сировини в трубопроводі після теплообмінника $T=303$ К; внутрішній діаметр трубопроводу $D=130$ мм; густина сировини $\rho=872$ кг/м³; кінематична в'язкість сировини $\nu=8 \cdot 10^{-7}$ м²/с; загальна довжина прямих ділянок трубопроводу $L \approx 40$ м; модуль зважувального пристрою $m=0,34$; коефіцієнт опору для теплообмінника $\xi=78$;

абсолютний тиск насичених парів сировини при 303К $P_H=20 \cdot 10^3 \text{ Н/м}^2$; інші характеристики трубопроводної лінії показано на рис. 3.17.

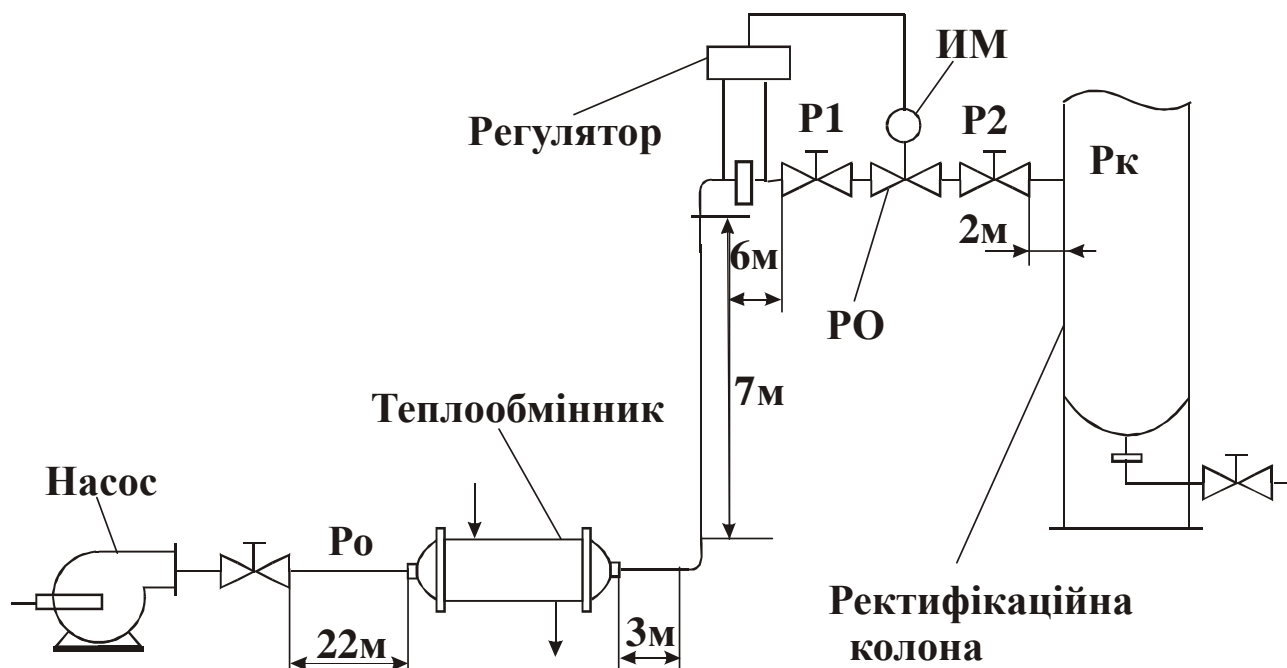


Рис. 3.17. Схема трубопроводної лінії при регулюванні витрати сировини в ректифікаційну колону.

Швидкість потоку ω при $M_{\text{макс}}$ обчислюють за формулою (3.4):

$$\omega = \frac{4 \times 100}{3,14 \times 0,13^2 \times 3600} = 2,09 \text{ м/с.}$$

Визначають режим течії рідини в трубопроводі з рівняння (3.7):

$$Re = \frac{2,09 \times 0,13}{8 \times 10^{-7}} = 339625.$$

За табл. 3.3 знаходять середню висоту виступів ($e=0,2$), і для $Re > 2320$ із виразу (3.5) визначають коефіцієнт λ :

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left(\frac{0,2}{3,7} + \left(\frac{6,81}{339625} \right)^{0,9} \right) = 2,53;$$

$$\lambda = 0,628.$$

Втрати тиску на прямих ділянках трубопроводу знаходять за формулою (3.2):

$$\Delta P_{\text{пр}} = \frac{0,628 \times 872 \times 40 \times 2,09^2}{2 \times 0,13} = 368006 \text{ Н / м}^2.$$

Втрату тиску в місцевих опорах визначають з рівняння (3.3):

$$\Delta P_{\text{м}} = \frac{94,05 \times 872 \times 2,09^2}{2} = 179117 \text{ Н / м}^2,$$

де $\Sigma \xi_j = 2 \cdot 0,6 + 13,1 + 3 \cdot 0,25 + 78 + 1 = 64,05$.

Втрата тиску в лінії згідно з рівнянням (3.1):

$$\Delta P_{\text{л}} = 368006 + 179117 = 547123 \text{ Н / м}^2.$$

Перепад тиску РО знаходять за формулою (3.8):

$$\Delta P_{\text{ро}}^{\text{макс}} = 1028000 - 547123 - 68365 = 412500 \text{ Н / м}^2,$$

де $\Delta P_c = (1,038 - 0,01) \times 10^6 = 1,028 \times 10^6 \text{ Н / м}^2$;

$$\Delta P_c = 827 \times 9,8 \times 8 = 68365 \text{ Н / м}^2.$$

Пропускнну здатність РО обчислюють за формулою (3.9):

$$K_{V_{\text{макс}}} = \frac{36 \times 10^3 \times 100}{36 \times 10^2} \sqrt{\frac{872}{412500}} = 45,97 \text{ м}^3 / \text{год.}$$

З рівняння (3.20) знаходять умовну пропускну здатність:

$$K_{vy} = 1,2 \times 45,97 = 55,16 \text{ м}^3 / \text{год.}$$

Згідно з табл. 3.1 рекомендована форма витратної характеристики лінійна, а оскільки $n=(547123/412500)=1,33 < 1,5$, бажано, щоб пропускну характеристика також була лінійною. За табл. 3.7 обирають двосідельний РО з $K_{Vy}=63 \text{ м}^3/\text{год}$ і $D_y=65 \text{ мм}$ типу 15с997нжВБ (НО) з пробковим плунжером.

За формулами (3.4) і (3.7) визначають число Re_y :

$$Re_y = \frac{8,37 \times 0,065}{8 \times 10^{-7}} = 6,8 \times 10^5,$$

де

$$\omega = \frac{4 \times 100}{3,14 \times 0,065^2 \times 3600} = 8,37 \text{ м/с.}$$

Оскільки $Re_y > 2000$, вплив в'язкості на витрату не враховують і двосідельний РО перевіряють на можливість виникнення кавітації.

Коефіцієнт місцевого опору РО визначають за формулою (3.22)

$$\xi_y = \frac{25,4 \times 33,16^2}{63^2} = 7,04,$$

$$\text{де } F_y = \frac{3,14 \times 6,5^2}{4} = 33,16 \text{ см}^2.$$

За кривою I (див. рис. 3.8) знаходять коефіцієнт кавітації $K_{\text{кав}}=0,49$. За формулою (3.23) обчислюють перепад тиску, при якому виникає кавітація:

$$\Delta P_{\text{кав}} = 0,49(422500 - 20000) = 1,97 \times 10^5 \text{ Н / м}^2,$$

$$\text{де } P_1 \approx (0,01 + 0,4125) \times 10^6 = 0,4225 \times 10^6 \text{ Н / м}^2.$$

Оскільки

$$\Delta P_{\text{ро}}^{\text{макс}} = 40125 \times 10^5 > \Delta P_{\text{кав}} = 1,97 \times 10^5 \text{ Н / м}^2,$$

то обраний РО працюватиме в кавітаційному режимі. Тому обираємо РО з найближчим більшим $K_{Vy}=100 \text{ м}^3/\text{год}$ і $D_y=80 \text{ мм}$.

Коефіцієнт місцевого опору РО знаходять за формулою (3.22):

$$\xi_y = \frac{25,4 \times 50,24^2}{100^2} = 6,41,$$

$$\text{де } F_y = 3,14 \cdot 8^2 / 4 = 50,24 \text{ см}^2.$$

За кривою 3 (див. рис. 3.3) визначають коефіцієнт $K_{\text{кав макс}} = 0,68$, а за формулою (3.25) – значення $\Delta P_{\text{кав макс}}$.

$$\Delta P_{\text{кав макс}} = 0,68 \times 402500 = 2,737 \times 10^5 \text{ Н / м}^2.$$

Необхідна максимальна пропускна здатність згідно з рівнянням (3.9) буде становити:

$$K_{Vy\text{кав}} = \frac{36 \times 10^3 \times 100}{36 \times 10^2} \sqrt{\frac{872}{273700}} = 56,5 \text{ м}^3 / \text{год}.$$

Перевіряють умову (3.26):

$$1,2 \cdot 56,5 = 67,5 \leq 100 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Оскільки умова (3.26) виконується, то вибір РО вважають закінченим. При цьому РО є двосідельним з лінійною витратною і пропускною характеристиками, $K_{vy}=100 \text{ м}^3/\text{год}$, $D_y=80 \text{ мм}$ типу 15с997нжVB(НО), керування від електропривода у вибухозахищеному виконанні.

За формулою (3.32) визначають витрату для обраного РО:

$$V'_{\text{макс}} = \frac{100 \times 100}{56,5} = 177 \text{ м}^3 / \text{год}.$$

Відносні значення витрат згідно рівнянь (3.34) і (3.35) приймуть наступні значення:

$$\varphi_{\text{макс}} = \frac{100}{177} = 0,565;$$

$$\varphi_{\text{мін}} = \frac{50}{177} = 0,282.$$

Згідно з рис. 3.4 діапазон переміщень РО при $n=1,33$ складе:

$$\Delta S = 0,37 - 0,15 = 0,22$$

Коефіцієнти передачі для максимального і мінімального навантажень РО визначають з рис. 3.9:

$$\left(\frac{d\varphi}{dS} \right)_{\text{макс}} = 1,2; \quad \left(\frac{d\varphi}{dS} \right)_{\text{мін}} = 1,41.$$

Перевіряють правильність вибраної лінійної пропускної характеристики. Згідно з рис. 3.10 коефіцієнти передачі такі:

$$\left(\frac{d\varphi}{dS}\right)_{\text{макс}} = 1,44;$$

$$\left(\frac{d\varphi}{dS}\right)_{\text{мін}} = 0,9.$$

Визначають відхилення коефіцієнтів передачі РО від лінії I (див. рис. 3.9 і

3.10) для $\varphi_{\text{макс}}$ і $\varphi_{\text{мін}}$.

для РО з лінійною пропускною характеристикою:

$$\left. \begin{aligned} \Delta\left(\frac{d\varphi}{dS}\right)_{\text{макс}} &= |1 - 1,2| = 0,2 \\ \Delta\left(\frac{d\varphi}{dS}\right)_{\text{мін}} &= |1 - 1,41| = 0,41 \end{aligned} \right\}$$

для РО з рівновідсотковою пропускною характеристикою:

$$\left. \begin{aligned} \Delta\left(\frac{d\varphi}{dS}\right)_{\text{макс}} &= |1 - 1,44| = 0,44 \\ \Delta\left(\frac{d\varphi}{dS}\right)_{\text{мін}} &= |1 - 0,9| = 0,1 \end{aligned} \right\}$$

Порівнявши значення відхилень коефіцієнтів передачі, бачимо, що величину максимального відхилення ($d\varphi/dS$) у межах $\varphi_{\text{макс}}$ і $\varphi_{\text{мін}}$ для РО з лінійною пропускною характеристикою найменша, а отже обрану форму пропускної характеристики слід вважати правильною.

За формулою (3.37) визначають зусилля N_c

$$N_c = 2,737 \times 10^5 \times 2 \times 10^{-4} = 54,74 \text{ Н},$$

де $\Delta F_c = 2 \cdot 10^4 \text{ м}^2$ (див. табл. 3.8).

Із виразу (3.41) при конусності $\delta=120^\circ$ визначають величину S_y :

$$1 = 1,5 \left(\frac{2,3 \times S_y}{80} + \frac{S_y^2}{80^2} \right);$$

$$S_y = 21,89 \text{ мм.}$$

Беруть значення із стандартного ряду $S_y=25$ мм.

За формулою (3.50) знаходять зусилля $N_{ш}$:

$$N_{ш} = 0,785(12 \times 10^{-3})^2 \times 0,01 \times 10^6 = 1,13 \text{ Н,}$$

де $d_{ш}=12 \cdot 10^{-3}$ м (див. табл. 3.8).

З урахуванням коефіцієнта запасу 1,5:

$$N_{д} = 1,5(54,74 + 1,13) = 85,3 \text{ Н}$$

Перестановочне зусилля $N_{ПС}$ для РО визначають з рівняння (3.36):

$$N_{ПС} = 1,3(54,74 + 1,13 + 85,3) = 183,53 \text{ Н.}$$

Виконують розрахунок профілю стрижневого плунжера. За табл. 3.15

вибирають $\xi_k=4,3$. З умови (3.56) знаходять $\xi_{ро}^{\text{макс}}$:

$$\xi_{ро}^{\text{макс}} = \frac{4,3}{0,9} = 4,8.$$

Беруть масштаб побудови 3:1. Задаються першим наближенням $m_{31}=0,5$ і з рис. 3.13 знаходять $\alpha_{к1}=0,92$. За формулою (3.55) визначають при $L_x=0,2$ величину $\xi_{ро}$:

$$\xi_{po} = 4,8 \times \left(\frac{1}{0,2} \right)^2 = 120$$

Знаходять з рівняння (3.59) величину m_{p1} :

$$m_{p1} = \frac{1}{0,92\sqrt{115,7+1}} = 0,1,$$

де $\xi_0 = 120 - 4,3 = 115,7$.

Оскільки $m_{p1} \neq m_{z1}$, то задаються другим наближенням $m_{z2} = 0,09$, для якого обчислюють α_{k2} і m_{p2} . Із рис. 3.13 $\alpha_{k2} = 1,2$. Знаходять за формулою (3.58) величину m_{p2} за другим наближенням:

$$m_{p2} = \frac{1}{1,21\sqrt{115,7+1}} = 0,0765.$$

Остаточне значення $m = 0,09$, а $\alpha_k = 1,21$ при $L_x = 0,2$. За формулою (3.60) знаходять величину f_{po} :

$$f_{po} = \frac{0,09 \times 5024}{2} = 226,1 \text{ мм}^2,$$

де $F_{po} = 3,14 \cdot 80^2 / 4 = 5024 \text{ мм}^2$.

Із виразу (3.57) для перерізу $L_x = 0,2$ знаходять координати X_0 і Y_0 :

$$Y_0^2 = \left(\frac{226,1}{3,14} \right)^2 \frac{1}{(80-0)^2} - 0;$$

$$Y_0 = 0,9 \text{ мм};$$

$$X_0 = \left(\frac{226,1}{3,14} \right)^2 \frac{1}{(80-X_0)^2} - X_0^2;$$

$$X_0 = 0,92 \text{ мм}.$$

Перевіряють умову (3.61):

$$u = \frac{0,9}{0,92} = 0,98 > 0,9.$$

За формулою (3.62) визначають радіус.

$$r = \frac{0,9 + 0,92}{2} = 0,91 \text{ мм}.$$

Результати аналогічних розрахунків для $L_x = 0 \dots 1$ зведено в табл. 3.16.

Як впливає з табл. 3.16, при $L_x = 1,0$ умова (3.61) не виконується. Тому визначають значення X і Y у проміжних положеннях, дані для яких наведено в табл. 3.17. За даними табл. 3.16 і 3.17 на рис. 3.18 побудовано профіль плунжера.

Для зчленування РО і ВМ обирають механічний зв'язок, показаний на рис. 3.15б. Вихідні дані: $r=100$ мм; $m=80$ мм; $S_y=25$ мм; $c=1,4$.

Таблиця 3.16 – Дані розрахунку профілю плунжера для двосідельного регулювального органу.

l	ξ_0	ξ_{po}	m_p	α_k	f_{po} , мм	X_0 , мм	Y_0 , мм	u	r, мм
0,2	115,7	120	0,09	1,21	226,1	0,92	0,90	0,98	0,91
0,4	25,7	30	0,18	1,10	452,1	1,85	1,79	0,96	1,82
0,6	9,0	13,3	0,32	1,00	803,8	3,32	3,19	0,96	3,25
0,8	3,2	4,5	0,55	0,895	1381,6	5,95	5,50	0,92	5,72
1,0	0,5	4,8	1,00	0,73	2512,0	11,80	10,00	0,85	–

Таблиця 3.17 – Результати розрахунків твірної Y для $L_x = 1,0$.

X, мм	0	2	4	6	8	10	11,8
Y, мм	10,0	10,0	9,73	8,99	7,71	5,53	0

За формулою (3.71) знаходять R важеля РО:

$$R = \frac{1,4 \times 80 \times 100}{25} = 448 \text{ мм.}$$

Відстань L відповідно між осями РО і ВМ становитиме 400 мм. Довжину S визначають з рівняння (3.73):

$$S = 448 + 100 = 548 \text{ мм.}$$

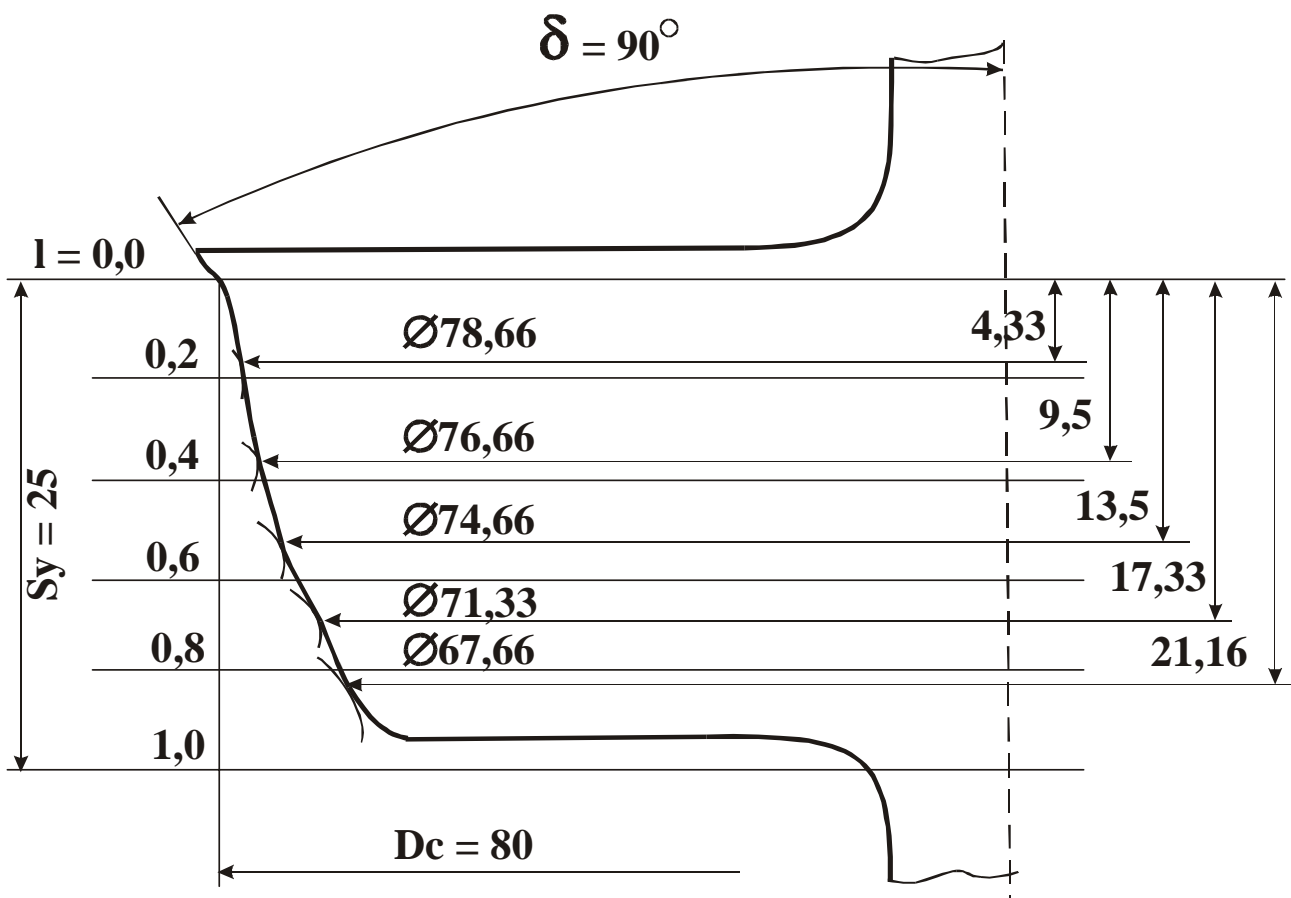


Рис.3.18. Результати побудови профілю плунжера РО.

Коефіцієнт передачі K_c обчислюють за формулою (3.80):

$$K_c = \frac{80}{100} = 0,8.$$

З рівняння (3.78) визначають перестановочне зусилля $ВМ$:

$$N_{\text{пв}} = 1,2 \times 0,8 \times 183,53 = 176 \text{ Н.}$$

За формулою (3.54) обчислюють потрібну величину перестановочного моменту $ВМ$:

$$M_{\text{пв}} = 176 \times 0,1 = 17,6 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

З табл. 3.11 обирають $ВМ$ типу МЕО з перестановочним моментом $M_{\text{пв}}=40 \text{ Н} \cdot \text{м.}$

3.4.3 Розрахунок і вибір виконавчого механізму САУ тиску пари в котельні

Розрахунок виконано за таких вихідних даних: максимальна витрата мазуту $V_{\text{макс}}=10 \text{ м}^3/\text{год}$; мінімальна витрата мазуту $V_{\text{мін}}=4 \text{ м}^3/\text{год}$; перепад тиску при макс $ВМ$ альній витраті на РО $\Delta P_{\text{ро}}^{\text{макс}} = 2,5 \times 10^5 \text{ Н/м}^2$; перепад тиску в лінії при макс $ВМ$ альній витраті $\Delta P_{\text{л}}=3 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$; температура потоку перед РО $T_1=323 \text{ К}$; густина мазуту $\rho_2=990 \text{ кг/м}^3$; кінематична в'язкість при $T_4 \nu=5,9 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$; тиск потоку після РО $P_2=5 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$.

Послідовність розрахунку наступна.

За формулою (3.9) визначають пропускну здатність РО:

$$K_{V_{\max}} = \frac{36 \times 10^3 \times 100}{3600} \sqrt{\frac{990}{2,5 \times 10^5}} = 6,3 \text{ м}^3 / \text{год.}$$

З рівняння (3.20) знаходять умовну пропускну характеристику РО. За формулою (3.27) обчислюють відношення

$$n = \frac{3 \times 10^5}{2,5 \times 10^5} = 1,2.$$

Оскільки $n < 1,5$, беруть лінійну пропускну характеристику Згідно з табл. 3.7 обирають односідельний РО типу 15нж522нж(НЗ) з $K_{Vy}=8 \text{ м}^3/\text{год}$, $D_y=25 \text{ мм}$ і тарілчастим плунжером (табл. 4.40 навчального посібника «Промислові засоби автоматизації ч.2).

З рівняння (3.4) і (3.7) визначають число Re_y :

$$Re_y = \frac{5,7 \times 0,025}{5,9 \times 10^{-4}} = 241,$$

$$\text{де } \omega = \frac{4 \times 10}{3,14 \times 0,025^2 \times 3600} = 5,7 \text{ м/с.}$$

Оскільки $Re_y < 2000$, за кривою 2 (див. рис. 3.2) знаходять поправку на в'язкість $\varepsilon=1,22$. З урахуванням впливу в'язкості пропускну здатність знаходять за формулою (3.21):

$$K_{Vy1} = 1,2 \times 1,22 \times 6,3 = 9,2 \text{ м}^3 / \text{год}$$

Оскільки $K_{Vy1} > K_{Vy}$, за табл. 3.7 обираємо РО з найближчим більшим $K_{Vy}=20 \text{ м}^3/\text{год}$ і $D_y=40 \text{ мм}$.

Число Re_y і K_{Vy1} визначають за формулами (3.4), (3.7) і (3.21) для знову обраного РО:

$$Re_y = \frac{2,2 \times 0,04}{5,9 \times 10^{-4}} = 149;$$

$$K_{Vy} = 1,2 \times 1,35 \times 6,3 = 10,2 \text{ м}^3/\text{год},$$

$$\text{де } \omega = \frac{4 \times 10}{3,14 \times 0,04^2 \times 3600} = 2,2 \text{ м/с};$$

$$\varepsilon = 1,35 \text{ (з рис. 3.2).}$$

Умова $K_{Vy1} = 10,2 \leq K_{Vy} = 20 \text{ м}^3/\text{год}$ виконується, тому остаточно приймаємо РО з $K_{Vy} = 20 \text{ м}^3/\text{год}$ і $D_y = 40 \text{ мм}$.

Перевірку РО на виникнення кавітації не виконують, оскільки $P_n \approx 0$.

За рівнянням (3.28) уточнюють значення n :

$$n' = 1,2 \left(\frac{20}{1,35 \times 6,3} \right)^2 = 6,63.$$

Уточнюють перепад тиску на РО за формулою (3.29):

$$\Delta P_{\text{роу}} = \frac{(2,5 + 3,0) \times 10^5}{6,63 + 1} = 0,72 \times 10^5 \text{ Н/м}^2.$$

Уточнюють максимальну витрату через РО за рівнянням (3.30):

$$V'_{\text{макс}} = \frac{20 \times 3600}{36 \times 10^3 \times 1,35 \sqrt{\frac{990}{0,72 \times 10^5}}} = 12,6 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Відносні значення витрат визначають за формулами (3.32) і (3.33):

$$\varphi_{\text{макс}} = \frac{10}{12,6} = 0,79;$$

$$\varphi_{\text{мін}} = \frac{4}{12,6} = 0,32.$$

Діапазон переміщень РО згідно з рис. 3.4 при $n'=6,63$

$$\Delta S = 0,21 - 0,06 = 0,15$$

Коефіцієнти передачі РО знаходять з рис. 3.9:

$$\left(\frac{d\varphi}{dS}\right)_{\text{макс}} = 1,5;$$

$$\left(\frac{d\varphi}{dS}\right)_{\text{мін}} = 5.$$

За формулою (3.38) обчислюють зусилля N_c :

$$N_c = 0,72 \times 10^5 \times 0,00118 = 84,78 \text{ Н},$$

$$\text{де } F_3 = 0,785(0,04^2 - 0,01^2) = 0,00118 \text{ м}^2$$

Із виразу 3.40 при $\delta=90^\circ$ визначають величину S_y :

$$1 = 1,42 \left(\frac{2 \times S_y}{40} + \frac{S_y^2}{40^2} \right);$$

$$S_y = 24,4 \text{ мм.}$$

Беруть найближче значення зі стандартного ряду $S_y=25$ мм.

З рівняння (3.50) знаходять зусилля $N_{ш}$:

$$N_{ш} = 0,785 \times 0,01^2 \times 5 \times 10^6 = 392,5 \text{ Н.}$$

Зусилля N_d визначають за формулою (3.43):

$$N_d = 0,785 \times 0,04^2 \times 2,2 \frac{990}{2} \left[1,05 + \left(\frac{0,04}{3,65 \times 0,025} \right)^2 \right] = 1,7 \text{ Н.}$$

З урахуванням коефіцієнта запасу на тертя величина $N_{тр}=715,92$ Н.

Перестановочне зусилля $N_{пс}$ для РО знаходять за формулою (3.36):

$$N_{\text{ПС}} = 1,3(84,78 + 392,5 + 1,7 + 715,92) = 1553,37 \text{ Н.}$$

За табл. 3.9 для комплектації РО обирають ВМ типу МЕР з величиною $N_{\text{пу}}=2500 \text{ Н.}$

3.4.4. Розрахунок і вибір виконавчого пристрою САУ концентрації кисню у димових газах котлоагрегату

Розрахунок здійснено за таких вихідних даних: максимальна витрата повітря $V_{\text{макс}}=40000 \text{ м}^3/\text{год}$; мінімальна витрата повітря $V_{\text{мін}}=20000 \text{ м}^3/\text{год}$; тиск повітря на початку трубопровідної лінії $P_0=2 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$; температура повітря в кінці трубопровідної лінії $T_1=313 \text{ К}$; густина повітря $\rho=1,22 \text{ кг/м}^3$; тиск повітря після РО (у пальнику) $P_2=1,84 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$; втрата тиску в прямих ділянках трубопроводу при максимальних витратах $\Delta P_{\text{пр}}=0,04 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$; втрата тиску в місцевих опорах і технологічних апаратах при максимальній витраті $\Delta P_{\text{м}}=0,1 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$; задана витратна характеристика рівновідсоткова (див. табл. 3.1).

Втрати тиску в лінії визначають за рівнянням (3.1):

$$\Delta P_{\text{л}} = (0,04 + 0,1)10^6 = 0,14 \times 10^6 \text{ Н/м}^2$$

Перепад тиску обчислюють за формулою (3.8):

$$\Delta P_{\text{ро}}^{\text{макс}} = (0,16 - 0,14) \times 10^6 = 0,02 \times 10^6 \text{ Н/м}^2,$$

$$\text{де } \Delta P_{\text{с}} = (2 - 1,84)10^6 \text{ Н/м}^2 = 0,16 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2.$$

Згідно з формулою (3.8) тиск перед РО

$$P_1 = (1,84 + 0,02)10^6 = 1,86 \times 10^6 \text{ Н/м}^2$$

Оскільки $\Delta P_{\text{ро}}^{\text{макс}} < 0,5P_1$, пропускну здатність визначають за рівнянням (3.11):

$$K_{V_{\max}} = 7 \times 10^5 \frac{40000}{3600} \sqrt{\frac{1,2 \times 313 \times 1}{1,84 \times 10^6 \times 0,02 \times 10^6}} = 813,8 \text{ м}^3 / \text{год.}$$

Згідно з (3.20) умовна пропускна здатність складе:

$$K_{Vy} = 1,2 \times 813,8 = 976,5 \text{ м}^3 / \text{год}$$

За табл. 5.15 беремо $K_{Vy}=1000 \text{ м}^3/\text{год}$.

За формулою (3.27) визначають відношення n :

$$n = \frac{0,14 \times 10^6}{0,02 \times 10^6} = 7$$

Оскільки $n > 3$, беруть рівновідсоткову пропускну характеристику. За формулою (3.27) знаходять максимальну витрату для РО:

$$V'_{\max} = \frac{40000 \times 1000}{813,8} = 49150 \text{ м}^3 / \text{год.}$$

Відносні значення витрат обчислюють з рівняння (3.34) і (3.35):

$$\varphi_{\max} = \frac{40000}{49150} = 0,814;$$

$$\varphi_{\min} = \frac{20000}{49150} = 0,407.$$

З рис. 3.10 і 3.11 визначають коефіцієнти передачі РО та їх відхилення від лінії II для φ_{\max} і φ_{\min} :

- для РО з рівновідсотковою пропускну характеристикою

$$\left. \begin{aligned} \left(\frac{d\varphi}{dS}\right)_{\text{макс}} &= 0,96; \\ \left(\frac{d\varphi}{dS}\right)_{\text{мін}} &= 1,15; \\ \Delta\left(\frac{d\varphi}{dS}\right)_{\text{макс}} &= |2,5 - 0,96| = 1,54; \\ \Delta\left(\frac{d\varphi}{dS}\right)_{\text{мін}} &= |1,3 - 1,15| = 0,15; \end{aligned} \right\}$$

- для заслінкового РО

$$\left. \begin{aligned} \left(\frac{d\varphi}{dS}\right)_{\text{макс}} &= 1,3; \\ \left(\frac{d\varphi}{dS}\right)_{\text{мін}} &= 2,38; \\ \Delta\left(\frac{d\varphi}{dS}\right)_{\text{макс}} &= |2,5 - 1,3| = 1,2; \\ \Delta\left(\frac{d\varphi}{dS}\right)_{\text{мін}} &= |1,3 - 2,38| = 1,08. \end{aligned} \right\}$$

Із порівняння відхилень коефіцієнтів передачі випливає, що максимальне відхилення $(d\varphi/dS)$ у межах $\varphi_{\text{макс}}$ і $\varphi_{\text{мін}}$ для заслінкового РО менше. Тому обираємо заслінковий РО типу ПРЗ-200 з рівновідсотковою пропускною характеристикою, для якого згідно з табл. 3.7 $K_{vy}=1000 \text{ м}^3/\text{год}$, $D_y=200 \text{ мм}$.

Діапазон переміщення $\Delta\alpha$ для заслінки згідно з рис. 3.6 становить:

$$\Delta\alpha = 29 - 17 = 12^\circ$$

За формулами (3.52) обчислюють діаметр і товщину заслінки:

$$D_d = 0,95 \times 200 = 190 \text{ мм};$$

$$\delta = 0,02 \times 200 = 4 \text{ мм}$$

Перестановочний момент для заслінки згідно з рівнянням (3.51) складе:

$$M_{ПК} = 2 \times 0,01 \times 0,19^3 \times 0,02 \times 10^6 = 2,74 \text{ Н} \times \text{м},$$

де $m=0,01$ (див. рис. 3.12).

Обирають механізм зчленування РО з електричним ВМ типу МЕП, зображений на рис. 3.14б. Зі стандартного ряду для ВМ типу МЕП (див. табл. 3.9) беруть $h=10$ мм. За формулою (3.76) визначають довжину важеля РО:

$$R = \frac{10}{2 \times \sin 6} = 48 \text{ мм}$$

З рівняння (3.54) знаходять перестановочне зусилля для РО при $R=48$ мм:

$$N_{пу} = \frac{2,74}{0,048} = 57,08 \text{ Н}.$$

За табл. 3.9 обирають ВМ типу МЕП з величиною $N_{пу} = 63$ Н. При цьому довжину з'єднувальної тяги ВМ визначають з рівняння (3.77):

$$H = \sqrt{\left(200 - \frac{10}{2}\right)^2 + \left(\frac{10}{4} \text{tg} 3\right)^2} = 195 \text{ мм},$$

де $L=200$ мм – прийнята відстань між осями обертання.

РОЗДІЛ 4

РЕКОМЕНДОВАНИЙ ЗМІСТ ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ

У пояснювальній записці необхідно у повному обсязі розкрити зміст курсового проєкту і представити розрахунки згідно із завданням на курсовий проєкт. Пояснювальна записка складається з 25- 30 сторінок і містить такі структурні елементи:

Титульний аркуш;

Завдання на курсовий проєкт;

Реферат;

Вступ;

1. Розробка функціональної схеми САУ технологічного параметра на агрегатних комплексах технічних засобів автоматизації.

1.1 Функціональна схема та опис функціональної дії САУ реалізований на базі агрегатного комплексу пневматичної гілки приладів.

1.2 Функціональна схема та опис функціональної дії САУ реалізований на базі агрегатного комплексу електричної гілки приладів.

2. Розробка функціональної схеми САУ технологічного параметра на мікропроцесорних регуляторах та контролерах

2.1 Функціональна схема та опис функціональної дії САУ реалізований на базі мікропроцесорного регулятора

2.2 Функціональна схема та опис функціональної дії САУ реалізований на базі контролера

3. Розрахунок та вибір стандартного звужувального або виконавчого пристрою для розробленої САУ

СПИСОК ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ

1. Промислові засоби автоматизації. Ч. 1. Вимірювальні пристрої. Навч. посібник / А. К. Бабіченко [та ін.] ; ред. А. К. Бабіченко ; Харків: НТУ" ХПГ, 2001. – 470 с.
2. Промислові засоби автоматизації. Частина 2. Регулювальні і виконавчі пристрої. Навч. посібник / А. К. Бабіченко [та ін.] ; ред. А. К. Бабіченко ; Харків: НТУ" ХПГ, 2003. – 329 с.
3. Мікропроцесорні засоби в автоматизованих системах керування технологічними процесами : підручник / А. К. Бабіченко [та ін.] ; ред. А. К. Бабіченко ; Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т". – Харків : Водний Спектр Джі-Ем-Пі, 2016. – 440 с.

ДОДАТОК Б. Тиск P і густина ρ насиченої водяної пари

Таблиця Б.1 – Тиск P (кгс/см²) і густина ρ (кг/м³) насиченої водяної пари

t, °C	t, °C									
	0		1		2		3		4	
	$P_{\text{нп}}$	$\rho_{\text{нп}}$	$P_{\text{нп}}$	$\rho_{\text{нп}}$	$P_{\text{нп}}$	$\rho_{\text{нп}}$	$P_{\text{нп}}$	$\rho_{\text{нп}}$	$P_{\text{нп}}$	$\rho_{\text{нп}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	0,006228	0,004847	0,006694	0,005189	0,07198	0,005555	0,007723	0,005945	0,008289	0,006357
10	0,012513	0,009398	0,013376	0,01001	0,014291	0,01066	0,015261	0,01134	0,016289	0,01206
20	0,02383	0,01729	0,02534	0,01833	0,02694	0,01942	0,02863	0,02057	0,03041	0,02177
30	0,04325	0,03036	0,04580	0,03205	0,04647	0,03381	0,05128	0,03565	0,05423	0,03758
40	0,07520	0,05115	0,07930	0,05376	0,08360	0,05649	0,08809	0,05935	0,09279	0,06234
50	0,12578	0,08302	0,13216	0,08696	0,13881	0,09107	0,14575	0,09535	0,15298	0,09980
60	0,2031	0,1302	0,2127	0,1360	0,2227	0,1420	0,2330	0,1482	0,2438	0,1546
70	0,3177	0,1982	0,3317	0,2064	0,3463	0,2148	0,3613	0,2236	0,3769	0,2326
80	0,4829	0,2933	0,5028	0,3047	0,5234	0,3164	0,5447	0,3284	0,5667	0,3408
90	0,7149	0,4235	0,7425	0,4388	0,7710	0,4545	0,8004	0,4706	0,83077	0,4873
100	1,0332	0,5977	1,0707	0,6180	1,1092	0,6389	1,1489	0,6602	1,1898	0,6821
110	1,4609	0,8263	1,5106	0,8525	1,5618	0,8794	1,6144	0,9070	1,6684	0,9354
120	2,0245	1,122	2,0895	1,155	2,1561	1,189	2,2245	1,225	2,2947	1,261
130	2,7544	1,496	2,8378	1,539	2,9233	1,528	3,011	1,626	3,101	1,672
140	3,685	1,966	3,790	2,018	3,896	2,072	4,009	2,128	4,122	2,184
150	4,854	2,547	4,985	2,612	5,120	2,678	5,257	2,746	5,397	2,815
160	6,302	3,259	6,464	3,338	6,630	3,418	6,798	3,500	6,970	3,584
170	8,076	4,122	8,247	4,218	8,475	4,315	8,679	4,414	8,888	4,515

Продовження табл. Б.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
180	10,225	5,157	10,462	5,271	10,703	5,388	10,950	5,507	11,201	5,627
190	12,800	6,395	13,083	6,532	13,371	6,671	13,664	6,812	13,962	6,954
200	15,857	7,863	16,192	8,024	16,532	8,188	16,877	8,355	17,228	8,525
210	19,456	9,578	19,848	9,765	20,246	9,960	20,651	10,17	21,061	10,36
220	23,659	11,62	24,115	11,84	24,577	12,06	25,047	12,29	25,523	12,52
230	28,531	13,99	29,057	14,25	29,591	14,51	30,133	14,78	30,682	15,05
240	34,140	16,76	34,745	17,06	35,357	17,36	35,978	17,67	36,607	17,99
250	40,56	19,98	41,25	20,33	41,95	20,68	42,66	21,04	43,37	21,41
260	47,87	23,72	48,65	24,13	49,44	24,54	50,24	24,96	51,05	25,39
270	56,14	28,09	57,02	28,56	57,91	29,04	58,82	29,53	59,73	30,03
280	65,46	33,19	66,45	33,74	67,46	34,30	68,47	34,88	60,50	35,46
290	75,92	39,17	77,03	39,81	78,15	40,47	79,29	41,15	80,44	41,84
300	87,61	46,21	88,85	46,98	90,11	47,76	91,38	48,55	92,66	49,36
310	100,64	54,61	102,02	55,53	103,42	56,47	104,83	57,43	106,25	58,41
320	115,13	64,74	116,66	65,85	118,21	66,99	119,77	68,16	121,35	69,35
330	131,18	77,09	132,88	78,51	134,59	79,96	136,33	81,44	138,08	82,94
340	148,96	92,77	150,84	94,58	152,73	96,43	154,65	98,33	156,59	100,3
350	168,63	113,6	170,71	116,1	172,81	118,7	174,92	121,4	177,07	121,2
360	190,42	144,1	192,72	148,1	195,06	152,4	197,41	156,9	199,80	161,6
370	241,68	202,4	217,26	214,0	219,88	227,0	222,53	244,0	225,22	277,0

Продовження табл. Б.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	0,008890	0,006793	0,009533	0,007256	0,010210	0,007746	0,010932	0,008265	0,011699	0,008815
10	0,017376	0,01282	0,018527	0,01363	0,019745	0,01447	0,02103	0,01536	0,02239	0,01630
20	0,03229	0,02304	0,03426	0,02437	0,03634	0,02576	0,03853	0,02722	0,04083	0,02875
30	0,05733	0,03960	0,06057	0,04172	0,06398	0,04393	0,06755	0,04623	0,07129	0,04864
40	0,09771	0,065545	0,10284	0,06868	0,10821	0,07205	0,11382	0,07557	0,11967	0,07923
50	0,16051	0,1044	0,16835	0,1092	0,17653	0,1142	0,18504	0,1193	0,19390	0,1247
60	0,2550	0,1613	0,2666	0,1682	0,2787	0,1753	0,2912	0,1827	0,3042	0,1903
70	0,3931	0,2420	0,4098	0,2516	0,4272	0,2615	0,4451	0,2718	0,4637	0,2824
80	0,5894	0,3536	0,6129	0,3668	0,6372	0,3804	0,6623	0,3943	0,6882	0,4087
90	0,8619	0,5045	0,8942	0,5222	0,9274	0,5403	0,9616	0,5590	0,9969	0,5881
100	1,2318	0,7047	1,2751	0,7278	1,3196	0,7514	1,3654	0,7757	1,4125	0,8007
110	1,7239	0,9647	1,7809	0,9950	1,8394	1,025	1,8995	1,056	1,9612	1,089
120	2,3666	1,298	2,4404	1,336	2,5160	1,375	2,5935	1,415	2,6730	1,455
130	3,192	1,718	3,286	1,765	3,382	1,814	3,481	1,864	3,582	1,914
140	4,237	2,242	4,355	2,300	4,476	2,360	4,599	2,421	4,725	2,484
150	5,540	2,866	5,686	2,958	5,836	3,031	5,989	3,106	6,144	3,182
160	7,146	3,670	7,325	3,757	7,507	3,845	7,693	3,935	7,883	4,027
170	9,101	4,617	9,317	4,721	9,538	4,828	9,763	4,936	9,992	5,045
180	11,456	5,750	11,715	5,875	11,979	6,002	12,248	6,131	12,522	6,262
190	14,265	7,098	14,573	7,246	14,886	7,396	15,204	7,548	15,528	7,704

Закінчення табл. Б.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
200	17,585	8,696	17,948	8,869	18,316	9,044	18,690	9,220	19,070	9,398
210	21,477	10,56	21,901	10,77	22,331	10,98	22,767	11,19	23,209	11,40
220	26,007	12,76	26,497	13,00	26,995	13,24	27,499	13,48	28,011	13,74
230	31,239	15,32	31,803	15,60	32,375	15,88	32,955	16,17	33,544	16,46
240	37,244	18,31	37,890	18,63	38,545	18,96	39,208	19,29	39,880	19,63
250	44,10	21,78	44,83	22,16	45,58	22,54	46,33	22,93	47,09	23,33
260	51,88	25,83	52,71	26,27	53,55	26,71	54,40	27,16	55,26	27,62
270	60,66	30,53	61,60	31,05	62,55	31,58	63,51	32,11	64,48	32,65
280	70,54	36,05	71,59	36,65	72,65	37,26	73,73	37,89	74,82	38,53
290	81,60	42,54	82,78	43,25	83,97	43,97	85,17	44,70	86,38	45,45
300	93,95	50,20	95,26	51,05	96,59	51,92	97,93	52,80	99,28	53,70
310	107,69	59,42	109,15	60,45	110,62	61,50	112,11	62,57	113,61	63,65
320	122,95	70,56	124,56	71,79	126,19	73,05	127,84	74,35	129,50	75,70
330	139,85	84,47	141,63	86,05	143,44	87,66	145,26	89,31	147,10	91,01
340	158,54	102,3	160,52	104,4	162,52	106,6	164,53	108,9	166,57	111,2
350	179,24	127,1	181,43	130,2	183,64	133,4	185,88	136,7	188,13	140,3
360	202,21	166,7	204,64	172,4	207,11	178,9	209,0	186,0	212,12	193,8
370	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Додаток В. Густина ρ перегрітої водяної пари

Таблиця В.1 – Густина перегрітої водяної пари ρ (кг/м³)

P, кгс/см ²	t _{н.п.} , °C	t, °C						
		100	110	120	130	140	150	160
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,0	99,09	0,5784	0,5621	0,5467	0,5325	0,5192	0,5063	0,4943
1,1	101,76	-	0,6192	0,6023	0,5865	0,5714	0,5574	0,5441
1,2	104,25	-	0,6764	0,6579	0,6406	0,6238	0,6086	0,5942
1,3	106,56	-	0,7337	0,7136	0,69446	0,6766	0,6608	0,6443
1,4	108,74	-	0,7911	0,7692	0,7488	0,7294	0,7112	0,6943
1,5	110,79	-	-	0,8251	0,8032	0,7824	0,7628	0,7442
1,6	112,73	-	-	0,8810	0,8578	0,8354	0,8143	0,7942
1,7	114,57	-	-	0,9381	0,9124	0,8884	0,8658	0,8445
1,8	116,33	-	-	0,9940	0,9671	0,9416	0,9174	0,8951
1,9	118,01	-	-	1,049	1,022	0,9950	0,9699	0,9408
2,0	119,62	-	-	1,106	1,077	1,048	1,021	0,9964
2,1	121,16	-	-	-	1,132	1,101	1,073	1,047
2,2	122,65	-	-	-	1,187	1,155	1,125	1,097
2,3	124,08	-	-	-	1,242	1,209	1,178	1,148
2,4	125,46	-	-	-	1,297	1,263	1,230	1,199
2,5	126,79	-	-	-	1,352	1,317	1,282	1,250
2,6	128,08	-	-	-	1,408	1,371	1,335	1,301
2,7	129,34	-	-	-	1,465	1,425	1,387	1,352
2,8	130,55	-	-	-	-	1,480	1,440	1,404
2,9	131,73	-	-	-	-	1,534	1,193	1,455

Продовження табл. В.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
3,0	132,88	-	-	-	-	1,588	1,546	1,506
3,2	135,08	-	-	-	-	1,698	1,652	1,609
3,4	137,18	-	-	-	-	1,808	1,758	1,712
3,6	139,18	-	-	-	-	1,918	1,865	1,816
3,8	141,09	-	-	-	-	-	1,973	1,921
4,0	142,9	-	-	-	-	-	2,081	2,025
4,2	144,68	-	-	-	-	-	2,189	2,130
4,4	146,38	-	-	-	-	-	2,298	2,235
4,6	148,01	-	-	-	-	-	2,407	2,341
4,8	149,59	-	-	-	-	-	2,517	2,447
5,0	151,11	-	-	-	-	-	-	2,553
5,5	154,72	-	-	-	-	-	-	2,822
6,0	158,08	-	-	-	-	-	-	3,093
6,5	161,22	-	-	-	-	-	-	-
7,0	164,17	-	-	-	-	-	-	-
7,5	166,22	-	-	-	-	-	-	-
8,0	169,61	-	-	-	-	-	-	-
8,5	172,12	-	-	-	-	-	-	-
9,0	174,53	-	-	-	-	-	-	-
9,5	176,83	-	-	-	-	-	-	-
10,0	179,04	-	-	-	-	-	-	-
11,0	183,20	-	-	-	-	-	-	-
12,0	187,08	-	-	-	-	-	-	-
13,0	190,71	-	-	-	-	-	-	-

Продовження табл. В.1

Р, кгс/см ²	t _{н.п.} , °С	t, °С						
		170	180	190	200	210	220	230
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,0	99,09	0,4828	0,4719	0,4615	0,4515	0,4419	0,4327	0,4241
1,1	101,76	0,5313	0,5192	0,5079	0,4968	0,4864	0,4762	0,4666
1,2	104,25	0,5800	0,5668	0,5543	0,5423	0,5308	0,5196	0,5092
1,3	106,56	0,6288	0,6144	0,6008	0,5878	0,5754	0,5632	0,5519
1,4	108,74	0,6786	0,6621	0,6473	0,6333	0,6200	0,6068	0,5945
1,5	110,79	0,7264	0,7097	0,6940	0,6789	0,6646	0,6506	0,6373
1,6	112,73	0,7754	0,7574	0,7407	0,7246	0,7102	0,6943	0,6802
1,7	114,57	0,8442	0,8052	0,7874	0,7704	0,7546	0,7380	0,7231
1,8	116,33	0,8742	0,8532	0,8340	0,8162	0,7992	0,7818	0,7661
2,1	121,16	1,022	0,9980	0,9746	0,9533	0,9326	0,9134	0,8946
2,2	122,65	1,071	1,046	1,022	0,9990	0,9770	0,9572	0,9375
2,3	124,08	1,120	1,094	1,069	1,045	1,023	1,001	0,9804
2,4	125,46	1,170	1,142	1,116	1,091	1,068	1,045	1,023
2,5	126,79	1,220	1,191	1,163	1,137	1,113	1,089	1,066
2,6	128,08	1,269	1,239	1,211	1,184	1,158	1,133	1,110
2,7	129,34	1,319	1,288	1,285	1,230	1,203	1,177	1,153
2,8	130,55	1,369	1,336	1,305	1,276	1,248	1,221	1,196
2,9	131,73	1,419	1,385	1,353	1,322	1,293	1,266	1,239
3,0	132,88	1,469	1,433	1,400	1,368	1,338	1,310	1,282
3,2	135,08	1,569	1,531	1,495	1,461	1,429	1,398	1,369
3,4	137,18	1,669	1,629	1,590	1,554	1,520	1,487	1,456

Продовження табл. В.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
3,6	139,18	1,770	1,727	1,686	1,647	1,611	1,576	1,543
3,8	141,09	1,871	1,826	1,782	1,741	1,702	1,665	1,630
4,0	142,9	1,973	1,925	1,878	1,835	1,793	1,754	1,717
4,2	144,68	2,074	2,024	1,974	1,929	1,885	1,844	1,804
4,4	146,38	2,177	2,123	2,071	2,023	1,977	1,933	1,892
4,6	148,01	2,279	2,222	2,168	2,117	2,069	2,023	1,979
4,8	149,59	2,382	2,321	2,265	2,211	2,161	2,113	2,067
5,0	151,11	2,485	2,421	2,326	2,306	2,253	2,203	2,155
5,5	154,72	2,744	2,673	2,606	2,544	2,484	2,428	2,375
6,0	158,08	3,007	2,926	2,852	2,783	2,717	2,655	2,597
6,5	161,22	3,271	3,182	3,100	3,022	2,951	2,883	2,820
7,0	164,17	3,537	3,440	3,349	3,266	3,187	3,113	3,044
7,5	166,22	3,807	3,700	3,601	3,510	3,425	3,344	3,268
8,0	169,61	4,078	3,962	3,855	3,756	3,663	3,575	3,493
8,5	172,12	-	4,226	4,110	4,002	3,902	3,808	3,720
9,0	174,53	-	4,494	4,367	4,250	4,142	4,042	3,948
9,5	176,83	-	4,764	4,625	4,500	4,385	4,275	4,175
10,0	179,04	-	5,035	4,878	4,753	4,630	4,515	4,407
11,0	183,20	-	-	5,417	5,263	5,123	4,992	4,871
12,0	187,08	-	-	5,963	5,784	5,621	5,473	5,339
13,0	190,71	-	-	-	6,317	6,125	5,963	5,810

Продовження табл. В.1

P, кгс/см ²	t _{н.п.} , °C	t, °C						
		240	250	260	270	280	290	300
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,0	99,09	0,4156	0,4071	0,3998	0,3925	0,3852	0,3784	0,3717
1,1	101,76	0,4574	0,4480	0,4399	0,4318	0,4239	0,4163	0,4089
1,2	104,25	0,4990	0,4888	0,4800	0,4712	0,4625	0,4541	0,4460
1,3	106,56	0,5408	0,5298	0,5206	0,5107	0,5012	0,4921	0,4833
1,4	108,74	0,5828	0,5710	0,5708	0,5501	0,5400	0,5302	0,5207
1,5	110,79	0,6247	0,6120	0,6010	0,5895	0,5787	0,5682	0,5581
1,6	112,73	0,6667	0,6532	0,6413	0,6289	0,6173	0,6064	0,5955
1,7	114,57	0,7086	0,6944	0,681855	0,6684	0,6562	0,6443	0,6330
1,8	116,33	0,7505	0,7358	0,7218	0,7079	0,6949	0,6821	0,6705
1,9	118,01	0,7924	0,7746	0,7622	0,7474	0,7337	0,7205	0,7079
2,0	119,62	0,8344	0,8174	0,8027	0,7879	0,7725	0,7587	0,7453
2,1	121,16	0,8764	0,8586	0,8432	0,8264	0,8114	0,7968	0,7827
2,2	122,65	0,9184	0,9000	0,8836	0,8660	0,8502	0,8347	0,8202
2,3	124,08	0,9606	0,9416	0,9240	0,9057	0,8890	0,8734	0,8577
2,4	125,46	1,003	0,9833	0,9643	0,9465	0,9278	0,9116	0,8952
2,5	126,79	1,045	1,024	1,004	0,9852	0,9669	0,9497	0,9328
2,6	128,08	1,087	1,065	1,045	1,025	1,006	0,9881	0,9699
2,7	129,34	1,129	1,107	1,085	1,065	1,045	1,026	1,008
2,8	130,55	1,172	1,148	1,126	1,105	1,084	1,064	1,045
2,9	131,73	1,214	1,190	1,166	1,144	1,123	1,102	1,083
3,0	132,88	1,256	1,231	1,207	1,184	1,162	1,141	1,121
3,2	135,08	1,341	1,314	1,288	1,264	1,240	1,218	1,196

Продовження табл. В.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
3,4	137,18	1,426	1,397	1,370	1,344	1,318	1,294	1,271
3,6	139,18	1,511	1,481	1,452	1,424	1,397	1,371	1,346
3,8	141,09	1,596	1,546	1,534	1,504	1,476	1,448	1,422
4,0	142,9	1,682	1,647	1,615	1,584	1,554	1,525	1,497
4,2	144,68	1,767	1,731	1,697	1,644	1,632	1,602	1,573
4,4	146,38	1,852	1,815	1,779	1,744	1,711	1,679	1,649
4,6	148,01	1,938	1,898	1,861	1,824	1,790	1,756	1,724
4,8	149,59	2,024	1,982	1,943	1,905	1,869	1,834	1,800
5,0	151,11	2,110	2,066	2,025	1,986	1,948	1,911	1,876
5,5	154,72	2,325	2,277	2,231	2,187	2,145	2,105	2,066
6,0	158,08	2,541	2,488	2,438	2,390	2,344	2,300	2,257
6,5	161,22	2,759	2,701	2,646	2,539	2,543	2,495	2,448
7,0	164,17	2,978	2,914	2,855	2,797	2,743	2,690	2,640
7,5	166,22	3,196	3,128	3,064	3,002	2,943	2,886	2,832
8,0	169,61	3,415	3,343	3,274	3,207	3,144	3,083	3,025
8,5	172,12	3,635	3,559	3,484	3,413	3,346	3,281	3,218
9,0	174,53	3,857	3,775	3,695	3,620	3,548	3,479	3,412
9,5	176,83	4,080	3,990	3,907	3,827	3,750	3,676	3,606
10,0	179,04	4,306	4,210	4,120	4,034	3,952	3,874	3,799
11,0	183,20	4,757	4,649	4,548	4,452	4,361	4,274	4,191
12,0	187,08	5,211	5,092	4,980	4,873	4,771	4,675	4,583
13,0	190,71	5,699	5,537	5,414	5,297	5,187	5,081	4,980

Продовження табл. В.1

Р, кгс/см ²	t _{н.п.} , °С	t, °С						
		310	320	330	340	350	360	370
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,0	99,09	0,3652	0,3591	0,3531	0,3472	0,3416	0,3362	0,3309
1,1	101,76	0,4019	0,3951	0,3885	0,3821	0,3758	0,3698	0,3642
1,2	104,25	0,4384	0,4310	0,4239	0,4268	0,4102	0,4036	0,3973
1,3	106,56	0,4750	0,4670	0,4593	0,4517	0,4444	0,4372	0,4305
1,4	108,74	0,5118	0,5030	0,4947	0,4866	0,4787	0,4710	0,4636
1,5	110,79	0,5485	0,5390	0,5302	0,5214	0,5129	0,5048	0,4968
1,6	112,73	0,5851	0,575	0,5657	0,5562	0,5471	0,5385	0,5299
1,7	114,57	0,6219	0,6112	0,6011	0,5910	0,5814	0,5723	0,5631
1,8	116,33	0,6583	0,6472	0,6366	0,6260	0,6158	0,6061	0,5963
1,9	118,01	0,6954	0,6833	0,6721	0,6609	0,6502	0,6398	0,6296
2,0	119,62	0,7321	0,7194	0,7076	0,6959	0,6845	0,6734	0,6629
2,1	121,16	0,7686	0,7556	0,743	0,7309	0,7189	0,7072	0,6962
2,2	122,65	0,8058	0,7918	0,7785	0,7657	0,7531	0,7410	0,7295
2,3	124,08	0,8425	0,828	0,8141	0,8006	0,7874	0,7748	0,7628
2,4	125,46	0,8795	0,8642	0,8497	0,8354	0,8217	0,8084	0,7962
2,5	126,79	0,9158	0,9003	0,8852	0,8703	0,8561	0,8420	0,8295
2,6	128,08	0,9533	0,9365	0,9208	0,9053	0,8905	0,8759	0,8627
2,7	129,34	0,9901	0,9728	0,9564	0,9402	0,9251	0,9099	0,8960
2,8	130,55	1,027	1,009	0,9921	0,9751	0,9597	0,9443	0,9294
2,9	131,73	1,064	1,045	1,028	1,010	0,9943	0,9775	0,9627
3,0	132,88	1,101	0,082	1,063	1,045	1,028	1,012	0,9960
3,2	135,08	1,174	1,154	1,134	1,116	1,097	1,080	1,062

Продовження табл. В.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
3,4	137,18	1,248	1,227	1,206	1,186	1,166	1,148	1,129
3,6	139,18	1,322	1,300	1,277	1,256	1,235	1,216	1,196
3,8	141,09	1,397	1,373	1,349	1,327	1,305	1,284	1,253
4,0	142,9	1,471	1,445	1,420	1,397	1,374	1,351	1,330
4,2	144,68	1,545	1,518	1,492	1,467	1,443	1,419	1,397
4,4	146,38	1,620	1,591	1,564	1,538	1,512	1,488	1,464
4,6	148,01	1,694	1,664	1,636	1,608	1,582	1,556	1,531
4,8	149,59	1,768	1,737	1,707	1,679	1,651	1,624	1,598
5,0	151,11	1,843	1,810	1,779	1,749	1,720	1,692	1,665
5,5	154,72	2,029	1,994	1,959	1,926	1,894	1,863	1,833
6,0	158,08	2,216	2,177	2,139	2,103	2,068	2,034	2,001
6,5	161,22	2,404	2,361	2,320	2,280	2,242	2,205	2,170
7,0	164,17	2,592	2,546	2,501	2,458	2,417	2,3377	2,338
7,5	166,22	2,780	2,730	2,682	2,636	2,592	2,549	2,507
8,0	169,61	2,969	2,915	2,864	2,814	2,767	2,721	2,677
8,5	172,12	3,158	3,101	3,046	2,993	2,943	2,894	2,846
9,0	174,53	3,348	3,287	3,229	3,173	3,119	3,066	3,016
9,5	176,83	3,538	3,473	3,412	3,352	3,295	3,239	3,186
10,0	179,04	3,728	3,660	3,594	3,531	3,471	3,413	3,356
11,0	183,20	4,112	4,036	3,962	3,892	3,826	3,761	3,698
12,0	187,08	4,496	4,413	4,333	4,255	4,181	4,108	4,040
13,0	190,71	4,883	4,792	4,704	4,619	4,537	4,458	4,383

Продовження табл. В.1

Р, кгс/см ²	t _{н.п.} , °С	t, °С						
		380	390	400	410	420	430	440
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,0	99,09	0,3258	0,3209	0,3162	-	-	-	-
1,1	101,76	0,3586	0,3531	0,3478	-	-	-	-
1,2	104,25	0,3911	0,3852	0,3795	-	-	-	-
1,3	106,56	0,4237	0,4174	0,4112	-	-	-	-
1,4	108,74	0,4564	0,4496	0,4429	-	-	-	-
1,5	110,79	0,4892	0,4817	0,4746	-	-	-	-
1,6	112,73	0,5219	0,5139	0,5036	-	-	-	-
1,7	114,57	0,5546	0,5461	0,5379	-	-	-	-
1,8	116,33	0,5872	0,5784	0,5695	-	-	-	-
1,9	118,01	0,6200	0,6105	0,6013	-	-	-	-
2,0	119,62	0,6527	0,6427	0,6331	-	-	-	-
2,1	121,16	0,6854	0,675	0,6649	-	-	-	-
2,2	122,65	0,7181	0,7079	0,6966	-	-	-	-
2,3	124,08	0,7508	0,7394	0,7283	-	-	-	-
2,4	125,46	0,7835	0,7716	0,7600	-	-	-	-
2,5	126,79	0,8163	0,8038	0,7918	-	-	-	-
2,6	128,08	0,8490	0,8361	0,8236	-	-	-	-
2,7	129,34	0,8818	0,8685	0,8554	-	-	-	-
2,8	130,55	0,9147	0,9009	0,8871	-	-	-	-
2,9	131,73	0,9477	0,9337	0,9189	-	-	-	-

Продовження табл. В.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
3,0	132,88	0,9804	0,9652	0,9506	-	-	-	-
3,2	135,08	1,0460	1,030	1,0140	-	-	-	-
3,4	137,18	1,1120	1,095	1,078	-	-	-	-
3,6	139,18	1,177	1,159	1,142	-	-	-	-
3,8	141,09	1,243	1,224	1,206	-	-	-	-
4,0	142,9	1,309	1,289	1,269	-	-	-	-
4,2	144,68	1,375	1,354	1,333	-	-	-	-
4,4	146,38	1,441	1,419	1,397	-	-	-	-
4,6	148,01	1,507	1,483	1,461	-	-	-	-
4,8	149,59	1,573	1,548	1,525	-	-	-	-
5,0	151,11	1,639	1,613	1,589	-	-	-	-
5,5	154,72	1,804	1,776	1,749	1,723	1,697	1,672	1,648
6,0	158,08	1,969	1,939	1,909	1,880	1,852	1,825	1,799
6,5	161,22	2,135	2,102	2,070	2,038	2,008	1,979	1,950
7,0	164,17	2,301	2,265	2,230	2,195	2,164	2,132	2,101
7,5	166,22	2,467	2,428	2,391	2,352	2,320	2,286	2,253
8,0	169,61	2,634	2,592	2,552	2,511	2,476	2,439	2,404
8,5	172,12	2,800	2,756	2,714	2,671	2,632	2,593	2,555
9,0	174,53	2,967	2,920	2,875	2,831	2,789	2,747	2,707
9,5	176,83	3,134	3,084	3,037	2,990	2,946	2,902	2,860
10,0	179,04	3,301	3,249	3,199	3,150	3,103	3,056	3,012
11,0	183,20	3,638	3,579	3,524	3,469	3,416	3,365	3,316
12,0	187,08	3,974	3,911	3,849	3,789	3,731	3,675	3,620
13,0	190,71	4,312	4,243	4,175	4,110	4,047	3,986	3,928

Продовження табл. В.1

P, кгс/см ²	t _{н.п.} , °C	t, °C					
		450	460	470	480	490	500
1	2	3	4	5	6	7	8
1,0	99,09	-	-	-	-	-	-
1,1	101,76	-	-	-	-	-	-
1,2	104,25	-	-	-	-	-	-
1,3	106,56	-	-	-	-	-	-
1,4	108,74	-	-	-	-	-	-
1,5	110,79	-	-	-	-	-	-
1,6	112,73	-	-	-	-	-	-
1,7	114,57	-	-	-	-	-	-
1,8	116,33	-	-	-	-	-	-
1,9	118,01	-	-	-	-	-	-
2,0	119,62	-	-	-	-	-	-
2,1	121,16	-	-	-	-	-	-
2,2	122,65	-	-	-	-	-	-
2,3	124,08	-	-	-	-	-	-
2,4	125,46	-	-	-	-	-	-
2,5	126,79	-	-	-	-	-	-
2,6	128,08	-	-	-	-	-	-
2,7	129,34	-	-	-	-	-	-
2,8	130,55	-	-	-	-	-	-
2,9	131,73	-	-	-	-	-	-
3,0	132,88	-	-	-	-	-	-
3,2	135,08	-	-	-	-	-	-

Продовження табл. В.1

1	2	3	4	5	6	7	8
3,4	137,18	-	-	-	-	-	-
3,6	139,18	-	-	-	-	-	-
3,8	141,09	-	-	-	-	-	-
4,0	142,9	-	-	-	-	-	-
4,2	144,68	-	-	-	-	-	-
4,4	146,38	-	-	-	-	-	-
4,6	148,01	-	-	-	-	-	-
4,8	149,59	-	-	-	-	-	-
5,0	151,11	-	-	-	-	-	-
5,5	154,72	1,625	1,602	1,580	1,559	1,538	1,518
6,0	158,08	1,774	1,749	1,725	1,702	1,679	1,657
6,5	161,22	1,922	1,895	1,870	1,844	1,820	1,796
7,0	164,17	2,072	2,043	2,014	1,987	1,960	1,935
7,5	166,22	2,221	2,190	2,159	2,130	2,101	2,073
8,0	169,61	2,370	2,336	2,304	2,273	2,242	2,212
8,5	172,12	2,519	2,484	2,449	2,416	2,383	2,352
9,0	174,53	2,669	2,631	2,595	2,559	2,525	2,491
9,5	176,83	2,818	2,778	2,740	2,702	2,666	2,630
10,0	179,04	2,968	2,926	2,886	2,846	2,807	2,770
11,0	183,20	3,268	3,222	3,177	3,133	3,090	3,050
12,0	187,08	3,569	3,517	3,469	3,421	3,374	3,329
13,0	190,71	3,870	3,815	3,761	3,709	3,659	3,609

Продовження табл. В.1

Р, кгс/см ²	t _{н.п.} , °С	t, °С					
		450	460	470	480	490	500
1	2	3	4	5	6	7	8
1,0	99,09	-	-	-	-	-	-
1,1	101,76	-	-	-	-	-	-
1,2	104,25	-	-	-	-	-	-
1,3	106,56	-	-	-	-	-	-
1,4	108,74	-	-	-	-	-	-
1,5	110,79	-	-	-	-	-	-
1,6	112,73	-	-	-	-	-	-
1,7	114,57	-	-	-	-	-	-
1,8	116,33	-	-	-	-	-	-
1,9	118,01	-	-	-	-	-	-
2,0	119,62	-	-	-	-	-	-
2,1	121,16	-	-	-	-	-	-
2,2	122,65	-	-	-	-	-	-
2,3	124,08	-	-	-	-	-	-
2,4	125,46	-	-	-	-	-	-
2,5	126,79	-	-	-	-	-	-
2,6	128,08	-	-	-	-	-	-
2,7	129,34	-	-	-	-	-	-
2,8	130,55	-	-	-	-	-	-
2,9	131,73	-	-	-	-	-	-
3,0	132,88	-	-	-	-	-	-

Продовження табл. В.1

1	2	3	4	5	6	7	8
3,2	135,08	-	-	-	-	-	-
3,4	137,18	-	-	-	-	-	-
3,6	139,18	-	-	-	-	-	-
3,8	141,09	-	-	-	-	-	-
4,0	142,9	-	-	-	-	-	-
4,2	144,68	-	-	-	-	-	-
4,4	146,38	-	-	-	-	-	-
4,6	148,01	-	-	-	-	-	-
4,8	149,59	-	-	-	-	-	-
5,0	151,11	-	-	-	-	-	-
5,5	154,72	1,625	1,602	1,580	1,559	1,538	1,518
6,0	158,08	1,774	1,749	1,725	1,702	1,679	1,657
6,5	161,22	1,922	1,895	1,870	1,844	1,820	1,796
7,0	164,17	2,072	2,043	2,014	1,987	1,960	1,935
7,5	166,22	2,221	2,190	2,159	2,130	2,101	2,073
8,0	169,61	2,370	2,336	2,304	2,273	2,242	2,212
8,5	172,12	2,519	2,484	2,449	2,416	2,383	2,352
9,0	174,53	2,669	2,631	2,595	2,559	2,525	2,491
9,5	176,83	2,818	2,778	2,740	2,702	2,666	2,630
10,0	179,04	2,968	2,926	2,886	2,846	2,807	2,770
11,0	183,20	3,268	3,222	3,177	3,133	3,090	3,050
12,0	187,08	3,569	3,517	3,469	3,421	3,374	3,329
13,0	190,71	3,870	3,815	3,761	3,709	3,659	3,609

Продовження табл. В.1

Р, кгс/см ²	t _{н.п.} , °С	t, °С						
		190	200	210	220	230	240	250
1	2	3	4	5	6	7	8	9
14	194,13	-	6,842	6,640	6,456	6,289	6,135	5,988
15	197,36	-	7,391	7,163	6,959	6,775	6,605	6,443
16	200,43	-	-	7,692	7,468	7,267	7,077	6,909
17	203,35	-	-	8,237	7,987	7,770	7,553	7,372
18	206,14	-	-	8,787	8,511	8,276	8,038	7,839
19	208,81	-	-	9,346	9,042	8,786	8,530	8,309
20	211,38	-	-	-	9,578	9,298	9,024	8,783
21	213,85	-	-	-	10,13	9,813	9,524	9,259
22	216,23	-	-	-	10,69	10,33	10,02	9,746
23	218,53	-	-	-	11,25	10,87	10,54	10,24
24	220,75	-	-	-	-	11,42	11,06	10,74
25	222,90	-	-	-	-	11,97	11,58	11,24
26	224,98	-	-	-	-	12,53	12,12	11,75
27	227,01	-	-	-	-	13,10	12,66	12,26
28	228,98	-	-	-	-	13,68	13,21	12,79
29	230,89	-	-	-	-	-	13,77	13,31
30	232,75	-	-	-	-	-	14,33	13,85
31	234,57	-	-	-	-	-	14,91	14,39
32	236,35	-	-	-	-	-	15,49	14,94
33	238,08	-	-	-	-	-	16,08	15,50
34	239,77	-	-	-	-	-	16,68	16,07

Продовження табл. В.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
35	241,42	-	-	-	-	-	-	16,64
36	243,04	-	-	-	-	-	-	17,22
37	244,62	-	-	-	-	-	-	17,82
38	246,17	-	-	-	-	-	-	18,42
39	247,69	-	-	-	-	-	-	19,02
40	249,18	-	-	-	-	-	-	19,65
41	250,64	-	-	-	-	-	-	-
42	252,07	-	-	-	-	-	-	-
43	253,48	-	-	-	-	-	-	-
44	254,87	-	-	-	-	-	-	-
45	256,23	-	-	-	-	-	-	-
46	257,56	-	-	-	-	-	-	-
47	258,88	-	-	-	-	-	-	-
48	260,17	-	-	-	-	-	-	-
49	261,45	-	-	-	-	-	-	-
50	262,70	-	-	-	-	-	-	-
52	265,15	-	-	-	-	-	-	-
54	267,53	-	-	-	-	-	-	-
56	269,84	-	-	-	-	-	-	-
58	272,10	-	-	-	-	-	-	-
60	274,29	-	-	-	-	-	-	-
62	276,43	-	-	-	-	-	-	-
64	278,51	-	-	-	-	-	-	-

Продовження табл. В.1

Р, кгс/см ²	t _{н.п.} , °С	t, °С						
		260	270	280	290	300	310	320
1	2	3	4	5	6	7	8	9
14	194,13	5,851	5,724	5,602	5,485	5,376	5,271	5,171
15	197,36	6,293	6,154	6,020	5,893	5,774	5,659	5,555
16	200,43	6,738	6,588	6,443	6,305	6,177	6,053	5,938
17	203,35	7,188	7,022	6,868	6,720	6,582	6,447	6,324
18	206,14	7,639	7,463	7,294	7,138	6,988	6,845	6,714
19	208,81	8,097	7,905	7,728	7,558	7,396	7,245	7,104
20	211,38	8,5560	8,354	8,163	7,981	7,806	7,645	7,494
21	213,85	9,025	8,803	8,598	8,403	8,228	8,052	7,886
22	216,23	9,497	9,259	9,048	8,834	8,636	8,453	8,281
23	218,53	9,970	9,718	9,479	9,266	9,058	8,864	8,681
24	220,75	10,45	10,18	9,93	9,698	9,479	9,276	9,081
25	222,90	10,93	10,64	10,38	10,13	9,901	9,680	9,482
26	224,98	11,42	11,11	10,83	10,57	10,33	10,10	9,881
27	227,01	11,91	11,59	11,29	11,01	10,76	10,52	10,29
28	228,98	12,41	12,06	11,75	11,46	11,19	10,94	10,70
29	230,89	12,91	12,55	12,22	11,91	11,62	11,36	11,11
30	232,75	13,42	13,04	12,69	12,36	12,06	11,78	11,52
31	234,57	13,94	13,53	13,16	12,82	12,50	12,21	11,94
32	236,35	14,46	14,03	13,64	13,28	12,95	12,64	12,35
33	238,08	14,99	14,53	14,12	13,74	13,40	13,08	12,78
34	239,77	15,52	15,04	14,60	14,21	13,85	13,51	12,20

Продовження табл. В.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
35	241,42	16,06	15,55	15,09	14,68	14,30	13,95	13,62
36	243,04	16,61	16,07	15,59	15,16	14,76	14,39	14,05
37	244,62	17,16	16,60	16,09	15,63	15,22	14,83	14,48
38	246,17	17,73	17,13	16,60	16,12	15,68	15,28	14,91
39	247,69	18,29	17,66	17,10	16,60	16,15	15,79	15,35
40	249,18	18,88	18,21	17,62	17,10	16,62	16,19	15,78
41	250,64	19,47	18,76	18,14	17,59	17,10	16,65	16,23
42	252,07	20,06	19,32	18,67	18,10	17,58	17,11	16,67
43	253,48	20,66	19,88	19,20	18,60	18,06	17,57	17,12
44	254,87	21,28	20,46	19,74	19,11	18,54	18,04	17,57
45	256,23	21,90	21,04	20,29	19,63	19,04	18,50	18,02
46	257,56	22,53	21,62	20,84	20,15	19,53	18,98	18,47
47	258,88	23,16	22,22	21,39	20,67	20,03	19,46	18,93
48	260,17	-	22,82	21,96	21,20	20,54	19,94	19,39
49	261,45	-	23,44	22,53	21,74	21,05	20,42	19,86
50	262,70	-	24,06	23,11	22,29	21,56	20,92	20,33
52	265,15	-	25,32	24,29	23,39	22,60	21,90	21,28
54	267,53	-	26,64	25,50	24,52	23,67	22,91	22,24
56	269,84	-	28,00	26,74	25,67	24,75	23,93	23,21
58	272,10	-	-	28,04	26,86	25,85	24,98	24,20
60	274,29	-	-	29,37	28,07	26,99	26,04	25,21
62	276,43	-	-	30,75	29,33	28,14	27,12	26,23
64	278,51	-	-	32,14	30,61	29,33	28,23	27,28

Продовження табл. В.1

Р, кгс/см ²	t _{н.п.} , °С	t, °С						
		330	340	350	360	370	380	390
1	2	3	4	5	6	7	8	9
14	194,13	5,067	4,984	4,895	4,810	4,728	4,651	4,574
15	197,36	5,450	5,350	5,255	5,163	5,076	4,990	4,909
16	200,43	5,824	5,718	5,615	5,517	5,423	5,330	5,244
17	203,35	6,203	6,086	5,977	5,872	5,770	5,672	5,580
18	206,14	6,583	6,457	6,341	6,227	6,120	6,017	5,917
19	208,81	6,964	6,831	6,707	6,582	6,471	6,369	6,254
20	211,38	7,348	7,205	7,072	6,942	6,821	6,714	6,592
21	213,85	7,732	7,582	7,440	7,302	7,147	7,059	6,930
22	216,23	8,117	7,960	7,812	7,664	7,530	7,407	7,270
23	218,53	8,503	8,338	8,183	8,030	7,886	7,755	7,613
24	220,75	8,893	8,718	8,554	8,396	8,242	8,104	7,955
25	222,90	9,285	9,099	8,928	8,760	8,598	8,453	8,299
26	224,98	9,677	9,484	9,302	9,131	8,960	8,803	8,643
27	227,01	10,07	9,872	9,680	9,502	9,320	9,154	8,988
28	228,98	10,47	10,26	10,06	9,872	9,680	9,506	9,337
29	230,89	10,87	10,65	10,44	10,24	10,05	9,861	9,690
30	232,75	11,27	11,04	10,82	10,61	10,41	10,22	10,04
31	234,57	11,68	11,44	11,20	10,99	10,78	10,58	10,39
32	236,35	12,08	11,83	11,59	11,36	11,14	10,94	10,74
33	238,08	12,50	12,23	11,98	11,74	11,51	11,30	11,09
34	239,77	12,90	12,63	12,36	12,12	11,88	11,66	11,45

Продовження табл. В.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
35	241,42	13,32	13,03	12,76	12,50	12,25	12,02	11,80
36	243,04	13,73	13,46	13,15	12,88	12,63	12,39	12,16
37	244,62	14,15	13,84	13,54	13,27	13,00	12,76	12,52
38	246,17	14,57	14,24	13,94	13,65	13,38	13,12	12,87
39	247,69	14,99	14,65	14,34	14,04	13,76	13,49	13,23
40	249,18	15,41	15,06	14,74	14,43	14,14	13,86	13,60
41	250,64	15,84	15,48	15,14	14,82	14,52	14,23	13,96
42	252,07	16,27	15,89	15,54	15,21	14,90	14,60	14,32
43	253,48	16,70	16,31	15,94	15,60	15,28	14,98	14,69
44	254,87	17,14	16,73	16,35	16,00	15,67	15,35	15,05
45	256,23	17,57	17,15	16,76	16,40	16,05	15,73	15,42
46	257,56	18,01	17,58	17,17	16,80	16,44	16,11	15,79
47	258,88	18,45	18,00	17,59	17,20	16,83	16,49	16,16
48	260,17	18,90	18,43	18,00	17,6	17,22	16,87	16,53
49	261,45	19,34	18,86	18,42	18,00	17,61	17,25	16,90
50	262,70	19,79	19,30	18,84	18,41	18,01	17,63	17,28
52	265,15	20,70	20,18	19,69	19,23	18,80	18,41	18,03
54	267,53	21,62	21,06	20,54	20,06	19,61	19,18	18,79
56	269,84	22,56	21,95	21,40	20,89	20,41	19,96	19,55
58	272,10	23,50	22,86	22,28	21,73	21,23	20,76	20,32
60	274,29	24,46	23,79	23,17	22,59	22,06	21,56	21,09
62	276,43	25,43	24,72	24,06	23,45	22,88	22,36	21,87
64	278,51	26,42	25,65	24,96	24,32	23,72	23,17	22,66

Продовження табл. В.1

Р, кгс/см ²	t _{н.п.} , °С	t, °С						
		400	410	420	430	440	450	460
1	2	3	4	5	6	7	8	9
14	194,13	4,502	4,431	4,363	4,297	4,234	4,172	4,112
15	197,36	4,831	4,755	4,682	4,610	4,541	4,474	4,409
16	200,43	5,160	5,079	5,000	4,924	4,850	4,776	4,708
17	203,35	5,490	5,403	5,319	5,236	5,157	5,081	5,008
18	206,14	5,820	5,727	5,637	5,559	5,467	5,385	5,308
19	208,81	6,150	6,053	5,956	5,865	5,777	5,690	5,608
20	211,38	6,482	6,379	6,277	6,180	6,086	5,995	5,908
21	213,85	6,817	6,707	6,601	6,498	6,398	6,301	6,209
22	216,23	7,153	7,037	6,925	6,816	6,710	6,609	6,510
23	218,53	7,489	7,367	7,250	7,133	7,022	6,917	6,812
24	220,75	7,825	7,698	7,574	7,452	7,337	7,225	7,117
25	222,90	8,163	8,029	7,899	7,770	7,651	7,534	7,424
26	224,98	8,503	8,361	8,224	8,090	7,966	7,843	7,725
27	227,01	8,843	8,693	8,551	8,410	8,280	8,155	8,029
28	228,98	9,183	9,027	8,878	8,734	8,594	8,467	8,355
29	230,89	9,524	9,369	9,205	9,058	8,909	8,780	8,643
30	232,75	9,866	9,699	9,533	9,384	9,299	9,094	8,843
31	234,57	10,21	10,03	9,862	9,709	9,551	9,396	9,259
32	236,35	10,55	10,37	10,20	10,03	9,872	9,718	9,569
33	238,08	10,90	10,71	10,53	10,36	10,19	10,03	9,872
34	239,77	11,24	11,05	10,86	10,68	10,51	10,34	10,18

Продовження табл. В.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
35	241,42	11,59	11,39	11,20	11,01	10,83	10,66	10,49
36	243,04	11,94	11,73	11,53	11,34	11,15	10,98	10,80
37	244,62	12,29	12,07	11,87	11,67	11,48	11,29	11,12
38	246,17	12,64	12,42	12,20	12,00	11,80	11,61	11,43
39	247,69	12,99	12,76	12,54	12,33	12,12	11,93	11,74
40	249,18	13,34	13,11	12,88	12,66	12,45	12,25	12,06
41	250,64	13,70	13,45	13,22	12,99	12,78	12,57	12,37
42	252,07	14,06	13,80	13,56	13,33	13,10	12,89	12,68
43	253,48	14,41	14,15	13,90	13,66	13,43	13,21	13,00
44	254,87	14,77	14,50	14,24	13,99	13,76	13,53	13,31
45	256,23	15,13	14,85	14,58	14,33	14,09	13,85	13,63
46	257,56	15,49	15,20	14,93	14,67	14,42	14,18	13,95
47	258,88	15,85	15,55	15,27	15,01	14,75	14,50	14,27
48	260,17	16,21	15,91	15,62	15,34	15,08	14,83	14,58
49	261,45	16,58	16,26	15,97	15,68	15,41	15,15	14,90
50	262,70	16,94	16,63	16,31	16,02	15,74	15,48	15,22
52	265,15	17,67	17,33	17,01	16,70	16,41	16,13	15,86
54	267,53	18,41	18,05	17,71	17,39	17,09	16,80	16,51
56	269,84	19,15	18,78	18,42	18,08	17,76	17,46	17,16
58	272,10	19,90	19,51	19,14	18,78	18,44	18,12	17,81
60	274,29	20,65	20,24	19,85	19,48	19,12	18,79	18,46
62	276,43	21,41	20,98	20,57	20,18	19,81	19,46	19,12
64	278,51	22,17	21,72	21,29	20,88	20,50	20,13	19,78

Продовження табл. В.1

Р, кгс/см ²	t _{н.п.} , °С	t, °С						
		470	480	490	500	510	520	530
1	2	3	4	5	6	7	8	9
14	194,13	4,054	3,998	3,943	3,890	-	-	-
15	197,36	4,348	4,286	4,228	4,170	-	-	-
16	200,43	4,642	4,577	4,413	4,452	-	-	-
17	203,35	4,936	4,866	4,801	4,735	-	-	-
18	206,14	5,233	5,157	5,086	5,017	-	-	-
19	208,81	5,528	5,450	5,373	5,299	-	-	-
20	211,38	5,824	5,740	5,661	5,583	-	-	-
21	213,85	6,120	6,032	5,949	5,867	-	-	-
22	216,23	6,418	6,325	6,238	6,151	-	-	-
23	218,53	6,716	6,618	6,528	6,435	-	-	-
24	220,75	7,013	6,911	6,818	6,720	-	-	-
25	222,90	7,312	7,215	7,108	7,007	-	-	-
26	224,98	7,610	7,502	7,397	7,294	-	-	-
27	227,01	7,911	7,800	7,689	7,582	-	-	-
28	228,98	8,212	8,097	7,981	7,868	-	-	-
29	230,89	8,513	8,392	8,271	8,156	-	-	-
30	232,75	8,814	8,668	8,562	8,441	-	-	-
31	234,57	9,106	8,984	8,854	8,728	-	-	-
32	236,35	9,422	9,284	9,149	9,019	-	-	-
33	238,08	9,728	9,581	9,443	9,311	-	-	-
34	239,77	10,03	9,881	9,737	9,597	-	-	-

Продовження табл. В.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
35	241,42	10,33	10,18	10,03	9,891	-	-	-
36	243,04	10,64	10,48	10,33	10,18	-	-	-
37	244,62	10,95	10,78	10,62	10,47	-	-	-
38	246,17	11,25	11,08	10,92	10,76	-	-	-
39	247,69	11,56	11,38	11,22	11,05	-	-	-
40	249,18	11,87	11,69	11,51	11,34	-	-	-
41	250,64	12,18	11,99	11,81	11,64	-	-	-
42	252,07	12,48	12,29	12,11	11,93	-	-	-
43	253,48	12,80	12,60	12,41	12,23	-	-	-
44	254,87	13,10	12,90	12,71	12,52	-	-	-
45	256,23	13,42	13,21	13,01	12,82	-	-	-
46	257,56	13,73	13,52	13,31	13,11	-	-	-
47	258,88	14,04	13,82	13,61	13,41	-	-	-
48	260,17	14,35	14,13	13,91	13,70	-	-	-
49	261,45	14,67	14,44	14,21	14,00	-	-	-
50	262,70	14,98	14,74	14,52	14,30	14,09	13,88	13,69
52	265,15	15,61	15,36	15,13	14,90	14,68	14,46	14,26
54	267,53	16,24	15,98	15,73	15,50	15,26	15,04	14,82
58	272,10	17,52	17,23	16,96	16,70	16,45	16,20	15,97
60	274,29	18,16	17,86	17,58	17,30	17,04	16,79	16,54
62	276,43	18,80	18,49	18,20	17,91	17,64	17,37	17,12
64	278,51	19,44	19,12	18,81	18,52	18,23	17,96	17,70

Продовження табл. В.1

P, кгс/см ²	t _{н.п.} , °C	t, °C						
		540	550	560	570	580	590	600
1	2	3	4	5	6	7	8	9
14	194,13	-	-	-	-	-	-	-
15	197,36	-	-	-	-	-	-	-
16	200,43	-	-	-	-	-	-	-
17	203,35	-	-	-	-	-	-	-
18	206,14	-	-	-	-	-	-	-
19	208,81	-	-	-	-	-	-	-
20	211,38	-	-	-	-	-	-	-
21	213,85	-	-	-	-	-	-	-
22	216,23	-	-	-	-	-	-	-
23	218,53	-	-	-	-	-	-	-
24	220,75	-	-	-	-	-	-	-
25	222,90	-	-	-	-	-	-	-
26	224,98	-	-	-	-	-	-	-
27	227,01	-	-	-	-	-	-	-
28	228,98	-	-	-	-	-	-	-
29	230,89	-	-	-	-	-	-	-
30	232,75	-	-	-	-	-	-	-
31	234,57	-	-	-	-	-	-	-
32	236,35	-	-	-	-	-	-	-
33	238,08	-	-	-	-	-	-	-
34	239,77	-	-	-	-	-	-	-

Продовження табл. В.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
35	241,42	-	-	-	-	-	-	-
36	243,04	-	-	-	-	-	-	-
37	244,62	-	-	-	-	-	-	-
38	246,17	-	-	-	-	-	-	-
39	247,69	-	-	-	-	-	-	-
40	249,18	-	-	-	-	-	-	-
41	250,64	-	-	-	-	-	-	-
42	252,07	-	-	-	-	-	-	-
43	253,48	-	-	-	-	-	-	-
44	254,87	-	-	-	-	-	-	-
46	257,56	-	-	-	-	-	-	-
47	258,88	-	-	-	-	-	-	-
48	260,17	-	-	-	-	-	-	-
49	261,45	-	-	-	-	-	-	-
50	262,70	13,50	13,31	13,14	12,96	12,79	12,63	12,47
52	265,15	14,06	13,86	13,68	13,50	13,32	13,15	12,98
54	267,53	14,62	14,42	14,22	14,03	13,85	13,67	13,50
56	269,84	15,18	14,97	14,76	14,57	14,38	14,19	14,01
58	272,10	15,74	15,52	15,31	15,10	14,91	14,71	14,53
60	274,29	16,31	16,08	15,86	15,64	15,44	15,24	15,04
62	276,43	16,87	16,64	16,41	16,19	15,97	15,76	15,56
64	278,51	17,44	17,20	16,96	16,73	16,50	16,29	16,08

Продовження табл. В.1

P, кгс/см ²	t _{н.п.} , °C	t, °C						
		290	300	310	320	330	340	350
1	2	3	4	5	6	7	8	9
66	280,55	31,94	30,54	29,36	28,33	27,42	26,61	25,87
68	282,54	33,31	31,79	30,51	29,40	28,43	27,57	26,80
70	284,48	34,72	33,06	31,68	30,51	29,74	28,56	27,73
72	286,39	36,19	34,38	32,89	31,62	30,52	29,55	28,68
74	288,25	37,71	35,73	34,12	32,76	31,60	30,56	29,64
76	290,08	-	37,12	35,40	33,94	32,69	31,58	30,61
78	291,86	-	38,56	36,68	35,12	33,79	32,64	31,60
80	293,62	-	40,05	38,01	36,34	34,92	33,69	32,60
82	295,34	-	41,60	39,37	37,58	36,06	34,76	33,61
84	297,03	-	43,20	40,78	38,85	37,24	35,86	34,64
86	298,69	-	44,84	42,23	40,16	38,43	36,97	35,69
88	300,32	-	-	43,74	41,49	39,65	38,08	36,74
90	301,92	-	-	45,27	42,86	40,88	39,22	37,81
92	303,49	-	-	46,90	44,29	42,18	40,42	38,91
94	305,04	-	-	48,57	45,72	43,48	41,61	40,02
96	306,56	-	-	50,30	47,21	44,82	42,83	41,14
98	308,06	-	-	52,1	48,76	46,19	44,07	42,28
100	309,53	-	-	54,00	50,40	47,57	45,33	43,46
105	301,12	-	-	-	54,50	51,20	48,64	46,47
110	316,58	-	-	-	59,30	55,20	52,10	49,60

Продовження табл. В.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
115	319,92	-	-	-	64,60	59,50	55,80	52,90
120	323,15	-	-	-	-	64,20	59,70	56,40
125	326,27	-	-	-	-	69,50	64,00	60,10
130	329,30	-	-	-	-	75,40	68,80	64,10
135	332,23	-	-	-	-	-	74,00	68,30
140	335,09	-	-	-	-	-	79,70	72,80
145	337,86	-	-	-	-	-	86,40	77,90
150	340,56	-	-	-	-	-	-	83,50
155	343,18	-	-	-	-	-	-	89,80
160	345,74	-	-	-	-	-	-	96,80
165	348,23	-	-	-	-	-	-	104,90
170	350,66	-	-	-	-	-	-	-
175	353,03	-	-	-	-	-	-	-
180	355,35	-	-	-	-	-	-	-
185	357,61	-	-	-	-	-	-	-
190	359,82	-	-	-	-	-	-	-
195	361,08	-	-	-	-	-	-	-
200	364,08	-	-	-	-	-	-	-
210	368,16	-	-	-	-	-	-	-
220	372,10	-	-	-	-	-	-	-
230	-	-	-	-	-	-	-	-
240	-	-	-	-	-	-	-	-
250	-	-	-	-	-	-	-	-
260	-	-	-	-	-	-	-	-

Продовження табл. В.1

Р, кгс/см ²	t _{н.п.} , °С	t, °С						
		360	370	380	390	400	410	420
1	2	3	4	5	6	7	8	9
66	280,55	25,20	24,57	23,99	23,45	22,94	22,47	22,02
68	282,54	26,08	25,42	24,81	24,25	23,72	23,22	22,75
70	284,48	26,98	26,29	25,65	25,05	24,50	23,96	23,48
72	286,39	27,89	27,16	26,49	25,87	25,28	24,74	24,23
74	288,25	28,80	28,04	27,34	26,69	26,08	25,51	24,98
76	290,08	29,73	28,93	28,20	27,51	26,88	26,28	25,73
78	291,86	30,67	29,83	29,06	28,34	27,68	27,06	26,49
80	293,62	31,62	30,73	29,92	29,18	28,49	27,85	27,25
82	295,34	32,58	31,65	30,81	30,03	29,31	28,64	28,01
84	297,03	33,56	32,58	31,70	30,88	30,13	29,43	28,79
86	298,69	34,54	33,52	32,59	31,74	30,96	30,24	29,57
88	300,32	35,54	34,47	33,50	32,61	31,79	31,04	30,35
90	301,92	36,55	35,42	34,41	33,48	32,64	31,85	31,12
92	303,49	37,58	36,40	35,34	34,37	33,69	32,68	31,92
94	305,04	38,62	37,38	36,28	35,27	34,35	33,50	32,72
96	306,56	39,68	38,37	37,22	36,17	35,21	34,33	33,52
98	308,06	40,75	39,38	38,18	37,08	36,09	35,17	34,33
100	309,53	41,84	40,41	39,14	38,01	36,97	36,02	35,15
105	313,12	44,62	43,01	41,60	40,34	39,20	38,15	37,20
110	316,58	47,50	45,72	44,15	42,75	41,649	40,36	39,31
115	319,92	50,50	48,52	46,77	45,23	43,84	42,59	41,49

Продовження табл. В.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
120	323,15	53,70	51,40	49,46	47,76	46,23	44,86	43,63
125	326,27	57,00	54,40	52,20	50,40	48,68	47,19	45,85
130	329,30	60,50	57,60	55,20	53,00	51,20	49,60	48,15
135	332,23	64,20	60,90	58,10	55,80	53,80	52,10	50,50
140	335,09	68,10	64,40	61,30	58,80	56,50	54,60	52,80
145	337,85	72,20	67,70	64,40	61,60	59,20	57,10	55,20
150	340,56	76,50	71,60	67,80	64,70	62,10	59,80	57,80
155	343,18	81,30	75,70	71,40	67,90	65,00	62,50	60,30
160	345,74	86,90	80,20	75,20	71,30	68,10	65,30	62,90
165	348,23	92,50	84,60	78,90	74,60	71,10	68,10	65,60
170	350,66	98,90	89,60	83,10	78,20	74,40	71,10	68,40
175	353,03	106,50	95,10	87,50	82,00	77,80	74,20	71,10
180	355,35	115,5	101,00	92,20	86,10	81,30	77,40	74,10
185	357,61	126,7	107,6	97,20	90,30	85,00	80,60	77,10
190	359,82	142,40	115,20	102,70	94,80	88,80	84,10	80,20
195	361,98	-	123,90	108,60	99,50	92,80	87,60	83,30
200	364,08	-	134,00	114,90	104,50	97,00	91,30	86,70
210	368,16	-	167,50	130,60	115,50	106,30	99,20	93,60
220	372,10	-	-	151,30	128,50	116,70	107,90	101,20
230	-	-	-	183,50	144,90	128,20	117,40	109,40
240	-	-	-	-	166,40	141,40	127,90	118,20
250	-	-	-	-	195,30	157,50	139,70	127,90
260	-	-	-	-	238,70	177,60	153,10	138,10
270	-	-	-	-	-	202,80	167,80	149,00
280	-	-	-	-	-	235,30	185,50	161,60
290	-	-	-	-	-	276,20	206,20	175,40
300	-	-	-	-	-	324,70	231,00	191,20

Продовження табл. В.1

Р, кгс/см ²	t _{н.п.} , °С	t, °С						
		430	440	450	460	470	480	490
1	2	3	4	5	6	7	8	9
66	280,55	21,59	21,19	20,81	20,44	20,09	19,76	19,44
68	282,54	22,31	21,89	21,49	21,10	220,74	20,40	20,06
70	284,48	23,03	22,59	22,17	21,78	21,40	21,04	20,69
72	286,39	23,75	23,29	22,86	22,45	22,06	21,68	21,32
74	288,25	24,48	24,00	23,55	23,12	22,72	22,33	21,95
76	290,08	25,21	24,72	24,25	23,80	23,38	22,98	22,59
78	291,86	25,94	25,43	24,95	24,48	24,04	23,63	23,23
80	293,62	26,68	26,15	25,65	25,17	24,71	24,28	23,87
82	295,34	27,42	26,87	26,35	25,85	225,38	24,94	24,51
84	297,03	28,17	27,59	27,06	26,55	26,06	25,60	25,16
86	298,69	28,93	28,33	27,77	27,24	26,74	26,26	25,81
88	300,32	29,69	29,07	28,49	27,94	27,42	26,92	26,46
90	301,92	30,45	29,81	29,21	28,64	28,10	27,59	27,10
92	303,49	31,21	30,55	29,93	29,34	28,78	28,26	27,75
94	305,04	31,98	31,30	30,66	30,03	29,48	28,93	28,41
96	306,56	32,76	32,05	31,39	30,75	30,16	29,61	29,08
98	308,06	33,54	32,81	32,12	31,48	30,86	30,29	29,74
100	309,53	34,33	33,57	32,86	32,20	31,56	30,98	30,41
105	313,12	36,32	35,51	34,75	34,01	33,33	32,69	32,08
110	316,58	38,34	37,35	36,63	35,86	35,12	34,44	33,78
115	319,92	40,40	39,43	38,54	37,61	36,93	36,19	35,51
120	323,15	42,50	41,46	40,50	39,60	38,76	37,96	37,22
125	326,27	44,64	43,54	42,50	41,53	40,62	39,76	38,96

Закінчення табл. В.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
130	329,30	46,82	45,60	44,48	43,46	42,50	41,60	40,73
135	332,23	49,04	47,73	46,53	45,41	44,38	43,42	42,54
140	335,09	51,30	49,90	48,61	47,42	46,32	45,29	44,34
145	337,86	53,60	52,10	50,70	49,46	48,28	47,19	46,17
150	340,56	56,00	54,40	52,80	51,50	50,0	49,09	48,01
155	343,18	58,40	56,60	55,00	53,60	52,30	51,00	49,90
160	345,74	60,90	59,00	57,30	55,70	54,30	53,00	51,80
165	348,23	63,30	61,40	59,50	57,90	56,40	55,00	53,70
170	350,66	65,90	63,70	61,80	60,10	58,50	57,00	55,60
175	353,03	68,50	66,20	64,20	62,30	60,60	59,00	57,60
180	355,35	71,20	68,70	66,50	64,60	62,80	61,10	59,60
185	357,61	74,00	71,30	69,00	66,80	65,00	63,20	61,60
190	359,82	76,9	74,0	71,4	69,2	67,2	65,4	63,6
195	361,98	79,7	76,7	74,0	71,6	69,4	67,5	65,8
200	364,08	82,8	79,5	76,6	74,1	71,8	69,7	67,8
210	368,16	89,1	85,3	82,0	79,1	76,5	74,2	72,1
220	372,10	95,9	91,4	87,6	84,4	81,5	78,9	76,5
230	-	103,0	97,8	93,5	89,8	86,6	83,8	81,1
240	-	110,7	104,7	99,6	95,4	91,8	88,6	85,8
250	-	118,9	111,7	105,8	101,2	97,3	93,8	90,7
260	-	127,9	119,2	112,6	107,3	102,9	99,0	95,5
270	-	136,6	126,2	119,8	113,8	108,8	104,5	100,7
280	-	146,4	135,5	127,0	120,5	114,9	110,1	105,9
290	-	157,0	144,3	135,0	127,4	121,2	115,9	111,4
300	-	168,6	153,8	143,1	134,6	127,7	122,0	117,0

Додаток Г. Коефіцієнт стисливості природних газів, що не містять у своєму складі CO₂ і N₂.

Таблиця Г.1 -- Коефіцієнт стисливості природних газів, що не містять у своєму складі CO₂ і N₂.

Рип, кгс/см ²	тп, °С											
	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0,9960	0,9964	0,9966	0,9968	0,9970	0,9972	0,9974	0,9976	0,9978	0,9978	0,9980	0,9980
2	0,9924	0,9928	0,9930	0,9934	0,9938	0,9942	0,9946	0,9948	0,9950	0,9952	0,9954	0,9960
3	0,9881	0,9889	0,9897	0,9900	0,9907	0,9912	0,9916	0,9922	0,9928	0,9932	0,9936	0,9940
4	0,9842	0,9851	0,9861	0,9869	0,9877	0,9883	0,9891	0,9899	0,9905	0,9911	0,9914	0,9920
5	0,9803	0,9814	0,9828	0,9838	0,9846	0,9855	0,9863	0,9873	0,9880	0,9887	0,9893	0,9899
6	0,9764	0,9780	0,9793	0,9805	0,9816	0,9826	0,9834	0,9847	0,9857	0,9863	0,9871	0,9879
7	0,9724	0,9743	0,9758	0,9772	0,9785	0,9797	0,9811	0,9822	0,9832	0,9842	0,9849	0,9857
8	0,9683	0,9705	0,9722	0,9737	0,9754	0,9770	0,9783	0,9796	0,9809	0,9818	0,9828	0,9834
9	0,9644	0,9666	0,9687	0,9706	0,9726	0,9741	0,9756	0,9772	0,9783	0,9795	0,9807	0,9818
10	0,9604	0,9630	0,9653	0,9674	0,9695	0,9712	0,9730	0,9747	0,9760	0,9774	0,9787	0,9799
11	0,9565	0,9593	0,9619	0,9642	0,9663	0,9683	0,9703	0,9720	0,9735	0,9750	0,9764	0,9780

Продовження табл. Г.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
12	0,9524	0,9557	0,9558	0,9610	0,9632	0,9655	0,9676	0,9695	0,9713	0,9729	0,9743	0,9760
13	0,9485	0,9520	0,9550	0,9576	0,9602	0,9627	0,9649	0,9670	0,9689	0,9760	0,9724	0,9739
14	0,9444	0,9481	0,9514	0,9544	0,9572	0,9596	0,9621	0,9644	0,9665	0,9683	0,9703	0,9720
15	0,9406	0,9444	0,9479	0,9510	0,9540	0,9568	0,9594	0,9619	0,9640	0,9661	0,9682	0,9701
16	0,9366	0,9408	0,9444	0,9477	0,9509	0,9540	0,9568	0,9593	0,9617	0,9640	0,9661	0,9682
17	0,9326	0,9369	0,9409	0,9444	0,9479	0,9510	0,9540	0,9568	0,9593	0,9617	0,9640	0,9661
18	0,9286	0,9331	0,9373	0,9411	0,9448	0,9481	0,9514	0,9542	0,9570	0,9596	0,9617	0,9642
19	0,9247	0,9294	0,9337	0,9378	0,9415	0,9453	0,9486	0,9518	0,9546	0,9572	0,9596	0,9621
20	0,9206	0,9254	0,9303	0,9344	0,9384	0,9424	0,9459	0,9492	0,9522	0,9550	0,9576	0,9602
21	0,9164	0,9215	0,9267	0,9309	0,9353	0,9395	0,9431	0,9466	0,9498	0,9527	0,9555	0,9581
22	0,9122	0,9178	0,9229	0,9277	0,9322	0,9366	0,9404	0,9442	0,9474	0,9205	0,9535	0,9563
23	0,9080	0,9140	0,9194	0,9245	0,9292	0,9337	0,9378	0,9417	0,9451	0,9483	0,9514	0,9542
24	0,9039	0,9101	0,9157	0,9212	0,9261	0,9308	0,9351	0,9391	0,9428	0,9463	0,9494	0,9524
25	0,8996	0,9061	0,9122	0,9178	0,9229	0,9279	0,9324	0,9366	0,9404	0,9441	0,9474	0,9505
26	0,8954	0,9022	0,9086	0,9145	0,9199	0,9249	0,9297	0,9339	0,9380	0,9419	0,9453	0,9485
27	0,8911	0,8983	0,9049	0,9112	0,9168	0,9219	0,9269	0,9313	0,9357	0,9395	0,9431	0,9466
28	0,8868	0,8944	0,9013	0,9077	0,9136	0,9189	0,9242	0,9288	0,9335	0,9373	0,9411	0,9446
29	0,8826	0,8906	0,8976	0,9044	0,9105	0,9161	0,9214	0,9263	0,9310	0,9351	0,9389	0,9428
30	0,8783	0,8865	0,8940	0,9010	0,9074	0,9131	0,9187	0,9237	0,9287	0,9330	0,9369	0,9408

Продовження табл. Г.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
31	0,8741	0,8825	0,8903	0,8978	0,9043	0,9103	0,9161	0,9212	0,9263	0,9310	0,9350	0,9389
32	0,8697	0,8785	0,8868	0,8944	0,9012	0,9074	0,9135	0,9187	0,9240	0,9287	0,9330	0,9369
33	0,8653	0,8746	0,8830	0,8910	0,8979	0,9044	0,9107	0,9163	0,9215	0,9265	0,9310	0,9351
34	0,8610	0,8707	0,8793	0,8875	0,8949	0,9015	0,9081	0,9138	0,9192	0,9244	0,9289	0,9332
35	0,8567	0,8666	0,8756	0,8840	0,8917	0,8986	0,9053	0,9112	0,9168	0,9221	0,9267	0,9312
36	0,8526	0,8626	0,8720	0,8807	0,8887	0,8959	0,9026	0,9086	0,9145	0,9200	0,9247	0,9294
37	0,8482	0,8588	0,8682	0,8774	0,8855	0,8930	0,9000	0,9062	0,9121	0,9177	0,9288	0,9274
38	0,8438	0,8546	0,8647	0,8739	0,8823	0,8902	0,8974	0,9038	0,9100	0,9156	0,9207	0,9256
39	0,8394	0,8506	0,8608	0,8705	0,8792	0,8873	0,8947	0,9012	0,9075	0,9133	0,9185	0,9237
40	0,8349	0,8465	0,8572	0,8669	0,8761	0,8843	0,8918	0,8986	0,9053	0,9112	0,9166	0,9217
41	0,8305	0,8424	0,8535	0,8634	0,8728	0,8813	0,8892	0,8961	0,9029	0,9091	0,9147	0,9198
42	0,8260	0,8383	0,8498	0,8600	0,8695	0,8784	0,8865	0,8935	0,9005	0,9069	0,9126	0,9178
43	0,8215	0,8343	0,8460	0,8567	0,8664	0,8755	0,8838	0,8912	0,8983	0,9046	0,9107	0,9161
44	0,8170	0,8302	0,8423	0,8534	0,8634	0,8726	0,8811	0,8886	0,8961	0,9025	0,9086	0,9141
45	0,8125	0,8261	0,8386	0,8497	0,8602	0,8697	0,8785	0,8861	0,8937	0,9005	0,9065	0,9122
46	0,8080	0,8221	0,8349	0,8463	0,8570	0,8668	0,8757	0,8836	0,8913	0,8983	0,9046	0,9105
47	0,8035	0,8181	0,8311	0,8429	0,8540	0,8633	0,8731	0,8811	0,8890	0,8961	0,9025	0,9086
48	0,7990	0,8141	0,8273	0,8395	0,8507	0,8610	0,8703	0,8788	0,8866	0,8938	0,9006	0,9068
49	0,7945	0,8102	0,8273	0,8361	0,8477	0,8583	0,8677	0,8764	0,8845	0,8918	0,8986	0,9049
50	0,7899	0,8059	0,8200	0,8326	0,8446	0,8553	0,8650	0,8739	0,8821	0,8896	0,8967	0,9032

Продовження табл. Г.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
51	0,7852	0,8016	0,8162	0,8291	0,8415	0,8523	0,8624	0,8715	0,8798	0,8875	0,8947	0,9013
52	0,7805	0,7973	0,8123	0,8258	0,8383	0,8494	0,8597	0,8689	0,8775	0,8855	0,8928	0,8995
53	0,7758	0,7932	0,8085	0,8222	0,8351	0,8466	0,8572	0,8664	0,8754	0,8833	0,8908	0,8977
54	0,7712	0,7890	0,8048	0,8188	0,8319	0,8438	0,8545	0,8640	0,8731	0,8811	0,8888	0,8959
55	0,7665	0,7848	0,8010	0,8154	0,8287	0,8409	0,8520	0,8616	0,8708	0,8792	0,8870	0,8942
56	0,7618	0,7805	0,7973	0,8120	0,8257	0,8381	0,8493	0,8594	0,8685	0,8770	0,8850	0,8923
57	0,7572	0,7764	0,7936	0,8087	0,8225	0,8352	0,8466	0,8568	0,8664	0,8749	0,8830	0,8905
58	0,7525	0,7722	0,7898	0,8054	0,8196	0,8325	0,8440	0,8546	0,8642	0,8729	0,8811	0,8888
59	0,7479	0,7681	0,7861	0,8018	0,8165	0,8296	0,8414	0,8521	0,8621	0,8708	0,8793	0,8871
60	0,7432	0,7640	0,7823	0,7985	0,8134	0,8266	0,8387	0,8497	0,8597	0,8689	0,8774	0,8853
61	0,7386	0,7598	0,7784	0,7951	0,8102	0,8237	0,8361	0,8473	0,8575	0,8668	0,8755	0,8836
62	0,7339	0,7556	0,7746	0,7917	0,8071	0,8206	0,8335	0,8449	0,8553	0,8648	0,8736	0,8820
63	0,7293	0,7516	0,7711	0,7883	0,8041	0,8179	0,8309	0,8426	0,8532	0,8629	0,8718	0,8802
64	0,7245	0,7474	0,7673	0,7849	0,8010	0,8154	0,8285	0,8403	0,8510	0,8610	0,8702	0,8782
65	0,7199	0,7433	0,7636	0,7816	0,7980	0,8126	0,8260	0,8378	0,8490	0,8589	0,8682	0,8764
66	0,7153	0,7391	0,7598	0,7783	0,7950	0,8098	0,8236	0,8355	0,8468	0,8568	0,8663	0,8749
67	0,7106	0,7351	0,7561	0,7749	0,7919	0,8068	0,8209	0,8332	0,8448	0,8549	0,8647	0,8733
68	0,7060	0,7309	0,7525	0,7716	0,7890	0,8039	0,8184	0,8309	0,8426	0,8529	0,8628	0,8716
69	0,7014	0,7269	0,7488	0,7682	0,7858	0,8013	0,8159	0,8287	0,8406	0,8510	0,8610	0,8700
70	0,6970	0,7229	0,7452	0,7650	0,7830	0,7990	0,8134	0,8266	0,8383	0,8493	0,8592	0,8684

Продовження табл. Г.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
71	0,6923	0,7188	0,7417	0,7618	0,7799	0,7960	0,8110	0,8242	0,8363	0,8474	0,8575	0,8668
72	0,6878	0,7148	0,7380	0,7585	0,7769	0,7935	0,8085	0,8219	0,8342	0,8454	0,8557	0,8652
73	0,6832	0,7107	0,7345	0,7553	0,7741	0,7908	0,8061	0,8197	0,8322	0,8435	0,8640	0,8636
74	0,6787	0,7066	0,7310	0,7522	0,7712	0,7881	0,8035	0,8175	0,8300	0,8415	0,8521	0,8618
75	0,6743	0,7026	0,7174	0,7489	0,7784	0,7855	0,8010	0,8153	0,8281	0,8397	0,8504	0,8602
76	0,6699	0,6987	0,7239	0,7457	0,7655	0,7830	0,7988	0,8131	0,8261	0,8378	0,8488	0,8586
77	0,6655	0,6947	0,7205	0,7426	0,7627	0,7804	0,7965	0,8109	0,8242	0,8360	0,8471	0,8570
78	0,6612	0,6909	0,7170	0,7402	0,7600	0,7778	0,7939	0,8088	0,8222	0,8340	0,8454	0,8554
79	0,6568	0,6870	0,7134	0,7364	0,7570	0,7751	0,7914	0,8065	0,8203	0,8322	0,8435	0,8537
80	0,6525	0,6831	0,7100	0,7334	0,7542	0,7728	0,7890	0,8042	0,8182	0,8305	0,8418	0,8521
81	0,6483	0,6793	0,7064	0,7302	0,7513	0,7700	0,7869	0,8022	0,8163	0,8287	0,8403	0,8507
82	0,6440	0,6755	0,7030	0,7271	0,7486	0,7674	0,7847	0,8002	0,8144	0,8269	0,8386	0,8491
83	0,6400	0,6718	0,6996	0,7240	0,7460	0,7650	0,7824	0,7980	0,8124	0,8251	0,8369	0,8477
84	0,6359	0,6682	0,6964	0,7212	0,7433	0,7626	0,7802	0,7961	0,8105	0,8233	0,8354	0,8463
85	0,6321	0,6647	0,6932	0,7182	0,7406	0,7601	0,7780	0,7941	0,8086	0,8215	0,8339	0,8448
86	0,6283	0,6613	0,6899	0,7135	0,7379	0,7576	0,7758	0,7921	0,8067	0,8199	0,8322	0,8434
87	0,6240	0,6579	0,6867	0,7124	0,7353	0,7554	0,7735	0,7900	0,8048	0,8181	0,8305	0,8420
88	0,6208	0,6544	0,6836	0,7095	0,7326	0,7530	0,7712	0,7879	0,8031	0,8165	0,8290	0,8406
89	0,6171	0,6510	0,6805	0,7067	0,7301	0,7506	0,7692	0,7859	0,8012	0,8148	0,8275	0,8390
90	0,6135	0,6476	0,6775	0,7040	0,7275	0,7483	0,7672	0,7840	0,7995	0,8132	0,8260	0,8377

Продовження табл. Г.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
91	0,6101	0,6442	0,6746	0,7012	0,7252	0,7460	0,7650	0,7819	0,7976	0,8116	0,8245	0,8363
92	0,6066	0,6409	0,6716	0,6985	0,7227	0,7438	0,7629	0,7800	0,7959	0,8100	0,8230	0,8350
93	0,6032	0,6378	0,6688	0,6958	0,7201	0,7415	0,7607	0,7782	0,Ю7942	0,8083	0,8215	0,8337
94	0,5997	0,6347	0,6659	0,6932	0,7177	0,7392	0,7588	0,7763	0,7924	0,8067	0,8202	0,8323
95	0,5966	0,6316	0,6631	0,6905	0,7153	0,7370	0,7568	0,7743	0,7907	0,8052	0,8187	0,8310
96	0,5936	0,6287	0,6603	0,6880	0,7128	0,7349	0,7548	0,7726	0,7890	0,8036	0,8172	0,8269
97	0,5909	0,6259	0,6577	0,6855	0,7107	0,7328	0,7530	0,7708	0,7873	0,8022	0,8159	0,8284
98	0,5882	0,6231	0,6550	0,6831	0,7083	0,7308	0,7512	0,7692	0,7856	0,8008	0,8144	0,8270
99	0,5857	0,6205	0,6524	0,6808	0,7062	0,7288	0,7492	0,7673	0,7841	0,7992	0,8131	0,8258
100	0,5831	0,6180	0,6498	0,6785	0,7039	0,7268	0,7473	0,7656	0,7824	0,7978	0,8118	0,8245
101	0,5808	0,6153	0,6474	0,6762	0,7018	0,7247	0,7453	0,7640	0,7811	0,7963	0,8104	0,8233
102	0,5785	0,6130	0,6450	0,6740	0,6997	0,7227	0,7437	0,7624	0,7796	0,7949	0,8090	0,8221
103	0,5764	0,6108	0,6428	0,6719	0,6977	0,7209	0,7419	0,7608	0,7780	0,7935	0,8078	0,8209
104	0,5744	0,6088	0,6404	0,6698	0,6957	0,7189	0,7402	0,7592	0,7765	0,7921	0,8065	0,8199
105	0,5728	0,6068	0,6384	0,6677	0,6937	0,7171	0,7386	0,7576	0,7750	0,7907	0,8054	0,8187
106	0,5710	0,6047	0,6363	0,6656	0,6919	0,7154	0,7369	0,7560	0,7736	0,7894	0,8041	0,8175
107	0,5694	0,6028	0,6344	0,6637	0,6899	0,7135	0,7352	0,7546	0,7723	0,7882	0,8029	0,8164
108	0,5679	0,6011	0,6325	0,6617	0,6881	0,7118	0,7335	0,7530	0,7708	0,7869	0,8016	0,8151
109	0,5666	0,5995	0,6307	0,6600	0,6864	0,7101	0,7319	0,7514	0,7695	0,7855	0,8005	0,8139
110	0,5653	0,5979	0,6290	0,6583	0,6848	0,7084	0,7304	0,7500	0,7681	0,7843	0,7993	0,8129

Продовження табл. Г.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
111	0,5640	0,5963	0,6273	0,6565	0,6831	0,7068	0,7288	0,7486	0,7669	0,7831	0,7982	0,8119
112	0,5630	0,5949	0,6257	0,6549	0,6814	0,7052	0,7273	0,7471	0,7654	0,7819	0,7970	0,8109
113	0,5621	0,5937	0,6243	0,6532	0,6799	0,7037	0,7258	0,7457	0,7641	0,7807	0,7959	0,8099
114	0,5612	0,5925	0,6229	0,6517	0,6784	0,7021	0,7243	0,7443	0,7629	0,7796	0,7949	0,8089
115	0,5603	0,5915	0,6217	0,6502	0,6768	0,7008	0,7230	0,7432	0,7617	0,7784	0,7938	0,8078
116	0,5597	0,5904	0,6204	0,6489	0,6755	0,6994	0,7217	0,7419	0,7605	0,7774	0,7928	0,8068
117	0,5591	0,5895	0,6192	0,6475	0,6742	0,6980	0,7204	0,7407	0,7594	0,7763	0,7918	0,8059
118	0,5585	0,5885	0,6180	0,6463	0,6728	0,6966	0,7192	0,7395	0,7582	0,7752	0,7908	0,8051
119	0,5580	0,5878	0,6170	0,6450	0,6715	0,6954	0,7178	0,7382	0,7572	0,7742	0,7898	0,8041
120	0,5576	0,5871	0,6160	0,6439	0,6703	0,6942	0,7166	0,7370	0,7561	0,7731	0,7890	0,8032

Р _{и.п.} , кгс/см ²	t _п , °C										
	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0,9982	0,9984	0,9984	0,9984	0,9986	0,9986	0,9986	0,9988	0,9988	0,9988	0,9990
2	0,9962	0,9964	0,9966	0,9968	0,9970	0,9972	0,9972	0,9974	0,9976	0,9978	0,9978
3	0,9942	0,9944	0,9948	0,9952	0,9954	0,9958	0,9958	0,9962	0,9962	0,9966	0,9966
4	0,9924	0,9928	0,9932	0,9936	0,9940	0,9944	0,9944	0,9948	0,9950	0,9954	0,9958
5	0,9907	0,9911	0,9916	0,9920	0,9924	0,9930	0,9932	0,9934	0,9938	0,9944	0,9946
6	0,9887	0,9893	0,9901	0,9905	0,9909	0,9914	0,9918	0,9922	0,9926	0,9932	0,9936
7	0,9867	0,9873	0,9883	0,9889	0,9893	0,9901	0,9905	0,9911	0,9916	0,9922	0,9926

Продовження табл. Г.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
8	0,9846	0,9855	0,9865	0,9873	0,9879	0,9887	0,9893	0,9897	0,9905	0,9911	0,9914
9	0,9830	0,9840	0,9849	0,9857	0,9863	0,9873	0,9879	0,9885	0,9893	0,9899	0,9905
10	0,9811	0,9824	0,9832	0,9842	0,9849	0,9859	0,9867	0,9873	0,9811	0,9889	0,9895
11	0,9793	0,9805	0,9816	0,9826	0,9834	0,9844	0,9853	0,9859	0,9869	0,9877	0,9883
12	0,9776	0,9787	0,9799	0,9811	0,9820	0,9832	0,9840	0,9847	0,9857	0,9867	0,98733
13	0,9756	0,9770	0,9782	0,9795	0,9805	0,9816	0,9828	0,9836	0,9846	0,9855	0,9863
14	0,9737	0,9752	0,9764	0,9780	0,9791	0,9803	0,9814	0,9824	0,9834	0,9844	0,9853
15	0,9720	0,9733	0,9749	0,9764	0,9780	0,9789	0,9801	0,9812	0,9824	0,9834	0,9842
16	0,9701	0,9718	0,9733	0,9749	0,9762	0,9778	0,9789	0,9801	0,9811	0,9822	0,9834
17	0,9682	0,9699	0,9716	0,9733	0,9749	0,9762	0,9773	0,9785	0,9799	0,9811	0,9822
18	0,9665	0,9682	0,9699	0,9718	0,9735	0,9747	0,9762	0,9774	0,9787	0,9799	0,9811
19	0,9644	0,9666	0,9683	0,9703	0,9720	0,9733	0,9750	0,9762	0,9776	0,9789	0,9803
20	0,9625	0,9647	0,9666	0,9687	0,9705	0,9720	0,9737	0,9749	0,9764	0,9778	0,9791
21	0,9606	0,9629	0,9651	0,9670	0,9689	0,9707	0,9726	0,9737	0,9753	0,9768	0,9782
22	0,9587	0,9610	0,9634	0,9655	0,9674	0,9693	0,9712	0,9726	0,9741	0,9757	0,9772
23	0,9568	0,9593	0,9618	0,9640	0,9659	0,9680	0,9699	0,9714	0,9730	0,9745	0,9760
24	0,9552	0,9578	0,9602	0,9625	0,9648	0,9668	0,9686	0,9703	0,9718	0,9735	0,9753
25	0,9533	0,9561	0,9585	0,9612	0,9632	0,9653	0,9674	0,9691	0,9708	0,9726	0,9743
26	0,9514	0,9542	0,9568	0,9597	0,9617	0,9640	0,9661	0,9680	0,9697	0,9716	0,9733
27	0,9496	0,9526	0,9554	0,9582	0,9606	0,9627	0,9648	0,9667	0,9686	0,9705	0,9723

Продовження табл. Г.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
28	0,9477	0,9509	0,9539	0,9565	0,9591	0,9614	0,9634	0,9655	0,9674	0,9693	0,9712
29	0,9459	0,9492	0,9522	0,9550	0,9576	0,9600	0,9623	0,9644	0,9665	0,9684	0,9703
30	0,9442	0,9476	0,9507	0,9535	0,9563	0,9587	0,9610	0,9632	0,9653	0,9674	0,9693
31	0,9424	0,9459	0,9490	0,9522	0,9550	0,9576	0,9598	0,9621	0,9642	0,9663	0,9685
32	0,9408	0,9449	0,9474	0,9507	0,9535	0,9565	0,9585	0,9610	0,9630	0,9655	0,9676
33	0,9391	0,9426	0,9457	0,9492	0,9522	0,9552	0,9574	0,9598	0,9619	0,9644	0,9666
34	0,9373	0,9410	0,9449	0,9476	0,9507	0,9539	0,9561	0,9585	0,9610	0,9634	0,9657
35	0,9353	0,9391	0,9428	0,94611	0,9492	0,9524	0,9550	0,9574	0,9598	0,9625	0,9647
36	0,9337	0,9375	0,9413	0,9446	0,9479	0,9513	0,9538	0,9563	0,9589	0,9615	0,9638
37	0,9319	0,9359	0,9397	0,9433	0,9466	0,9500	0,9525	0,9552	0,9578	0,9604	0,9628
38	0,9301	0,9342	0,9380	0,9419	0,9463	0,9488	0,9514	0,9540	0,9568	0,9595	0,9619
39	0,9283	0,9324	0,9366	0,9404	0,9439	0,9474	0,9501	0,9529	0,9557	0,9585	0,9610
40	0,9265	0,9308	0,9349	0,9389	0,9429	0,9461	0,9490	0,9518	0,9548	0,9576	0,9602
41	0,9249	0,9292	0,9335	0,9375	0,9413	0,9448	0,9479	0,9507	0,9537	0,9567	0,9595
42	0,9229	0,9277	0,9319	0,9360	0,9398	0,9435	0,9466	0,9496	0,9527	0,9557	0,9585
43	0,9212	0,9261	0,9304	0,9346	0,9387	0,9424	0,9437	0,9487	0,9518	0,9548	0,9576
44	0,9194	0,9244	0,9290	0,9331	0,9373	0,9409	0,9444	0,9476	0,9507	0,9539	0,9568
45	0,9176	0,9228	0,9276	0,9317	0,9360	0,9398	0,9434	0,9464	0,9498	0,9529	0,9559
46	0,9161	0,9212	0,9258	0,9303	0,9346	0,9386	0,9422	0,9454	0,9487	0,9518	0,9550
47	0,9143	0,9196	0,9244	0,9288	0,9333	0,9375	0,9410	0,9444	0,9479	0,9510	0,9541

Продовження табл. Г.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
48	0,9126	0,9178	0,9229	0,9274	0,9319	0,9360	0,9399	0,9434	0,9468	0,9501	0,9531
49	0,9108	0,9162	0,9215	0,9261	0,9306	0,9349	0,9388	0,9422	0,9459	0,9493	0,9523
50	0,9093	0,9148	0,9199	0,9247	0,9295	0,9339	0,9377	0,9413	0,9448	0,9484	0,9514
51	0,9075	0,9133	0,9185	0,9233	0,9181	0,9326	0,9366	0,9402	0,9439	0,9474	0,9505
52	0,9060	0,9115	0,9169	0,9219	0,9269	0,9313	0,9353	0,9393	0,9429	0,9464	0,9498
53	0,9043	0,9100	0,9155	0,9206	0,9256	0,9303	0,9342	0,9382	0,9418	0,9455	0,9490
54	0,9025	0,9084	0,9141	0,9192	0,9244	0,9290	0,9331	0,9373	0,9411	0,9448	0,9483
55	0,9008	0,9068	0,9126	0,9180	0,9229	0,9277	0,9319	0,9362	0,9400	0,9439	0,9474
56	0,8991	0,9051	0,9112	0,9166	0,9217	0,9256	0,9308	0,9351	0,9391	0,9431	0,9466
57	0,8976	0,9037	0,9098	0,9154	0,9205	0,9252	0,9299	0,9340	0,9382	0,9420	0,9459
58	0,8959	0,9024	0,9084	0,9141	0,9192	0,9242	0,9288	0,9331	0,9373	0,9413	0,9450
59	0,8942	0,9008	0,9070	0,9129	0,9182	0,9231	0,9277	0,9322	0,9364	0,9404	0,9440
60	0,8927	0,8995	0,9056	0,9114	0,9170	0,9221	0,9267	0,9313	0,9355	0,9395	0,9433
61	0,8910	0,8978	0,9043	0,9101	0,9157	0,9208	0,9254	0,9303	0,9348	0,9389	0,9430
62	0,8993	0,8962	0,9029	0,9088	0,9145	0,9196	0,9244	0,9294	0,9337	0,9379	0,9418
63	0,8878	0,8947	0,9015	0,9075	0,9133	0,9185	0,9234	0,9285	0,9330	0,9372	0,9413
64	0,8863	0,8934	0,9002	0,9063	0,9122	0,9175	0,9226	0,9275	0,9321	0,9364	0,9406
65	0,8846	0,8918	0,8988	0,9052	0,9110	0,9163	0,9215	0,9264	0,9312	0,9355	0,9396
66	0,8828	0,8903	0,8973	0,9038	0,9098	0,9152	0,9205	0,9253	0,9301	0,9346	0,9389
67	0,8812	0,8888	0,8961	0,9027	0,9087	0,9141	0,9194	0,9245	0,9294	0,9338	0,9382

Продовження табл. Г.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
68	0,8795	0,8875	0,8947	0,9014	0,9075	0,9133	0,9184	0,9235	0,9285	0,9330	0,9375
69	0,8784	0,8861	0,8935	0,9002	0,9062	0,9122	0,9174	0,9228	0,9277	0,9322	0,9367
70	0,8769	0,8848	0,8922	0,8991	0,9053	0,9112	0,9166	0,9219	0,9269	0,9315	0,9360
71	0,8754	0,8833	0,8908	0,8979	0,9041	0,9104	0,9161	0,9213	0,9261	0,9308	0,9355
72	0,8738	0,8820	0,8897	0,8968	0,9031	0,9093	0,9147	0,9201	0,9251	0,9301	0,9348
73	0,8723	0,8805	0,8883	0,8956	0,9020	0,9081	0,9140	0,9192	0,9244	0,9294	0,9340
74	0,8707	0,8790	0,8871	0,8944	0,9010	0,9070	0,9129	0,9182	0,9234	0,9285	0,9331
75	0,8694	0,8777	0,8856	0,8932	0,8998	0,9062	0,9119	0,9174	0,9226	0,9277	0,9326
76	0,8679	0,8765	0,8843	0,8920	0,8988	0,9051	0,9110	0,9168	0,9219	0,9270	0,9320
77	0,8663	0,8752	0,8832	0,8908	0,8978	0,9043	0,9100	0,9159	0,9212	0,9263	0,9313
78	0,8650	0,8739	0,8820	0,8897	0,9866	0,9032	0,9093	0,9150	0,9203	0,9254	0,9304
79	0,8637	0,8726	0,8808	0,8885	0,8955	0,9024	0,9084	0,9143	0,9196	0,9247	0,9297
80	0,8621	0,8710	0,8795	0,8873	0,8945	0,9015	0,9077	0,9136	0,9189	0,9240	0,9292
81	0,8605	0,8697	0,8782	0,8863	0,8935	0,9005	0,9067	0,9126	0,9180	0,9235	0,9286
82	0,8592	0,8684	0,8770	0,8851	0,8925	0,8993	0,9056	0,9119	0,9173	0,9226	0,9279
83	0,8576	0,8671	0,8759	0,8840	0,8913	0,8984	0,9049	0,9110	0,9166	0,9221	0,9270
84	0,8554	0,8658	0,8749	0,8830	0,8903	0,8976	0,9039	0,9103	0,9159	0,9213	0,9266
85	0,8542	0,8645	0,8736	0,8818	0,8893	0,8966	0,9032	0,9094	0,9152	0,9206	0,9260
86	0,8537	0,8634	0,8723	0,8806	0,8885	0,8957	0,9024	0,9085	0,9145	0,9199	0,9254
87	0,8524	0,8623	0,8713	0,8797	0,8875	0,8949	0,9017	0,9079	0,9138	0,9192	0,9247

Продовження табл. Г.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
88	0,8510	0,8610	0,8702	0,8785	0,8865	0,8938	0,9008	0,9070	0,9131	0,9187	0,9242
89	0,8497	0,8599	0,8690	0,8774	0,8855	0,8930	0,9000	0,9063	0,9122	0,9180	0,9236
90	0,8485	0,8587	0,8679	0,8764	0,8845	0,8922	0,8991	0,9056	0,9115	0,9173	0,9229
91	0,8473	0,8575	0,8669	0,8755	0,8835	0,8911	0,8984	0,9050	0,9110	0,9168	0,9224
92	0,8460	0,8564	0,8658	0,8746	0,8826	0,8903	0,8976	0,9043	0,9103	0,9161	0,9219
93	0,8448	0,8553	0,8646	0,8736	0,8816	0,8895	0,8967	0,9036	0,9096	0,9156	0,9214
94	0,8435	0,8542	0,8637	0,8726	0,8808	0,8886	0,8961	0,9029	0,9091	0,9150	0,9209
95	0,8424	0,8529	0,8628	0,8716	0,8800	0,8878	0,8954	0,9022	0,9084	0,9144	0,9201
96	0,8410	0,8516	0,8616	0,8706	0,8790	0,8870	0,8945	0,9015	0,9079	0,9140	0,9196
97	0,8398	0,8505	0,8607	0,8697	0,8783	0,8861	0,8937	0,9008	0,9072	0,9133	0,9190
98	0,8386	0,8494	0,8597	0,8689	0,8774	0,8855	0,8928	0,9001	0,9065	0,9127	0,9186
99	0,8375	0,8483	0,8586	0,8679	0,8765	0,8846	0,8920	0,8995	0,9060	0,9120	0,9180
100	0,8364	0,8473	0,8576	0,8669	0,8755	0,8840	0,8913	0,8988	0,9063	0,9114	0,9175
101	0,8352	0,8460	0,8567	0,8660	0,8747	0,8831	0,8908	0,8983	0,9048	0,9110	0,9171
102	0,8341	0,8451	0,8556	0,8652	0,8739	0,8823	0,8902	0,8975	0,9043	0,9105	0,9166
103	0,8331	0,8440	0,8546	0,8642	0,8731	0,8816	0,8893	0,8969	0,9037	0,9099	0,9160
104	0,8319	0,8430	0,8537	0,8632	0,8723	0,8806	0,8885	0,8961	0,9029	0,9094	0,9157

Закінчення табл. Г.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
105	0,8307	0,8420	0,8527	0,8623	0,8713	0,8800	,8878	0,8953	0,9022	0,9089	0,9152
106	0,8297	0,8410	0,8516	0,8613	0,8705	0,8792	0,8871	0,8974	0,9016	0,9084	0,9146
107	0,8287	0,8401	0,8507	0,8605	0,8695	0,8783	0,8865	0,8941	0,9011	0,9078	0,9141
108	0,8275	0,8392	0,8497	0,8597	0,8689	0,8777	0,8858	0,8935	0,9006	0,9075	0,9138
109	0,8266	0,8381	0,8490	0,8587	0,8682	0,8770	0,8851	0,8930	0,9001	0,9070	0,9132
110	0,8257	0,8372	0,8480	0,8581	0,8674	0,8764	0,8846	0,8925	0,8996	0,9065	0,9128
111	0,8245	0,8363	0,8471	0,8571	0,8666	0,8575	0,8838	0,8919	0,8990	0,9058	0,9124
112	0,8236	0,8354	0,8462	0,8562	0,8656	0,8749	0,8831	0,8912	0,8984	0,9053	0,9118
113	0,8225	0,8343	0,8454	0,8554	0,8650	0,8741	0,8826	0,8906	0,8977	0,9048	0,9115
114	0,8216	0,8335	0,8446	0,8546	0,8644	8734	0,8820	0,8901	0,8972	0,9043	0,9110
115	0,8206	0,8328	0,8438	0,8540	0,8636	0,8728	0,8815	0,8896	0,8967	0,9040	0,9105
116	0,8198	0,8319	0,8430	0,8532	0,8629	0,8721	0,8808	0,8893	0,8964	0,9036	0,9102
117	0,8190	0,8309	0,8421	0,8526	0,8623	0,8716	0,8804	0,8886	0,8961	0,9032	0,9098
118	0,8182	0,8302	0,8415	0,8518	0,8618	0,8711	0,8798	0,8880	0,8958	0,9029	0,9094
119	0,8173	0,8293	0,8406	0,8512	0,8611	0,8705	0,8791	0,8875	0,8950	0,9023	0,9091
120	0,8164	0,8284	0,8397	0,8502	0,8602	0,8698	0,8784	0,8871	0,8947	0,9018	0,9187

Додаток Д. Варіанти завдань для курсового проєктування

Варіант № 1

Перелік завдань для виконання:

- 1) Розробити схеми АСР рівня мазуту у ємкості за допомогою агрегатних комплексів ТЗА КАСКАД-2, СТАРТ, мікропроцесорного регулятора 2ТРМ1 і контролера Р130.
- 2) Скласти специфікацію на прилади та засоби автоматизації і виконати описання функціональної дії АСР на цих засобах.
- 3) Виконати розрахунок та вибір виконавчого пристрою на підставі таких вихідних даних:
 - ВМ застосувати типу МЕО;
 - затвор тарілчастий з кутом конусності 120° ;
 - витрата мазуту максимальна $10 \text{ м}^3/\text{год}$;
 - витрата мазуту мінімальна $5 \text{ м}^3/\text{год}$;
 - густина $0,99 \text{ г}/\text{см}^3$;
 - температура 50° С ;
 - тиск у ємкості $8 \text{ кгс}/\text{см}^2$;
 - тиск після РО $3 \text{ кгс}/\text{см}^2$;
 - загальна довжина трубопроводу 20 м ;
 - швидкість мазуту у трубопроводі $2 \text{ м}/\text{с}$;
 - перед РО встановлено 5 колін з кутом повороту 90° , 3 вентилі.
- 4) Виконати розрахунок пересувного зусилля та схеми зчленування ВМ і РО.
- 5) Виконати схему зовнішніх з'єднань АСР на базі блоків контролера Р130.

Варіант № 2

Перелік завдань для виконання:

- 1) Розробити функціональну схему АСР температури у кубі ректифікаційної колони за допомогою агрегатних комплексів ТЗА КАСКАД-2, СТАРТ, мікропроцесорного регулятора ТРМ101 і контролера Р130.
- 2) Скласти специфікацію на прилади та засоби автоматизації і виконати описання функціональної дії АСР на цих засобах.
- 3) Виконати розрахунок та вибір виконавчого пристрою на підставі таких вихідних даних:
 - ВМ застосовувати типу МЕО, а закон регулювання ПД;
 - затвор пробковий (плунжерний);
 - витрата пари максимальна 1,5 т/год;
 - витрата пари мінімальна 0,8 т/год;
 - РО встановлено на трубопроводі сухої насиченої пари;
 - тиск пари 4 кгс/см²;
 - перепад пари на РО 1,5 кгс/см².
- 4) Виконати розрахунок пересувного зусилля та схеми зчленування ВМ і РО.
- 5) Виконати розрахунок профілю затвору.
- 6) Виконати схему зовнішніх з'єднань АСР на базі блоків контролера Р130.

Варіант № 3

Перелік завдань для виконання:

- 1) Розробити функціональну схему АСР витрати пари у деаераторі за допомогою агрегатних комплексів ТЗА КАСКАД-2, СТАРТ, мікропроцесорного регулятора ТРМ10 і контролера Р130.
- 2) Скласти специфікацію на прилади та засоби автоматизації і виконати описання функціональної дії АСР на цих засобах.
- 3) Виконати розрахунок та вибір виконавчого пристрою на підставі таких вихідних даних:
 - ВМ застосовувати типу МЕО, а закон регулювання П;
 - затвор пробковий (плунжерний);
 - витрата пари максимальна 10 т/год;

- витрата пари мінімальна 4 т/год;
 - РО встановлено на лінії сухої насиченої пари;
 - тиск пари у деаераторі 0,1 МПа;
 - тиск пари у мережі 0,6 МПа;
 - довжина трубопроводної лінії 22м;
 - діаметр трубопроводу 250 мм;
 - перед РО є три повороти з кутом 90° , два запорних вентиля і діафрагми з модулем 0,43.
- 4) Виконати розрахунок пересувного зусилля та схеми зчленування ВМ і РО.
- 5) Виконати розрахунок профілю затвору.
- 6) Виконати схему зовнішніх з'єднань АСР на базі регулятора ТРМ10.

Варіант № 4

Перелік завдань для виконання:

- 1) Розробити функціональні схеми АСР співвідношення палива та повітря для печі за допомогою агрегатних комплексів ТЗА КАСКАД-2, СТАРТ, мікропроцесорного регулятора МИНИТЕРМ 400 і контролера Р130.
- 2) Скласти специфікацію на прилади та засоби автоматизації і виконати описання функціональної дії АСР на цих комплексах.
- 3) Виконати розрахунок та вибір виконавчого пристрою на підставі таких вихідних даних:
 - ВМ застосовувати типу МІМ, а закон регулювання ПІ;
 - затвор пробковий (плунжерний);
 - витрата повітря максимальна $9000 \text{ нм}^3/\text{год}$;
 - температура повітря 35°C ;
 - витрата повітря мінімальна $6000 \text{ нм}^3/\text{год}$;
 - РО встановлено на трубопроводі подачі повітря;
 - тиск повітря у мережі 15 кгс/см^2 ;
 - тиск повітря після РО 10 кгс/см^2 ;

- загальна довжина трубопроводу 150 м;
 - перед РО встановлено 4 вентиля, 8 колін з кутом повороту 90° С та 5 тройників;
 - діаметр трубопроводу 150 мм.
- 4) Виконати розрахунок пересувного зусилля та профілю затвору.
- 5) Виконати схему зовнішніх з'єднань АСР на базі регулятора МИНИТЕРМ 400.

Варіант № 5

Перелік завдань для виконання:

- 1) Розробити функціональні схеми каскадної АСР температури охолодження газового потоку на виході випаровувача аміаку за допомогою агрегатних комплексів ТЗА КАСКАД-2, СТАРТ, мікропроцесорного регулятора МІК-21 і контролера Р130.
- 2) Скласти специфікацію на прилади та засоби автоматизації і виконати описання функціональної дії АСР на цих комплексах.
- 3) Виконати розрахунок та вибір виконавчого пристрою на підставі таких вихідних даних:
 - ВМ застосовувати електродвигунний, а закон регулювання П;
 - затвор поршневий з профільними вирізами;
 - витрата аміаку максимальна 20 т/год;
 - витрата аміаку мінімальна 14 т/год;
 - РО встановлено на трубопроводі подачі аміаку у випаровувач;
 - ведений контур – рівень рідкого аміаку у випаровувач;
 - температура рідкого аміаку 28° С;
 - тиск аміаку на виході з магістралі 18 кгс/см^2 ;
 - тиск аміаку у випаровувачі 5 кгс/см^2 ;
 - загальна довжина трубопроводу 55 мм;

- перед РО встановлено діафрагму з модулем 0,6, чотири коліна з кутом повороту 90° , два трійника і 2 засувки;
- діаметр трубопроводу 50 мм.

4) Виконати розрахунок пересувного зусилля та профілю затвору.

5) Виконати розрахунок схеми зчленування ВМ і РО.

6) Виконати схему зовнішніх з'єднань АСР на базі блоків регулятора МІК-21.

Варіант № 6

Перелік завдань для виконання:

1) Розробити функціональні схеми АСР температури охолодження газового потоку на виході випаровувача аміаку за допомогою агрегатних комплексів ТЗА КАСКАД-2, СТАРТ, мікропроцесорного регулятора МИНИТЕРМ 400 і комплексу мікропроцесорних приладів Р130.

2) Скласти специфікацію на прилади та засоби автоматизації і виконати описання функціональної дії АСР на цих комплексах.

3) Виконати розрахунок та вибір виконавчого пристрою на підставі таких вихідних даних:

- ВМ застосовувати типу МІМ, а закон регулювання ПІД;
- затвор пробковий (плунжерний);
- РО встановлено на трубопроводі подачі аміаку у випаровувач;
- витрата аміаку максимальна 12 т/год;
- витрата аміаку мінімальна 8 т/год;
- тиск у випарювачі $4,5 \text{ кгс/см}^2$;
- тиск аміаку у конденсаторі 12 кгс/см^2 ;
- загальна довжина трубопроводу 25 м;
- діаметр трубопроводу 50 мм;
- перед РО є 4 засувки, 3 коліна з кутом повороту 90° , діафрагма з модулем 0,45;
- температура рідкого аміаку 28°C .

4) Виконати розрахунок пересувного зусилля та профілю затвору.

5) Виконати схему зовнішніх з'єднань АСР на базі блоків контролера Р130.

Варіант № 7

Перелік завдань для виконання:

1) Розробити функціональні схеми АСР співвідношення витрат газового потоку аміаку і повітря у контактний апарат за допомогою агрегатних комплексів ТЗА, КАСКАД-2, СТАРТ, мікропроцесорного регулятора МІК-25 і контролера Р130.

2) Скласти специфікацію на прилади та засоби автоматизації і виконати описання функціональної дії АСР на цих засобах.

3) Виконати розрахунок та вибір виконавчого пристрою на підставі таких вихідних даних:

- ВМ застосовувати типу МЄО;
- затвор пробковий (плунжерний);
- РО встановлено на трубопроводі подачі аміаку у контактний апарат;
- витрата аміаку максимальна 5000 м³/год;
- витрата аміаку мінімальна 2500 м³/год;
- швидкість потоку 15 м/с;
- тиск у апараті 5 кгс/см²;
- тиск аміаку у магістралі 10 кгс/см²;
- загальна довжина трубопроводу 25 тм;
- перед РО є 6 тройників, 3 вентиля, 2 коліна з кутом повороту 90°;
- температура рідкого аміаку 55° С.

4) Виконати розрахунок пересувного зусилля та схеми зчленування ВМ і РО.

5) Виконати розрахунок профілю затвору.

6) Виконати схему зовнішніх з'єднань АСР на базі регулятора МІК-25.

Варіант № 8

Перелік завдань для виконання:

- 1) Розробити АСР вирівнювання витрат води по двох нитках трубопроводів за допомогою агрегатних комплексів ТЗА КАСКАД-2, СТАРТ, мікропроцесорного регулятора ТРМ 10 і контролера Р130.
- 2) Скласти специфікацію на прилади та засоби автоматизації і виконати описання функціональної дії АСР на цих засобах.
- 3) Виконати розрахунок та вибір виконавчого пристрою на підставі таких вихідних даних:
 - ВМ застосовувати типу МЄО;
 - затвор РО пробковий (плунжерний), а закон регулювання ПІД;
 - витрата води максимальна $40 \text{ м}^3/\text{год}$;
 - витрата води мінімальна $10 \text{ м}^3/\text{год}$;
 - тиск води у магістралі $10 \text{ кгс}/\text{см}^2$;
 - тиск води у котлі (після РО) $5 \text{ кгс}/\text{см}^2$;
 - загальна довжина трубопроводу 40 м ;
 - вертикальний підйом 15 м ;
 - перед РО є 5 вентилей, 5 колін з кутом повороту 90° , діафрагма з модулем 0,6;
 - температура води 40° С ;
 - діаметр трубопроводу 100 мм .
- 4) Виконати розрахунок пересувного зусилля та схеми зчленування ВМ і РО.
- 5) Виконати розрахунок профілю плунжера.
- 6) Виконати схему зовнішніх з'єднань АСР на базі блоків контролера Р130.

Варіант № 9

Перелік завдань для виконання:

- 1) Розробити АСР вирівнювання витрат води по двох нитках трубопроводів за допомогою агрегатних комплексів ТЗА КАСКАД-2, СТАРТ, мікропроцесорного регулятора МІК-25 і контролера Р130.

- 2) Скласти специфікацію на прилади та засоби автоматизації і виконати описання функціональної дії АСР на цих засобах.
- 3) Виконати розрахунок та вибір виконавчого пристрою на підставі таких вихідних даних:
 - ВМ застосовувати типу МІМ;
 - затвор поршневий профільований, закон регулювання ПІ;
 - витрата води максимальна $25 \text{ м}^3/\text{год}$;
 - витрата води мінімальна $15 \text{ м}^3/\text{год}$;
 - тиск води на викиді насосу $15 \text{ кгс}/\text{см}^2$;
 - тиск води у котлі (після РО) $8,5 \text{ кгс}/\text{см}^2$;
 - загальна довжина трубопроводу 45 м ;
 - перед РО є вертикальний підйом 20 м , 4 вентиля, 3 коліна з кутом повороту 90° , 5 тройників;
 - температура води 30° С ;
 - швидкість води у трубопроводі $5 \text{ м}/\text{с}$.
- 4) Виконати розрахунок пересувного зусилля та профілю затвору.
- 5) Виконати схему зовнішніх з'єднань АСР на базі блоків комплексу Р130.

Варіант № 10

Перелік завдань для виконання:

- 1) Розробити функціональні схеми АСР витрати пару у піч риформінгу за допомогою агрегатних комплексів ТЗА КАСКАД-2, СТАРТ, мікропроцесорного регулятора 2ТРМ1 і контролера Р130.
- 2) Скласти специфікацію на прилади та засоби автоматизації і виконати описання функціональної дії АСР на цих засобах.
- 3) Виконати розрахунок та вибір виконавчого пристрою на підставі таких вихідних даних:
 - ВМ застосовувати типу МЕО;
 - затвор поршневий профільований;

- закон регулювання ПД;
- витрата пари максимальна 1,5 т/год;
- витрата пари мінімальна 0,8 т/год;
- РО встановлено на трубопроводі сухої насиченої пари;
- тиск пари в магістралі 4 МПа;
- тиск пари у печі 2,5 МПа;
- діаметр трубопроводу 150 мм;
- загальна довжина трубопроводу 45 м;
- перед РО встановлено 4 вентиля, діафрагма з модулем 0,45;
- температура пари 240° С.

4) Виконати розрахунок пересувного зусилля ВМ та профілю затвору.

5) Виконати схему зовнішніх з'єднань АСР на базі регулятора 2TRM1.

Варіант № 11

Перелік завдань для виконання:

1) Розробити АСР співвідношення витрат газового потоку аміаку і повітря у контактний апарат за допомогою агрегатних комплексів ТЗА КАСКАД-2, СТАРТ, мікропроцесорного регулятора TRM10 і контролера Р130.

2) Скласти специфікацію на прилади та засоби автоматизації і виконати описання функціональної дії АСР на цих комплексах.

3) Виконати розрахунок та вибір виконавчого пристрою на підставі таких вихідних даних:

- ВМ застосовувати типу МЄП;
- затвор заслінковий, закон регулювання ПД;
- РО встановлено на трубопроводі подачі повітря;
- витрата повітря максимальна 10000 нм³/год;
- витрата пари мінімальна 6000 нм³/год;
- тиск повітря після компресора 5 кгс/см²;
- тиск повітря у апараті 1,0 кгс/см²;
- загальна довжина трубопроводу 45 м;

- діаметр трубопроводу 400 мм;
- перед РО встановлено 4 вентиля, 4 коліна з кутом повороту 90° і 3-ма тройниками;
- температура повітря 50°C .

4) Виконати розрахунок пересувного зусилля ВМ та профілю затвору.

5) Виконати схему зовнішніх з'єднань АСР на базі регулятора ТРМ10.

Варіант № 12

Перелік завдань для виконання:

1) Розробити функціональні схеми АСР рівня толуолу у ємкості за допомогою агрегатних комплексів ТЗА КАСКАД-2, СТАРТ, мікропроцесорного регулятора МІК-21 і комплексу мікропроцесорних приладів Р130.

2) Скласти специфікацію на прилади та засоби автоматизації і виконати описання функціональної дії АСР на цих комплексах.

3) Виконати розрахунок та вибір виконавчого пристрою на підставі таких вихідних даних:

- ВМ застосовувати типу МІМ;
- затвор поршневий профільований, закон регулювання П;
- витрата керосину максимальна $20\text{ м}^3/\text{год}$;
- витрата керосину мінімальна $10\text{ м}^3/\text{год}$;
- температура керосину 30°C ;
- тиск у ємкості $6\text{ кгс}/\text{см}^2$;
- тиск після РО $2\text{ кгс}/\text{см}^2$;
- загальна довжина трубопроводу 20 м;
- вертикальний підйом перед 5 м;
- швидкість керосину у трубопроводі 4 м/с;
- перед РО встановлено 3 вентиля, 5 колін з кутом повороту 90° .

4) Виконати розрахунок пересувного зусилля та профілю затвору.

5) Виконати схему зовнішніх з'єднань АСР на базі регулятора МІК-21.

Варіант № 13

Перелік завдань для виконання:

- 1) Розробити функціональні схеми каскадної АСР тиску пари на виході котлоагрегату за допомогою комплексів ТЗА КАСКАД-2, СТАРТ, мікропроцесорного регулятора 2ТРМ-1 і контролера Р130.
- 2) Скласти специфікацію на прилади та засоби автоматизації і виконати описання функціональної дії АСР на цих засобах.
- 3) Виконати розрахунок та вибір виконавчого пристрою на підставі таких вихідних даних:
 - ВМ застосовувати електродвигунний;
 - ведений контур – витрата природного газу;
 - затвор поршневий профільований;
 - витрата газу максимальна $60 \text{ м}^3/\text{год}$;
 - витрата газу мінімальна $30 \text{ м}^3/\text{год}$;
 - температура газу 35°C ;
 - тиск газу у печі $0,5 \text{ кгс}/\text{см}^2$;
 - тиск газу у магістралі $5 \text{ кгс}/\text{см}^2$;
 - загальна довжина трубопроводу 35 м ;
 - діаметр трубопроводу 40 мм ;
 - перед РО встановлена діафрагма з модулем $0,45$, 4 вентиля і 2 коліна з кутом 90° .
- 4) Виконати розрахунок пересувного зусилля та схеми зчленування ВМ і РО.
- 5) Виконати розрахунок профілю затвору.
- 6) Виконати схему зовнішніх з'єднань АСР на базі регулятора 2ТРМ-1.

Варіант № 14

Перелік завдань для виконання:

- 1) Розробити функціональні схеми АСР тиску повітря у сушильній установці за допомогою комплексів ТЗА КАСКАД-2, СТАРТ, мікропроцесорного регулятора ТРМ-101 і контролера Р130.
- 2) Скласти специфікацію на прилади та засоби автоматизації і виконати описання функціональної дії АСР на цих засобах.
- 3) Виконати розрахунок та вибір виконавчого пристрою на підставі таких вихідних даних:
 - ВМ застосовувати типу МЄО, а закон регулювання П;
 - затвор заслінковий;
 - витрата повітря максимальна $22800 \text{ нм}^3/\text{год}$;
 - витрата повітря мінімальна $15000 \text{ нм}^3/\text{год}$;
 - температура повітря 100°C ;
 - тиск повітря перед РО $5 \cdot 10^5 \text{ н/м}^2$, а у сушильній установці 10^5 н/м^2 ;
 - витрата тиску у прямих ділянках трубопроводу $4 \cdot 10^4 \text{ н/м}^2$, а місцевих опорах $2 \cdot 10^5 \text{ н/м}^2$.
- 4) Виконати розрахунок пересувного зусилля та схеми зчленування ВМ і РО.
- 5) Виконати схему зовнішніх з'єднань АСР на базі блоків контролера і Р130.

Варіант № 15

Перелік завдань для виконання:

- 1) Розробити функціональні схеми АСР рівня у приймальній ємкості установки очищення стічних вод з твердими включеннями за допомогою комплексів ТЗА КАСКАД-2, СТАРТ, мікропроцесорного регулятора ТРМ-10 і контролера Р130.
- 2) Скласти специфікацію на прилади та засоби автоматизації і виконати описання функціональної дії АСР на цих засобах.
- 3) Виконати розрахунок та вибір виконавчого пристрою на підставі таких вихідних даних:
 - ВМ застосовувати типу МЄО, а закон регулювання П;
 - затвор шланговий;

- витрата води максимальна 14 м³/год;
- витрата води мінімальна 8 м³/год;
- температура потоку 25°С;
- відсоток твердої фази у воді біля 15%;
- швидкість води у трубопроводі 1,8 м/с;
- РО встановлено на трубопроводі подачі води у ємкості;
- тиск води на викиді насосу подачі біля 20 кгс/см²;
- тиск води у ємкості до 2 кгс/см²;
- загальна довжина трубопроводу до РО складає до 30 м;
- перед РО встановлено 3 коліна з кутом повороту 90° і 4 вентиля;
- густина регульовального середовища 1200 кг/м³

4) Виконати розрахунок пересувного зусилля та схеми зчленування ВМ і РО.

5) Виконати схему зовнішніх з'єднань АСР на базі регулятора ТРМ-10.

Варіант № 16

Перелік завдань для виконання:

- 1) Розробити функціональні схеми АСР витрати повітря, що надходить у циклон для очищення від твердих включень, за допомогою агрегатних комплексів ТЗА КАСКАД-2, СТАРТ, мікропроцесорного регулятора МИНИТЕРМ 400 і контролера Р130.
- 2) Скласти специфікацію на прилади та засоби автоматизації і виконати описання функціональної дії АСР на цих засобах.
- 3) Виконати розрахунок та вибір виконавчого пристрою на підставі таких вихідних даних:
 - ВМ застосовувати типу МСО, а закон регулювання ПІ;
 - затвор шланговий;
 - витрата повітря максимальна 12000 м³/год;
 - витрата повітря мінімальна 8000 м³/год;
 - температура повітря 320 К;

- відсоток твердих включень до 25%;
- швидкість повітря у трубопроводі 20 м/с;
- тиск повітря на викиді компресора подачі 12 кгс/см²;
- тиск повітря у циклоні до 5 кгс/см²;
- тиск повітря у ємкості до 2 кгс/см²;
- загальна довжина трубопроводу до РО складає до 40 м;
- перед РО встановлено 6 колін з кутом повороту 90° і 5 вентилів;
- густина потоку 1,43 кг/м³

4) Виконати розрахунок пересувного зусилля та схеми зчленування ВМ і РО.

5) Виконати схему зовнішніх з'єднань АСР на базі регулятора МИНИТЕРМ 400.

Варіант № 17

Перелік завдань для виконання:

1) Розробити функціональні схеми АСР тиску диоксидів азоту в автоклаві за допомогою комплексів ТЗА КАСКАД-2, СТАРТ, мікропроцесорного регулятора МІК-21 і контролера Р130.

2) Скласти специфікацію на прилади та засоби автоматизації і виконати описання функціональної дії АСР на цих засобах.

3) Виконати розрахунок та вибір виконавчого пристрою на підставі таких вихідних даних:

- ВМ застосовувати типу МЄП, а закон регулювання ПІД;
- затвор РО діафрагменний;
- витрата диоксидів азоту максимальна 8000 м³/год;
- витрата диоксидів азоту мінімальна 4000 м³/год;
- РО встановлено на трубопроводі виходу потоку диоксидів азоту з автоклаву;

- тиск в автоклаві 15 кгс/см²;
- перепад тиску на РО 8 кгс/см²;

- температура в автоклаві 80°C;
 - швидкість парів диоксиду азоту у трубопроводі – 15 м/с.
- 4) Виконати розрахунок пересувного зусилля та схеми зчленування ВМ і РО.
 - 5) Виконати схему зовнішніх з'єднань АСР на базі регулятора МІК-21.

Варіант № 18

Перелік завдань для виконання:

- 1) Розробити функціональну схему АСР температури у кубі ректифіційної колони за допомогою агрегатних комплексів ТЗА КАСКАД-2, СТАРТ, мікропроцесорного регулятора і контролера Р130.
- 2) Скласти специфікацію на прилади та засоби автоматизації і виконати описання функціональної дії АСР на цих засобах.
- 3) Виконати розрахунок та вибір виконавчого пристрою на підставі таких вихідних даних:
 - ВМ застосовувати типу МЄО, а закон регулювання ПД;
 - затвор пробковий (плунжерний);
 - витрата пари максимальна 2,5 т/год;
 - витрата пари мінімальна 1,0 т/год;
 - РО встановлено на трубопроводі сухої насиченої пари;
 - тиск пари 4 кгс/см²;
 - перепад пари на РО 1,5 кгс/см²;
 - діаметр трубопроводу 80 мм.
- 4) Виконати розрахунок пересувного зусилля та схеми зчленування ВМ і РО.
- 5) Виконати розрахунок профілю затвору.
- 6) Виконати схему зовнішніх з'єднань АСР на базі блоків контролера Р130.

Варіант № 19

Перелік завдань для виконання:

- 1) Розробити функціональні схеми АСР витрати пульпи (стічних вод) за допомогою комплексів ТЗА КАСКАД-2, СТАРТ, мікропроцесорного регулятора МІК-21 і контролера Р130.
- 2) Скласти специфікацію на прилади та засоби автоматизації і виконати описання функціональної дії АСР на цих засобах.
- 3) Виконати розрахунок та вибір виконавчого пристрою на підставі таких вихідних даних:
 - ВМ застосовувати типу МЄО, а закон регулювання ПІ;
 - затвор шланговий;
 - вміст твердих включень складає 40% об;
 - температура пульпи 30°C;
 - витрата пульпи максимальна 10 м³/год, а мінімальна 6 м³/год;
 - густина пульпи 1800 кг/м³;
 - швидкість пульпи у трубопроводі 1,4 м/с;
 - тиск пульпи у магістралі 1,8 кгс/см²;
 - стик пульпи після РО 1,3 кгс/см²;
 - довжина трубопроводної лінії від магістралі до РО біля 30 м;
 - перед РО встановлено 2 вентиля і три повороти з кутом 90°.
- 4) Виконати розрахунок пересувного зусилля та схеми зчленування ВМ і РО.
- 5) Виконати схему зовнішніх з'єднань АСР на базі регулятора МІК-21.

Варіант № 20

Перелік завдань для виконання:

- 1) Розробити функціональні схеми АСР витрати 8% розчину хлористого кальцію у апараті за допомогою агрегатних комплексів ТЗА КАСКАД-2, СТАРТ, мікропроцесорного регулятора 2ТРМ1 і контролера Р130.
- 2) Скласти специфікацію на прилади та засоби автоматизації і виконати описання функціональної дії АСР на цих засобах.

3) Виконати розрахунок та вибір звужувального пристрою на підставі таких вихідних даних:

- виконавчий пристрій з електроприводом
- витрата розчину максимальна 4 т/год;
- витрата розчину мінімальна 2 т/год;
- тиск розчину у трубопроводі 0,7 МПа;
- температура розчину 60° С;
- густина розчину 1210 кг/м³;
- динамічна в'язкість розчину 1·10⁻⁴ Па·с;
- діаметр трубопроводу 40 мм.

4) Виконати схему зовнішніх з'єднань АСР на базі регулятора 2ТРМ1.

Варіант № 21

Перелік завдань для виконання:

1) Розробити функціональну схему АСР витрати води у теплообміннику за допомогою агрегатних комплексів ТЗА КАСКАД-2, СТАРТ, мікропроцесорного регулятора ТРМ101 і контролера Р130.

2) Скласти специфікацію на прилади та засоби автоматизації і виконати описання функціональної дії АСР на цих засобах.

3) Виконати розрахунок та вибір звужувального пристрою на підставі таких вихідних даних:

- виконавчий пристрій з пневмоприводом;
- витрата води максимальна 45 т/год;
- витрата води мінімальна 35 т/год;
- тиск води у трубопроводі 1 МПа;
- температура води 18° С;
- густина води 998 кг/м³;
- динамічна в'язкість води 6·10⁻⁵ Па·с;
- швидкість води 5 м/с.

4) Виконати схему зовнішніх з'єднань АСР на базі блоків контролера Р130.

Варіант № 22

Перелік завдань для виконання:

- 1) Розробити функціональну схему АСР витрати 10% розчину хлористого кальцію у апараті за допомогою агрегатних комплексів ТЗА КАСКАД-2, СТАРТ, мікропроцесорного регулятора ТРМ10 і контролера Р130.
- 2) Скласти специфікацію на прилади та засоби автоматизації і виконати описання функціональної дії АСР на цих засобах.
- 3) Виконати розрахунок та вибір звужувального пристрою на підставі таких вихідних даних:

- виконавчий пристрій з електроприводом
- витрата розчину максимальна 4 т/год;
- витрата розчину мінімальна 2 т/год;
- тиск розчину у трубопроводі 0,7 МПа;
- температура розчину 60° С;
- густина розчину 1210 кг/м³;
- динамічна в'язкість розчину 1·10⁻⁴ Па·с;
- діаметр трубопроводу 40 мм.

4) Виконати схему зовнішніх з'єднань АСР на базі регулятора ТРМ10.

Варіант № 23

Перелік завдань для виконання:

- 1) Розробити функціональні схеми АСР витрати води у холодильнику за допомогою агрегатних комплексів ТЗА, КАСКАД-2, СТАРТ, мікропроцесорного регулятора МИНИТЕРМ 400 і контролера Р130.
- 2) Скласти специфікацію на прилади та засоби автоматизації і виконати описання функціональної дії АСР на цих комплексах.

3) Виконати розрахунок та вибір звужувального пристрою на підставі таких вихідних даних:

- виконавчий пристрій з пневмоприводом;
- витрата води максимальна $6 \text{ м}^3/\text{год}$;
- витрата води мінімальна $5 \text{ м}^3/\text{год}$;
- тиск води у трубопроводі $0,6 \text{ МПа}$;
- температура води 40° С ;
- густина води 892 кг/м^3 ;
- динамічна в'язкість води $1 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$;
- діаметр трубопроводу 50 мм .

4) Виконати схему зовнішніх з'єднань АСР на базі регулятора МИНИТЕРМ 400.

Варіант № 24

1) Розробити функціональну схему АСР витрати 9% розчину хлористого кальцію у апараті за допомогою агрегатних комплексів ТЗА КАСКАД-2, СТАРТ, мікропроцесорного регулятора МІК-21 і контролера Р130.

2) Скласти специфікацію на прилади та засоби автоматизації і виконати описання функціональної дії АСР на цих комплексах.

3) Виконати розрахунок та вибір звужувального пристрою на підставі таких вихідних даних:

- виконавчий пристрій з електроприводом
- витрата розчину максимальна 4 т/год ;
- витрата розчину мінімальна 2 т/год ;
- тиск розчину у трубопроводі $0,7 \text{ МПа}$;
- температура розчину 60° С ;
- густина розчину 1210 кг/м^3 ;
- динамічна в'язкість розчину $1 \cdot 10^{-4} \text{ Па}\cdot\text{с}$;
- діаметр трубопроводу 40 мм .

4) Виконати схему зовнішніх з'єднань АСР на базі блоків регулятора МІК-21.

Варіант № 25

Перелік завдань для виконання:

- 1) Розробити функціональні схеми АСР витрати розчину сірчаноокислого амонію у апараті за допомогою агрегатних комплексів ТЗА КАСКАД-2, СТАРТ, мікропроцесорного регулятора МИНИТЕРМ 400 і комплексу мікропроцесорних приладів Р130.
- 2) Скласти специфікацію на прилади та засоби автоматизації і виконати описання функціональної дії АСР на цих комплексах.
- 3) Виконати розрахунок та вибір звужувального пристрою на підставі таких вихідних даних:
 - виконавчий пристрій з пневмоприводом;
 - витрата розчину середня 5 т/год;
 - тиск розчину у трубопроводі 0,3 МПа;
 - температура розчину 18° С;
 - густина розчину 1240 кг/м³;
 - динамічна в'язкість розчину $7,5 \cdot 10^{-4}$ Па·с;
 - діаметр трубопроводу 44 мм;
 - діафрагма камерна.
- 4) Виконати схему зовнішніх з'єднань АСР на базі блоків контролера Р130.

Варіант № 26

Перелік завдань для виконання:

- 1) Розробити функціональні схеми АСР витрати 10 % розчину їдкою натрію у колону за допомогою агрегатних комплексів ТЗА КАСКАД-2, СТАРТ, мікропроцесорного регулятора МІК-25 і контролера Р130.
- 2) Скласти специфікацію на прилади та засоби автоматизації і виконати описання функціональної дії АСР на цих засобах.

3) Виконати розрахунок звужуючого пристрою на підставі таких вихідних даних:

- виконавчий пристрій з електроприводом
- витрата розчину максимальна $7 \text{ м}^3/\text{год}$;
- витрата розчину мінімальна 5 т/год ;
- тиск розчину у трубопроводі $0,3 \text{ МПа}$;
- температура розчину 40°C ;
- густина розчину 1100 кг/м^3 ;
- діаметр трубопроводу 50 мм .

4) Виконати схему зовнішніх з'єднань АСР на базі регулятора МІК-25.

Варіант № 27

Перелік завдань для виконання:

1) Розробити функціональні схеми АСР 12% розчину хлористого кальцію у апараті за допомогою агрегатних комплексів ТЗА КАСКАД-2, СТАРТ, мікропроцесорного регулятора ТРМ10 і контролера Р130.

2) Скласти специфікацію на прилади та засоби автоматизації і виконати описання функціональної дії АСР на цих засобах.

3) Виконати розрахунок та вибір звужувального пристрою на підставі таких вихідних даних:

- виконавчий пристрій з пневмоприводом;
- витрата розчину максимальна 4 т/год ;
- витрата розчину мінімальна 2 т/год ;
- тиск розчину у трубопроводі $0,7 \text{ МПа}$;
- температура розчину 60°C ;
- густина розчину 1210 кг/м^3 ;
- динамічна в'язкість розчину $1 \cdot 10^{-4} \text{ Па}\cdot\text{с}$;
- діаметр трубопроводу 40 мм .

4) Виконати схему зовнішніх з'єднань АСР на базі блоків контролера Р130.

Варіант № 28

Перелік завдань для виконання:

- 1) Розробити функціональні схеми АСР витрат водяної пари у калорифер за допомогою агрегатних комплексів ТЗА КАСКАД-2, СТАРТ, мікропроцесорного регулятора МІК-25 і контролера Р130.
- 2) Скласти специфікацію на прилади та засоби автоматизації і виконати описання функціональної дії АСР на цих засобах.
- 3) Виконати розрахунок та вибір звужувального пристрою на підставі таких вихідних даних:
 - виконавчий пристрій з електроприводом
 - витрата водяної пари максимальна 12 т/год;
 - витрата водяної пари мінімальна 8 т/год;
 - тиск у трубопроводі 0,32 МПа;
 - температура водяної пари 150° С;
 - густина водяної пари 2,183 кг/м³;
 - динамічна в'язкість 1,82·10⁻⁵ Па·с;
 - діаметр трубопроводу 150 мм;
 - діафрагма камерна.
- 4) Виконати схему зовнішніх з'єднань АСР на базі блоків комплексу Р130.

Варіант № 29

Перелік завдань для виконання:

- 1) Розробити функціональні схеми АСР витрати водяної пари у теплообміннику за допомогою агрегатних комплексів ТЗА КАСКАД-2, СТАРТ, мікропроцесорного регулятора 2ТРМ1 і контролера Р130.
- 2) Скласти специфікацію на прилади та засоби автоматизації і виконати описання функціональної дії АСР на цих засобах.
- 3) Виконати розрахунок та вибір звужувального пристрою на підставі таких вихідних даних:

- виконавчий пристрій з пневмоприводом;
- витрата водяної пари максимальна 14 т/год;
- витрата водяної пари мінімальна 10 т/год;
- тиск у трубопроводі 0,35 МПа;
- температура водяної пари 150° С;
- густина водяної пари 2,19 кг/м³;
- динамічна в'язкість 1,84·10⁻⁵ Па·с;
- діаметр трубопроводу 150 мм.

4) Виконати схему зовнішніх з'єднань АСР на базі регулятора 2ТРМ1.

Навчальне видання

**Бабіченко Анатолій Костянтинівич
Подустов Михайло Олексійович
Красніков Ігор Леонідович
Шутинський Олексій Григорович
Лисаченко Ігор Григорович
Бабіченко Юлія Анатоліївна
Дзевочко Олександр Михайлович
Вельма Володимир Іванович
Пугановський Олег Валентинович**

ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Навчально-методичний посібник з курсового проектування для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Роботу до видання рекомендував доцент Олексій ДУДНИК
План 2021 р., поз.27

В авторській редакції

Редактор – Гобеловська Л.П.

Підписано до друку 19.05.2021 р. Формат 60×84 1/16.
Папір офсетний. Друк цифровий. Гарнітура шкільна.
Ум. друк. арк.12,79. Тираж 40 пр. Зам. № 986

Матеріали надано: видавничим центром НТУ «ХП».
Свідоцтво про державну атестацію ДК № 5478 від 21.08.2017 р.
61002, Харків, вул. Кирпичова, 2

Видавець та виготовлювач ТОВ «Друкарня Мадрид»

Через ФОП Гобельовська Л.П.

61024, м. Харків, вул.. Максиміліанівська, 11. Тел.: 0800-33-67-62

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи: Серія ДК № 4399 від 27.08.12 р.

www.madrid.in.ua

info@madrid.in.ua