

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

АВТОНОМНІ СИСТЕМИ ГАЗОПОСТАЧАННЯ

Методичні вказівки
до практичних занять для студентів спеціальності
G19 «Будівництво та цивільна інженерія»
за освітньо-професійною програмою
«Теплогазопостачання і вентиляція»

Київ 2025

УДК 662.7:696.2

Укладачі: К. М. Предун, доктор економічних наук, професор
Г. В. Жук, доктор технічних наук, професор
О. Б. Почка, асистент

Рецензент М. П. Сенчук, кандидат технічних наук, доцент

Відповідальний за випуск К. М. Предун, доктор економічних наук, професор

Затверджено на засіданні кафедри теплогазопостачання і вентиляції, протокол № 16 від 14 квітня 2025 року.

В авторській редакції.

Автономні системи газопостачання: методичні вказівки до практичних занять для студентів спеціальності G19 «Будівництво та цивільна інженерія» за освітньо-професійною програмою «Теплогазопостачання і вентиляція» / уклад.: К. М. Предун, Г. В. Жук, О. Б. Почка. – Київ: ЦП «Компринт», 2025. – 52 с.

Подано методики та приклади розрахунків і вибору обладнання систем газифікації окремих будівель і споруд газами штучного походження, зокрема – скрапленими вуглеводневими і біогазами, список навчально-методичного забезпечення та додатки.

Призначено для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності G19 «Будівництво та цивільна інженерія» за освітньо-професійною програмою «Теплогазопостачання і вентиляція».

© КНУБА, 2025

ЗМІСТ

Загальні положення	4
Практичне заняття 1. Визначення характеристик газів для систем автономного газопостачання	6
Практичне заняття 2. Характеристика об'єкта газопостачання, вибір системи газопостачання та визначення витрат скрапленого газу	11
Практичне заняття 3. Розробка системи газопостачання СВГ	17
Практичне заняття 4. Гідравлічний розрахунок дворових розподільних газопроводів	23
Практичне заняття 5. Газопостачання житлового будинку	26
Практичне заняття 6. Установка для отримання біогазу	33
Практичне заняття 7. Розрахунок та розробка системи димовидалення	38
Список використаної та рекомендованої літератури	43
Додатки	46
Додаток А. Сортамент труб, які застосовують для будівництва газопроводів	46
Додаток Б. Номограма для визначення питомих втрат тиску в газопроводах низького тиску із сталевих труб	47
Додаток В. Номограма для визначення еквівалентних довжин газопроводів	48
Додаток Г. Коефіцієнти місцевих опорів при турбулентному русі газу	48
Додаток Д. Номограма для визначення продуктивності резервуарів СВГ	49
Додаток Е. Довідкові дані для розрахунку димоходів	50

Загальні положення

Житлово-комунальне господарство України є значним споживачем паливно-енергетичних ресурсів у державі. Запровадження стандартів з енергоефективності та біосферної сумісності в європейських країнах довели свою дієвість щодо скорочення негативного впливу інженерної інфраструктури на довкілля. Російська агресія спричинила значні руйнування газотранспортної та газорозподільної систем природного газу. Влаштування та подальший розвиток альтернативних джерел енергії на основі газів штучного походження, у т.ч. скраплених вуглеводневих і біогазів в умовах воєнного стану дозволяє частково вирішити проблему енергозабезпечення житлово-комунального господарства держави та інших галузей економіки.

Метою освітньої компоненти «Автономні системи газопостачання» є надання здобувачам освіти ґрунтовних професійних знань про сучасний стан, перспективи розвитку автономних (децентралізованих) систем газопостачання; використання альтернативних палив; фізико-хімічні властивості горючих газів штучного походження та їх переваги і недоліки у порівнянні з природним; джерела та способи їх утворення, трансформації, транспортування та використання; облік спожитого палива; умови згоряння та відведення продуктів спалювання.

Під час вивчення освітньої компоненти застосовуються такі види навчальної роботи: лекції, практичні заняття, індивідуальне завдання – розрахунково-графічна робота, консультації, залік, а також самостійна робота студентів.

Значну роль у системі вищої освіти відіграють практичні заняття. Головне їхнє завдання – закріплення, переведення у довготривалу пам'ять теоретичних знань, формування та розвиток професійних компетентностей, оволодіння апаратом наукових досліджень. Практичне заняття – це форма навчального заняття, при якому викладач організовує детальний розгляд здобувачами вищої освіти окремих теоретичних положень навчальної дисципліни й формує в них навички та уміння їх практичного застосування шляхом індивідуального виконання відповідно сформульованих завдань.

Перелік тем практичних занять визначається робочою програмою дисципліни. Зміст практичних занять забезпечує узгодженість нормативного та індивідуально-вибіркового компонентів навчально-пізнавальної діяльності здобувачів вищої освіти. Нормативний компонент виступає як зовнішній відносно здобувача вищої освіти досвід освітньої діяльності. Його носіями є відповідні матеріали (законодавчі та нормативно-правові документи, освітня програма), інформаційне забезпечення (аналітичні огляди, звіти, стандарти, монографії, статті, дисертації, підручники, посібники тощо) та діяльність суб'єктів освітнього (виробничого/навчально-виробничого) процесу. Індивідуально-вибірковий компонент є суб'єктивною програмою навчально-пізнавальної діяльності здобувача вищої освіти.

Мету практичних занять можна подати такими положеннями: закріплення знань шляхом активного повторення матеріалу лекцій, конкретизації і розширення цього матеріалу, його транспозиції на певні завдання; розвиток здатності самостійно використовувати отримані знання для виконання певних дій і отримання нових знань, навиків та умінь (професійних компетентностей); встановлення зв'язку закономірностей, формулювань, вимірювальних показників з практикою їхнього застосування; ознайомлення з науковими методами та засобами в їхньому практичному застосуванні; надбання експериментальних навиків та вмінь; ознайомлення з різними методами аналізу та оцінки станів об'єкту вивчення, довідковими інформаційними матеріалами; опанування навиками та вміннями самостійного вирішення навчально-методичних та науково-практичних питань; інтеграція знань у певну систему та формування визначених компетентностей.

В даних методичних вказівках подано 7 практичних занять, в яких розглянуто методики та приклади розрахунків і вибору обладнання систем газифікації окремих будівель і споруд газами штучного походження, зокрема – скрапленими вуглеводневими і біогазами, список навчально-методичного забезпечення та додатки.

Практичне заняття 1

ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗІВ ДЛЯ СИСТЕМ АВТОНОМНОГО ГАЗОПОСТАЧАННЯ

Завдання. Навчитись визначати характеристики паливних газів для систем автономного газопостачання житлових і громадських будинків.

Для автономного газопостачання можуть використовуватись скраплені вуглеводневі гази – пропан і бутан, або гази штучного походження – біогази [9-11, 15, 16].

Технічні характеристики паливних газів залежить від компонентного складу – вмісту горючих і негорючих речовин, а для скрапленого газу – і від параметрів рідкої та парової фази.

Для визначення основних теплотехнічних характеристик паливного газу використовують залежність

$$X_{cm} = \frac{\sum_{i=1}^n v_i \cdot X_i}{\sum_{i=1}^n v_i}, \quad (1.1)$$

де v_i – компонентна доля i -го газу в суміші, X_i – величина, що підлягає визначенню – густина, теплота згоряння, тиск суміші тощо

Теплотехнічні характеристики деяких горючих газів наведені нижче.

Таблиця 1.1

Фізико-хімічні властивості компонентів скраплених газів [9, 15, 16]

Газ	Хімічна формула	Молекулярна маса, кг	Газова постійна, Дж/(кг·К)	Критичні параметри			Молекулярний об'єм, м ³ /кмоль	Густина газової фази, кг/м ³	Густина рідкої фази, кг/м ³	Пружність насичених парів при 0 °С, МПа (абс.)	Температура кипіння при 101,3 кПа, °С	Теплота пароутворення кДж/кг при 101,3 кПа
				температура, °С	тиск, МПа (абс.)	Густина, кг/м ³						
Пропан	C ₃ H ₈	44,1	184,92	96,84	4,21	226	22	2,0037	528	0,47	-42,1	427,1
Н-бутан	C ₄ H ₁₀	58,12	140,3	152,0	3,75	225	21,5	2,703	601	0,115	-0,5	385,6
І-бутан	C ₄ H ₁₀	58,12	140,3	134,98	3,6	-	21,74	2,668	582	0,16	- 10,2	366,4

Для визначення фізичних параметрів компонентів СВГ використовують діаграми або таблиці стану пропану чи бутану [15].

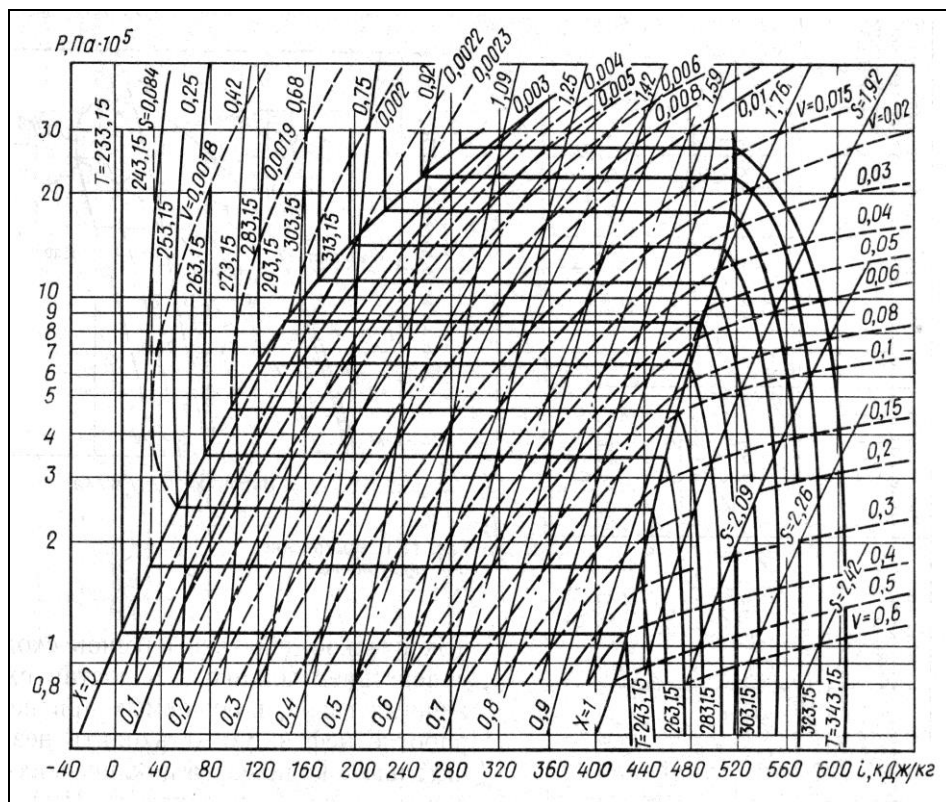


Рис. 1.1. Р-і діаграма стану пропану [15]:

P – тиск, Па; T – температура, К; i – ентальпія, кДж/кг; s – ентропія, кДж/(кг·К); v – питомий об'єм; x – вміст пари в суміші, кг/кг

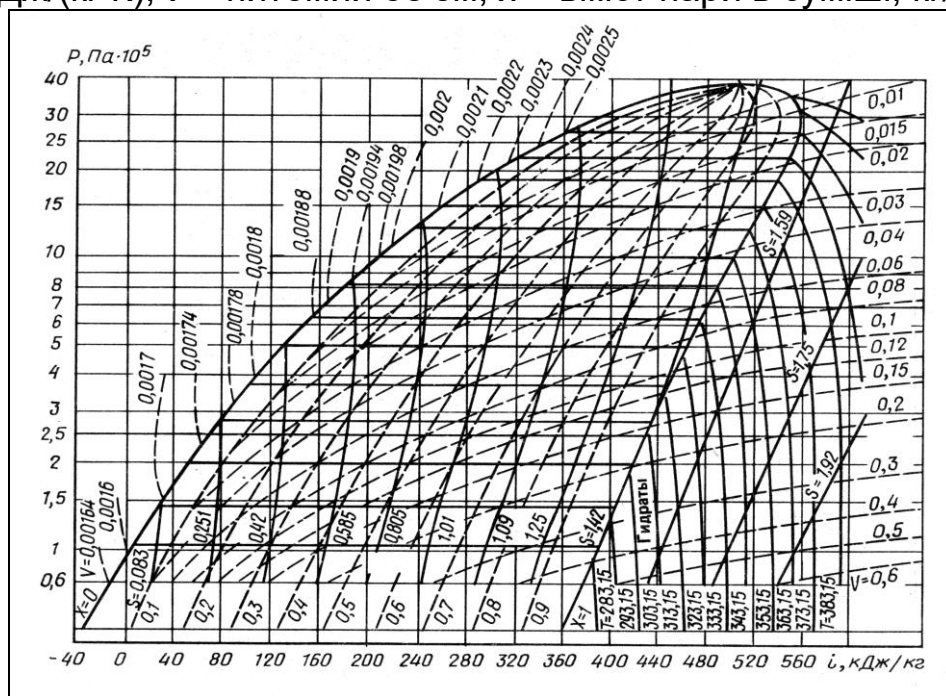


Рис. 1.2. Р-і діаграма стану бутану [15]:

P – тиск, Па; T – температура, К; i – ентальпія, кДж/кг; s – ентропія, кДж/(кг·К); v – питомий об'єм; x – вміст пари в суміші, кг/кг

Таблиця 1.2

Фізичні характеристики скраплених вуглеводневих газів [15, 16]

Темпе- рату- ра, 0 °C	Пропан				Ізобутан				Н - бутан			
	пруж- ність пари, МПа (абс.)	густина		прихо- вана тепло- та ви- паро- вування, кДж/к- г	пруж- ність пари, МПа (абс.)	густина		прихо- вана тепло- та ви- паро- вуван- ня, кДж/к- г	пруж- ність пари, МПа (абс.)	густина		прихо- вана тепло- та ви- паро- вуван- ня, кДж/к- г
		рідина кг/л	пара, кг/м ³			рідина кг/л	пара, кг/м ³			рідина, кг/л	пара, кг/м ³	
-60	0,04	0,606	1,11	441,7	—	—	—	—	—	—	—	—
-55	0,05	0,598	1,36	435,4	—	—	—	—	—	—	—	—
-50	0,06	0,593	1,81	427,1	—	—	—	—	—	—	—	—
-45	0,09	0,587	2,07	425	—	—	—	—	—	—	—	—
-40	0,11	0,581	2,61	419,5	—	—	—	—	—	—	—	—
-35	0,14	0,575	3,25	416,6	—	—	—	—	—	—	—	—
-30	0,17	0,565	3,87	410,3	0,054	0,619	1,49	386	—	—	—	—
-25	0,2	0,559	4,62	404	0,06	0,61	1,65	380,2	—	—	—	—
-20	0,24	0,553	5,48	399,9	0,073	0,606	1,96	375,2	—	—	—	—
-15	0,29	0,548	6,4	396,1	0,09	0,6	2,5	371	0,051	0,615	1,602	397,3
-10	0,34	0,542	7,57	387,7	0,11	0,594	3,04	366,4	0,08	0,611	1,947	392,7
-5	0,41	0,535	9,05	383,1	0,133	0,588	3,59	359,7	0,096	0,605	2,1	388,5
0	0,47	0,528	10,37	379,8	0,16	0,582	4,31	355,5	0,115	0,6	2,82	384,4
5	0,55	0,521	11,9	371,4	0,192	0,576	5,07	349,2	0,138	0,596	3,35	380,2
10	0,63	0,514	13,6	364,3	0,225	0,57	5,92	345	0,164	0,591	3,94	376
15	0,73	0,507	15,51	355,5	0,253	0,565	6,95	339,1	0,197	0,583	4,65	370,5
20	0,83	0,499	17,74	345,4	0,306	0,56	7,94	334,5	0,23	0,578	5,39	366,8
25	0,95	0,49	20,15	339,1	0,355	0,553	9,21	327	0,269	0,573	6,18	362,2
30	1,07	0,483	22,8	329,1	0,41	0,546	11,5	322,8	0,314	0,568	7,19	358,4
35	1,21	0,474	25,3	320,3	0,471	0,54	13	316,1	0,36	0,560	8,17	355,1
40	1,37	0,464	28,6	311,5	0,639	0,534	14,7	310,3	0,408	0,556	9,334	346,7
45	1,53	0,451	34,5	301,5	0,606	0,527	16,8	301,5	0,477	0,549	10,57	341,2
50	1,7	0,446	36,8	284,7	0,695	0,52	18,94	296,4	0,536	0,542	12,1	333,3
55	1,89	0,437	40,22	270,1	0,781	0,513	20,56	285,1	0,608	0,536	12,38	328,3
60	2,1	0,434	44,6	262,1	0,869	0,505	24,2	275,1	0,69	0,532	15,4	321,6

Нижче наведений приклад визначення параметрів СВГ, що використовується для задоволення комунально-побутових потреб.

Приклад 1. Необхідно визначити, якою буде температура СВГ зимового складу (75 % – пропану, 25 % – бутану) в балоні ємністю 50

л ($d = 300$ мм; $h = 826$ мм), заповненого на висоту $h_1 = 600$ мм, якщо до нього через регулятор тиску приєднані плита газова ПГ-4 і проточний газовий водонагрівач ВПГ-18. Балон розташований в неопалювальному приміщенні.

Розв'язок.

1. Визначимо загальну витрату газу споживачами.

Теплова потужність приладів: плита газова – $Q=9,6$ кВт; водонагрівач – $Q=18$ кВт. Розрахункова загальна витрата газу з врахуванням коефіцієнта одночасності K_{sim} визначимо за виразом:

$$V_z = K_{sim} \left(Q_{пг4} / Q_n^p \eta_{пг4} + Q_{впг18} / Q_n^p \eta_{впг18} \right), \quad (1.2)$$

Коефіцієнти корисної дії апаратів η приймемо згідно [18]: ПГ-4 – $\eta = 0,56$; ВПГ-18 – $\eta = 0,82$. Коефіцієнт одночасності роботи газових приладів за нормами [1] $K_{sim} = 0,7$. Нижча теплота згоряння пропану – $Q_{н.п}^p = 91321$ кДж/м³; бутану – $Q_{н.б}^p = 113595$ кДж/м³ [14].

2. Зважаючи, що пропан і бутан взаємно розчинні, застосуємо для визначення усереднених показників суміші при температурі $t_3 = +10$ °С закон Дальтона [14-16].

$$x_c = \sum r_i x_i / \sum x_i. \quad (1.3)$$

Усереднена теплота згоряння суміші

$$Q_{н.с}^p = 0,75 \cdot 91321 + 0,25 \cdot 113595 = 96890 \text{ кДж/м}^3.$$

Аналогічним чином визначені інші показники СВГ, а саме:

- пружність насиченої пари $p_{сум.} = 0,514$ МПа (абсолютна);
- густина рідини – $\rho_{сум.р.} = 0,533$ кг/л;
- теж, пари – $\rho_{сум.п.} = 11,185$ кг/м³;
- теплота пароутворення – $R_{сум.} = 367,225$ кДж/кг.

3. Необхідна витрата пропан-бутанової суміші згідно формули (1.2) становить:

$$V_z = 0,7 \left(\frac{3,6 \cdot 9,6}{1 \cdot 96,89} + \frac{3,6 \cdot 18}{0,82 \cdot 96,89} \right) = 0,82 \text{ м}^3 / \text{год}.$$

4. Визначимо необхідну масу рідкого газу для задоволення даного теплового навантаження

$$G_{сум} = \rho_{сум} \times V_z = 0,82 \times 0,533 = 0,437 \text{ кг/год}.$$

5. В процесі використання пропан-бутанової суміші при заданій витраті її температура буде зменшуватись. Для випаровування $G_{\text{сум.}} = 0,437$ кг/год необхідно таку кількість теплоти:

$$Q = R_{\text{сум.}} \cdot G_{\text{сум.}} = 367,225 \times 0,437 = 160,48 \text{ кДж/год.}$$

Кількість теплоти, яка необхідна для випаровування суміші, повинна поступати від навколишнього середовища. Згідно (1.4) ця кількість теплоти може бути забезпечена при відповідному температурному напорі між повітрям і скрапленим вуглеводневим газом.

$$\Delta t = Q / K_{\Sigma} F_{\sigma} \quad (1.4)$$

Поверхня балону, що змочується рідким газом, становить:

$$F_{\sigma} = \pi(d \cdot h_1 + d^2 / 4) = 3,14(0,3 \cdot 0,6 + 0,3^2 / 4) = 0,638 \text{ м}^2.$$

Значення коефіцієнта теплопередачі приймаємо $K_{\Sigma} = 12$ Вт/м²·К. Необхідний температурний напір повинен становити:

$$\Delta t = \frac{160,48}{3,6 \cdot 12 \cdot 0,638} = 5,82 \text{ }^{\circ}\text{C.}$$

Температура рідини при цьому дорівнює:

$$t_p = t_z - \Delta t = 10 - 5,82 = 4,18 \text{ }^{\circ}\text{C.}$$

При такій температурі характеристики суміші газів будуть дещо відрізнятись від попередньо прийнятих при температурі навколишнього середовища $t_z = +10$ °С. Отримана різниця температур $\Delta t = 5,82$ °С може бути досягнута в реальних умовах. Газобалонна установка спроможна забезпечити паливом газові плити ПГ-4 і проточний водонагрівач ВПГ-18 за рахунок теплоти, що надходить з навколишнього середовища природним шляхом. Для більш надійного газопостачання рідину в балоні, який встановлений в неопалювальному приміщенні, бажано нагрівати.

Практичне заняття №2

ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ГАЗОПОСТАЧАННЯ, ВИБІР СИСТЕМИ ГАЗОПОСТАЧАННЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТ СКРАПЛЕНОГО ГАЗУ

Завдання. Необхідно для 2-х періодів року: теплого і холодного розрахувати витрати скрапленого вуглеводневого газу усіма споживачами житлової садиби, обрати джерело енергії для потреб газифікації.

2.1. Характеристика об'єкту газифікації

Згідно із завданням об'єктом газифікації є житлова садиба, розташована у заміській зоні поблизу м. Києва. Садиба знаходиться на значному віддаленні від інших будівель: відстань до найближчої – перевищує 50 м.

План земельної ділянки з експлікацією будівель і споруд наведений на рис. 2.1. Споживачами газу на території садиби є: житловий 2-поверховий будинок загальною площею 426,5 м², літня кухня – площею 34,35 м² та гараж-майстерня – площею 57,9 м². Останні 2 будівлі – 1-поверхові.

Житловий будинок обладнаний побутовими газовими приладами для задоволення господарсько-побутових потреб мешканців: приготування їжі, гарячої води. У кухні житлового будинку і у літній кухні у кожній окремо встановлені 4-пальникові газові плити типу ПГ-4 «Nord» (разом 2 шт.) вітчизняного виробництва, проточний газовий водопідігрівачі типу «JSD06» фірми «RowTek» (1 шт.) і газовий камін «Optima 70-2» (1 шт.) у житловому будинку.

Опалювально-вентиляційні потреби садиби задовольняються за рахунок теплоти, що виробляється автономною котельною, обладнаною 2 котлами фірми «Viessmann» типу «Vitoplex 100».

Опалення будівлі гаражу-майстерні виконується за допомогою газового калорифера «MiniJet» фірми «Tecnoclima» (Італія).

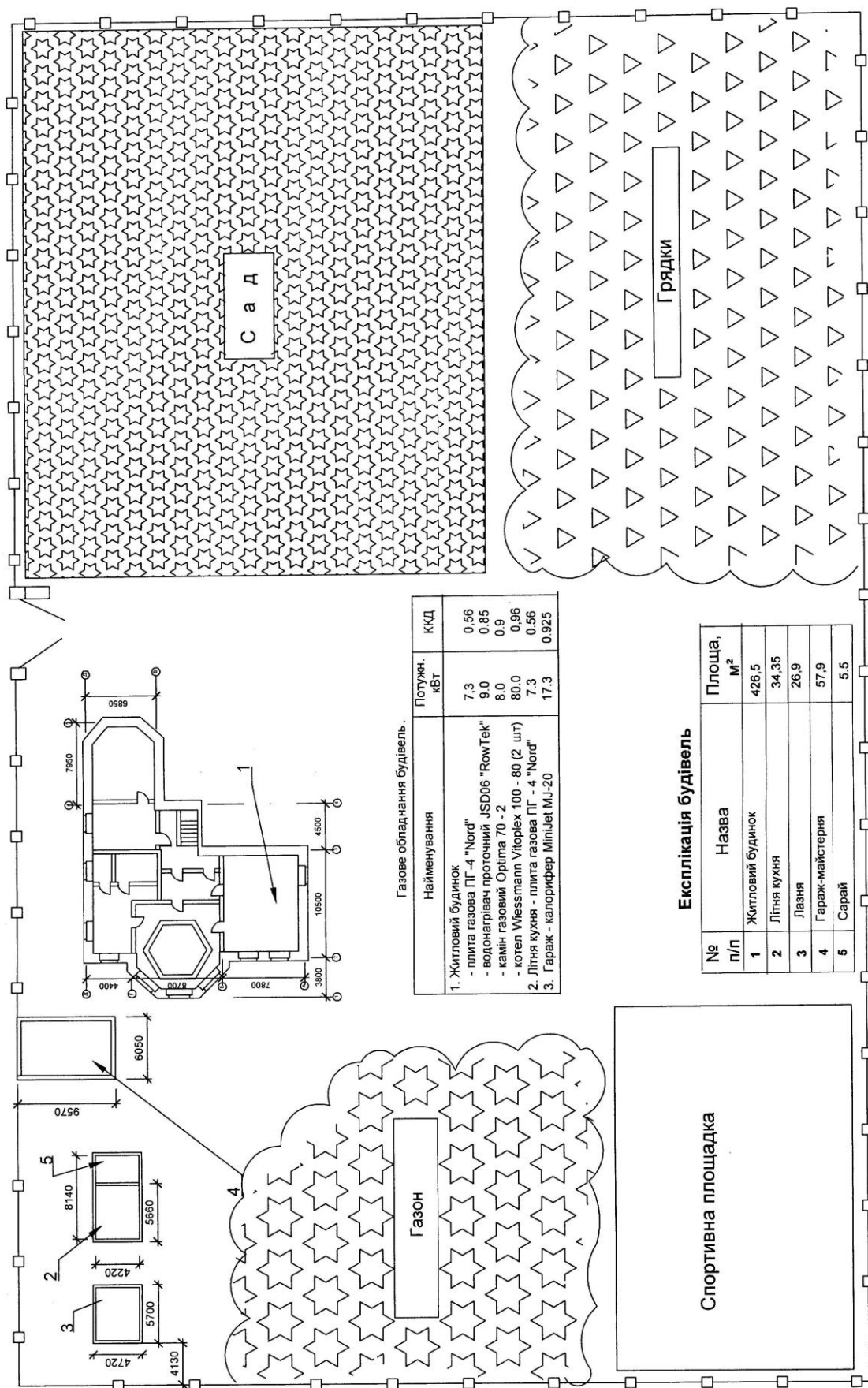


Рис. 2.1. План забудови

Технічні характеристики газового обладнання вказані нижче:

1) Плита газова 4-пальникова типу ПГ4-103-4А «NORD»:

- кількість газових пальників на робочій поверхні (всього): 4;
- у т.ч.: економічних пальників 1 (0,7 кВт);
- пальників напівшвидкої дії 2 (1,9 кВт);
- те ж, швидкої дії 1 (2,8 кВт);
- об'єм духовки, л 62;
- потужність пальника духовки, кВт 5,58;
- коефіцієнт корисної дії 0,56.

2) Водонагрівник проточний газовий типу JSD06 «RowTek»:

- теплова потужність апарата 9,0 кВт;
- коефіцієнт корисної дії, не менше 0,85.

3) Камін газовий типу «Optima 70-2»:

- теплова потужність 8,0 кВт;
- коефіцієнт корисної дії 0,9.

4) Котел водогрійний «Vitoplex 100-80»:

- теплова потужність 80 кВт;
- коефіцієнт корисної дії 0,96.

5) Калорифер газовий типу «MiniJet MJ 20»:

- теплова потужність 17,3 кВт;
- коефіцієнт корисної дії 0,925.

Постачання палива передбачено від газорезервуарної установки скрапленого газу. Склад газу: пропан C_3H_8 – 50 %, бутан C_4H_{10} – 50 %.

Нижча теплота згоряння суміші становить:

$$Q_{\text{сум.н}}^p = \frac{0,5 \times 93370 + 0,5 \times 123770}{0,5 + 0,5} = 108570 \text{ Дж/м}^3 = 108,57 \text{ кДж/м}^3;$$

Густина газу визначається як:

$$\rho_{\text{сум}} = 0,5 \cdot 2,019 + 0,5 \cdot 2,703 = 2,361 \text{ кг/м}^3.$$

2.2. Визначення витрат скрапленого вуглеводневого газу

В загальному випадку розрахункова витрата скрапленого газу при використанні резервуарних установок для газифікації багатоквартирних житлових будинків визначається за формулою [1]:

$$V_p^h = K_{\max} \frac{n K_{sim} Q_{pich}}{365 Q_{н.362}^p}, \quad (2.1)$$

де n – кількість мешканців, які користуються газом; K_{sim} – коефіцієнт добової нерівномірності споживання газу (при встановленні в квартирах лише газових плит $K_{sim}=1,4$; при наявності плит і проточних водонагрівачів – $K_{sim}=2$); Q_{pich} – річна витрата газу на одну людину в теплових одиницях (табл. 2 [1]); $Q_{н.362}^p$ – нижча теплота згоряння СВГ; $K_{\max}$ – коефіцієнт годинного максимуму добової витрати, при невизначеному графіку газоспоживання можна приймати $K_{\max}=0,12$.

За умови, коли газове обладнання будівлі визначене і відомий графік роботи системи газопостачання, розрахункові витрати газу визначають за потужністю встановленого обладнання.

$$V_h = \sum_{i=1}^n v_{ном.i} k_{sim}, \quad (2.2)$$

де $v_{nom.i}$ – номінальна витрата газу, м³/год. окремим приладом; k_{sim} – коефіцієнт одночасності роботи газових приладів (додаток Д [1]).

Витрати газу окремих приладів визначаємо за тепловою потужністю:

$$V_i = \frac{3,6 Q_i}{Q_{н}^p \eta_i}, \quad (2.3)$$

де Q_i – теплова потужність, кВт; $Q_{н}^p$ – нижча теплота згоряння газу МДж/м³; η_i – коефіцієнт корисної дії апарату.

– плита газова ПГ-4:

Сумарна теплова потужність пальників робочої поверхні становить:

$$Q_{ПГ-4} = \sum_{i=1}^3 (n_i \cdot Q_i) = 1 \cdot 0,7 + 2 \cdot 1,9 + 1 \cdot 2,8 = 7,3 \text{ кВт}, \quad (2.4)$$

де n – кількість типів пальників, $n=3$; Q_i – теплова потужність газового пальника, кВт (дивить технічну характеристику ПГ-4, зазначену раніше). що перевищує потужність духовки ПГ.

У подальших розрахунках теплову потужність даного приладу враховано у цій величині – 7,3 кВт.

$$V_{ПГ-4} = \frac{3,6 \cdot Q_{ПГ-4}}{\eta \cdot Q_P^H} = \frac{3,6 \cdot 7,3}{1 \cdot 108,57} = 0,24 \text{ м}^3/\text{год},$$

– водонагрівник проточний JSD06:

$$V_{ВПГ} = \frac{3,6 \cdot Q_{ВПГ}}{\eta \cdot Q_P^H} = \frac{3,6 \cdot 9,0}{0,85 \cdot 108,57} = 0,35 \text{ м}^3/\text{год},$$

– камін газовий Optima 70-2:

$$V_{КГ} = \frac{3,6 \cdot Q_{КГ}}{\eta \cdot Q_P^H} = \frac{3,6 \cdot 8,0}{0,96 \cdot 108,57} = 0,28 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Необхідну витрату газу для задоволення опалювально-вентиляційних потреб визначаємо за укрупненими показниками, наведеними в ДБН В.2.6-31 [2].

Враховуючи, що об'єкт газифікації знаходиться поблизу м. Києва (І температурна зона України), а загальна площа будинку складає 426,5 м², приймаємо норму максимальних тепловтрат 94 кВт·год. на 1 м² загальної площі будівлі. Для 1-поверхового гаражу-майстерні площею 57,8 м², відповідно, 146 кВт·год. на 1 м². Коефіцієнт корисної дії автономної системи опалення житлового будинку знаходиться в межах 0,95...0,98. Відповідно, для умов даної задачі він дорівнює $\eta_{c.o.} = 0,95$. Для газового опалення гаражу-майстерні прийнято $\eta_{c.o.} = 0,9$.

Розрахункова витрата газу на опалювально-вентиляційні потреби житлового будинку складе

$$V_P^{ЖБ} = \frac{0,01 \cdot F_3 \cdot q_{\max}}{\eta_{c.o.} \cdot Q_P^H} = \frac{0,01 \cdot 426,5 \cdot 94}{0,95 \cdot 108,57} = 3,89 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Витрата газу на опалення гаражу-майстерні складе

$$V_P^{Г-М} = \frac{0,01 \cdot F_3 \cdot q_{\max}}{\eta_{c.o.} \cdot Q_P^H} = \frac{0,01 \cdot 57,9 \cdot 146}{0,9 \cdot 108,57} = 0,87 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Витрату газу для визначення необхідної ємності для зберігання зрідженого газу визначимо за умови одночасної роботи газових котлів, однієї з газових плит та водонагрівника. Необхідну продуктивність джерела газопостачання визначаємо з врахуванням вірогідності одночасної роботи побутових газових приладів та опалювальних апаратів згідно вимог ДБН В.2.5-20 [1]. Газовий камін – прилад періодичної дії, тому в розрахунках сумарних витрат газу не враховується.

Для житлового будинку, кухня якого обладнана газовою плитою і газовим водонагрівачем, коефіцієнт одночасності становить $K_{sim}=0,700$. Для двох і більше газових опалювальних апаратів коефіцієнт одночасності рекомендовано вимогами [1] приймати $k_{sim} = 0,85$. Тоді розрахункова витрата газу в холодний період року для будівель садибної ділянки становитиме:

$$V_P^{XII} = k_{SIM} (V_P^{ЖБ} + V_P^{\Gamma-M}) + k_{SIM} (V_{ПГ-4} + V_{ВПГ}) = 0,85(3,89 + 0,87) + 0,7(0,35 + 0,24) = 5,17 \text{ м}^3/\text{год.}$$

В теплий період року працюють лише газова плита, встановлена у літній кухні, і проточний газовий водонагрівач (знаходиться в житловому будинку). Відповідно, сумарна витрата палива не перевищуватиме

$$V_P^{III} = k_{SIM} (V_{ПГ-4} + V_{ВПГ}) = 0,7(0,35 + 0,24) = 0,41 \text{ м}^3/\text{год.}$$

На основі виконаних розрахунків складаємо таблицю розрахункових витрат газу (див. табл.2.2).

Таблиця 2.2

Розрахункові витрати газу

№ будівлі	Найменування об'єкту	Сумарна теплова потужність приладів Q_{Σ} , кВт	Розрахункова витрата газу V_p , $\text{м}^3/\text{год.}$
Холодний період року			
1	Житловий будинок	64,3	4,30
2	Гараж	17,3	0,87
Всього			5,17
Теплий період року			
1	Житловий будинок	9,0	0,35
3	Літня кухня	7,3	0,24
Всього			0,41

Практичне заняття 3

РОЗРОБКА СИСТЕМИ ГАЗОПОСТАЧАННЯ СВГ

Завдання. Вибрати площадку для розміщення газорезервуарної установки скрапленого вуглеводневого газу, підібрати необхідне обладнання, прийняти рішення відносно способу регазифікації СВГ, вибрати спосіб прокладання дворових газопроводів та назначити їх траси.

Необхідну ємність для зберігання палива визначають за розрахунковою сумарною витратою скрапленого газу усіма споживачами в холодний період року. Відомо, що загальна розрахункова витрата СВГ становить $5,17 \text{ м}^3/\text{год}$.

Продуктивність підземних резервуарів визначають за номограмою, наведеною на рис. 3.1 [1, 15].

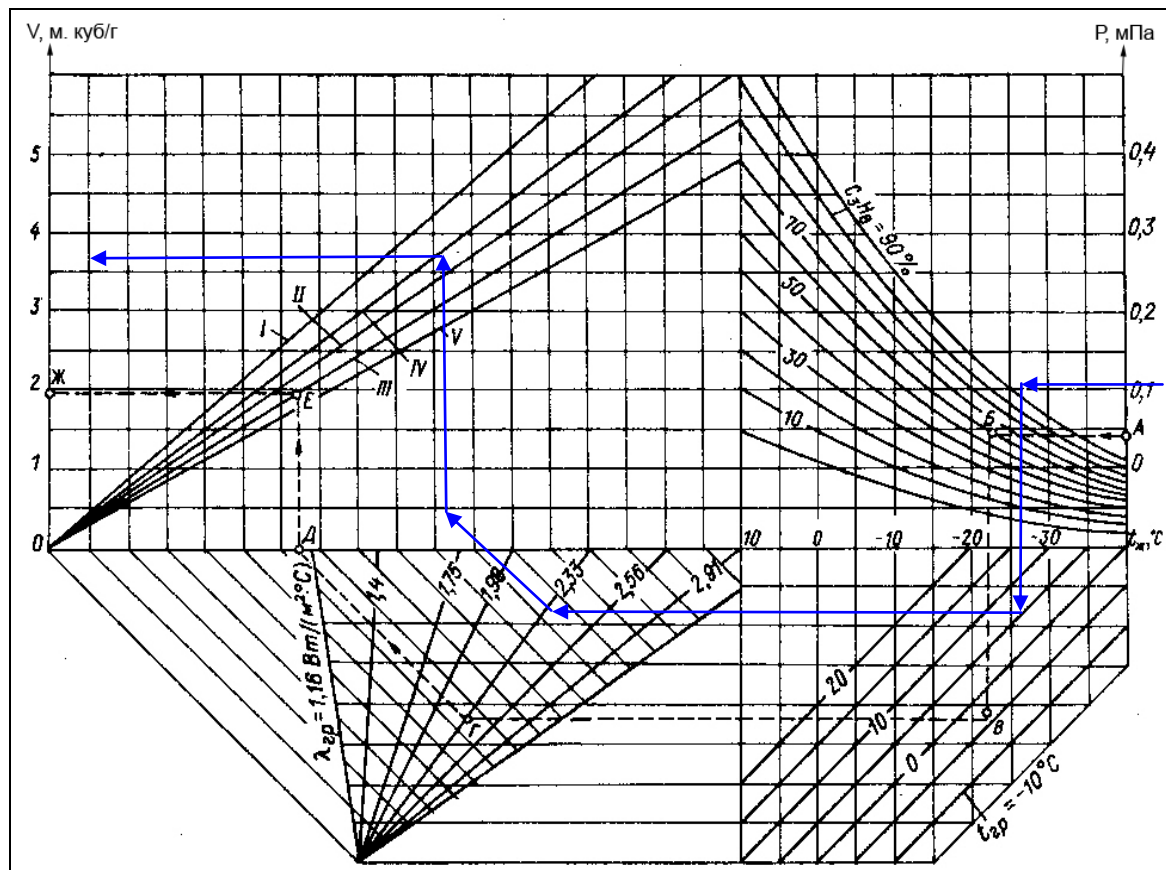


Рис. 3.1. Номограма для визначення продуктивності резервуарів СВГ:

I – резервуар 5 м^3 , заповнення 85 %; II – резервуар 5 м^3 , заповнення 50 %; III – резервуар 5 м^3 , заповнення 35 % та резервуар $2,5 \text{ м}^3$, заповнення 50 %; IV – резервуар $2,5 \text{ м}^3$, заповнення 85 %; V – резервуар $2,5 \text{ м}^3$, заповнення 35 %

Для визначення продуктивності резервуару приймаємо:

- середньорічна температура ґрунту $t_{gp} = + 5\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- тиск газу в резервуарі $P_p = 0,06\text{ МПа}$;
- теплопровідність ґрунту $\lambda = 2,33\text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$

За таких умов продуктивність одного резервуару ємністю $2,5\text{ м}^3$ складе приблизно $3,4\text{ м}^3/\text{год}$.

Для зберігання необхідної кількості скрапленого вуглеводневого газу приймають 2 резервуари ємністю по $2,5\text{ м}^3$ кожний (див. рис. 3.2) з підземним встановленням. Загальна продуктивність резервуарної установки у такому випадку складе $6,8\text{ м}^3/\text{год}$. Регазифікація СВГ – природна, за рахунок теплоти землі. Засоби штучної регазифікації не знадобляться.

Підземна установка резервуарів СВГ для газопостачання житлових і громадських будівель визнається як більш доцільна з огляду на забезпечення споживачів протягом року скрапленням вуглеводневим газом постійного складу, безпечнішою з точки зору випадкового ушкодження та як такий, що не вимагає постійного нагляду зі сторони користувачів.

Схема установки резервуара наведена на рис. 3.3 [15, 16].

Опираючись на прийняті рішення та вимоги нормативних документів вибираємо площадку для розміщення резервуарної установки СВГ. Зважаючи на відсутність на території садиби підземних комунікацій, загальну ємність резервуарів, переважний напрямок вітрів, можливість в'їзду-виїзду автоцистерн та інші обставини, розташовуємо площадку місце для розташування резервуарів СВГ на відстані не менше, ніж 20 м від будівель [1] на території газону. Розташування резервуарів СВГ та траса розподільчого газопроводу парової фази скрапленого газу наведені на рис. 3.4.

Таблиця 3.1

Розміри підземних резервуарів СВГ

Об'єм, м^3	Розміри, мм												
	L	L_1	L_2	L_3	D	ℓ_1	ℓ_2	ℓ_3	ℓ_4	ℓ_5	H_1	H_2	a
2,5	3320	2750	1182	1002	1000	400	600	500	285	702	1302	750	900
5,0	3460	2650	1330	1150	1400	520	750	500	400	900	1510	980	1200

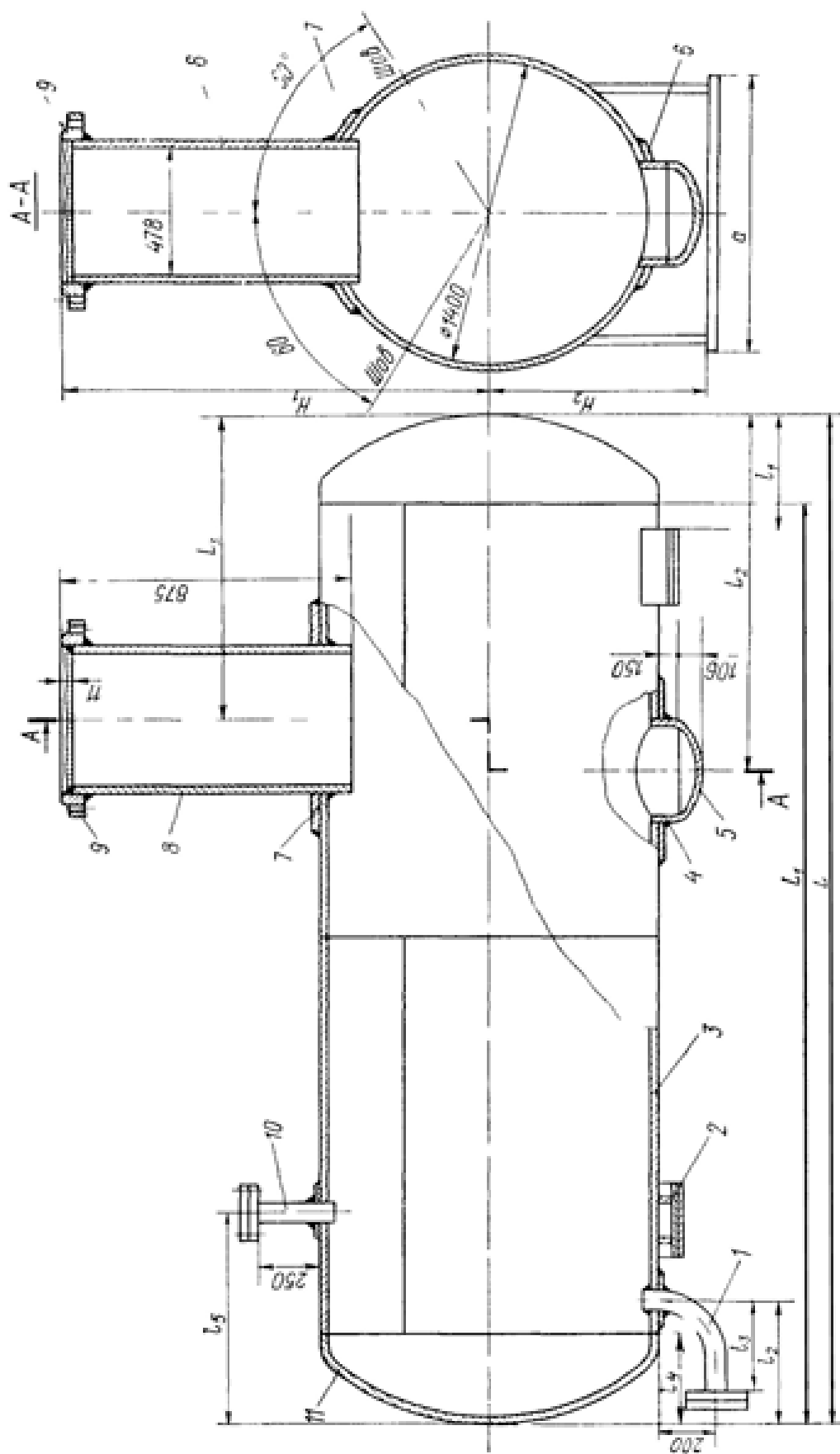


Рис. 3.2. Резервуар для підземної установки [16]:

1 – патрубок рідкої фази; 2 – опора; 3 – корпус; 4 – зачисна кишеня; 5 – днище зачисної кишені;
6, 7 – кільця жорсткості; 8 – горловина; 9 – фланець арматурної головки; 10 – патрубок парової фази

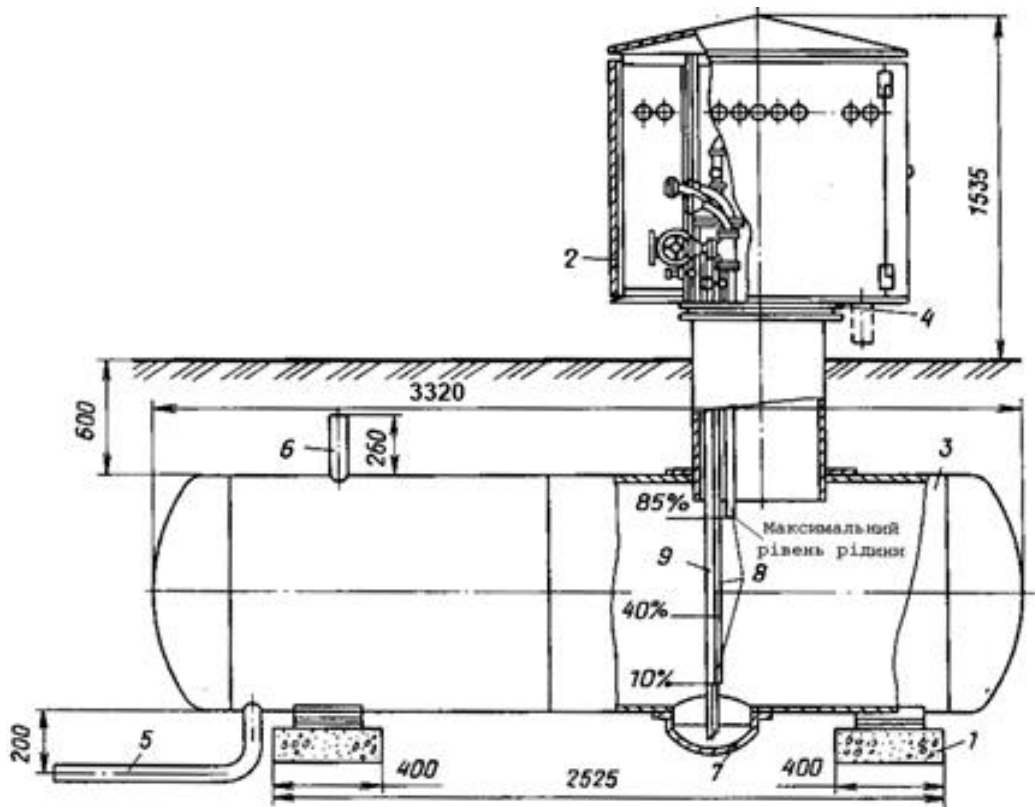


Рис. 3.3 Установка резервуару ємкістю 2,5 м³:

- 1 – фундамент; 2 – захисний кожух; 3 – резервуар; 4 – головка;
- 5, 6 – трубопроводи для об'єднання парової і рідкої фаз;
- 7 – днище-карман; 8 – трубки для визначення рівня рідини;
- 9 – трубка для спорожнення резервуару

Площадка резервуарної установки має розміри, що на 1 м більші за габарити резервуарів. Вона має огорожу із металевої сітки типу «Рабиця» по з/б стовпчикам висотою 1,5 м.

Для забезпечення стабільної роботи установки резервуари поєднані між собою трубопроводами парової та рідинної фаз. Обв'язка резервуарів виконується із сталевих виконується із сталевих електрозварних прямошовних труб по ГОСТ 10704. Поверхня ґрунту, для розташування автоцистерн під час виконання зливно-наливних операцій, має тверде покриття. На з'єднувальному трубопроводі парової фази встановлюється вимикальний пристрій на висоті не менше, ніж 0,5 м від рівня ґрунту. Від підземного газопроводу рідкої фази на висоту не менше 1 м виводиться контрольна трубка із труб Ø15 мм. Всі входи і виходи сталевих газопроводів із ґрунту виконуються в футлярах Ø 150 мм. Для будівництва підземних розподільчих газопроводів застосовуються, як правило, сталеві труби.

Сортамент сталевих труб для будівництва газопроводів наведений в додатку А1.

Редукційна головка передбачена до установки тільки на одному із резервуарів. Загальний вигляд головки резервуару наведений на рис. 3.5 [12, 15].

Для захисту арматури від атмосферних опадів головка закривається захисним кожухом з дверцятами. Регулятор тиску прямої дії типу РТ понижує тиск парів СВГ до 3000 Па і підтримує його на заданому рівні незалежно від витрати газу.

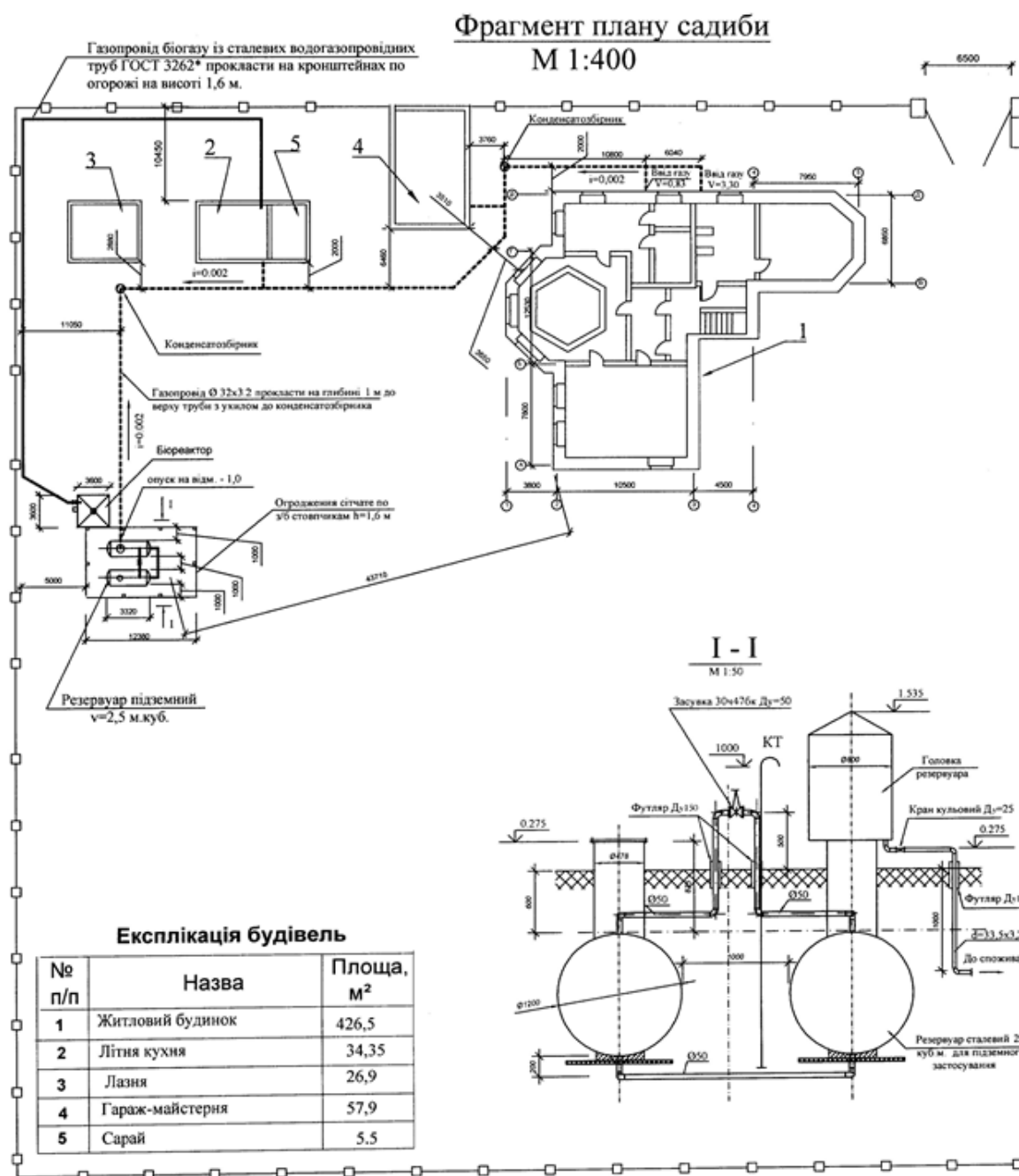


Рис. 3.4. Зовнішні споруди газопостачання.

Підземний розподільчий газопровід низького тиску приєднується до вихідного колектору 9, і виводиться назовні. Перед заглибленням газопроводу в ґрунт на ньому встановлюється загальний вимикальний пристрій. Глибина закладання газопроводу по всій довжині повинна бути не менше 1 м до верху труби. Газопроводи укладаються на сплановане дно траншеї з ухилом 0,002 в сторону установки конденсатозбірників. Об'єм конденсатозбірників у загальному випадку приймають: при штучному випаровуванні газу – з розрахунку 4 л на 1 м³ розрахункової годинної витрати газу, при природному випаровуванні – відповідним діаметру газопроводу. Місця установки конденсатозбірників вказані на кресленнях (див. рис. 3.4). Головки конденсатозбірників виводяться під коври. Найменша відстань в просвіті від підземного газопроводу низького тиску до будівель і споруд повинна бути не менше 2 м.

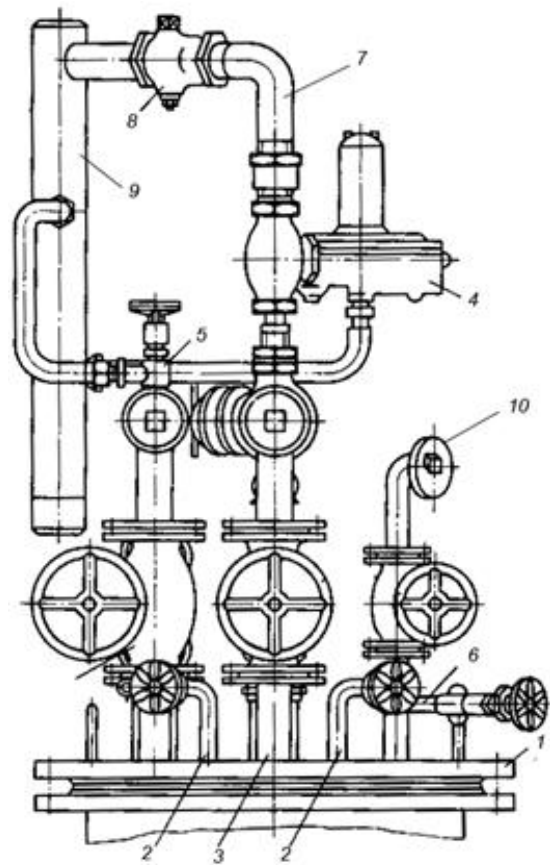


Рис. 3.5. Головка підземного резервуару:

1 – фланець, 2 – рівнемірні трубки, 3 – патрубок парової фази СВГ високого тиску, 4 – регулятор тиску, 5 – голчатий вентиль, 6 – вузол приєднання наповнювального рукава, 7 – газопровід низького тиску, 8 – кран пробковий, 9 – колектор, 10 – патрубок для виконання зливно-наливних операцій

Практичне заняття 4

ГІДРАВЛІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ДВОРОВИХ РОЗПОДІЛЬНИХ ГАЗОПРОВОДІВ

Завдання. Виконати гідравлічний розрахунок розподільних газопроводів парової фази СВГ.

Гідравлічний розрахунок розподільних газопроводів виконують за методикою і по формулам, наведеним в додатку Е [1], для режиму максимального газоспоживання (в холодний період року). Для проектування підземних дворових газопроводів застосовуємо сталеві труби. Сортамент труб наведений в додатку А.

Мінімальний діаметр труб для прокладки підземного газопроводу приймаємо $D_u=25$ мм (33,5х3,2) [14].

Розрахунковий перепад тиску приймаємо згідно вимог [1] – $\Delta P_p=1500$ Па.

Гідравлічний розрахунок виконують в такій послідовності:

1. Викреслюють аксонометричну схему газопроводів (рис. 4.1).
2. Розбивають схему на розрахункові ділянки (нумерують вузли, в яких змінюється витрата газу) та визначають їхні довжини і розрахункові витрати газу.
3. Визначають розрахункову питому втрату тиску в мережі, вважаючи, що 50 % втрат тиску припадає на місцеві опори.

$$h = \frac{0,5P_p}{\sum \ell_e} = \frac{0,5 \times 1500}{75} = 10 \text{ Па/м.}$$

4. За допомогою номограми (додаток Б) визначають діаметри газопроводів ділянок та фактичні питомі втрати тиску в газопроводах R_ϕ , Па/м.

5. Для вибраного діаметру газопроводу та розрахункової витрати газу за номограмою додатку В, визначають еквівалентну довжину ділянок ℓ_e (умовна довжина, втрати тиску на якій відповідають втратам тиску в місцевому опорі з $\xi=1$). Тут для першої ділянки (наведене на номограмі) $\ell_e=0,85$.

6. Визначають суму коефіцієнтів місцевих опорів. Значення коефіцієнтів місцевих опорів на газопроводах наведені в додатку Г. Для прикладу, на першій ділянці 1-2 такі місцеві опори:

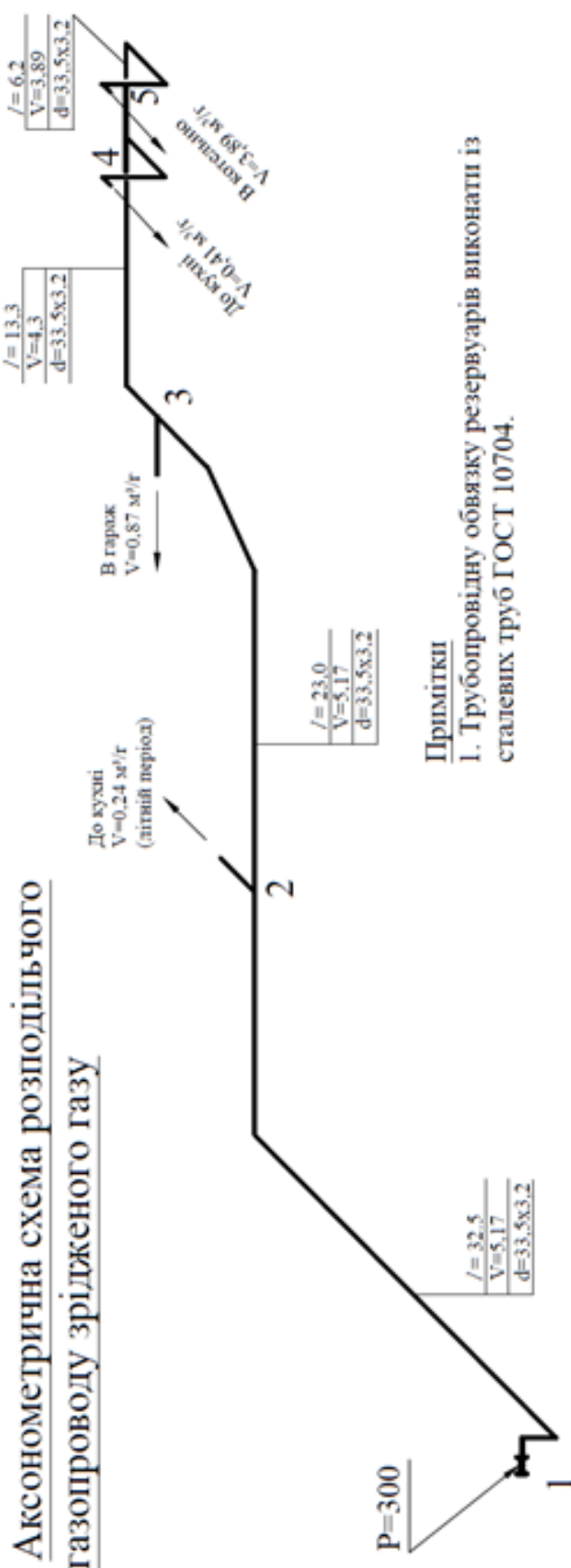


Рис. 4.1. Аксонометрична схема розподільних газопроводів СВГ

- кран кульовий повно прохідний, 1 шт. – $\xi=0$;
- відвід гнугий 90°, 3 шт. – $\xi=0,2 \times 3=0,6$;
- трійник прохідний, 1 шт. – $\xi=1,0$.

Разом $\sum \xi_{1-2} = 0,6+1=1,6$

Сума коефіцієнтів місцевих опорів для ділянки 1 – 2 становить $\sum \xi_{1-2}=1,6$.

7. За значенням еквівалентної довжини та суми коефіцієнтів місцевих опорів визначають розрахункову довжину газопроводу $\ell_p = \ell_e + \sum \xi \cdot \ell_e$.

8. Визначають загальні втрати тиску на ділянці $\Delta P_z = R_\phi \cdot \ell_p$ Па.

Розрахунки виконують в табличній формі (див. табл. 4.1).

Таблиця 4.1

Гідравлічний розрахунок дворових газопроводів

Ділянки		Витрата газу V , м³/год.	Геом. довжина ℓ_e , м	Діаметр $D_s \times S$, мм	Фактична питома втрата тиску R_ϕ , Па/м	Сума коеф. місц. опорів $\sum \xi$	Еквіва лентна довжина ℓ_e , м	Розрахункова довжино ℓ_p , м	Розрахункова втрата тиску ΔP , Па	Тиск газу, Па	
Початкова	Кінцева									Початковий	Кінцевий
1	2	5,17	32,5	33,5×3,2	7,2	1,6	0,85	33,86	235	3000	2765
2	3	5,17	23,0	33,5×3,2	7,2	1,4	0,85	24,19	174	2765	2591
3	4	4,30	13,3	33,5×3,2	5,1	1,2	0,8	14,26	73	2591	2518
4	5	3,89	6,2	33,5×3,2	4,9	1,6	0,75	7,40	36	2518	2482

Загальні втрати тиску в мережі дворових газопроводів становлять $\Delta P_{\Sigma 1}=518$ Па.

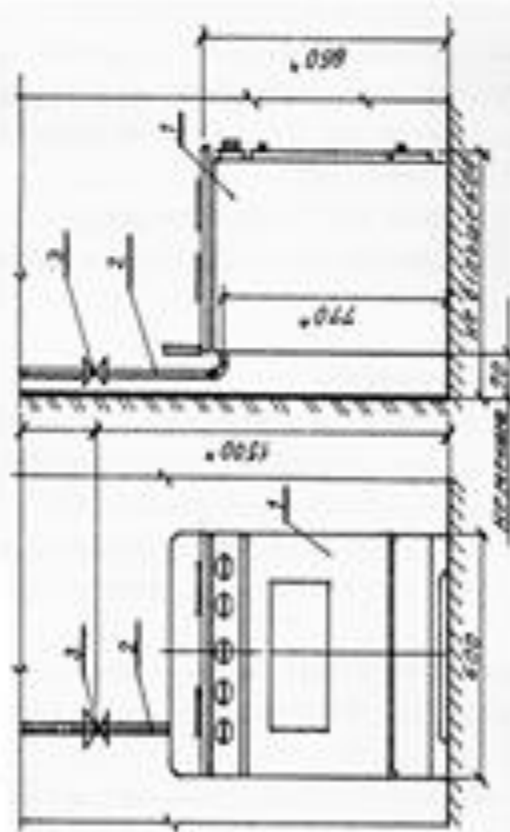
Внутрішні газопроводи передбачаємо із сталевих водогазопровідних труб [14]. На вводах в будівлю передбачаємо установку кульового газового крану. Установку вимикальних кранів передбачаємо також перед кожним газовим приладом.

Прокладку газопроводів всередині будинку передбачаємо відкритою. При переході газопроводів через будівельні конструкції газопроводи прокладаємо в сталевих футлярах. Кінці футлярів повинні виступати за межі перешкоди на 30 мм в обидва боки і мати герметичне ущільнення. Діаметр футляру повинен бути на один типорозмір більшим ніж діаметр газопроводу. Зазор між стінками трубопроводу та внутрішньою поверхнею футляру повинен бути не меншим 5 мм при діаметрі газопроводу до 32 мм включно.

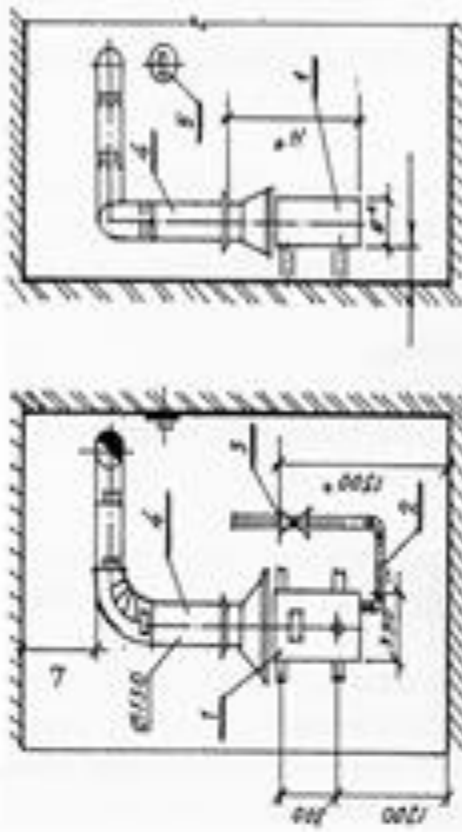
Газові прилади – газову плиту і швидкодіючий водонагрівач встановлюємо в приміщенні кухні першого поверху. Опалювальні котли передбачено встановити в спеціальному приміщенні. Приміщення, де передбачається установка побутових газових приладів, повинно мати витяжний вентиляційний канал, який забезпечує видалення повітря в об'ємі не менше 90 м³/год. Видалення продуктів горіння від водонагрівача, опалювальних котлів і каміну передбачається організовано через відокремлені димові канали. Схеми установки побутових газових приладів і водогрійних котлів наведені на рис. 5.2 та 5.3.

З метою безпечної експлуатації побутових газових приладів і опалювальних апаратів у приміщеннях житлових будинків вимогами ДБН В.2.5-20 [1], «Правил безпеки...» [6] передбачають встановлення квартирних сигналізаторів для контролю мікроконцентрацій чадного газу (0,005 % об'ємних СО) і довибухових концентрацій (20 % від нижчої концентраційної межі вибуховості): для бутану – 1,8 %; для пропану – 2,4 % [1, 7, 15, 16] з виводом на індивідуальну попереджувальну сигналізацію. Аналогічні сигналізатори необхідно розміщувати у підвалах, цокольних та перших поверхах усіх газифікованих житлових (окрім індивідуальних) та громадських будинків, у т.ч. і у приміщеннях громадських будинків, в яких дозволено використання газу (розміщено газове обладнання), з виводом на колективну попереджувальну сигналізацію і на об'єднану диспетчерську службу [2, 5-7].

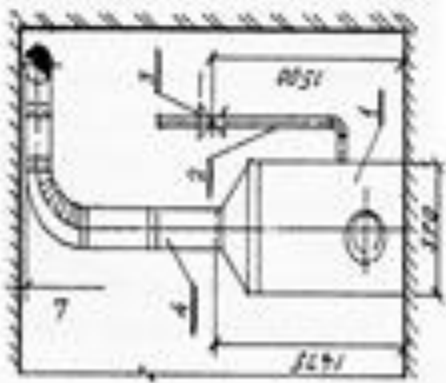
а) установка газовой плиты



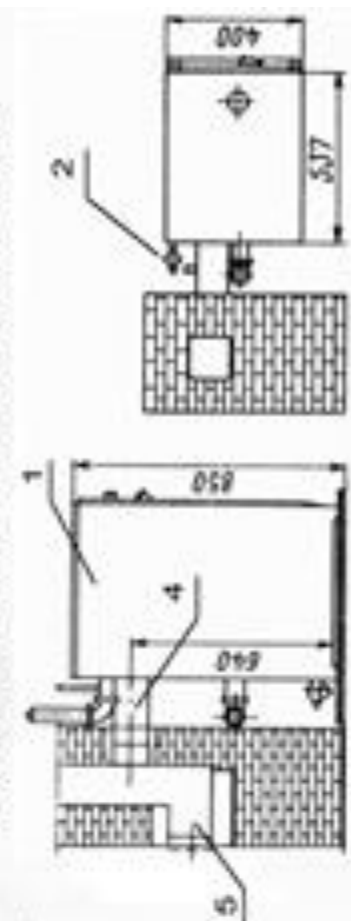
б) установка проточного газового водонагревателя



в) установка емкостного газового водонагревателя



г) установка опалубочного аппарата АОГВ



1 - газовый прибор, 2 - газопровод, 3 - вытяжной пристрой, 4 - газопроводная труба, 5 - лючок для чистки дымового канала.

Рис. 5.2 Схемы установки бытовых газовых приборов

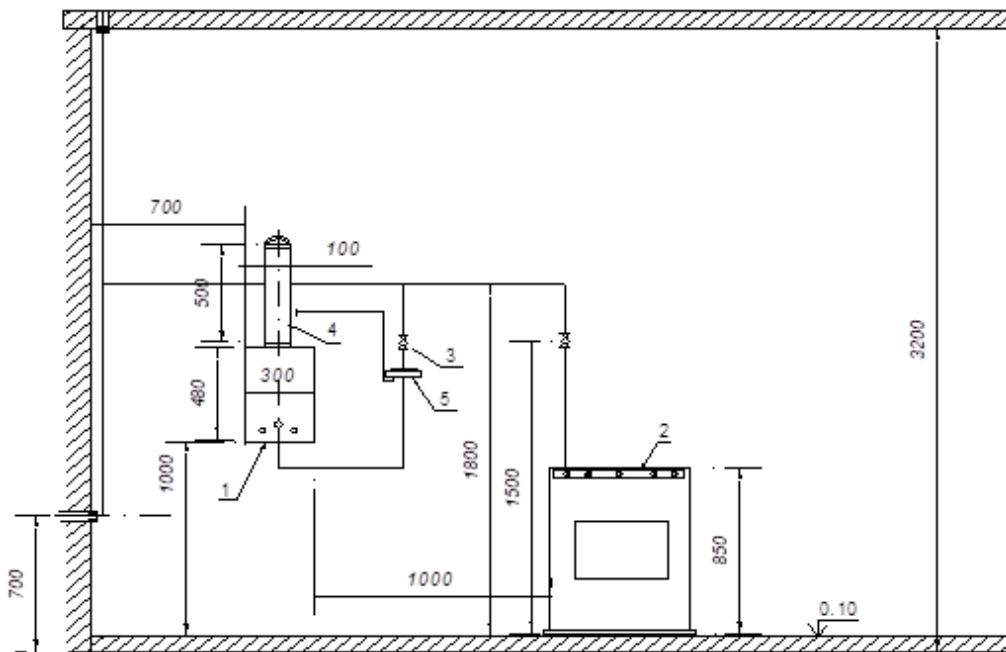


Рис. 5.3. Розташування газових приладів в кухні житлового будинку
 1 – водонагрівач проточний JSD06; 2 – плита газова ПГ-4; 3 – кран кульовий газовий; 4 – димохід; 5 – клапан-відсікач подачі газу

Плани цокольного та першого поверхів житлового будинку зображені на рис. 5.4 і 5.5. Аксонометрична схема внутрішніх газопроводів наведена на рис. 5.6.

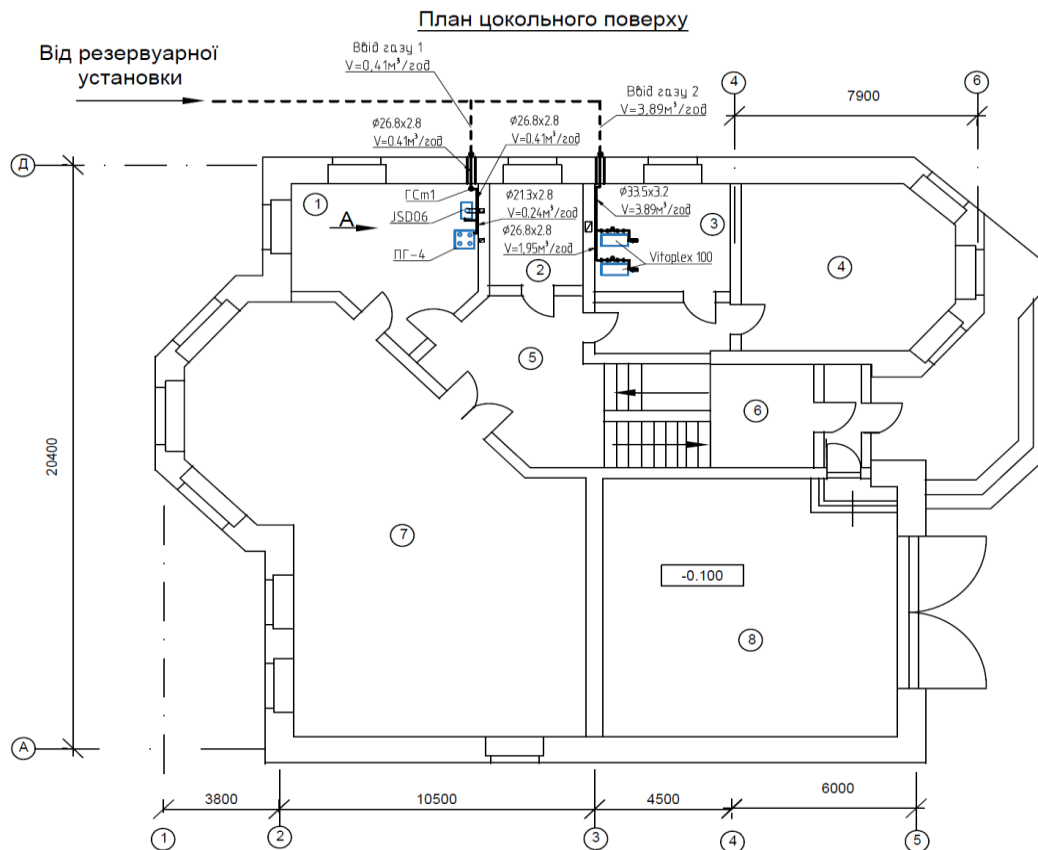


Рис. 5.4. План цокольного поверху

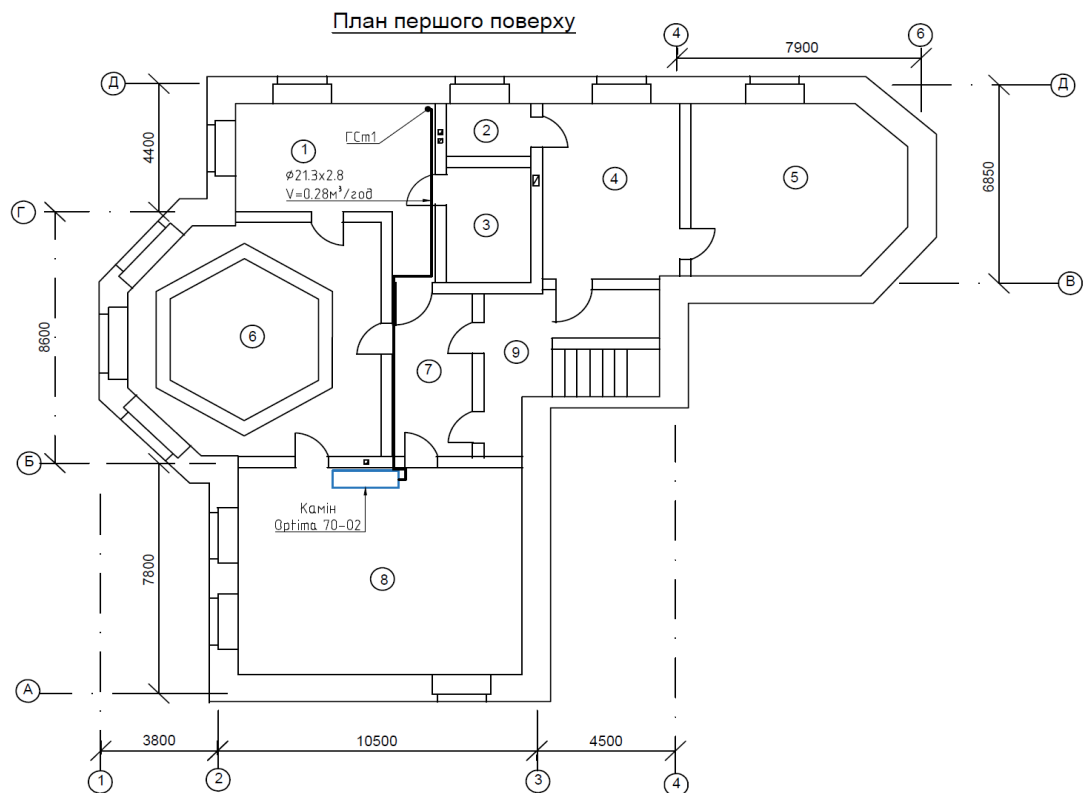


Рис. 5.5. План першого поверху

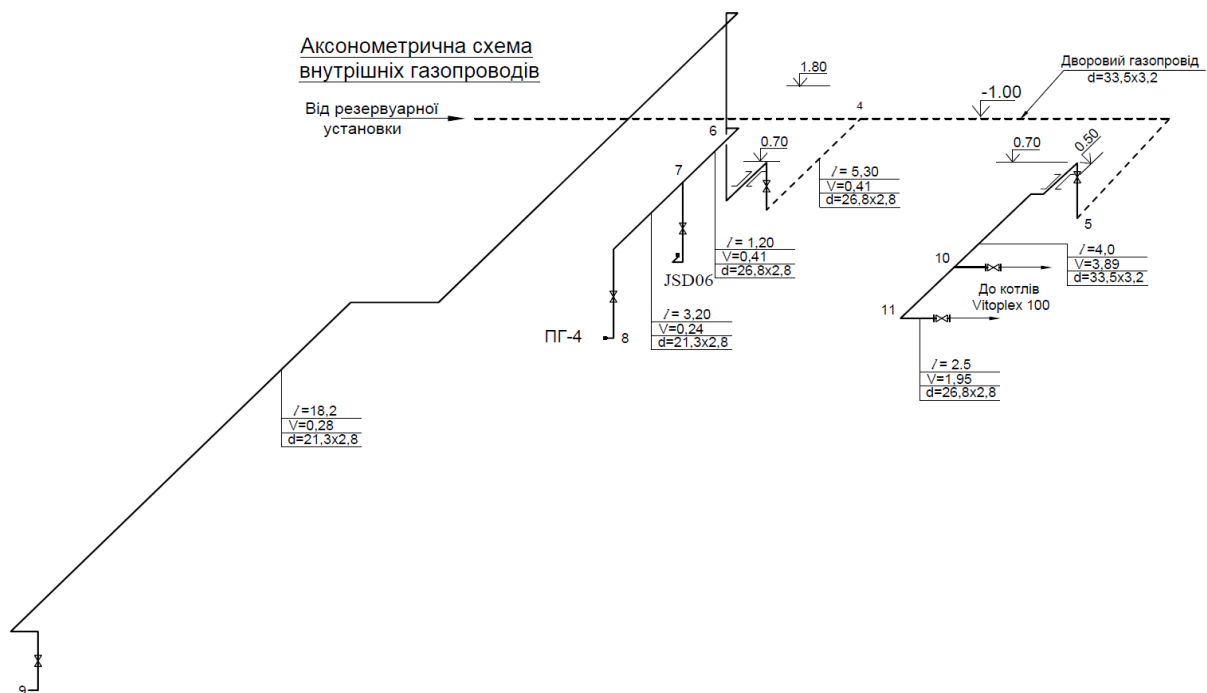


Рис. 5.6. Аксонетрична схема внутрішніх газопроводів

Робочі креслення системи газопостачання житлового будинку наведені на рис. 5.7.

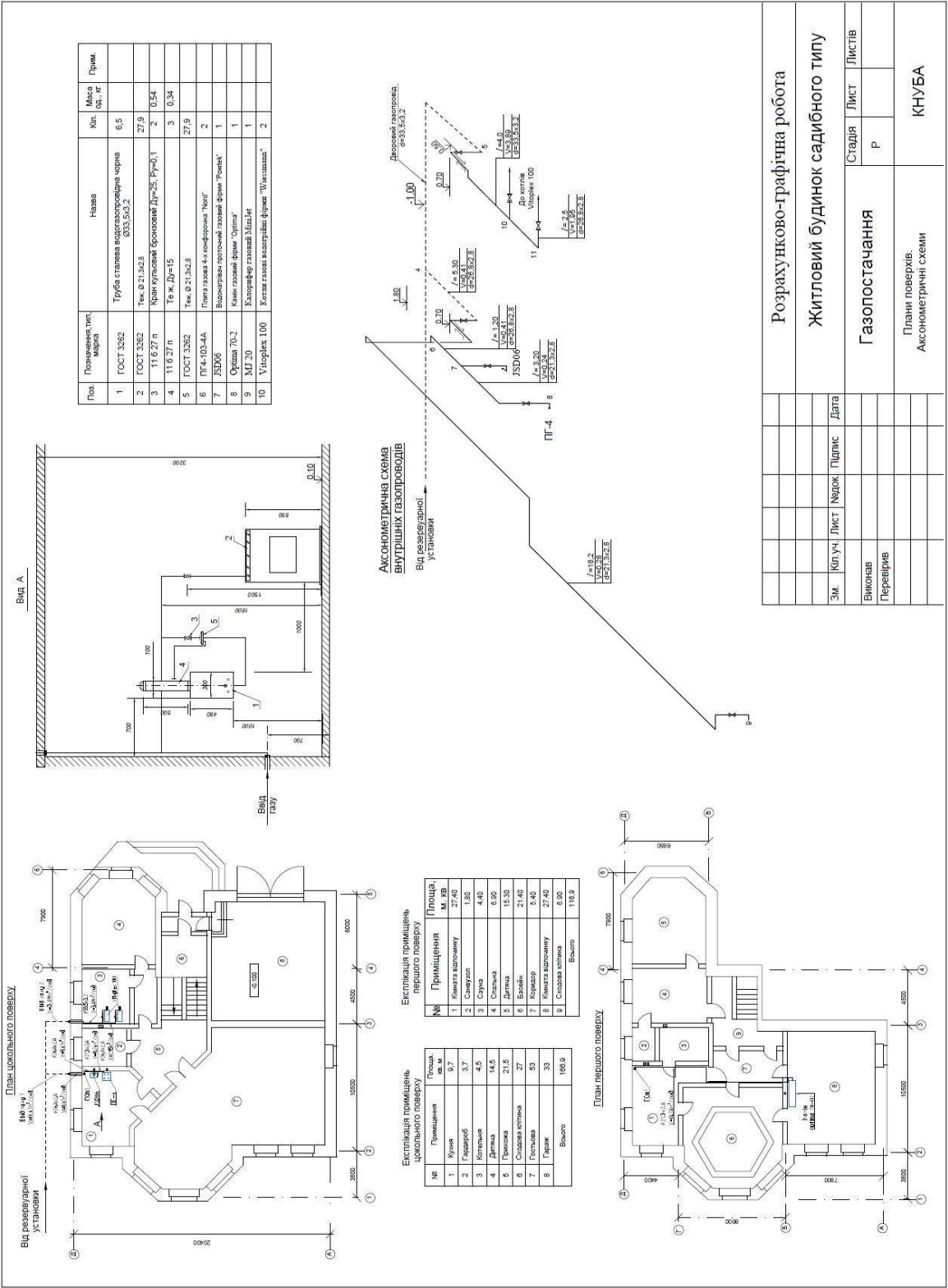


Рис. 5.7. Робочі креслення системи газопостачання житлового будинку

Гідравлічний розрахунок внутрішньобудинкових газопроводів виконано також методом питомих втрат тиску на тертя [14]. Тиск газу в точках підключення до дворового газопроводу прийнятий за результатами гідравлічного розрахунку дворового газопроводу (табл. 4.1). Результати гідравлічного розрахунку наведені у табл. 5.1.

Таблиця 5.1

Гідравлічний розрахунок внутрішньобудинкових газопроводів

Початкова	Кінцева	Витрата газу V , м ³ /год.	Геом. довжина ℓ_2 , м	Діаметр $D_3 \times S$, мм	Фактична питома втрата тиску R_ϕ , Па/м	Сума коеф. місц. опорів $\sum \xi$	Еквівалентна довжина ℓ_e , м	Розрахунок ва довжина ℓ_p , м	Розрахунок ва втрата тиску ΔP , Па	Тиск газу, Па	
										Початковий	Кінцевий
4	6	0,41	5,3	26,8×2,8	0,2	3,6	0,46	6,96	1,4	2518	2516
6	7	0,41	1,2	26,8×2,8	0,2	1,2	0,46	1,75	0,8	2516	2515
7	8	0,24	3,2	21,3×2,8	0,35	0,6	0,38	3,43	1,2	2515	2514
6	9	0,28	18,2	21,3×2,8	0,43	2,4	0,40	19,16	8,2	2516	2508
5	10	3,89	4,0	33,5×3,2	4,9	1,4	0,75	5,05	20,7	2482	2461
10	11	1,95	2,5	26,8×2,8	4,0	0,2	0,55	2,61	10,4	2461	2451

Практичне заняття 6

УСТАНОВКА ДЛЯ ОТРИМАННЯ БІОГАЗУ

Завдання. Визначити основні параметри установки для отримання біогазу.

В теплий період року, коли зникає потреба у теплопостачанні: опаленні і вентиляції, скраплений вуглеводневий газ частково або повністю може бути замінений штучним газом, який отримують із біологічних відходів – гною, продуктів життєдіяльності людей, соломи, бадилля рослин тощо. Невеликий біореактор може забезпечити безперебійну роботу окремих газових приладів, зокрема газової плити літньої кухні для приготування їжі та гарячої води [16].

Необхідна продуктивність біореактора визначається тепловим навантаженням плити та теплотворною здатністю газу. Біогаз на 50...70 % складається із метану з нижчою теплотою згоряння $Q_n^p = 35,84 \text{ МДж/м}^3$ і вуглекислоти – 28...43 %. Розподіл біогазу на біометан і вуглекислоту в умовах фермерського господарства, як правило, не здійснюється (при умові використання для власних потреб). Відповідно, в умовах даної задачі витрата біогазу визначається як:

$$V_c = \frac{3,6Q_{\text{ПГ-4}}}{\bar{Q}_n^c \times \eta_{\text{ПГ-4}}}, \text{ м}^3/\text{год.} \quad (6.1)$$

де $\bar{Q}_n^c$ – нижча теплота згоряння біогазу, МДж/м³; $Q_{\text{ПГ-4}}$ – теплова потужність газової плити, кВт.

Для визначеності приймемо, що протягом сезону експлуатації середній склад біогазу, наприклад, такий:

- метан – 60 %,
- вуглекислота – 40 %.

Тоді нижча теплота згоряння газу складе:

$$\bar{Q}_n^c = \frac{\sum \chi_i Q_i}{\sum \chi_i} = \frac{0,6 \times 35,84}{0,6 + 0,4} = 21,5 \text{ МДж/м}^3. \quad (6.2)$$

Теплопродуктивність пальників робочого столу газової плити ПГ-4 становить 7,3 кВт (див. пп. 1).

Максимальна витрата газу складе:

$$V_{62} = \frac{3,6 \cdot Q_{\text{ПГ-4}}}{\eta \cdot Q_p^H} = \frac{3,6 \cdot 7,3}{1 \cdot 21,5} = 1,22 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Будемо вважати, що вихідною речовиною, що ферментується в біореакторі, є гній великої рогатої худоби та свиней. Тоді середня продуктивність реактора складе приблизно $0,65 \text{ м}^3$ газу з 1 кг сухого гною [16].

З метою визначення необхідної ємкості біореактора приймемо, що у теплий період року споживання газу в літній кухні здійснюється протягом $5 \dots 6$ годин з коефіцієнтом годинної нерівномірності споживання $K_{\max}^h = 1.85$ [15]. Тоді середньодобове газоспоживання складе

$$\bar{V}_{\text{бг}} = \frac{V_{\text{бг}} \cdot \tau}{k_{\max}^h} = \frac{1,22 \cdot 6}{1,85} = 3,96 \text{ м}^3/\text{добу}. \quad (6.3)$$

Період експлуатації біоустановки приймемо протягом 180 діб. Тоді необхідна продуктивність установки повинна становити $713 \text{ м}^3/\text{рік}$. Для забезпечення виробництва такої кількості газу потрібно $713/0,650=1097 \text{ кг}$ ($1,1 \text{ т}$) сухого гною. Зважаючи, що густина сухої речовини рослинного походження становить орієнтовно $\rho=200 \dots 220 \text{ кг/м}^3$, об'єм біореактора повинен бути не меншим, чим $1097/200=5,48 \approx 5,5 \text{ м}^3$ (за умови одноразового вивантаження компосту).

Середня глибина закладання біореактора становить $2,5 \dots 3 \text{ м}$ (у т.ч. $0,5 \text{ м}$ від рівня ґрунту до поверхні реактора). Необхідні розміри камери ферментації при її об'ємі $5,5 \text{ м}^3$ складуть:

- висота – $2,0 \text{ м}$,
- діаметр – $2,0 \text{ м}$.

Відповідно, з певним запасом, об'єм камери ферментації становить $6,28 \text{ м}^3$, що перевищує розрахункову величину. Накопичувальна частина біореактора повинна забезпечити зберігання деякої частки газу з метою використання його в години максимального газоспоживання. Приймемо об'єм накопичувальної частини біореактора таким, щоб він забезпечував годинну витрату газу.

До установки приймемо біореактор з поплавковим газгольдером за схемою на рис. 6.1.

За наведеними розрахунками та прийнятою схемою біореактора розроблена система газопостачання з використанням біогазу (див. рис. 3.4). Аксонометрична схема газопроводу наведена на рис. 6.2.

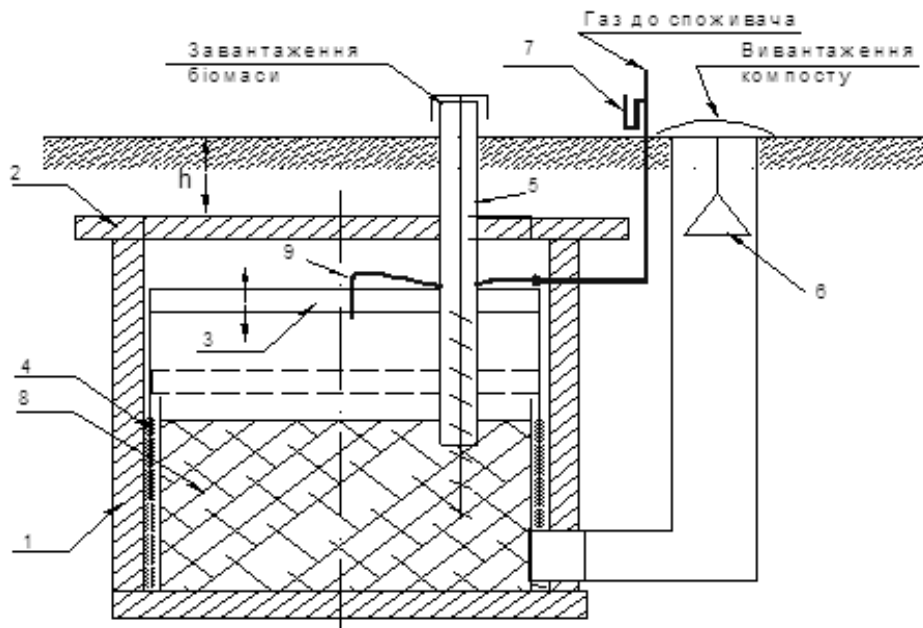


Рис. 6.1. Схема біореактора [16]:

- 1 – корпус; 2 – плита перекриття; 3 – поплавковий газгольдер;
 4 – гідрозатвор; 5 – завантажувальний отвір з перемішувачем;
 6 – отвір для вивантаження компосту; 7 – гідрозатвор;
 8 – зона метабіогенезу; 9 – газопровід

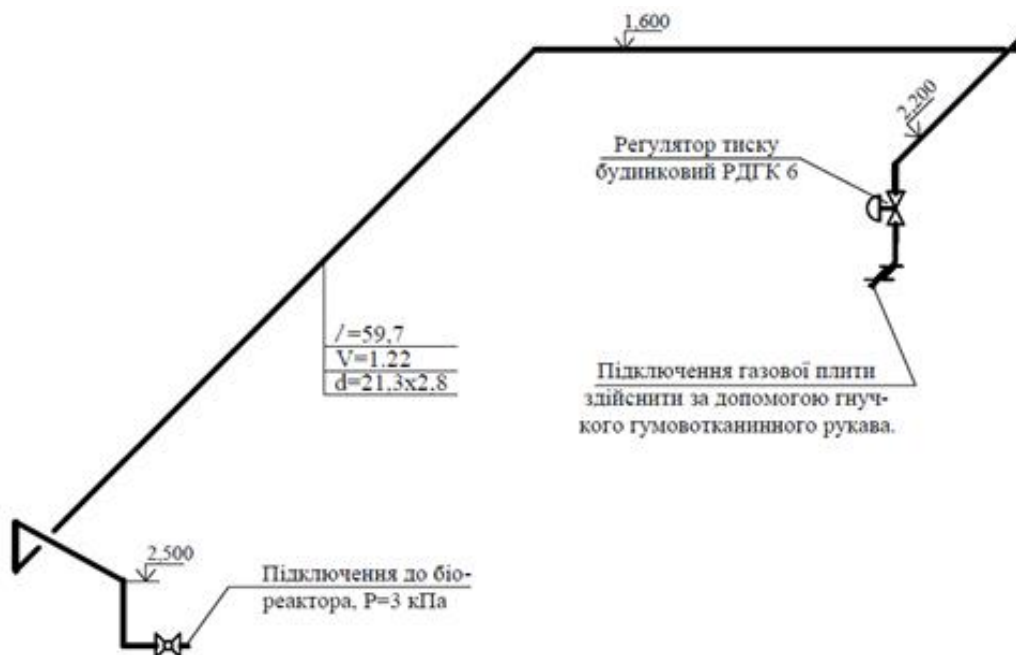


Рис. 6.2. Аксонометрична схема газопроводу

Розрахунок газопроводу виконано за стандартною методикою, наведеною в [1, 14]. Оскільки, за умовою, основними компонентами біогазу є метан і вуглекислота, то узагальнені характеристики суміші, визначені у відповідності із законом Дальтона, становлять:

– густина:

$$\rho_n^c = \frac{0,6 \times 0,72 + 0,4 \times 1,98}{0,6 + 0,4} = 1,224 \text{ кг/м}^3; \quad (6.4)$$

– коефіцієнт кінематичної в'язкості:

$$\nu = \frac{0,6 \cdot 14,7 \cdot 10^{-6} + 0,4 \cdot 7 \cdot 10^{-6}}{0,6 + 0,4} = 11,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}. \quad (6.5)$$

Розрахунок також ведемо методом питомих втрат тиску на тертя з використанням формул, вказаних в ДБН [1]. Результати розрахунку подані нижче.

- прийняте значення діаметру газопроводу: $D_y = 15 \text{ мм}$
($D_3 \times S = 21,3 \times 2,8 \text{ мм}$);
- швидкість руху газу в трубопроводі (на підставі рівняння нерозривності): $w = 1,75 \text{ м/с}$;
- число Рейнольдса: $Re = 2370$;
- сума коефіцієнтів місцевих опорів: відвід на $\alpha = 90^\circ$ – 9 шт
 $\xi = 9 \times 0,3 = 2,7$; кран пробковий газовий – 1 шт., $\xi = 4$,
разом $\sum \xi = 6,7$;
- еквівалентна довжина: $\ell_e = 0,39 \text{ м}$;
- розрахункова довжина: $\ell_p = 62,31 \text{ м}$;
- питомі втрати тиску на тертя: $R = 8,0 \text{ Па/м}$;
- втрати тиску $\Delta P_3 = 499 \text{ Па} \approx 500 \text{ Па}$.

Для регулювання і підтримання тиску біогазу перед плитою на рівні номінального $P_{ном} = 2000 \text{ Па}$, на вводі в будівлю передбачена установка будинковий регулятора тиску РДГК 6.

Перерахунок пальників на використання біогазу (конструктивні рішення газопальникових пристроїв призначені на спалювання СВГ).

В практиці проектування і експлуатації газові пальники досить часто доводиться використовувати газ з характеристиками, відмінними від розрахункових. Основною умовою при цьому залишається збереження незмінної теплової потужності при спалюванні різних видів газів, так як відношення кількостей повітря і газу в перерахунку на теплові одиниці також залишається сталим. При дотриманні цієї умови всі розміри пальників можуть залишатися

незмінними, за винятком розмірів газових сопел інжекційних пальників і газовипускних отворів пальників з примусовою подачею повітря.

Діаметри нових сопел при зміні характеристик газу знаходять за формулою [14]:

$$d_2 = d_1 \sqrt{\frac{Q_{P1}^H}{Q_{P2}^H}} \sqrt{\frac{P_1 \cdot \rho_2}{P_2 \cdot \rho_1}}, \text{ м} \quad (6.6)$$

де $d_1, Q_{P1}^H, P_1, \rho_1$ – відповідно, діаметр сопла, м, нижча теплота спалювання газу, МДж/м³, тиск, Па і густина СВГ, кг/м³, на який був розрахований пальник; $d_2, Q_{P2}^H, P_2, \rho_2$ – нові значення вказаних вище величин (для спалювання біогазу).

Відповідно, характеристики для СВГ: $Q_{P1}^H=108,57$ МДж/м³, $\rho_1=2,361$ кг/м³; для біогазу: $Q_{P2}^H=21,5$ МДж/м³, $\rho_2=1,224$ кг/м³. Значення тисків газу перед газопальниковим пристроєм для двох випадків прийнято однаковим – $P_1 = P_2 = 2000$ Па.

Тоді згідно формули (6.6) необхідно збільшити діаметр сопла як основного параметра при виконанні конструктивних розрахунків газопальникових пристроїв.

$$d_2 = d_1 \sqrt{\frac{108,57}{21,5}} \sqrt{\frac{2000 \cdot 1,224}{2000 \cdot 2,361}} = 1,9 d_1, \text{ м.}$$

Формулу (6.6) застосовують для всіх видів газів і всіх типів пальників, які оснащено стабілізаторами горіння. Для пальників без стабілізаторів (наприклад, інжекційних пальників низького тиску) вона прийнятна лише у випадку, коли нормальна швидкість розповсюдження полум'я нового газу відрізняється від аналогічного показника газу, на який був розрахований пальник, не більше чим на 20 %. При більших значеннях необхідно виконувати перерахунок вогневих каналів і отворів з перевіркою на відсутність явищ відриву і проскоку полум'я [6, 14, 15].

Практичне заняття 7
РОЗРАХУНОК ТА РОЗРОБКА СИСТЕМИ
ДИМОВИДАЛЕННЯ

Завдання. Визначити розміри та розмістити димові канали від побутових газових приладів (на прикладі проточного газового водонагрівача) у житловому будинку.

Необхідно запроектувати димохід для відведення продуктів спалювання від проточного газового водонагрівача типу JSD06 «RowTek» з характеристиками, які наведені у практичному занятті 2. Температура продуктів спалювання після тягоперервника $t_{n.cn.} = 110\text{ }^{\circ}\text{C}$. Мінімальний тиск газу перед пальником складає 50 % від номінального значення: $P_{min} = 0,5 \cdot P_{ном.} = 0,5 \cdot 2000 = 1000\text{ Па}$. Найбільш несприятливі умови для відведення продуктів спалювання існують в теплий період року при температурі навколишнього повітря $t_n = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ і значенні коефіцієнта надлишку повітря в димоході $\alpha = 2,8$. Теоретично необхідна кількість повітря для спалювання 1 м^3 скрапленого вуглеводневого газу з характеристиками, розрахованими у п.2, а саме $Q_p^H = 108,57\text{ МДж/м}^3$ і $\rho_{сум.} = 2,361\text{ кг/м}^3$, становить [14]:

$$V_o = \frac{1,13 \cdot Q_p^H}{4,187} = \frac{1,13 \cdot 108,57}{4,187} = 29,3\text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Димовідвідний тракт складається з приєднувальної металевої труби діаметром $d = 80\text{ мм}$ (виходячи з конструктивних розмірів водонагрівника) і каналу, який проходить спочатку у внутрішній цегляній стіні, а потім – на горищі. Металева приєднувальна труба має довжину горизонтальної ділянки $L_1 = 2,0\text{ м}$, вертикальної $L_2 = 0,3\text{ м}$ і три повороти під кутом 90 ° . Висота димоходу у внутрішній стіні до горища становить $L_3 = 5\text{ м}$, на горищі – $L_4 = 4\text{ м}$. Товщина стінки каналу дорівнює півцеглини.

1. Визначення об'єму продуктів спалювання [14].

При пониженному тиску газу $P_{min} = 1000\text{ Па}$ швидкість виходу газу із сопла становитиме

$$W_{min.} = \varphi \sqrt{\frac{2\Delta P_{min.}}{\rho_{сум.}}} = 0,8 \sqrt{\frac{2 \cdot 1000}{2,361}} = 23,3\text{ м/с},$$

(де φ – коефіцієнт, який враховує нерівномірність розподілу швидкостей потоку газу по площі сопла, можна приймати $\varphi = 0,8$),

а при номінальному:

$$W_{ном.} = 0,8 \sqrt{\frac{2 \cdot 2000}{2,361}} = 32,93 \text{ м/с.}$$

Площа перерізу сопла і його діаметр на підставі рівняння нерозривності в останньому випадку, відповідно, дорівнюють:

$$f = \frac{V_2}{3600 \cdot W_{ном.}} = \frac{0,35}{3600 \cdot 32,93} = 2,95 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

$$d = \sqrt{\frac{f}{0,785}} = \sqrt{\frac{2,95 \cdot 10^{-6}}{0,785}} = 1,94 \cdot 10^{-3} \cong 1,9 \text{ мм.}$$

Для цих умов витрата газу при мінімальному його тиску складає

$$\begin{aligned} V_{2min} &= 2 \cdot 3600 \cdot 0,785 \cdot d_1^2 \cdot W_{min} = \\ &= 2 \cdot 3600 \cdot 0,785 (1,9 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 23,3 = 0,238 \text{ м}^3/\text{год.}, \end{aligned}$$

а об'єм продуктів спалювання на виході з устя димаря

$$V_{min} = 0,238 (1 + 2,8 \cdot 29,3) = 19,76 \text{ м}^3/\text{год.}$$

При умові, що тиск газу буде дорівнювати номінальному $P = 2000 \text{ Па}$, витрата газу становить $V_2 = 0,35 \text{ м}^3/\text{год.}$, а об'єм продуктів спалювання

$$V = 0,35 (1 + 2,8 \cdot 29,3) = 29,06 \text{ м}^3/\text{год.}$$

2. Визначення поперечних перерізів димових каналів і швидкостей димових газів.

Поперечні перерізи димових каналів визначають, виходячи з попередньо прийнятої швидкості продуктів спалювання $W_2 = (1,5 \dots 2,0) \text{ м/с}$ при номінальних витраті газу і об'ємі продуктів спалювання, тобто $V_{ном.} = 29,06 \text{ м}^3/\text{год.}$

$$F^{необх.} = \frac{V_{ном.}}{3600 \cdot W_2} = \frac{29,06}{3600 \cdot 1,5} = 0,54 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2.$$

Канал у цегляній стіні розміром $140 \times 140 \text{ мм}$ має площу поперечного перерізу $F = 1,96 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$, що більше необхідного значення $F^{необх.} = 0,54 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$.

Тоді для прийнятої конструкції каналу в цегляній стіні розміром $140 \times 140 \text{ мм}$ швидкість димових газів становитиме:

а) при номінальному тиску газу (об'єм продуктів спалювання $V_{ном.} = 29,06 \text{ м}^3/\text{год.}$)

$$W_2 = \frac{V_{ном.}}{3600 \cdot F} = \frac{29,06}{3600 \cdot 1,96 \cdot 10^{-2}} = 0,41 \text{ м/с};$$

б) при пониженному тиску газу

$$W_3 = \frac{V_{\min.}}{3600 \cdot F} = \frac{19,76}{3600 \cdot 1,96 \cdot 10^{-2}} = 0,28 \text{ м/с.}$$

Швидкість продуктів спалювання в приєднувальній трубі діаметром $d=80$ мм при пониженному тиску газу дорівнює

$$W_2 = \frac{V_{\min.}}{3600 \cdot 0,785 \cdot d^2} = \frac{19,76}{3600 \cdot 0,785 \cdot 0,08^2} = 1,09 \text{ м/с.}$$

3. Визначення температури димових газів на виході в атмосферу

Згідно з технічною характеристикою температура продуктів спалювання на виході з водонагрівача дорівнює $t_o = 110$ °С. Температура навколишнього повітря становить $t_n = 20$ °С.

Згідно з даними табл. 2 додатку 15 [14] значення коефіцієнтів теплопередачі, Вт/ (м² · °С) становлять для:

- а) приєднувальної металевої неутепленої труби – $k_1 = 4,05$;
- б) димоходу у внутрішній цегляній стіні з товщиною стінки півцеглини – $k_2 = 2,44$;
- в) димоходу у зовнішній цегляній стіні з товщиною стінки півцеглини – $k_3 = 3,31$.

Внутрішня площа поверхні розрахункової ділянки димоходу дорівнює відповідно:

- а) $F_1 = \pi d (L_1 + L_2) = 3,14 \cdot 0,08 (2,0 + 0,3) = 0,58$;
- б) $F_2 = 2L_3(a_1 + a_2) = 2 \cdot 5 (0,14 + 0,14) = 2,8$;
- в) $F_3 = 2L_4(a_1 + a_2) = 2 \cdot 4 (0,14 + 0,14) = 2,24$ м².

Охолодження димових газів у металевій приєднувальній трубі (першій ділянці димовідвідного тракту)

$$\Delta t_1 = \frac{t_o - t_n}{\frac{0,384 \cdot V_{\min.}}{k_1 \cdot F_1} + 0,5} = \frac{110 - 20}{\frac{0,384 \cdot 19,76}{4,05 \cdot 0,58} + 0,5} = 24,13 \text{ °С.}$$

Температура продуктів спалювання на вході в канал у цегляній стіні (початку другої ділянки димовідвідного тракту):

$$t_1 = t_o - \Delta t_1 = 110 - 24,13 = 85,87 \text{ °С.}$$

Охолодження димових газів у внутрішньому димоході (другій ділянці), який проходить в межах кондиціонованого об'єму будівлі:

$$\Delta t_2 = \frac{85,87 - 20}{\frac{0,384 \cdot 19,76}{2,44 \cdot 2,8} + 0,5} = 40,89 \text{ °С.}$$

Температура продуктів спалювання в кінці внутрішнього у цегляній стіні димоходу:

$$t_2 = t_1 - \Delta t_2 = 85,87 - 40,89 = 44,97 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Охолодження продуктів спалювання у зовнішньому димоході (на горіщі) – третій ділянці димовідвідного тракту:

$$\Delta t_3 = \frac{44,97 - 20}{\frac{0,384 \cdot 19,76}{3,31 \cdot 2,24} + 0,5} = 16,39 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Температура продуктів спалювання в усті димаря дорівнює

$$t_3 = t_2 - \Delta t_3 = 44,97 - 16,39 = 28,58 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Середня температура димових газів у димовідвідному тракті

$$\bar{t} = \frac{110 + 28,58}{2} = 69,29 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

4. Визначення величин тяги

Сумарна довжина вертикальних ділянок димового тракту становить:

$$H = L_2 + L_3 + L_4 = 0,3 + 4 + 5 = 9,3 \text{ м}.$$

Величину тяги, що утворюється вертикальними ділянками димоходу, вираховують за формулою [14]:

$$\begin{aligned} \Delta P_m &= 0,0345 \cdot H \cdot \left(\frac{1}{273 + t_n} - \frac{1}{273 + \bar{t}} \right) \cdot B = \\ &= 0,0345 \cdot 9,3 \cdot \left(\frac{1}{273 + 20} - \frac{1}{273 + 69,29} \right) \cdot 99000 = 15,6 \text{ Па}, \end{aligned}$$

де B – барометричний тиск газу, Па (у даній задачі прийнято $B = 99000$ Па).

5. Визначення втрат тиску:

– по довжині за рахунок тертя:

Втрати тиску на тертя знаходять згідно з формулою (2.14) [14]. В приєднувальній трубі середня температура димових газів становить:

$$\bar{t}_1 = \frac{t_0 + t_1}{2} = \frac{110 + 85,87}{2} = 97,94 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Згідно з даними табл.3 додатку 15 [14] значення коефіцієнту гідравлічного тертя для окисдованих металевих труб складає $\lambda_1 = 0,04$. Густина продуктів спалювання прийнята рівною $\rho_{n.cn.} = 1,5 \text{ кг/м}^3$. Тоді:

$$\Delta P_1 = \frac{\lambda_1 \cdot (L_1 + L_2) W_3^2}{d \cdot 2 \cdot \rho_{np.cn.}} \cdot \frac{273 + \bar{t}_1}{273} = \frac{0,04 \cdot 2,3}{0,08} \cdot \frac{1,09^2}{2} \cdot \frac{273 + 97,94}{273} = 1,4 \text{ Па}.$$

Для каналу в цегляній стіні, відповідно:

$$\bar{t}_2 = \frac{85,87 + 28,58}{2} = 57,23^\circ\text{C} \quad \text{і} \quad \lambda_2 = 0,04.$$

$$\Delta P_2 = \frac{0,04 \cdot (4 + 5)}{0,14} \cdot \frac{0,28^2}{2} \cdot 1,5 \cdot \frac{273 + 57,23}{273} = 0,2 \text{ Па}.$$

$$\Sigma \Delta P_1 = \Delta P_1 + \Delta P_2 = 1,4 + 0,2 = 1,6 \text{ Па}.$$

– в місцевих опорах:

Втрати тиску в місцевих опорах знаходять за формулою (2.17) [14]. Значення коефіцієнтів місцевих опорів приймають по даним табл. 4 додатку 15 [14].

Для приєднувальної металевої труби місцевими опорами є:

- 1) вхід в приєднувальну трубу з тягопереривника – $\xi_1 = 0,5$;
- 2) три повороти під кутом 90° – $\xi_2 = 3 \cdot 0,9 = 2,7$;
- 3) вхід в цегляний канал з поворотом під кутом 90° – $\xi_3 = 1,2$.

Сума складає $\Sigma \xi = 0,5 + 2,7 + 1,2 = 4,4$.

Для цегляної труби місцевим опором є вихід з димоходу $\xi_4 = 1,5$.

Втрати тиску в приєднувальній трубі:

$$\Delta P_3 = \Sigma \xi \frac{W_3^2}{2} \rho_{np.cn.} \cdot \frac{273 + \bar{t}_1}{273} = 4,4 \frac{1,09^2}{2} \cdot 1,5 \cdot \frac{273 + 97,94}{273} = 5,3 \text{ Па}.$$

Теж, в цегляному каналі:

$$\Delta P_4 = 1,5 \frac{0,28^2}{2} \cdot 1,5 \cdot \frac{273 + 57,23}{273} = 0,1 \text{ Па}.$$

$$\Sigma \Delta P_2 = \Delta P_3 + \Delta P_4 = 5,3 + 0,1 = 5,4 \text{ Па}.$$

6. Визначення розрідження в топці газового приладу

$$\Delta P_p = \Delta P_m - (\Sigma \Delta P_1 + \Sigma \Delta P_2) = 15,6 - (1,6 + 5,4) = 8,6 \text{ Па},$$

що перевищує мінімально необхідне значення $\Delta P_{min} = 2...3 \text{ Па}$.

Таким чином, димовідвідний тракт від ВПГ забезпечить у теплий період року при пониженому тиску газу безаварійну роботу газового приладу.

Список використаної та рекомендованої літератури

1. ДБН В.2.5-20-2018. Газопостачання (з урахуванням зміни №1) / Мінрегіон України. – Київ: Мінрегіон України, 2019. – 113 с. – Чинні з 01.07.2019.
2. ДБН В.2.2-15:2019. Будинки і споруди. Житлові будинки. Основні положення. Зі Зміною № 1. – Київ: Мінрегіон України, 2022. – Чинні з 01.09.2022. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=59627 (дата звернення: 10.01.2025).
3. ДБН 2.2-9:2018. Будинки і споруди. Громадські будинки та споруди. Основні положення. Зі Зміною № 1. – Київ: Мінрегіон України, 2022. – Чинні з 01.09.2022. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-age.html?id_doc=82012 (дата звернення: 10.04.2025).
4. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. – Київ: Мінрегіон України, 2022. – 23 с. – Чинні з 01.09.2022.
5. НАПБ А.01.001-2014. Правила пожежної безпеки в Україні. Із змінами і доповненнями.– Затв. Наказом МВС України 30 грудня 2014 року №1417. – Чинні з 14.08.2024. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=60541 (дата звернення: 10.04.2025).
6. НПАОП 0.00-1.76-15. Правила безпеки систем газопостачання. – Затв. Наказом Міненерго та вугільної пром.-сті України 15 травня 2015 року № 285.- Чинний з 07.07.2015. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=60957 (дата звернення: 10.04.2025).
7. ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. – Київ: Мінрегіон України, 2016. – Чинний з 01.01.2017. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=65419 (дата звернення: 10.04.2025).
8. ДСТУ 3245-95. Балони сталі зварні для скраплених вуглеводневих газів на тиск до 1,6 МПа. Загальні технічні умови (з урахуванням зміни №1). Київ: Держстандарт України, 2004. – URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/document.html?id_doc=51034 (дата звернення: 10.04.2025).

9. ДСТУ 4047-2001. Гази вуглеводневі скраплені паливні для комунально-побутового споживання. Технічні умови. Зі зміною №1. – Київ: Держстандарт України, 2014. – 21 с. – Чинний з 2014-01-01. URL:

https://online.budstandart.com/ua/catalog/document.html?id_doc=62241 (дата звернення: 10.04.2025).

10. ДСТУ ГОСТ 22985:2018. Гази вуглеводневі скраплені. Метод визначення сірководню, меркаптанової сірки та сіркоокису вуглецю (ГОСТ 22985-2017, IDT). – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2018. – Чинний з 01.10.2018. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=78573 (дата звернення: 10.04.2025).

11. ДСТУ EN ISO 8973:2013 Гази нафтові скраплені. Розрахунковий метод визначення густини і тиску пари (EN ISO 8973:1999, IDT). – Київ: Мінекономрозвитку України, 2014. – Чинний з 01.07.2014. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=59285 (дата звернення: 10.04.2025).

12. ДСТУ EN 14570:2015. Устаткування та пристрої для скрапленого газу. Оснащення надземних і підземних посудин для скрапленого газу (EN 14570:2014, IDT). – Чинний від 2016.01.01. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79835 (дата звернення: 10.04.2025).

13. Наказ Міністерства розвитку громад та територій України від 27 жовтня 2020 р. №260 «Про затвердження мінімальних вимог до енергетичної ефективності будівель», зареєстровано в Міністерстві юстиції України від 18 грудня 2020 р. за №1257/35540. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1257-20#Text> (дата звернення: 10.04.2025).

14. Єнін П.М. Газопостачання населених пунктів і об'єктів природним газом: навч. посібник. / П.М. Єнін, Г.Г. Шишко, К.М. Предун. – Київ: Логос, 2002. – 198 с.

15. Ткаченко В.А. Газопостачання: підручник. / В.А. Ткаченко, О.М. Склярченко. – Київ: ІВНВКП «Укреліотех», 2012. – 588 с.

16. Предун К. М. Автономні системи газопостачання: конспект лекцій / К. М. Предун. – Київ: Видавництво Ліра-К, 2025. – 86 с.

17. Предун К.М. Формування професійних компетентностей щодо обліку енергоносіїв у житлово-комунальному господарстві на

основі постулатів сучасного концепту «Enviromental economics». / К.М. Предун, О.Б. Почка, О.К. Кушнір. // Актуальні проблеми освітнього процесу в контексті європейського вибору України: матеріали VII Міжнародної конференції, 14 листопада 2024 року. – Київ: Видавництво Ліра-К, 2025. – С. 369-373.

18. Предун К.М., Дудніков О.А., Почка О.Б. Еколого-економічні розрахунки систем енергозабезпечення будівель і споруд: методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи. – Київ: КНУБА, 2023. – 60 с.

19. Предун К.М. Еколого-економічна оцінка систем енергозабезпечення будівель і споруд. / К.М. Предун, О.Б. Почка, О.К. Кушнір. // V Міжнародна науково-технічна конференція «Актуальні проблеми енерго-ресурсозбереження та екології», 13-14 грудня 2023 року. – Одеса: Одеська державна академія будівництва та архітектури, 2023. С. 137-140.

20. Предун К.М. Аналіз галузевих трансформацій як передумови формування і розвитку біосферосумісності в енергетиці. / К.М. Предун, О.К. Кушнір, О.Б. Почка, // Ефективна економіка. – № 8. – 2024. – DOI: 10.32702/2307-2105.2024.8.25.

21. Предун К.М. Рекомендації щодо системного оновлення стратегії розвитку енергетичної галузі України. / К.М. Предун, О.Б. Почка, О.К. Кушнір. // III Міжнародна науково-практична конференція «Енергоефективне місто. XXI століття», 14-15 листопада 2024 року. – Одеса: Одеська державна академія будівництва та архітектури, 2024. – С. 30-32.

22. Предун К.М. Ефективне використання ресурсів газового палива / Г.В. Жук, С.П. Крушневич, К.М. Предун та інші. – Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції «Актуальні проблеми енергоресурсозбереження та екології». – Одеса: ОДАБА. 2021. – С. 27.

ДОДАТКИ

Додаток А

Сортамент труб, які застосовують для будівництва газопроводів

Таблиця А.1

Труби сталеві водогазопровідні ГОСТ 3262-75* [14]

Умовний діаметр d_v , мм	Зовнішній діаметр d_z , мм	Товщина стінки S , мм	Маса 1 м, кг
15	21,3	2,8	1,28
20	26,8	2,8	1,66
25	33,5	3,2	2,39
32	42,3	3,2	3,09
40	48,0	3,5	3,84
50	60,0	3,5	4,88
80	88,5	4,0	8,34
100	114,0	4,5	12,15

Таблиця А.2

Труби сталеві електрозварні прямошовні ГОСТ 10704-91 і ГОСТ 10705-80 [14]

Умовний діаметр d_v , мм	Зовнішній діаметр d_z , мм	Товщина стінки S , мм	Маса 1 м, кг
25	32	2,0/3,0*	1,48/2,15**
32	38	2,0/3,0	1,78/2,59
40	45	2,0/3,0	2,12/3,11
50	57	3,0	4,0
70	76	3,0	5,4
80	89	3,0	6,36
100	102	3,0	7,32
125	127	3,0	9,17
150	152	3,2	11,74
150	159	4,5	17,15
200	219	6,0	31,52
250	273	7,0	49,52
300	325	8,0	62,54
400	426	8,0	82,47
500	530	8,0	102,99

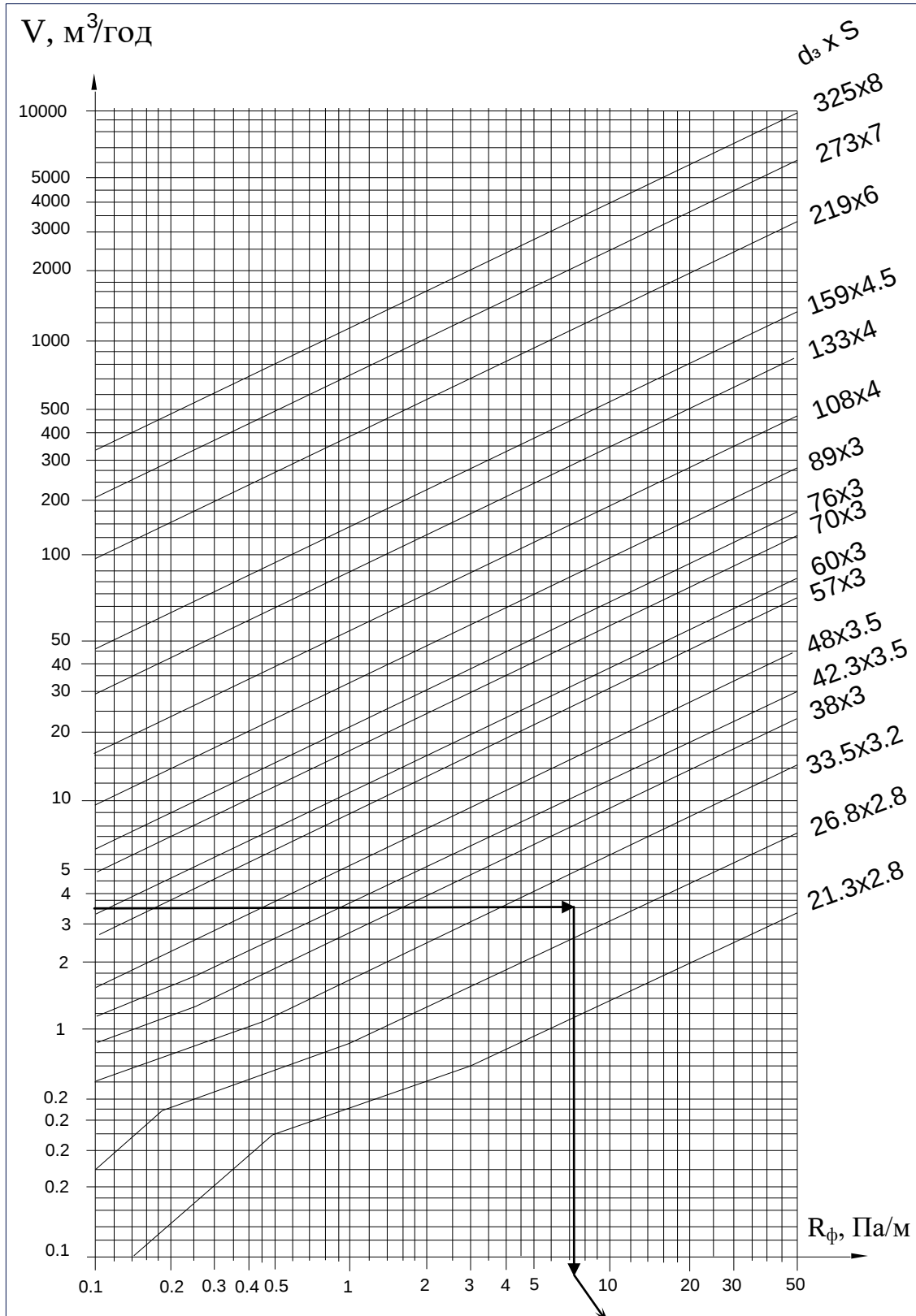
Примітки:

* – Товщина стінки трубопроводу: числівник – при наземному (надземному) прокладанні, знаменник – при підземному прокладанні.

** – Маса 1 м трубопроводу: числівник – при наземному (надземному) прокладанні, знаменник – при підземному прокладанні.

**Номограма для визначення питомих втрат тиску
в газопроводах низького тиску із сталевих труб [15]**

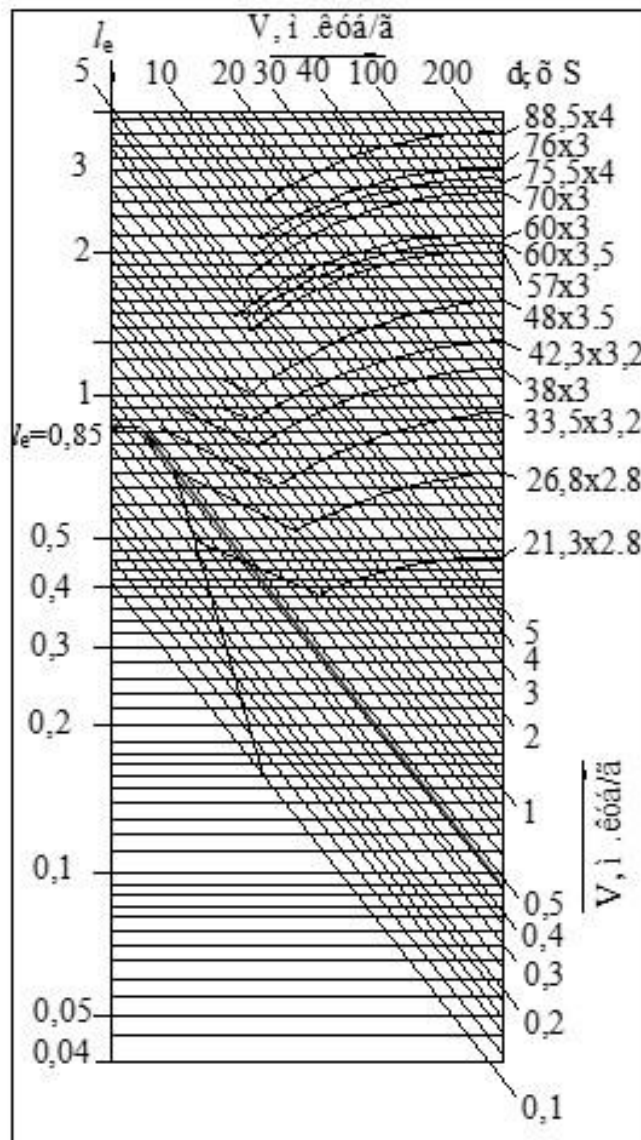
Пропан, $\rho=2 \text{ кг/м}^3$, $\nu=3,7 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$



Відповідь $R_\phi=7,2 \text{ Па/м}$

Додаток В

Номограма для визначення еквівалентних довжин газопроводів [15]

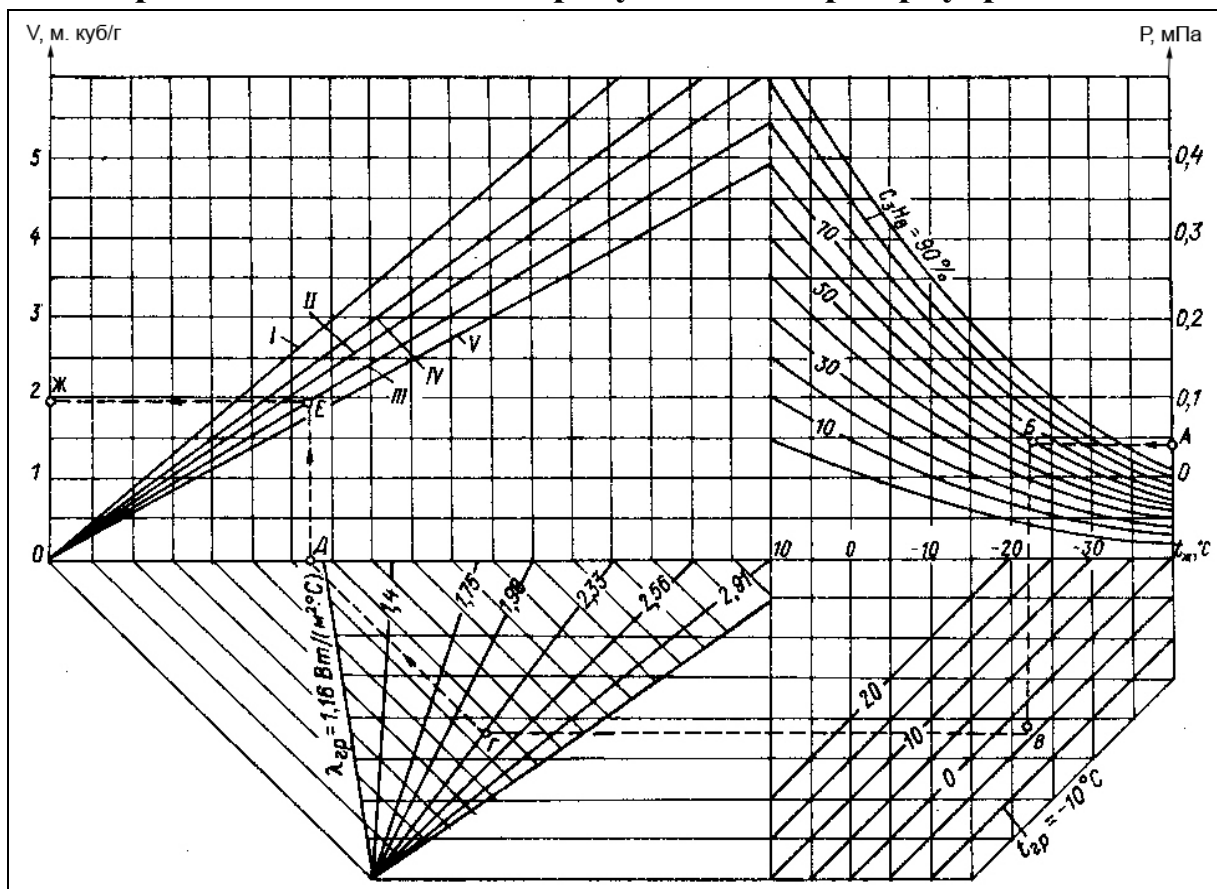


Додаток Г

Коефіцієнти місцевих опорів при турбулентному русі газу [15]

Вид місцевого опору	Значення	Вид місцевого опору	Значення
1. Відводи 90°: - гнуті плавні - зварні сегментні	0,20...0,15 0,25...0,20	5. Раптове розширення 6. Раптове звуження 7. Дифузор	0,6...0,25 0,4 0,25...0,8
2. Кран пробковий	3,0...2,0	8. Конфузор	0,25...0,3
3. Засувки: - паралельна - клинова	0,25...0,5 1,3...1,5	9. Трійники: - злиття потоків - розділення потоків	1,7 1,0
4. Збірники конденсату	0,5...2,0	10. Гідрозатвори	1,5...3,0

Номограма для визначення продуктивності резервуарів СВГ [15]



- I – резервуар 5 м³, заповнення 85 %;
- II – резервуар 5 м³, заповнення 50 %;
- III – резервуар 5 м³, заповнення 35 % та резервуар 2,5 м³, заповнення 50 %;
- IV – резервуар 2,5 м³, заповнення 85 %;
- V – резервуар 2,5 м³, заповнення 35 %
- середньорічна температура ґрунту $t_{гр}$, °C (т. В);
- тиск газу в резервуарі P_p , МПа (т. А);
- теплопровідність ґрунту λ , Вт/(м·К) (т. Г);
- вміст пропану у СВГ, % (т. Б);
- об'єм резервуару, обсяг заповнення рідкою фазою (т. Е);
- паропроductивність, м³/год. (т. Ж).

Додаток Е

Довідкові дані для розрахунку димоходів [14]

Таблиця Е.1

Технічна характеристика побутових газових приладів і
опалювальних апаратів

Показник	Один. виміру	Тип приладу						
		ВПГ- 18	ВПГ- 23,2	АОГВ- 29	АГВ- 80	АГВ- 120	АОГВ- 11,6	АОГВ- 17,4
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Теплова потужність	кВт	18,0	23,2	29,0	6,98	13,98	11,63	17,45
2. Температура продуктів спалювання	°С	190	170	170	140	180	160	180
3. Розрідження в димоході (необх.)	Па	3						
4. Коефіцієнт надлишку повітря	—	2,5	2,5	2,5	3,0	2,5	2,5	2,5
5. Температура точки роси	°С	46	46	46	42	46	44	46

Таблиця Е.2

Значення коефіцієнта теплопередачі для стінок димоходу,
віднесене до внутрішньої поверхні

Тип димоходу	Коефіцієнт теплопередачі, Вт/м ²⁰ С
1. Зовнішня димова труба товщиною стінки в одну цеглину перерізом: а) 270х270 мм б) 140х140 мм	3,35-3,75 3,95-4,53
2. Димоходи в цегляній стіні над покрівлею, товщина димоходу півцеглини	3,13-3,48
3. Димоходи в стіні з товщиною стінки димоходу півцеглини	2,32-2,56
4. Неутеплена сталева приєднувальна труба	3,48-4,65
5. Приєднувальна сталева труба, теплоізольована S = 3 мм	2,90-3,84

Таблиця Е.3

Значення коефіцієнтів гідравлічного тертя

Тип димоходу	Коефіцієнт тертя
1. Цегляні канали і труби	0,04
2. Металеві труби	0,02
3. Металеві окисовані труби	0,04

Таблиця Е.4

Значення коефіцієнтів місцевих опорів

Вид місцевого опору	Коефіцієнт місцевого опору
1. Вхід у приєднувальну трубу з тягоперервника	0,5
2. Поворот під кутом 90^0	0,9
3. Раптове розширення потоку при входженні в цегляний димохід і поворот під кутом 90^0	1,2
4. Вихід з димоходу	1,5-2,5

Навчально-методичне видання

АВТОНОМНІ СИСТЕМИ ГАЗОПОСТАЧАННЯ

Методичні вказівки
до виконання практичних занять для студентів спеціальності
G19 «Будівництво та цивільна інженерія»
за освітньо-професійною програмою
«Теплогазопостачання і вентиляція»

Укладачі: **ПРЕДУН** Костянтин Миронович
ЖУК Геннадій Віліорович
ПОЧКА Ольга Богданівна

Комп'ютерне верстання О.Б. Почка

Підписано до друку 04.05.2025 р. Зам. № 505.
Формат 60x84 1/16. Папір офсетний. Друк – цифровий.
Наклад 50 прим. Ум. друк. арк. 4,9.
Друк ЦП «КОМПРИНТ». Свідоцтво ДК №4131 від 04.08.2011 р.
м. Київ, вул. Васильківська, 32
067-209-54-30, 097-533-18-07
email: komprint@ukr.net