

Міністерство освіти і науки України
Одеський національний технологічний університет

ННІ Холоду, кріотехнологій та екоенергетики ім. В.С. Мартиновського

Кафедра Нафтогазових технологій, інженерії та теплоенергетики

Ступінь вищої освіти Бакалавр

Спеціальність 185 Нафтогазова інженерія та технології

Освітня програма Нафтогазова інженерія та технології



КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

на тему Проект реконструкції зовнішньої мережі газопостачання
індивідуальної житлової забудови в м. Одеса

Здобувач Фендик А.В.

Керівник проф. Дорошенко В.М.

Консультанти: проф. Басюркіна Н.І.

доц. Кологривов М.М.

Кваліфікаційна робота допускається до захисту

Рішення кафедри від 10 червня 2026 року протокол № 12

В.о. завідувача кафедри НТІТ Олександр ТІТЛОВ

Одеса - 2026 рік

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ННІ Холоду, кріотехнологій та екоенергетики ім. В.С. Мартиновського

Кафедра Нафтогазових технологій, інженерії та теплоенергетики

Ступінь вищої освіти Бакалавр

Спеціальність 185 Нафтогазова інженерія та технології

Освітня програма Нафтогазова інженерія та технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри д.т.н., проф. Тітлов О.С.

«02» лютого 2026 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Фендик Андрій Вадимович

1. Тема роботи Проект реконструкції зовнішньої мережі газопостачання
індивідуальної житлової забудови в м. Одеса

Затверджена наказом ОНТУ від 30.01.2026 р. наказ № 51-03

2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи 10.06.2026 р.

3. Вихідні дані роботи

Площа району 13,5 га; кількість будинків 170; максимальна добова витрата газу
1640 м³/год; абсолютний тиск на початку 104325 Па; допустимий перепад тиску
1200 Па; температура газу 280 К; густина газу 0,72 кг/м³; шорсткість труб 0,002 см.

4. Перелік питань, які потрібно розробити

Вибір типу газової мережі за тиском та матеріалом труб; розробка конфігурації
мережі; визначення витрат газу (шляхових, транзитних, розрахункових);
гідравлічний розрахунок мережі з визначенням діаметру трубопроводів; проведення
гідравлічної ув'язки контурів; підбір обладнання регуляторного пункту.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Аркуш 1. Схема газової мережі

Аркуш 2. Принципова схема ГРПШ

Аркуш 3. Загальний вигляд ГРПШ

Аркуш 4. Блискавкозахист ГРПШ

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання видав
Розділ охорони праці	доц. Кологривов М.М.		
Економічний розділ	проф. Басюркіна Н.І.		
Нормоконтроль	доц. Кологривов М.М.		

7. Дата видачі завдання 02.02.2026 р.

Керівник _____ Дорошенко В.М.

Завдання прийняв до виконання _____ Фендик А.В.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літературних джерел, методик розрахунків, підготовка структури роботи	01.03-10.03.26	
2	Підготовка теоретичного розділу роботи	11.03-21.03.26	
3	Підготовка проєктного розділу роботи	22.03-22.04.26	
4	Підготовка розділу з охорони праці	23.04-30.04.26	
5	Підготовка економічного розділу	01.05-07.05.26	
6	Оформлення пояснювальної записки кваліфікаційної роботи	08.05-11.05.26	
7	Підготовка графічної частини роботи	12.05-23.05.26	
8	Підготовка презентації та доповіді	24.05-31.05.26	
9	Відгук керівника, рецензування, підготовка до захисту кваліфікаційної роботи	01.06-08.06.26	

Здобувач-дипломник _____ Фендик А.В.

Керівник роботи _____ Дорошенко В.М.

Несу відповідальність за ідентичність електронного та друкованого варіантів кваліфікаційної роботи, даю згоду на обробку персональних даних та не заперечую проти розміщення кваліфікаційної роботи на офіційних web-ресурсах ОНТУ.

Підтверджую, що в кваліфікаційній роботі відсутні порушення норм академічної доброчесності.

Здобувач-дипломник _____ Фендик Андрій Вадимович _____

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота складається з: 81 сторінок друкованого тексту, 7 рисунків, 19 таблиць, 20 посилань на джерела.

У кваліфікаційній роботі розроблено проєкт реконструкції застарілої газорозподільної мережі низького тиску приватного сектору із переведенням її на кільцеву схему. Обґрунтовано доцільність заміни зношених сталевих трубопроводів на сучасні поліетиленові аналоги. Виконано гідравлічний розрахунок газової мережі, здійснено ув'язку контурів та підібрано оптимальні діаметри труб для забезпечення стабільного тиску в умовах нерівномірного споживання. На основі розрахункових витрат газу проведено вибір регулятора тиску для шафового газорегуляторного пункту. Приділено увагу безпеці виконання будівельно-монтажних робіт, питанням охорони праці та оцінці техніко-економічної ефективності впроваджених рішень.

Ключові слова: газопостачання, газова мережа, газорегуляторний пункт

ABSTRACT

Qualification work consists of 81 pages of printed text, 7 figures, 19 tables, 20 references.

The qualification thesis develops a project for the reconstruction of an obsolete low-pressure gas distribution network in a residential private sector, converting it into a ring topology. The feasibility of replacing worn-out steel pipelines with modern polyethylene counterparts is substantiated. A hydraulic calculation of the gas network has been performed, alongside loop balancing and the selection of optimal pipe diameters to ensure stable pressure under non-uniform consumption conditions. Based on the calculated gas flow rates, a pressure regulator for a cabinet gas regulating station was selected. Attention is paid to the safety of construction and installation works, occupational health and safety issues, and the evaluation of the technical and economic efficiency of the implemented solutions.

Keywords: gas supply, gas network, gas control unit

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	9
1.1 Фізичні властивості природного газу, що використовується в системах газопостачання населених пунктів	9
1.2 Структури систем газопостачання населених пунктах	11
1.3 Газопостачання приватних будинків	13
1.4 Газопроводи низького тиску.....	15
1.5 Нормування витрат природного газу.....	17
1.5.1 Нормативні вимоги визначення розрахункових витрат газу при проєктуванні газової мережі.....	20
1.5.2 Розрахунок витрат газу на господарсько-побутові потреби населення..	29
1.5.3 Розрахунок витрат газу на опалення житлових і громадських будівель	29
1.5.4 Розрахунок витрат газу на вентиляцію громадських будівель	31
1.5.5 Розрахунок витрат газу на централізоване гаряче водопостачання.....	33
1.6 Реконструкція існуючої газової мережі	34
2 ПРОЄКТНИЙ РОЗДІЛ.....	37
2.1 Проєктування кільцевої газової мережі низького тиску. Вихідні дані та постановка задачі	37
2.2 Проєктний розрахунок кільцевої газової мережі низького тиску	39
2.3 Гідравлічна ув'язка контурів газової мережі.....	49
2.4 Газорегуляторний пункт мережі	57
3 РОЗДІЛ З ОХОРОНИ ПРАЦІ	61

3.1 Аналіз умов праці та організація безпечного ведення робіт при реконструкції мереж.....	61
3.2 Технічні заходи безпеки при монтажі та зварюванні газопроводів	62
4 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	65
4.1 Базисна кошторисна вартість	65
4.2 Термін окупності.....	66
ВИСНОВКИ.....	77
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	79

ВСТУП

На сучасному етапі розвитку житлово-комунального господарства України система газопостачання залишається однією з найважливіших інженерних мереж, що забезпечують комфортні умови життя населення та стає функціонування соціальних і комунальних об'єктів. Завдяки високій теплотворній здатності, відносній економічності, зручності транспортування та використання, природний газ і надалі відіграє важливу роль як основний енергоносіє. Він широко використовується для опалення житлових і громадських будівель, забезпечення вентиляції, гарячого водопостачання, приготування їжі, а також для потреб комунально-побутових і виробничих об'єктів. У зв'язку з цим надійність, безпека та ефективність систем газорозподілу мають першорядне значення для енергетичної стабільності населених пунктів.

Зростання масштабів житлової забудови, збільшення кількості приватних будинків і підвищення вимог до якості комунальних послуг зумовлюють необхідність реконструкції та модернізації наявних систем газопостачання. Значна частина газорозподільних мереж у країні була створена кілька десятиліть тому і потребує оновлення через зношеність трубопроводів, моральне старіння обладнання, зростання навантажень на систему та необхідність приведення її до сучасних стандартів. Ефективна реконструкція дозволяє не лише забезпечити безперебійне постачання газу споживачам, але й підвищити безпеку експлуатації мережі, мінімізувати втрати палива та поліпшити загальну ефективність системи. Основною задачею при проектуванні систем газопостачання є правильне визначення витрат природного газу та проведення гідравлічного розрахунку. Саме точність цих розрахунків впливає на стабільну надійну роботу газової мережі, газового обладнання та економічність експлуатації системи загалом. У сучасних умовах проектування враховує вимоги діючих норм та правил безпеки, а також перспективи розвитку міської забудови.

Кваліфікаційна робота присвячена проектуванню реконструкції газової мережі низького тиску в межах приватного сектору населеного пункту.

Вибір саме кільцевої конфігурації зумовлений її високою надійністю і здатністю забезпечувати неперервне постачання газу навіть під час аварій або ремонтних робіт у частинах мережі. Такі мережі дають можливість рівномірно розподіляти потоки газу між споживачами, стабілізуючи тиск у системі, що є особливо важливим для густонаселених районів.

У процесі реалізації даного проекту необхідно визначити фізичні властивості природного газу, суттєво визначають параметри його транспортування. Слід провести аналіз структури систем газопостачання населених пунктів, особливостей постачання приватних будинків і характеристик газопроводів низького тиску. В роботі передбачений розгляд алгоритму визначення потреб у газі для опалення, вентиляції та гарячого водопостачання у відповідності до діючих норм.

У рамках кваліфікаційної роботи, окрім технічних рішень, передбачено економічне обґрунтування запропонованих заходів. Зокрема, визначення базисної кошторисної вартості реконструкції газової мережі та розрахування термін окупності проекту. Економічний аналіз дозволить оцінити доцільність реалізації технічних пропозицій та ефективність використання інвестиційних ресурсів.

Мета проекту полягає у створенні технічно обґрунтованої програми модернізації кільцевої газової мережі низького тиску. Результатом стане надійна, економічно вигідна і безпечна інфраструктура газопостачання для споживачів приватного сектору населеного пункту. Для досягнення цієї мети передбачено виконання низки технологічних розрахунків, вибір раціональних технічних рішень, а саме:

- проаналізувати поточний технічний стан існуючих газопроводів;
- визначити розрахункові витрати природного газу споживачами приватного сектору;

- виконати гідравлічний розрахунок оновленої газової мережі для оптимізації діаметрів та режимів тиску;
- виконати вибір конструкційних матеріалів (заміну сталевих труб на поліетиленові) та методів їх прокладання в умовах існуючої житлової забудови;
- підібрати та розрахувати нове газорегуляторне обладнання (ШГРП) із сучасними системами захисту та телеметрії;
- розробити безпечну технологію ведення будівельно-монтажних і ремонтних робіт;
- оцінити техніко-економічну доцільність запропонованих рішень та розробити заходи з охорони праці та екологічної безпеки.

Для реалізації проєкту застосовано методи інженерного аналізу, гідравлічних розрахунків, техніко-економічного обґрунтування. Усі обчислення та технічні рішення виконані відповідно до вимог чинних нормативно-правових актів та правил безпеки в системах газопостачання.

Практична цінність роботи полягає у можливості впровадження розроблених технічних рішень у процесі реконструкції існуючих газорозподільчих систем населених пунктів. Це сприятиме підвищенню надійності їхньої роботи, зниженню втрат природного газу, покращенню умов експлуатації та забезпеченню безпечного постачання газу споживачам.

1 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Фізичні властивості природного газу, що використовується в системах газопостачання населених пунктів

Природний газ, який застосовується в газопостачанні населених пунктів, є одним із ключових видів енергоресурсів для комунального господарства та промислових потреб. Він знаходить застосування в опаленні житлових і громадських будівель, у приготуванні їжі, забезпеченні гарячого водопостачання, а також у різних технологічних процесах. Популярність природного газу пояснюється високою теплотворною здатністю, зручністю транспортування трубопроводами та його відносною екологічною безпекою порівняно з іншими викопними енергоносіями.

Таблиця 1.1 – Фізичні властивості природного газу

Характеристика	Значення
Основний компонент	Метан (CH ₄)
Агрегатний стан	Газоподібний
Колір	Безбарвний
Густина	0,68 – 0,85 кг/м ³
Відносна густина за повітрям	0,55–0,60
Середня нижча теплота згоряння	31–35 МДж/м ³ (приблизно 8000–9500 ккал/м ³)

Головним компонентом природного газу є метан (CH₄), об'ємна частка якого зазвичай становить 90–98 %. Додатково у складі газу присутні етан (C₂H₆), пропан (C₃H₈), бутан (C₄H₁₀), а також малі кількості азоту, вуглекислого газу, водяної пари та сірководню (після очищення — у межах затверджених норм). Хімічний склад газу може незначно змінюватися залежно від родовища та способів його підготовки, але для побутового використання якість газу повинна

відповідати встановленим стандартам. Основні властивості природного газу описані нижче.

Агрегатний стан і зовнішні особливості. Природний газ за нормальних умов перебуває в газоподібному стані, є безбарвним і позбавлений запаху. Для забезпечення безпеки в системах газопостачання до нього додають одоранти, найчастіше етилмеркаптан, що надає газу характерного різкого запаху для швидкого виявлення витоків.

Густина та відносна густина. Густина природного газу за нормальних умов ($t = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$, $p = 101,325 \text{ кПа}$) варіюється від 0,68 до 0,85 кг/м³, залежно від його складу. Відносна густина щодо повітря становить близько 0,55–0,60, що означає, що природний газ легший за повітря. В разі витoku він спрямовується вгору, накопичуючись під стелями приміщень. Ця властивість враховується при проектуванні вентиляційних систем і встановленні газового обладнання.

Теплотворна здатність. Теплота згоряння є однією з ключових характеристик природного газу. Середня нижча теплота згоряння становить 31–35 МДж/м³ (приблизно 8000–9500 ккал/м³), що забезпечує його економічність як енергоресурсу для опалення та інших побутових потреб.

Температура займання та вибухонебезпечність. Температура самозаймання природного газу складає приблизно 600–650 °С. Вибухонебезпечні суміші з повітрям формуються при концентраціях 5–15 % об'єму. Тому проектування й експлуатація газових систем передбачають якісний контроль герметичності та перевірку обладнання.

Вологість і точка роси. Перед подачею споживачеві газ осушується для попередження утворення гідратів і корозії труб. Температура точки роси повинна бути нижчою за мінімальну температуру транспортування в мережі.

В'язкість та текучість. Природний газ має низьку динамічну в'язкість (1,0–1,2·10⁻⁵ Па·с), що забезпечує мінімальні гідравлічні втрати та високу ефективність його транспортування на великі відстані.

Тиск та стисливість Природний газ є стисливим середовищем, тому його об'єм значно змінюється залежно від тиску і температури. У системах газопостачання населених пунктів використовуються різні рівні тиску - високий, середній та низький. Пониження тиску відбувається на газорегуляторних пунктах перед його постачанням споживачам. При гідравлічному розрахунку мереж обов'язково враховується стисливість газу.

Екологічні та експлуатаційні аспекти У результаті повного згоряння природного газу утворюються переважно вуглекислий газ і водяна пара. Кількість шкідливих домішок (таких як оксиди сірки чи тверді частинки) значно менша порівняно з іншими видами палива, наприклад, вугіллям чи мазутом. Саме через це природний газ вважається відносно «чистим» викопним паливом, що дозволяє знижувати негативний вплив на довкілля в межах населених пунктів.

Фізичні характеристики природного газу відіграють важливу роль при проектуванні систем газопостачання. Вони враховуються при визначенні діаметрів труб, розрахунку втрат тиску, виборі відповідної запірної та регулювальної арматури, а також під час формування заходів безпеки. Характеристики безпосередньо впливають на ефективність, надійність і безпечну експлуатацію систем газопостачання у населених пунктах.

1.2 Структури систем газопостачання населених пунктах

Вибір системи газопостачання відповідно до рівня тиску, кількості ступенів редукування, чисельності ГРС, ГРП та конфігурації розподільних мереж (кільцевих, тупикових або змішаних) слід здійснювати на основі всебічного техніко-економічного аналізу.

Під час планування важливо враховувати обсяг, структуру та щільність газоспоживання, вимоги до надійності й безпеки, а також специфічні місцеві умови будівництва та експлуатації.

Таблиця 1.2 – Класифікація типів систем газопостачання

Найменування	Кільцева система	Тупикова система	Змішана система
Опис	Газопроводи закольцьовані (з'єднані між собою), що забезпечує подачу газу до кожної точки з двох або більше сторін.	Газопровод має один початок (джерело) і один або кілька кінців (тупиків), через які газ іде до споживачів.	Поєднує обидва попередні типи: основна (магістральна) мережа виконується кільцевою, а від неї відходять тупикові лінії до окремих споживачів.
Переваги	Висока надійність: якщо одна ділянка виходить з ладу або ремонтується, газ продовжує надходити іншим шляхом.	Економічність: менша протяжність труб, простота проектування та монтажу.	Найпоширеніший варіант, який поєднує високу надійність магістралей з економічністю розгалуженої мережі.
Застосування	Великі населені пункти, промислові підприємства важливі	Невеликі населені пункти, квартали, житлові будинки з незначним споживанням.	Сучасна міська забудова

Системи газопостачання населених пунктів поділяються на такі основні типи:

1. Одноступеневі, в яких газ транспортується споживачам лише через газопроводи одного рівня тиску (зазвичай низького або середнього за допомогою індивідуальних регуляторів).

2. Двоступеневі, де подача здійснюється через мережі двох рівнів тиску: середнього та низького, високого II категорії та низького, або високого I категорії та середнього.

3. Триступеневі, які передбачають транспортування газу через три рівні тиску: високого I або II категорії, середнього та низького. 4. Багатоступеневі, що забезпечують подачу через чотири рівні тиску: високого I та II категорії, середнього і низького.

Зв'язок між газопроводами різних рівнів тиску забезпечується за допомогою спеціалізованих регулюючих пристроїв (ГРП, ГРПБ, ШРП, КБРТ), які виконують функцію зниження тиску та підтримання його стабільності незалежно від змін у витраті газу. Систематизація елементів газових мереж здійснюється згідно з вимогами ДБН В.2.5-20:2018, що регламентує норми безпечного проектування, зокрема необхідні відстані та умови прокладання. Під час розробки конфігурації системи пріоритет надається кільцевим мережам. Вони відзначаються кращою гідравлічною стійкістю та забезпечують можливість проведення ремонтних робіт без припинення газопостачання для значної частини споживачів. Тупикові схеми рекомендовано використовувати здебільшого на початкових етапах газифікації або у районах із переважно малоповерховою забудовою. Особливу увагу під час вибору структури приділяють впровадженню автоматизованих систем керування технологічними процесами (АСК ТП), які забезпечують дистанційний моніторинг роботи регулюючих пунктів та оперативне реагування на можливі витoki чи зміни критичного характеру в рівнях тиску.

1.3 Газопостачання приватних будинків

Проектування та облаштування систем газопостачання приватних житлових будинків являє собою складний технологічний процес, що здійснюється відповідно до державних будівельних норм і правил безпеки.

Основою газифікації приватного домоволодіння служать технічні умови, які визначають точку підключення до розподільної мережі населеного пункту та необхідний обсяг споживання газу. Залежно від тиску у вуличному газопроводі, підключення може бути здійснене безпосередньо до мережі низького тиску або через індивідуальні шафові регуляторні пункти, якщо магістраль забезпечує середній чи високий тиск. Використання комбінованих будинкових регуляторів тиску сприяє стабільній роботі побутових приладів, незалежно від сезонних змін тиску в централізованій системі. Прокладання газопроводу в будинок зазвичай здійснюється надземним способом через зовнішню стіну нежитлового приміщення, де монтується головний запірний пристрій.

Внутрішня система газопостачання проводиться зі сталевих труб зі зварними з'єднаннями, хоча сучасні стандарти також дозволяють використання мідних труб або спеціальних полімерних матеріалів за умови дотримання вимог пожежної безпеки. Важливим елементом системи є вузол обліку газу, який встановлюється на фасаді будівлі в захисному коробі або всередині приміщення з урахуванням нормативних відстаней від газових приладів і джерел тепла. Особливу увагу в процесі газифікації приватного сектора приділяють приміщенням, де розміщене газове обладнання, наприклад, опалювальні котли, водонагрівачі чи кухонні плити. Ці приміщення мають відповідати строгим нормам щодо об'єму, висоти стелі та достатнього природного освітлення.

Важливою вимогою безпечної роботи системи є наявність ефективної вентиляції та димовидалення. Сучасні рішення передбачають використання котлів із герметичною камерою згоряння та коаксіальними димоходами, що суттєво покращує рівень безпеки і спрощує вимоги щодо повітрообміну в приміщенні. Додатковою мірою захисту є установка сигналізаторів метану та чадного газу, які у разі витoku автоматично перекривають постачання газу завдяки електромагнітному клапану на вводі до системи.

1.4 Газопроводи низького тиску

Газопостачання приватних житлових будинків є важливою і складною задачею, яка вимагає ретельного дотримання всіх нормативних вимог та правил безпеки. Процес починається з отримання технічних умов, що визначають точку підключення до газової мережі та планований об'єм споживання. На основі цих даних розробляється проектна документація, за яку відповідають сертифіковані спеціалісти.

Тип підключення до газорозподільної мережі залежить від рівня тиску в системі. Для мереж із низьким тиском підключення може виконуватись безпосередньо, тоді як середній і високий тиск потребують установки спеціальних шафових регуляторних пунктів. Додаткове використання комбінованих регуляторів тиску забезпечує стабільну роботу домашніх газових систем навіть при змінах тиску в загальній мережі.

Газопровід зазвичай прокладається надземним способом: труби заводять через стіну нежитлового приміщення, де монтують головний запірний пристрій. У місцях проходження труб через стіни встановлюють захисні футляри для забезпечення довговічності та безпеки.

У середині приміщень найчастіше використовуються сталеві труби зі зварними з'єднаннями, проте сучасні стандарти дозволяють застосовувати мідні труби або полімерні матеріали, якщо виконуються необхідні вимоги пожежної безпеки.

Вузол обліку газу, тобто газовий лічильник, є важливою складовою системи. Його можуть встановлювати як зовні будівлі, так і всередині приміщення, з дотриманням відстаней до джерел тепла та газових приладів. Сучасні моделі лічильників оснащені функцією дистанційної передачі даних, що значно полегшує подання показників до газопостачальної компанії.

Приміщення, у яких планується монтаж газового обладнання (наприклад, котли чи кухонні плити), повинні відповідати строгим стандартам щодо площі,

висоти стелі та природного освітлення. Обов'язковою умовою для безпечної експлуатації є наявність ефективної системи вентиляції і димовидалення, яка забезпечує триразовий повітрообмін за годину. Для підвищення рівня безпеки часто використовуються котли з герметичною камерою згоряння і коаксіальними димоходами, які мінімізують вимоги до вентиляції. Також рекомендується встановити датчики метану та чадного газу, які у разі витoku можуть автоматично перекривати постачання газу завдяки електромагнітному клапану. Після завершення монтажу проводиться пневматичне тестування системи для перевірки її герметичності. Лише після успішного тестування система вводиться в експлуатацію представниками газової служби.

Також важливо забезпечити правильну експлуатацію та регулярне технічне обслуговування системи газопостачання приватного будинку. Власник має систематично перевіряти стан газового обладнання, трубопроводів і запірної арматури, а також стежити за справністю вентиляційних і димових каналів. Профілактичний технічний огляд рекомендується проводити щонайменше раз на рік із залученням кваліфікованих фахівців. Це дає змогу вчасно виявляти потенційні несправності, уникати витоків газу й забезпечувати безпечне функціонування всієї системи.

Особливу увагу слід приділяти правилам користування газовими приладами. Не допускається самовільно змінювати конструкцію газового обладнання, переносити його без відповідного погодження чи виконувати ремонтні роботи без участі спеціалістів. Також важливо не закривати вентиляційні отвори, адже це може порушити процес згоряння газу й спричинити накопичення небезпечних продуктів згоряння в приміщенні. У випадку появи запаху газу слід негайно перекрити його подачу, забезпечити провітрювання приміщення, уникати використання електроприладів і викликати аварійну газову службу.

Сучасні тенденції в сфері газопостачання орієнтовані на автоматизацію та інтеграцію із системами «розумного будинку». Завдяки цифровим датчикам,

електронним регуляторам і дистанційному контролю власник отримує можливість здійснювати моніторинг системи в режимі реального часу. Це сприяє не тільки підвищенню комфорту, але й значно збільшує рівень безпеки, адже автоматична система здатна припинити подачу газу у разі аварійної ситуації.

Газопостачання приватного будинку є комплексною інженерною системою, яка охоплює проектування, монтаж, налаштування та подальшу експлуатацію обладнання. Для забезпечення її надійності й безпеки необхідно дотримуватися технічних норм, використовувати якісні матеріали та залучати досвідчених фахівців. Правильно спроектована та встановлена система дозволяє ефективно використовувати енергоресурси, створювати комфортний простір проживання й гарантувати високий рівень захисту для мешканців.

1.5 Нормування витрат природного газу

Методика визначення розрахункових витрат природного газу для населеного пункту або окремого житлового району базується на підсумуванні потреб усіх категорій споживачів, включаючи жителів, комунально-побутові підприємства та промислові об'єкти. Центральним параметром у проектуванні системи газопостачання є максимальна годинна витрата газу, що слугує основою для визначення діаметрів трубопроводів та пропускної здатності газорегулювального обладнання. Що стосується річного обсягу споживання газу житловим сектором, його обчислення проводиться відповідно до нормативів тепловитрат, зазначених у державних будівельних нормах для різних кліматичних регіонів. У розрахунках також враховуються кількість мешканців та рівень благоустрою житлових будинків, зокрема, наявність гарячої води з централізованих систем або використання газових водонагрівачів. Розрахунок годинної витрати газу для житлових районів відбувається через співвідношення річного споживання та так званого коефіцієнта часового максимуму, який відображає нерівномірність споживання протягом року. Цей коефіцієнт має

залежність від чисельності жителів: із зростанням кількості споживачів значення коефіцієнта зменшується за рахунок усереднення піків індивідуального споживання. Для потреб приготування їжі та нагріву води визначення витрати газу базується на сумуванні номінальних показників окремих побутових приладів із врахуванням коефіцієнта одночасного їх використання. Цей показник відображає імовірність того, що газові плити або колонки в різних квартирах одного будинку чи кварталу працюватимуть одночасно. Витрати газу на опалення та вентиляцію будівель розраховуються окремо, залежно від теплотехнічних характеристик огорожувальних конструкцій, об'єму будівель та заданої зовнішньої температури для відповідного регіону. У разі відсутності точних даних про тепловтрати на етапі попереднього проектування можуть використовуватися узагальнені показники споживання газу на квадратний метр житлової площі. Методика передбачає також врахування потреб самих газорегулювальних пунктів і можливих втрат у мережах. Підсумкові показники максимального годинного споживання слугують базовими даними для гідравлічного розрахунку мереж із високим, середнім і низьким рівнями тиску, що забезпечує стабільну роботу системи в періоди максимального навантаження взимку.

Визначення річних та максимальних годинних витрат газу є важливим етапом у процесі проектування систем газопостачання, адже ці параметри впливають на пропускну здатність мереж, вибір діаметрів труб і потужність регулюючого обладнання. Річну витрату газу для населеного пункту розраховують шляхом підсумовування потреб усіх категорій споживачів, зокрема житлових будинків, підприємств побутового обслуговування, закладів охорони здоров'я, громадського харчування, промислових комплексів та опалювальних котелень. У житловому секторі обчислення базується на питомих нормативах споживання газу, які визначаються залежно від ступеня благоустрою квартир, наявності газових плит, проточних водонагрівачів або систем індивідуального опалення. Споживання газу комунально-побутовими об'єктами

визначається відповідно до їхньої пропускну здатності, кількості місць або одиниць продукції з використанням нормативних показників теплоспоживання. Максимальна годинна витрата газу, яка відображає пікове навантаження на систему у періоди найбільш активного споживання, є визначальним показником для гідравлічних розрахунків мереж. Її обчислення здійснюється двома основними методами, враховуючи структуру споживачів. Для великих житлових масивів годинна витрата визначається як частка від річного споживання з використанням коефіцієнта годинного максимуму, який враховує нерівномірність використання газу протягом року. Цей коефіцієнт зменшується зі збільшенням кількості мешканців, оскільки масштабна система характеризується більш рівномірним споживанням, що сприяє зниженню пікових навантажень на одиницю обладнання. Другий метод розрахунку максимальної годинної витрати передбачає сумування номінальних витрат газу усіма встановленими приладами з коригуванням на коефіцієнт одночасності їхньої роботи. Цей коефіцієнт враховує ймовірність одночасного ввімкнення всіх пристроїв, таких як плити чи водонагрівачі, і зменшується зі збільшенням кількості абонентів у мережі. Окремо розраховуються максимальні витрати газу для опалення та вентиляції, пікових значень яких досягають за найнижчих зовнішніх температур повітря в даному кліматичному регіоні. Загальна максимальна годинна витрата газу для району або населеного пункту є інтегрованим результатом усіх зазначених параметрів і слугує базою для моделювання гідравлічних режимів роботи газової системи задля її стабільної експлуатації навіть в екстремальних умовах.

Основний нормативний документ, що регламентує розрахункові витрати газу для різних категорій споживачів, це Державні будівельні норми України [1].

Аналіз генпланів населених пунктів свідчить, що основними споживачами газу є:

- витрати газу на господарсько-побутові потреби населення у житлових будинках;

- витрати газу на опалення житлових і громадських будинків;
- витрати газу на вентиляцію громадських будинків;
- витрати газу на централізоване гаряче водопостачання;
- витрати газу на технологічні потреби промислових, сільськогосподарських і комунальних підприємств.

Відповідно до [1] при проектуванні системи газопостачання населеного пункту річні витрати газу для кожної категорії споживачів слід визначати на кінець розрахункового періоду з урахуванням перспективи розвитку об'єкта газопостачання. Тривалість розрахункового періоду встановлюється на підставі плану перспективного розвитку населеного пункту.

1.5.1 Нормативні вимоги визначення розрахункових витрат газу при проектуванні газової мережі

Річні витрати газу для житлових будинків, підприємств побутового обслуговування населення, громадського харчування, установ охорони здоров'я та підприємств з випікання хліба слід визначати за нормами витрат теплоти, наведеними у [1]. Норми витрати теплоти на зазначені цілі в табл. 1.3 [1].

Норми витрат теплоти (або газу) для споживачів, що не наведені у табл. 1.3, слід приймати за нормами витрат інших видів палива або за даними фактичних витрат палива, що використовується, з урахуванням ККД обладнання при переході на використання газового палива.

При розробці проектів генпланів населених пунктів відповідно до [1] допускається приймати такі укрупнені показники споживання газу на одну людину за теплоти згоряння природного газу 34 МДж/м³:

- за наявності централізованого гарячого водопостачання 100 м³/рік;
- за гарячого газопостачання від газових водонагрівачів 250 м³/рік;
- за відсутності гарячого водопостачання 125 м³/рік для міст і 165 м³/рік у сільській місцевості.

Таблиця 1.3 – Річні норми витрати теплоти на господарсько-побутові потреби [1]

Споживачі газу	Показник споживання газу	Норма витрат тепла, МДж
1 Житлові будинки		
За наявності в квартирі газової плити і централізованого гарячого водопостачання при газопостачанні: природним газом СВГ	На одну людину за рік	2800 2540
За наявності в квартирі газової плити і газового водонагрівача (при відсутності централізованого гарячого водопостачання) при газопостачанні: природним газом СВГ	На одну людину за рік	8000 7300
За наявності в квартирі газової плити і відсутності централізованого гарячого водопостачання та газового водонагрівача при газопостачанні: природним газом СВГ	На одну людину за рік	4600 4240
2 Громадські будинки		
2.1 Підприємства побутового обслуговування		
Фабрики-пральні: - на прання білизни в механічних пральнях - на прання білизни у немеханічних пральнях із сушильними шафами - на прання білизни у механізованих пральнях, включаючи сушіння і прасування	На 1 т сухої білизни	8800 12600 18800
Дезкамери: - на дезінфекцію білизни та одягу в парових камерах - на дезінфекцію білизни і одягу в гарячеповітряних камерах	На 1 т сухої білизни	2240 1260
Лазні: - миття без ванн - миття з ваннами	На одне миття	40 50

Продовження табл.1.3

Споживачі газу	Показник споживання газу	Норма витрат тепла, МДж
2.2 Підприємства харчування		
Їдальні, ресторани, кафе: - на приготування обідів (незалежно від пропускну здатності підприємства) - на приготування сніданків та вечері	На один обід На один сніданок або вечерю	4,2 2,1
2.3 Заклади охорони здоров'я		
Лікарні, пологові будинки: - на приготування їжі - на приготування гарячої води для господарсько-побутових потреб і лікувальних процедур (без прання білизни)	На одне ліжко за рік	3200 9200
4 Промислові будинки		
Хлібозаводи, комбінати, пекарні: - на випікання хліба формового - на випікання хліба подового, батонів, булок, здоби - на випікання кондитерських виробів	На 1 т виробів	2500 5450 7750
Примітка 1. При застосуванні газу для лабораторних потреб навчальних закладів норму витрат теплоти необхідно приймати із розрахунку 50 МДж за рік на одного учня. Примітка 2. Норми витрат теплоти не враховують витрати теплоти на опалення.		

Якщо теплота згорання газу, що застосовується, відрізняється від наведеної, укрупнені показники необхідно помножити на коефіцієнт

$$K = \frac{34}{Q_{рн}}. \quad (1.1)$$

Річні витрати теплоти на потреби підприємств торгівлі, побутового обслуговування невиробничого характеру слід приймати в розмірі до 5 % сумарної витрати теплоти на житлові будинки.

Річні витрати тепла на технологічні потреби промислових та сільськогосподарських підприємств слід визначати за даними паливоспоживання (з урахуванням зміни ККД устаткування при переході на газове паливо) цих підприємств з перспективою їх розвитку або на основі технологічних норм витрати палива (теплоти).

Річні витрати теплоти на приготування кормів і підігрів води для тварин необхідно приймати відповідно до норм [1] (табл. 1.4).

Системи газопостачання населених пунктів повинні розраховуватися на максимальну розрахункову годинну витрату газу.

Таблиця 1.4 - Норми витрати тепла на утримання тварин згідно з [1]

Призначення газу, що витрачається	Одиниця виміру	Норми витрати теплоти на потреби тварин, МДж
Приготування кормів для тварини з урахуванням запарювання грубих кормів і корене-, бульбоплодів	Один кінь	1700
	Одна корова	8400
	Одна свиня	4200
Підігрів води для пиття та санітарних потреб	Одна тварина	420

Максимальна розрахункова годинна витрата газу за нормальних умов (температура 0 °С і тиск 101325 Па) на господарсько-побутові та виробничі потреби знаходиться як частка річної витрати газу

$$Q_{\text{max}} = k_{\text{max}} Q_{\text{річ}}, \quad (1.2)$$

де k_{max} - коефіцієнт годинного максимуму;

$Q_{\text{річ}}$ - річна витрата газу.

Значення коефіцієнта годинного максимуму витрат газу на господарсько-побутові потреби залежно від кількості населення, яке забезпечується газом, наведені в табл. 1.5, а для лазень, пралень, підприємств громадського харчування і підприємств із виробництва хліба і кондитерських виробів - у табл. 1.6.

Коефіцієнт годинного максимуму витрат газу слід приймати диференційовано для кожного району газопостачання, мережі якого є самостійною системою, гідравлічно не пов'язаною із системами газопроводів того ж тиску інших районів населених пунктів.

Розрахункову годинну витрату газу для підприємств різних галузей промисловості і підприємств побутового обслуговування виробничого характеру слід визначати за даними паливоспоживання з урахуванням зміни ККД обладнання при переході на газове паливо або за (1.2), виходячи з річної витрати газу з урахуванням коефіцієнтів годинного максимуму в галузях промисловості, наведених у [1, дод. Г].

Для окремих житлових та громадських будинків розрахункові годинні витрати газу слід визначати за сумою номінальних витрат газу газовими приладами з урахуванням коефіцієнтів одночасності їх дії

$$Q_{2max} = \sum_{i=1}^m K_o q_{nom} n_i, \quad (1.3)$$

де K_o - коефіцієнт одночасності, значення якого слід приймати для житлових будинків (табл. 1.5) [1, дод. В];

q_{nom} - номінальна витрата газу приладом або групою приладів, прийнята за паспортними даними або технічними характеристиками приладів;

n_i - кількість однотипних приладів або груп приладів, m - кількість типів приладів або груп приладів.

Таблиця 1.5 – Значення коефіцієнта годинного максимуму на господарсько-побутові потреби населення [1]

Кількість жителів, що забезпечуються газом, тисяч	Значення коефіцієнта годинного максимуму витрат газу
1	1/1800
2	1/2000
3	1/2050
5	1/2100
10	1/2200
20	1/2300
30	1/2400
40	1/2500
50	1/2600
100	1/2800
300	1/3000
500	1/3300
750	1/3500
1000	1/3700
2000 і більше	1/4700

Примітка. Для відособлених житлових районів, окремих вулиць, груп житлових будинків при кількості жителів до 0,5 тисяч осіб розрахункову годинну витрату газу визначають за сумою номінальних витрат газовими приладами з урахуванням коефіцієнта одночасності їхньої дії [1, дод. В] за (1.3).

Таблиця 1.6 - Значення коефіцієнта годинного максимуму для підприємств побутового обслуговування [1]

Підприємство	Коефіцієнт годинного максимуму
Лазні	1/2700
Пральні	1/2900
Їдальні, ресторани, кафе	1/2000
Хлібозаводи, хлібокомбінати, пекарні	1/6000

Примітка. Для лазень та пралень коефіцієнти годинного максимуму витрат газу наведені з урахуванням витрат газу на потреби опалення та вентиляції.

Нижче наведений алгоритм розрахунку річних і максимальних годинних витрат газу для основних споживачів населеного пункту, який базується на використанні норм витрат теплоти, наведених у зазначених вище нормативних документах.

1.5.2 Розрахунок витрат газу на господарсько-побутові потреби населення

Річна витрата теплоти на господарсько-побутові потреби населення у житлових будинках обчислюється за формулою

$$Q_{zn}^T = \sum_{i=1}^{n_m} H_i N_i, \quad (1.4)$$

де H_i - норма витрати тепла на одну людину за рік залежно від асортименту газових приладів у квартирі (табл. 1.3);

N_i - кількість жителів, що проживають у квартирах з i - им асортиментом газовикористовувальних приладів;

n_m - кількість типів асортименту газовикористовувальних приладів у квартирах.

Річна витрата теплоти на утримання тварин

$$Q_{m\theta}^T = \sum_{i=1}^{n_m} H_{m\theta_i} N_{m\theta_i}, \quad (1.5)$$

де $H_{m\theta_i}$ - річна норма витрати теплоти на утримання тварини певного виду (табл. 1.4);

$N_{m\epsilon_i}$ - кількість тварин певного виду, які утримуються населенням;

n_m - кількість видів тварин.

Таблиця 1.7 – Значення коефіцієнта одночасності для житлових будинків

Кільк. квартир	Коефіцієнт одночасності в залежності від встановленого в житлових будинках газовикористовуючого обладнання			
	плита 4-горілочна	плита 2-горілочна	плита 4-горілочна та газовий проточний водонагрівач	плита 2-горілочна та газовий проточний водонагрівач
1	1,000	1,000	0,700	0,750
2	0,650	0,840	0,560	0,640
3	0,450	0,730	0,480	0,520
4	0,350	0,590	0,430	0,390
5	0,290	0,480	0,400	0,375
6	0,280	0,410	0,392	0,360
7	0,280	0,360	0,370	0,345
8	0,265	0,320	0,360	0,335
9	0,258	0,289	0,345	0,320
10	0,254	0,263	0,340	0,315
15	0,240	0,242	0,300	0,275
20	0,235	0,230	0,280	0,260
30	0,231	0,218	0,250	0,235
40	0,227	0,213	0,230	0,205
50	0,223	0,210	0,215	0,193
60	0,220	0,207	0,203	0,186
70	0,217	0,205	0,195	0,180
80	0,214	0,204	0,192	0,175
90	0,212	0,203	0,187	0,171
100	0,210	0,202	0,185	0,163
400	0,180	0,170	0,150	0,135

Примітка 1. Для квартир, в яких встановлюється декілька однотипних газовикористовувальних приладів, коефіцієнт одночасності слід приймати як для такої ж кількості квартир з цими приладами.

Примітка 2. Значення коефіцієнта одночасності для ємнісних водонагрівачів, опалювальних котлів або опалювальних печей рекомендується приймати рівним 0,85 незалежно від кількості квартир.

Загальна кількість теплоти на господарсько-побутові потреби для житлового сектору

$$Q_{zn\,zag}^T = Q_{zn}^T + Q_{mv}^T . \quad (1.6)$$

Річна витрата газу на господарсько-побутові потреби житлового сектору

$$Q_{zn\,zag}^G = \frac{Q_{zn\,zag}^T}{Q_{pn}} , \quad (1.7)$$

де Q_{pn} - нижча теплота згоряння природного газу, що використовується в системі газопостачання.

Для врахування нерівномірності споживання газу система газопостачання населених пунктів розраховується на максимальну годинну витрату газу.

Використовуючи формулу (1.2), записуємо вираз для знаходження максимальної годинної витрати газу на господарсько-побутові потреби населення

$$Q_{zn\,max}^G = k_{max} Q_{zn\,zag}^G . \quad (1.8)$$

Коефіцієнт годинного максимуму k_{max} визначається за табл. 1.3 залежно від кількості жителів.

1.5.3 Розрахунок витрат газу на опалення житлових і громадських будівель

Витрати теплоти на опалення будівель визначаються наступним чином.

Максимальний тепловий потік на опалення житлових і громадських будівель

$$Q_{o_{max}} = (1 + k_1) \sum_{i=1}^{n_{\sigma}} q_{o_i} N_{o_i} f, \text{ Вт}, \quad (1.9)$$

де k_1 - коефіцієнт, що враховує тепловий потік на опалення громадських будівель, при відсутності інших даних можна приймати $k_1 = 0,25$;

q_{o_i} - укрупнений показник максимального теплового потоку на опалення 1 м^2 загальної площі житлових будівель, залежить від розрахункової температури зовнішнього повітря, кількості поверхів будинку, терміну і технології його будівництва;

N_{o_i} - кількість жителів, що проживають у будинках з певною поверховістю і певним терміном будівництва;

n_{σ} - кількість типів будівель за поверховістю і терміном будівництва;

f - норма загальної житлової площі на одну людину; за відсутності інших даних для населених пунктів України можна приймати

$$f = 18 - 20 \text{ м}^2.$$

У табл. 1.8 наведені значення укрупненого показника максимального теплового потоку на опалення 1 м^2 загальної житлової площі

Таблиця 1.8 – Укрупнені показники максимального теплового потоку на опалення, Вт/м²

Кільк. поверхів будинку	Характеристика будівель за терміном спорудження	Розрахункова температура зовнішнього повітря для проектування опалення t_o , °C						
		-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35
1-2	Без енергозберігаючих заходів (побудовані до 1985р.)	148	154	160	205	213	230	234
3-4		95	102	109	117	126	134	144
5 і більше		65	70	77	79	86	88	98
1-2	З енергозберігальними заходами (побудовані до 1985р.)	147	153	160	194	201	218	222
3-4		90	97	103	111	119	128	137
5 і більше		65	69	73	75	82	88	92
1-2	Нові типові проекти (побудовані після 1985р.)	145	152	159	166	173	177	180
3-4		74	80	86	91	97	101	103
5 і більше		65	67	70	73	81	87	87

Максимальна годинна витрата теплоти на опалення житлових і громадських будівель

$$Q_{o_{max}}^T = 3600Q_{o_{max}}, \text{ Дж/год.} \quad (1.10)$$

Максимальна годинна витрата газу на опалення житлових і громадських будівель

$$Q_{o_{max}}^{\Gamma} = \frac{Q_{o_{max}}^T}{\eta_o Q_{pH}}, \text{ м}^3/\text{ГОД}, \quad (1.11)$$

де η_o - ККД опалювальних пристроїв, за відсутності паспортів газовикористовувальних приладів можна орієнтовно приймати: для опалювальних печей $\eta_o = 0,6 - 0,65$, для опалювальних котлів $\eta_o = 0,8 - 0,85$.

Середня годинна витрата газу на опалення житлових і громадських будівель знаходиться за формулою

$$Q_{o_m}^{\Gamma} = Q_{o_{max}}^{\Gamma} \frac{t_{ен} - t_{o_m}}{t_{ен} - t_o}, \quad (1.12)$$

де $t_{ен}$ - розрахункова температура повітря всередині приміщення, що обігривається, за відсутності інших даних можна приймати $t_{ен} = 18 \text{ }^{\circ}\text{C}$;

t_{o_m} - середня за опалювальний сезон температура зовнішнього повітря, залежить від кліматичних умов згідно з [2];

t_o - розрахункова температура повітря для проектування опалення [2].

Річна витрата газу на опалення житлових і громадських будівель

$$Q_{o_{pH}}^{\Gamma} = Q_{o_m}^{\Gamma} 24n_o, \quad (1.13)$$

де n_o - нормативна тривалість опалювального сезону [2].

1.5.4 Розрахунок витрат газу на вентиляцію громадських будівель

Максимальний тепловий потік на вентиляцію громадських будівель

$$Q_{\epsilon_{max}} = k_1 k_2 \sum q_{o_i} N_{o_i} f, \text{ Вт} \quad (1.14)$$

де k_2 - коефіцієнт, що враховує втрати максимального теплового потоку на вентиляцію громадських будівель, за відсутності інших даних можна приймати: $k_2 = 0,4$ - якщо будівля побудована до 1985 року; $k_2 = 0,6$ - якщо будівля споруджена після 1985 року.

Максимальна годинна витрата теплоти на вентиляцію громадських будівель

$$Q_{\epsilon_{max}}^T = 3600 Q_{\epsilon_{max}}, \text{ Дж/год.} \quad (1.15)$$

Максимальна годинна витрата газу на вентиляцію громадських будівель

$$Q_{\epsilon_{max}}^{\Gamma} = \frac{Q_{\epsilon_{max}}^T}{\eta_o Q_{pH}}, \text{ м}^3/\text{ГОД.} \quad (1.16)$$

Середня годинна витрата газу на вентиляцію громадських будинків

$$Q_{\epsilon_m}^{\Gamma} = Q_{\epsilon_{max}}^{\Gamma} \frac{t_{\epsilon H} - t_{o_m}}{t_{\epsilon H} - t_{\epsilon}}, \quad (1.17)$$

де t_{ϵ} - розрахункова температура повітря для проектування вентиляції [2].

Річна витрата газу на вентиляцію громадських будівель

$$Q_{\epsilon_{pH}}^{\Gamma} = Q_{\epsilon_m}^{\Gamma} y n_o, \quad (1.18)$$

де y - максимальна нормативна тривалість роботи системи вентиляції протягом доби, за відсутності інших даних можна приймати $y = 16$ год.

1.5.5 Розрахунок витрат газу на централізоване гаряче водопостачання

Середній тепловий потік на централізоване гаряче водопостачання

$$Q_{h_m} = q_h N_h, \text{ Вт}, \quad (1.19)$$

де q_h - укрупнений показник середнього теплового потоку на гаряче водопостачання для однієї людини, приймається залежно від норми витрати гарячої води за добу (табл. 1.9);

N_h - кількість жителів, що користуються централізованим гарячим водопостачанням.

Середня годинна витрата тепла на централізоване гаряче водопостачання

$$Q_{h_m}^T = 3600 Q_{h_m}, \text{ Дж/год.} \quad (1.20)$$

Середня годинна витрата газу на централізоване гаряче водопостачання

$$Q_{h_m}^G = \frac{Q_{h_m}^T}{\eta_g Q_n^p}, \text{ м}^3/\text{год.}, \quad (1.21)$$

де η_g - ККД установок для підігріву води; якщо підігрів води здійснюється на котельні, то приймаємо $\eta_g = \eta_o$.

Таблиця 1.9 - Укрупнені показники середнього теплового потоку (Вт) на централізоване гаряче водопостачання

Середня норма витрати гарячої води на людину, л/добу	для житлового сектора	для житлового сектора і громадських будівель	для громадських будівель
85	247	320	73
90	259	332	73
105	303	376	73
115	334	407	73

Максимальна годинна витрата газу на централізоване гаряче водопостачання

$$Q_{h_{max}}^{\Gamma} \cong 2,4Q_{h_m}^{\Gamma}. \quad (1.22)$$

Річна витрата газу на централізоване гаряче водопостачання

$$Q_{h_{рiч}}^{\Gamma} = Q_{h_m}^{\Gamma} \cdot 24 \cdot 365. \quad (1.23)$$

1.6 Реконструкція існуючої газової мережі

Нинішня система газопостачання в цій місцевості була зведена кілька десятиліть тому відповідно до технічних норм і стандартів, актуальних на час її розробки. Газопроводи прокладено надземним способом на металевих опорах, що було типовим інженерним рішенням для свого часу. Такий підхід спрощував процес монтажу, знижував обсяги земляних робіт і забезпечував зручність обслуговування трубопроводів під час їх експлуатації. Проте тривале використання системи спричинило поступове старіння основних її елементів. Металеві труби зазнають постійного впливу природних умов, включаючи

вологість, різкі перепади температур, ультрафіолетове випромінювання та агресивні домішки у повітрі. Це призводить до утворення корозії на поверхні труб, яка з часом зменшує їхню товщину, послаблює міцність та істотно збільшує ризик виникнення аварій.

Таблиця 1.10 – Основні причини необхідності реконструкції

№	Причина	Характеристика
1	Фізичний знос трубопроводів	Тривалий термін експлуатації, корозія металу.
2	Застарілі технічні рішення	Невідповідність сучасним вимогам безпеки
3	Зростання кількості споживачів	Активний розвиток приватного сектору
4	Недостатня пропускна здатність	Зниження тиску в мережі при пікових навантаженнях

Крім цього, значна частина опорних конструкцій теж перебуває в незадовільному стані, суттєво ускладнюючи подальше забезпечення безпечної роботи мережі. Окрім фізичного зношення, існуючі інженерні рішення вже не відповідають сучасним вимогам до надійності, енергоефективності та безпеки систем газопостачання. Додатково на ситуацію впливає активний розвиток приватного житлового сектору. За останні роки в цьому районі активно будуються нові житлові будинки, а також реконструюються та розширюються вже існуючі будівлі. При цьому більшість новобудов оснащуються сучасними газовими котлами, більш продуктивними системами опалення та підігріву води. Усе це призводить до значного зростання попиту на природний газ. Збільшена кількість споживачів створює додаткове навантаження на стару газову мережу, яка розрахована на значно менші обсяги споживання. Це стає причиною недостатньої пропускної здатності системи, що може викликати падіння тиску в мережі, особливо під час пікових періодів споживання, таких як опалювальний сезон. Усе вищезазначене свідчить про нагальну потребу в модернізації існуючої газової інфраструктури. Основною метою такої реконструкції є підвищення

надійності й безпеки експлуатації газової мережі, а також забезпечення її здатності задовольнити майбутні потреби у зв'язку із розвитком житлової забудови. В рамках модернізаційних робіт планується демонтаж старих надземних газопроводів та прокладання нових трубопроводів із високоякісних сучасних матеріалів, наприклад, поліетиленових або сталевих труб із захисним антикорозійним покриттям. Використання таких матеріалів гарантує високу стійкість до корозії, довговічність і зменшення витрат на обслуговування. Крім того, реконструкція передбачає оптимізацію схеми розташування газопроводів. Це дасть змогу скоротити протяжність окремих ділянок мережі, мінімізувати гідравлічні втрати тиску й підвищити загальну ефективність системи газопостачання.

У результаті реконструкції буде впроваджено сучасну систему газопостачання, яка відповідатиме актуальним будівельним нормам і стандартам. Це гарантує безпечне, стабільне й безперебійне постачання природного газу споживачам, а також забезпечить необхідний резерв потужності для подальшого розвитку житлової інфраструктури в цьому регіоні. Крім того, застосування передових матеріалів і технологій сприятиме зменшенню витрат на обслуговування газопроводів, підвищенню енергоефективності системи та суттєвому продовженню терміну її експлуатації.

2 ПРОЄКТНИЙ РОЗДІЛ

Газопостачання є невід'ємною складовою інфраструктури будь-якого населеного пункту, оскільки воно забезпечує газом населення для побутових потреб, а також різні галузі промисловості й енергетики. Метою розрахунку системи газопостачання є визначення необхідної кількості газу, що споживатиметься в населеному пункті, а також підбір оптимальних параметрів газопроводів, станцій зниження тиску, споживчих газових приладів та інших складових системи.

Процес розрахунку системи газопостачання є досить складним і вимагає знань у галузі фізики газів, технічної механіки, теплоенергетики, гідравліки, а також дотримання стандартів і нормативів з охорони праці, безпеки та екології. Саме тому розрахунок має виконуватися кваліфікованими спеціалістами з відповідною підготовкою та досвідом.

2.1 Проєктування кільцевої газової мережі низького тиску. Вихідні дані та постановка задачі

Метою розрахунку є визначення діаметру труб газової мережі, необхідного для забезпечення проходження розрахункової витрати газу при допустимих втрат тиску, що є прямою задачею гідравлічного розрахунку. Згідно з нормативними вимогами, гідравлічний розрахунок газопроводів рекомендується переважно виконувати за допомогою спеціалізованих комп'ютерних програм. Якщо ж це неможливо або недоцільно через малу кількість ділянок мережі, допускається використання номограм. У межах даного проєкту застосовуватиметься методика розрахунку без використання номограм із застосуванням програми Microsoft Office Excel.

Вихідними даними є план району та розрахункова схема газопроводів (рис. 2.1, 2.2), на якій позначають розташування газорозподільної підстанції (ГРП), з'єднують усіх споживачів з джерелом газопостачання, формуючи схему газопроводів низького тиску з поділом на ділянки. Нумерація вузлів здійснюється від джерела газопостачання до найбільш віддаленої від ГРП точки. Розрахунковою вважається ділянка трубопроводу з постійним діаметром і сталою витратою газу, розташована між двома сусідніми вузлами. Крім того, зі схеми можна зняти геометричні довжини відповідних ділянок для розрахунку.

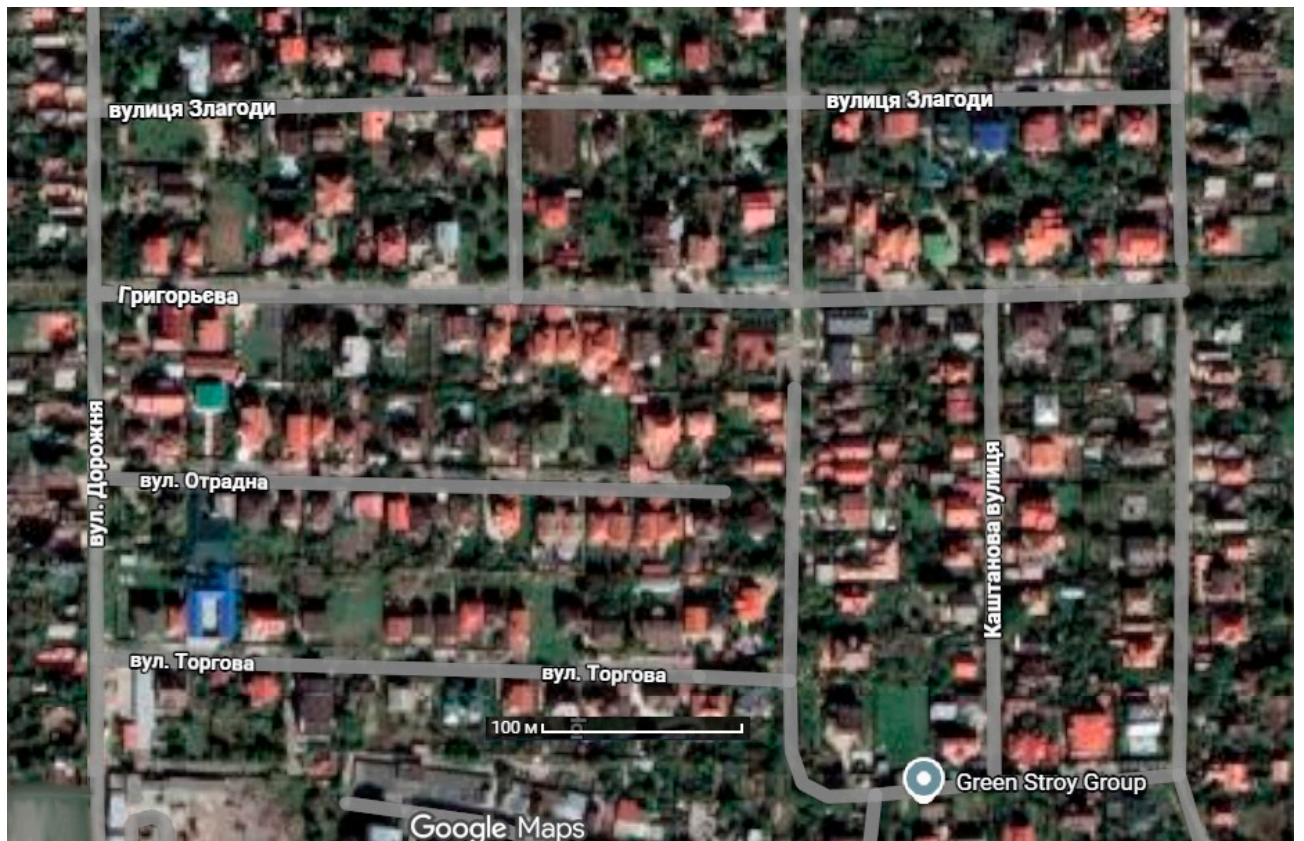


Рисунок 2.1 – План району

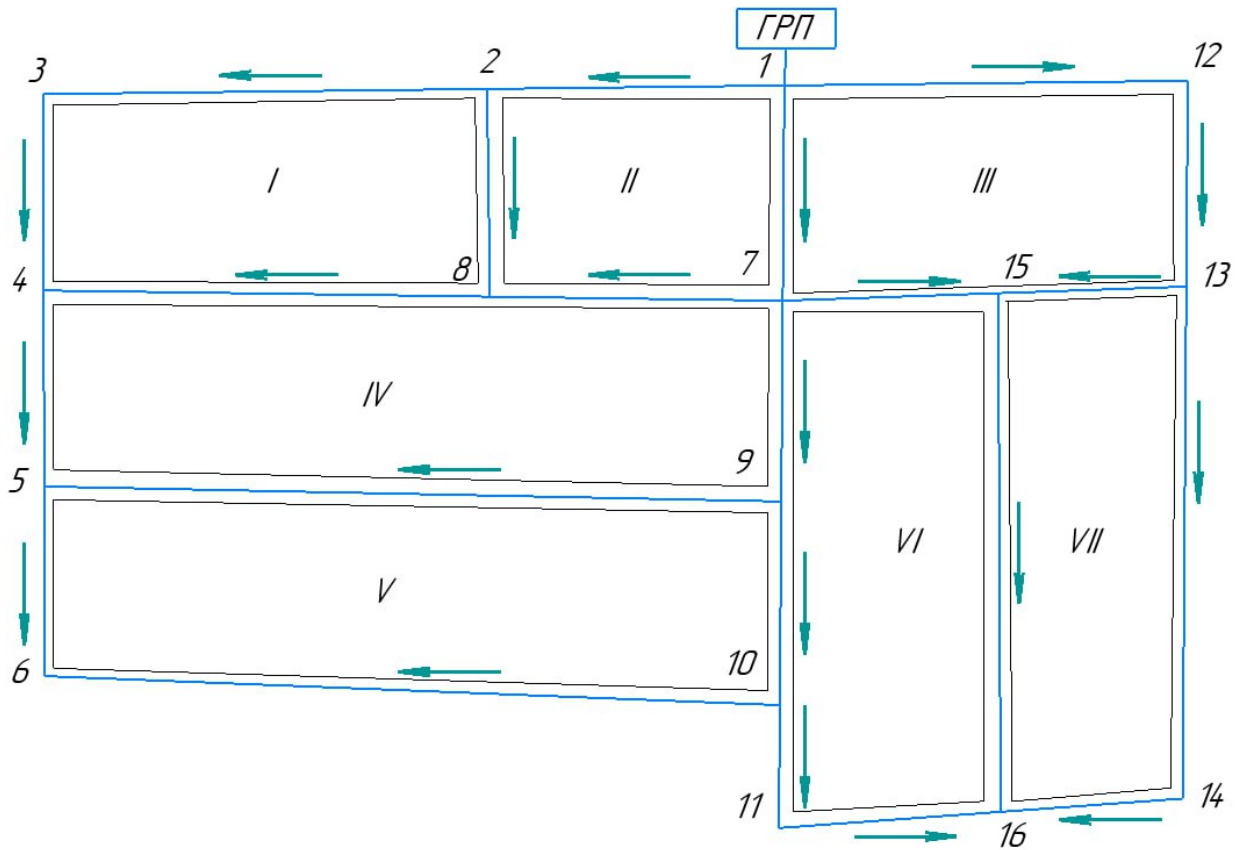


Рисунок 2.2 – Конфігурація мережі на генплані району

2.2 Проектний розрахунок кільцевої газової мережі низького тиску

Довжина газової мережі низького тиску, по якій здійснюється подача газу споживачам

$$L_{\text{заг}} = \sum_{i=1}^n L_i \quad (2.1)$$

де L_i – довжина i -тої ділянки газової мережі;

$$\begin{aligned} L_{\text{заг}} &= 141 + 210 + 93 + 93 + 90 + 98 + 211 + 102 + 95 + 96 + 58 + 105 \\ &\quad + 138 + 102 + 349 + 348 + 191 + 97 + 242 + 86 + 89 + 245 \\ &= 3279 \text{ м.} \end{aligned}$$

Питома шляхова витрата на кожній ділянці газової мережі

$$q = \frac{Q_{\text{грп}}}{L_{\text{заг}}}, \quad (2.2)$$

$$q = \frac{1640}{3279} = 0,500 \frac{\text{м}^3}{\text{год} \cdot \text{м}}.$$

Шляхова витрата газу на кожній ділянці мережі

$$Q_{\text{ш } i} = L_i \cdot q. \quad (2.3)$$

Для ділянки 1-2

$$Q_{\text{ш } 1-2} = L_{1-2} \cdot q = 141 \cdot 0,500 = 70.52 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Аналогічно визначено шляхові витрати газу на всіх ділянках мережі та занесено результати до табл. 2.1.

Транзитні витрати газу на кожній ділянці газової мережі

Для ділянки 1-2

$$\begin{aligned} Q_{\text{т } 1-2} &= Q_{\text{ш } 2-3} + Q_{\text{т } 2-3} + Q_{\text{ш } 2-8} + Q_{\text{т } 2-8} = \\ &= 105.03 + 138.04 + 49.01 + 105.53 = 397.62 \text{ м}^3/\text{год}. \end{aligned}$$

Аналогічно визначено транзитні витрати газу на всіх ділянках мережі та занесено до табл. 2.1.

Розрахункова витрата газу на кожній ділянці газової мережі

$$Q_{pi} = 0,5Q_{шi} + Q_{Ti}. \quad (2.4)$$

Для ділянки газопроводу 1-2

$$Q_{p1-2} = 0,5Q_{ш1-2} + Q_{T1-2} = 0,5 \cdot 70.52 + 397.62 = 432,88 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Аналогічно визначено розрахункові витрати газу на всіх ділянках мережі та занесено результати до табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Результати розрахунку витрат газу для ділянок кільцевої газової мережі низького тиску

Ділянка	Довжина L, м	Витрата газу, м ³ /год		
		Шляхова Q _ш	Транзитна Q _т	Розрахункова Q _р
1-2	141	70.52	397.62	432.88
2-3	210	105.03	138.04	190.56
3-4	93	46.51	91.53	114.78
4-5	93	46.51	45.01	68.27
5-6	90	45.01	0	22.51
2-8	98	49.01	105.53	130.04
8-4	211	105.53	0	52.77
1-7	102	51.02	645.70	671.20
7-9	95	47.51	478.15	501.90
9-10	96	48.01	255.58	279.59
10-11	58	29.01	52.52	67.02
11-16	105	52.52	0	26.26
7-8	138	69.02	0	34.51
7-15	102	51.02	0	25.51
9-5	349	174.55	0	87.28
10-6	348	174.05	0	87.03
1-12	191	95.53	379.62	427.38
12-13	97	48.51	331.10	355.36
13-14	242	121.04	43.01	103.53
14-16	86	43.01	0	22.51
13-15	89	44.51	122.54	144.79
15-16	245	122.54	0	61.27

Абсолютний тиск газу, що подається споживачам

$$P_k = P_n - \Delta P_{\text{доп}}, \quad (2.5)$$

де $P_n = 104325$ Па – абсолютний тиск газу на після ГРП (початок газової мережі);

$\Delta P_{\text{доп}} = 1200$ Па – допустимий перепад тиску в мережах низького тиску.

$$P_k = 104325 - 1200 = 103125 \text{ Па.}$$

Середній тиск газу в мережі

$$P_{\text{ср}} = 0,5(P_n + P_k) \cdot 10^{-6}, \quad (2.6)$$

$$P_{\text{ср}} = 0,5(104325 + 1031235) \cdot 10^{-6} = 0,103725 \text{ МПа.}$$

Середній гідравлічний нахил в газовій мережі

$$I_{\text{ср}} = \frac{\Delta P_{\text{доп}}}{1,1 \cdot L_0}, \quad (2.7)$$

де L_0 – довжина «магістралі» або найбільш протяжного напрямку руху газу.

$$\begin{aligned} L_0 &= L_{1-7} + L_{7-9} + L_{9-10} + L_{10-6} = \\ &= 102 + 95 + 96 + 348 = 641 \text{ м.} \end{aligned}$$

$$I_{\text{cp}} = \frac{1200}{1,1 \cdot 641} = 1,702 \frac{\text{Па}}{\text{м}}$$

Визначаємо швидкість руху газу на кожній ділянці мережі методом послідовних наближень. Розрахунок проводимо на прикладі для ділянки 1-2.

Задаємося максимальним значенням швидкості руху газу на ділянках газової мережі низького тиску

$$w = 7 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Середня температура газу в мережі 280 К.

Визначаємо необхідний внутрішній діаметр характерної ділянки газової мережі за формулою, яка рекомендована ДБН В.2.5-20-2018

$$d = 0,036238 \sqrt{\frac{Q_{\text{cp}} T}{P_{\text{cp}} w}}, \quad (2.8)$$

$$d = 0,036238 \sqrt{\frac{432,88 \cdot 280}{0,103725 \cdot 7}} = 14,81 \text{ см.}$$

Розраховуємо гідравлічний нахил на ділянці газової мережі

$$I_p = 69 \left(\frac{k_e}{d} + 1922 \frac{v_H d}{Q_{\text{cp}}} \right)^{0,25} \frac{Q_{\text{cp}}^2 \rho_H}{d^5}, \quad (2.9)$$

де k_e – абсолютна еквівалентна шорсткість внутрішньої поверхні труби, приймаємо 0,01 см;

ν_H – коефіцієнт кінематичної в'язкості газу за н.у.,

ρ_H – густина газу за н.у.

$$I_p = 69 \left(\frac{0,002}{14,81} + 1922 \cdot \frac{1,33 \cdot 10^{-5} \cdot 14,81}{432,88} \right)^{0,25} \cdot \frac{432,88^2 \cdot 0,72}{14,81^5} = 2,325 \frac{\text{Па}}{\text{м}}$$

Порівнюємо розрахований гідравлічний нахил I_p з середнім по мережі I_{cp} . Якщо різниця між ними перевищує задану точність розрахунку $\varepsilon = 0,0001$, тобто не виконується умова

$$|I_p - I_{cp}| < \varepsilon, \quad (2.10)$$

то зменшуємо швидкість руху газу на крок Δw

$$w = w - \Delta w. \quad (2.11)$$

Порівнюємо

$$|2,325 - 1,702| = 0,623 > \varepsilon = 0,0001.$$

Методом послідовних наближень за умовою зменшення швидкості руху газу на величину Δw одержуємо середню швидкість руху газу на певній ділянці

$$w = 6,142 \frac{\text{м}}{\text{с}} \text{ при } d = 15,81 \text{ см.}$$

Отриманий діаметр заокруглюємо до найближчого більшого стандартного значення.

$$d = 180 \times 10,3 \text{ мм.}$$

Розрахунком передбачене виконання однотипних розрахункових операцій для кожної ділянки мережі газопостачання. Тому розрахунки проводимо у програмі Microsoft Office Excel. Результати вносимо до табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Результати розрахунку діаметрів ділянок газопроводу

№ Ділянки	Швидкість руху газу w, м/с	Розрахунковий діаметр ділянки газопроводу, см	Стандартний діаметр Ділянки d, см	Внутрішній діаметр ділянки d _в , см
1-2	6,142	15,807	180x10,3	15,94
2-3	4,961	11,669	140x8,0	12,40
3-4	4,347	9,675	110x6,3	9,74
4-5	3,796	7,985	110x6,3	9,74
5-6	2,841	5,300	63x3,6	6,64
2-8	4,491	10,131	125x7,1	11,08
8-4	3,549	7,260	90x5,2	7,96
1-7	6,883	18,593	225x12,8	19,40
7-9	6,382	16,696	200x11,4	17,72
9-10	5,482	13,446	160x9,1	14,18
10-11	3,778	7,930	90x5,2	7,96
11-16	2,957	5,610	75x4,3	6,64
7-8	3,176	6,206	75x4,3	6,64
7-15	2,935	5,550	63x3,6	6,64
9-5	4,047	8,743	110x6,3	9,74
10-6	4,044	8,734	110x6,3	9,74
1-12	6,121	15,732	180x10,3	15,94
12-13	5,835	14,694	180x10,3	15,94
13-14	4,232	9,313	110x6,3	9,74
14-16	2,807	5,211	63x3,6	6,64
13-15	4,619	10,542	125x7,1	11,08
15-16	3,690	7,672	90x5,2	7,96

Число Рейнольдса для кожної ділянки газової мережі

$$Re = 0,0354 \frac{Q_p}{d_B v_H}. \quad (2.12)$$

Для ділянки газопроводу 1-2

$$Re_{1-2} = 0,0354 \cdot \frac{432.88}{15.94 \cdot 1.33 \cdot 10^{-5}} = 72337.$$

Далі визначаємо число Рейнольдса на всіх ділянках мережі.

Залежно від режиму руху газу, який характеризується числом Рейнольдса, вибираємо відповідну формулу для розрахунку втрат тиску від тертя для кожної ділянки газової мережі

Для $Re_i < 2000$

$$\Delta P_i = 1,132 \cdot 10^6 \frac{Q_{pi} v_H \rho_H l_i}{d_{Bi}^4}. \quad (2.13)$$

Для $2000 < Re_i \leq 4000$

$$\Delta P_i = 0,516 \frac{Q_{pi}^{2,333} \rho_H l_i}{d_{Bi}^{5,333} v_H^{0,333}}. \quad (2.14)$$

Для $Re_i > 4000$

$$\Delta P_i = 69 \left(\frac{k_e}{d_{Bi}} + 1922 \frac{v_H d_{Bi}}{Q_{pi}} \right)^{0,25} \frac{Q_{pi}^2 \rho_H l_i}{d_{Bi}^5}. \quad (2.15)$$

Для ділянки газопроводу 1-2 $Re_{1-2} > 4000$, тоді

$$\Delta P_i = 69 \left(\frac{0.002}{15.94} + 1922 \frac{1.33 \cdot 10^{-5} \cdot 15.94}{432.88} \right)^{0,25} \frac{432.88^2 \cdot 0.72 \cdot 141}{15.94^5}$$
$$= 230.49 \text{ Па} .$$

Далі визначаємо числа Рейнольдса і втрати тиску для кожної ділянки мережі та заносимо результати до табл. 2.3.

У газових кільцевих мережах діють закони Кірхгофа, які викликають перерозподіл газових потоків. Без врахування дії законів Кірхгофа при технологічному проектуванні мереж, фактичні витрати газу на ділянках можуть суттєво відрізнитись від проектних при їх експлуатації, це погіршить умови газопостачання частині споживачів газу. Якщо відхилення від виконання закону Кірхгофа буде перевищувати 1 %, то необхідно виконати гідравлічну ув'язку кільцевих контурів мережі.

Для виконання гідравлічної ув'язки кілець витраті газу на ділянці Q_{pi} і втратам тиску від тертя ΔP_i присвоюємо знак “плюс”, якщо рух газу на ділянці відбувається за годинниковою стрілкою, і знак “мінус”, якщо газ на ділянці рухається проти стрілки годинника.

Таблиця 2.3 – Результати розрахунку втрат тиску для ділянок газової мережі в першому наближенні

№ Контуру	№ Ділянки	Довжина, м	Q_{pi} , м ³ /год	Re	ΔP , Па
I	2-3	210	190,56	40934	-267,04
	3-4	93	114,78	31391	-153,27
	2-8	98	130,04	31262	108,63
	8-4	211	52,77	17657	231,17
II	1-2	141	432,88	72337	-230,49
	2-8	98	130,04	31262	-108,63
	1-7	102	671,20	92158	141,49
	7-8	138	34,51	13844	170,00
III	1-12	191	427,38	71417	305,19
	12-13	97	355,36	59382	111,66
	13-15	89	144,79	34809	119,33
	1-7	102	671,20	92158	-141,49
	7-15	102	25,51	10233	-73,75
IV	7-8	138	34,51	13844	-170,00
	8-4	211	52,77	17657	-231,17
	4-5	93	68,27	18670	-61,19
	7-9	95	501,90	75446	121,45
	9-5	349	87,28	23868	354,24
V	9-5	349	87,28	23868	-354,24
	5-6	90	22,51	9029	-52,21
	9-10	96	279,59	52519	126,60
	10-6	348	87,03	23800	351,44
VI	7-9	95	501,90	75446	-121,45
	9-10	96	279,59	52519	-126,60
	10-11	58	67,02	22427	-96,96
	11-16	105	26,26	10533	-79,90
	7-15	102	25,51	10233	73,75
	15-16	245	61,27	20502	349,48
	13-15	89	144,79	34809	-119,33
	15-16	245	61,27	20502	-349,48
	13-14	242	103,53	28313	332,23
	14-16	86	21,51	8627	46,05

2.3 Гідравлічна ув'язка контурів газової мережі

Для кожного контуру визначасмо суму втрат тиску з врахуванням знаків і за абсолютною величиною

$$S_{kj} = \sum_{i=1}^{i=n} \Delta P_i, \quad (2.19)$$

$$S_{kaj} = \sum_{i=1}^{i=n} |\Delta P_i| \quad (2.20)$$

Для всіх контурів мережі газопостачання розраховуємо похибку Δ_k , величина якої показує ступінь виконання другого закону Кірхгофа

$$\Delta_{kj} = \left| \frac{S_{kj}}{0,5 S_{kaj}} 100 \% \right|. \quad (2.21)$$

Для контуру I

$$\begin{aligned} S_{kI} &= \Delta P_{2-3} + \Delta P_{3-4} - \Delta P_{2-8} - \Delta P_{8-4} = \\ &= (-267.04) + (-153.27) + 108.63 + 231.17 = -80.51 \text{ Па,} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{kaI} &= \Delta P_{2-3} + \Delta P_{3-4} - \Delta P_{2-8} - \Delta P_{8-4} = \\ &= 267.04 + 153.27 + 108.63 + 231.17 = 760.10 \text{ Па.} \end{aligned}$$

Для всіх контурів мережі газопостачання розраховуємо похибку Δ_k , величина якої показує ступінь виконання другого закону Кірхгофа

$$\Delta_{kj} = \left| \frac{-80.51}{0,5 \cdot 760.10} 100 \% \right| = 21.18\%.$$

Далі формули визначення S_{kj} та S_{kaj} для кожного контуру мережі вносим до табл. 2.4

Таблиця 2.4 – Результати визначення відхилення від виконання закону Кірхгофа

Контур	S_{kj}	S_{kaj}	$\Delta_{kj}, \%$
I	-80.51	760.10	21.18
II	-27.62	650.61	8.49
III	320.93	751.42	85.42
IV	13.33	938.05	2.84
V	71.59	884.48	16.19
VI	-1.68	848.15	0.40
VII	-90.52	848.09	21.37

Якщо хоча би для одного контуру похибка Δ_{kj} перевищує задану точність розрахунку $\varepsilon_{kj} = 1 \%$, то необхідно виконати гідравлічну ув'язку кілець шляхом введення поправочних витрат газу.

Гідравлічна ув'язку контурів мережі проводимо наступним чином. Для всіх ділянок розраховуємо відношення втрат тиску до витрати газу, а потім обчислюємо суму цих відношень для кожного контуру

$$S_{kvj} = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{\Delta P_i}{Q_{pi}}. \quad (2.22)$$

Для контуру I

$$S_{квI} = \frac{\Delta P_{2-3}}{Q_{p2-3}} + \frac{\Delta P_{3-4}}{Q_{p3-4}} + \frac{\Delta P_{2-8}}{Q_{p2-8}} + \frac{\Delta P_{8-4}}{Q_{p8-4}} =$$

$$= \frac{267.04}{190.56} + \frac{153.27}{114.78} + \frac{108.63}{130.04} + \frac{231.17}{52.77} = 7.95 \text{ Па} \cdot \frac{\text{год}}{\text{м}^3}.$$

Для інших контурів розпишемо формули, відповідно до конфігурації газової мережі, а результати визначення винесемо до табл. 2.5.

Поправочна витрата газу, яка враховує нев'язку у своєму контурі

$$\Delta Q'_{kj} = - \frac{S_{kj}}{1,75 S_{квj}}, \quad (2.23)$$

де 1,75 – числовий коефіцієнт для випадку роботи газових мереж низького тиску у зоні гідравлічно гладких труб турбулентного режиму.

Для контуру I

$$\Delta Q'_{kI} = - \frac{-80.51}{1,75 \cdot 7.95} = 5.78 \text{ м}^3/\text{год},$$

Аналогічно розраховано для інших контурів, результати до табл. 2.5.

Поправочна витрата, що враховує нев'язку у сусідніх контурах

$$\Delta Q''_{kj} = \frac{\sum \Delta Q'_{kj} \left(\frac{\Delta P}{Q} \right)_i}{S_{квj}}, \quad (2.24)$$

де – $\Delta Q'_{kj}$ поправочні витрати газу для контурів, що межують з даним;
 $\left(\frac{\Delta P}{Q}\right)_i$ – відношення параметрів для відповідних ділянок, спільних для даного і
 сусідніх контурів.

Для контуру I

$$\Delta Q''_{kI} = \frac{\left(\Delta Q'_{kII} \frac{\Delta P_{2-8}}{Q_{p2-8}} + \Delta Q'_{kIV} \frac{\Delta P_{8-4}}{Q_{p8-4}} + \Delta Q'_{kVI} \frac{\Delta P_{1-6}}{Q_{p1-6}}\right)}{S_{квI}} =$$

$$= \frac{\left(2,43 \cdot \frac{108.63}{130.04} + (-0,53) \cdot \frac{231.17}{52.77}\right)}{7,95} = -0.03 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Для інших контурів розпишемо формули, відповідно до конфігурації
 газової мережі, а результати визначення винесемо до табл. 2.5.

Загальні поправочні витрати газу для всіх контурів мережі

$$\Delta Q_{kj} = \Delta Q'_{ki} + \Delta Q''_{ki} \quad (2.25)$$

Для контуру I

$$\Delta Q_{kI} = 5.78 + (-0.03) = 5.75 \text{ м}^3/\text{год.},$$

Аналогічно розраховано для інших контурів, результати до табл. 2.5.

Уточнені витрати газу для кожної ділянки кільцевої мережі

$$Q_{yi} = Q_{pi} + \Delta Q_{kj} - \Delta Q_{ckj}, \quad (2.26)$$

- де Q_{pi} – розрахункова витрата на певній ділянці;
 ΔQ_{kj} – поправочні витрати газу для даного контуру;
 ΔQ_{ckj} – поправочні витрати газу для сусіднього контуру.

Таблиця 2.5 – Результати визначення поправочних витрат газу для контурів мережі в першому наближенні

Контур	$\Delta Q'_{kj}, \text{м}^3/\text{год}$	$\Delta Q''_{kj}, \text{м}^3/\text{год}$	$\Delta Q_{kj}, \text{м}^3/\text{год}$
I	5,78	-0,03	5,75
II	2,43	-0,85	1,57
III	-37,01	0,87	-36,15
IV	-0,53	1,52	0,99
V	-3,76	-0,19	-3,96
VI	0,07	-6,10	-6,03
VII	4,35	-2,53	1,82

Для ділянки 1-2

$$Q_{y1-2} = Q_{p1-2} + \Delta Q_{k1} = 432,88 + 1,57 = 431,31 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Для інших ділянок розпишемо формули, відповідно до конфігурації газової мережі, а результати визначення винесемо до табл. 2.6.

Уточнені витрати газу підставляються у формулу (2.12) і далі розрахунки повторюються до тих пір, поки похибка Кірхгофа Δ_{ki} для всіх контурів не стане меншою від заданої точності розрахунку $\varepsilon = 1 \%$.

Розрахунки проводимо у комп'ютерній програмі Microsoft Office Excel. Після проведення 8 ітерацій, отриманий результат задовольняє точності розрахунку. В табл. 2.7 наведені результати визначення витрат в останньому наближенні. В табл. 2.8 наведені значення відхилень від виконання закону Кірхгофа в першому та останньому наближеннях.

Таблиця 2.6 – Результати визначення уточнених витрат газу для ділянок мережі в першому наближенні

№ Контуру	№ Ділянки	Розрахункова витрата газу, $Q_{p i}$, м ³ /год	Уточнена витрата газу, $Q_{y i}$, м ³ /год
I	2-3	184,81	184,32
	3-4	109,03	108,55
	2-8	134,22	133,76
	8-4	57,52	57,81
II	1-2	431,31	430,37
	2-8	134,22	133,76
	1-7	708,92	710,27
	7-8	35,09	35,83
III	1-12	391,24	390,83
	12-13	319,21	318,81
	13-15	106,83	110,29
	1-7	708,92	710,27
	7-15	55,63	52,84
IV	7-8	35,09	35,83
	8-4	57,52	57,81
	4-5	67,28	67,07
	7-9	508,92	512,32
	9-5	92,23	92,31
V	9-5	92,23	92,31
	5-6	26,46	26,34
	9-10	281,66	284,97
	10-6	83,07	83,19
VI	7-9	508,92	512,32
	9-10	281,66	284,97
	10-11	73,05	76,24
	11-16	32,29	35,47
	7-15	55,63	52,84
	15-16	53,42	54,10
VII	13-15	106,83	110,29
	15-16	53,42	54,10
	13-14	105,35	101,48
	14-16	23,33	19,46

Таблиця 2.7 – Результати визначення уточнених витрат газу для ділянок мережі в першому наближенні

№ Контуру	№ Ділянки	Розрахункова витрата газу, $Q_{p i}, \text{м}^3/\text{год}$	Уточнена витрата газу, $Q_{y i}, \text{м}^3/\text{год}$	
			1 ітерація	4 ітерація
I	2-3	184,81	184,32	183,89
	3-4	109,03	108,55	108,12
	2-8	134,22	133,76	133,77
	8-4	57,52	57,81	58,09
II	1-2	431,31	430,37	429,94
	2-8	134,22	133,76	133,77
	1-7	708,92	710,27	712,48
	7-8	35,09	35,83	36,11
III	1-12	391,24	390,83	389,05
	12-13	319,21	318,81	317,03
	13-15	106,83	110,29	109,81
	1-7	708,92	710,27	712,48
	7-15	55,63	52,84	52,61
IV	7-8	35,09	35,83	36,11
	8-4	57,52	57,81	58,09
	4-5	67,28	67,07	66,93
	7-9	508,92	512,32	514,48
	9-5	92,23	92,31	92,27
V	9-5	92,23	92,31	92,27
	5-6	26,46	26,34	26,16
	9-10	281,66	284,97	287,16
	10-6	83,07	83,19	83,37
VI	7-9	508,92	512,32	514,48
	9-10	281,66	284,97	287,16
	10-11	73,05	76,24	78,25
	11-16	32,29	35,47	37,49
	7-15	55,63	52,84	52,61
	15-16	53,42	54,10	53,38
VII	13-15	106,83	110,29	109,81
	15-16	53,42	54,10	53,38
	13-14	105,35	101,48	100,19
	14-16	23,33	19,46	18,16

Таблиця 2.8 – Результати визначення відхилення від виконання закону Кірхгофа в першому і останньому наближеннях

КОНТУР	$\Delta_{kj}, \%$	
	1 ІТЕРАЦІЯ	4 ІТЕРАЦІЯ
I	2.25	0.23
II	3.81	0.26
III	5.83	0.25
IV	2.18	0.21
V	1.75	0.17
VI	16.40	0.86
VII	13.99	0.34

Результати визначення діаметрів ділянок, витрат газу на ділянках та їх довжини представлені на рис. 2.3.

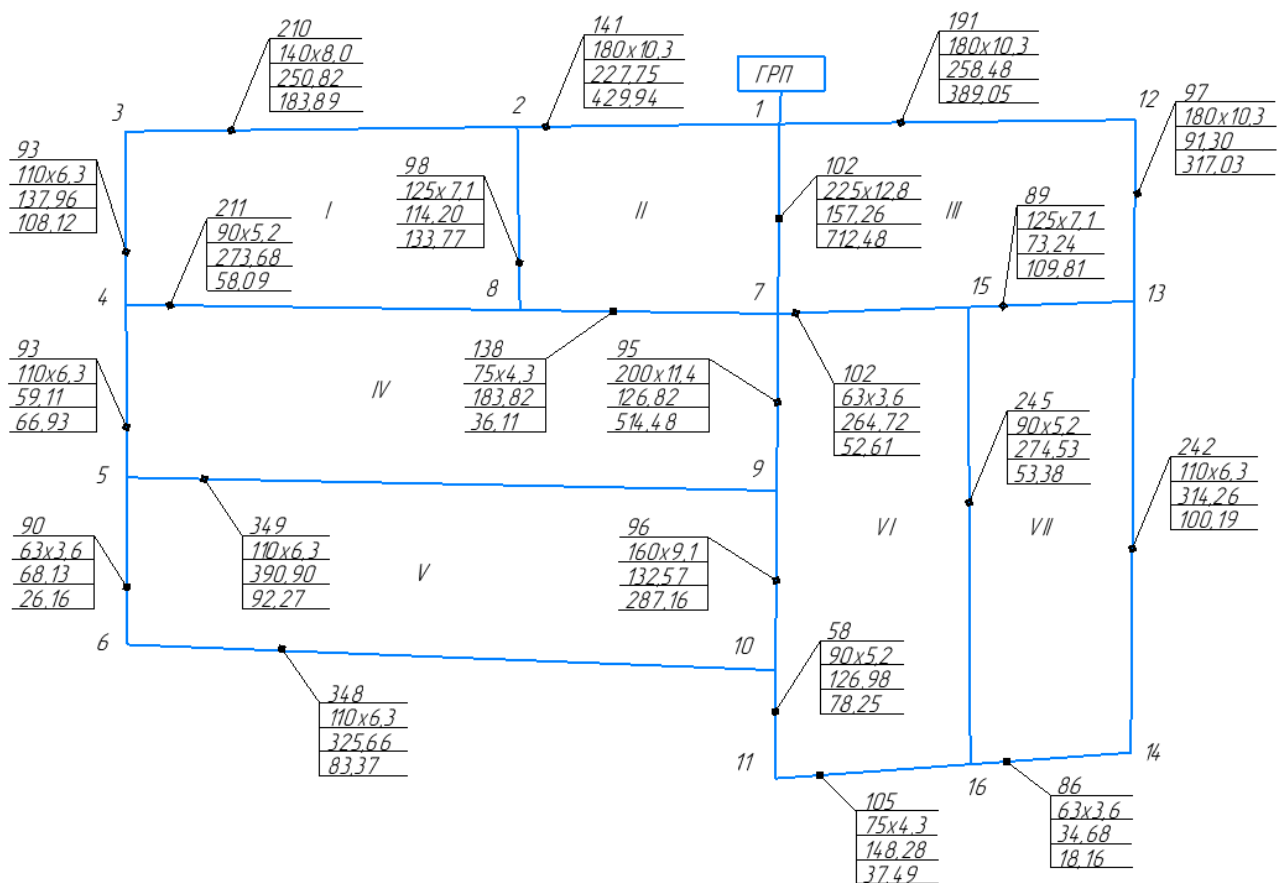


Рисунок 2.3 – Результати гідравлічного розрахунку газової мережі

За отриманими результатами можна зробити висновок, що гідравлічна ув'язка контурів газової мережі проведена і мережа працездатна за проектних умов.

2.4 Газорегуляторний пункт мережі

Газорегуляторний пункт (рис. 2.4) або установка — це комплекс технологічного обладнання та пристроїв, який забезпечує зниження вхідного тиску газу до заданого рівня та стабільне його підтримання на виході. Залежно від способу розміщення обладнання, газорегуляторні пункти класифікують на кілька основних типів (рис. 2.5):

- Газорегуляторний пункт шафовий (ГРПШ): технологічне обладнання розташовується в шафі, виготовленій із негорючих матеріалів.

- Газорегуляторна установка (ГРУ): обладнання монтується на рамі без окремої огорожувальної конструкції. Таке обладнання може встановлюватися на відкритих майданчиках під навісом, всередині приміщення, де знаходиться газоспоживаюче обладнання, або в суміжному приміщенні, яке має відкритий отвір для з'єднання.

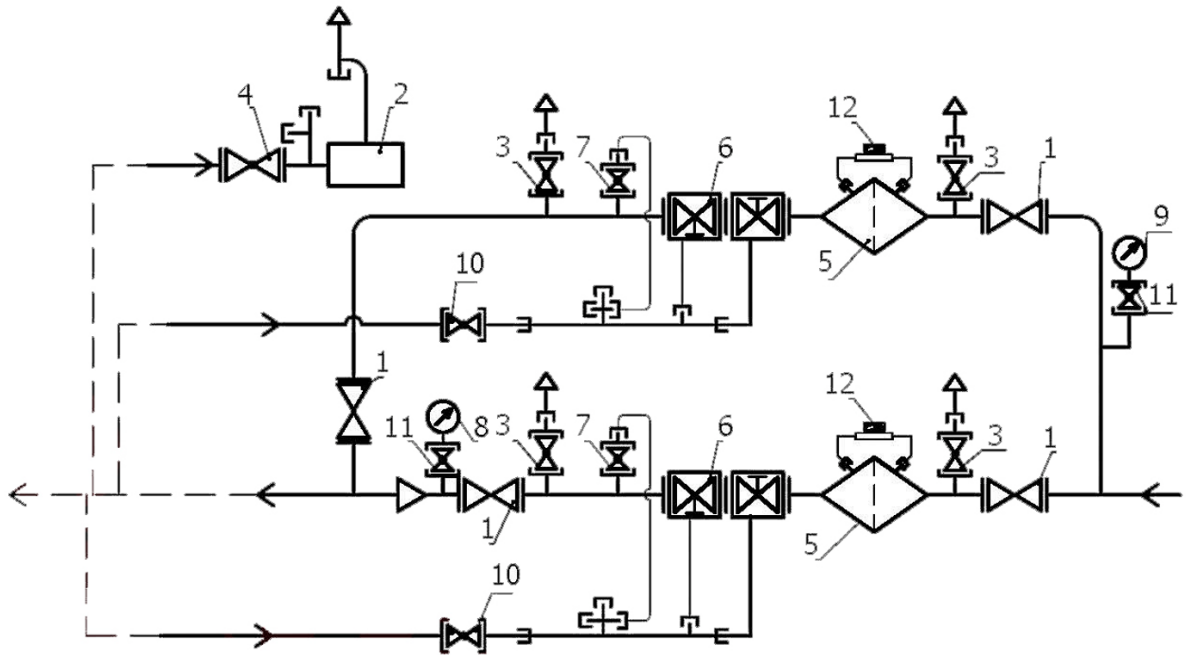
- Пункт газорегуляторний блоковий (ПГБ): оснащення розташовується в одному чи декількох транспортбельних контейнерних будівлях.

- Стационарний газорегуляторний пункт (ГРП): обладнання розміщується у спеціально призначених будівлях, приміщеннях чи на відкритих майданчиках. Головною відмінністю стационарного ГРП від інших типів (ГРПШ, ГРУ, ПГБ) є те, що він не належить до заводських виробів повної готовності.

Газорегуляторні пункти та установки можна класифікувати таким чином:

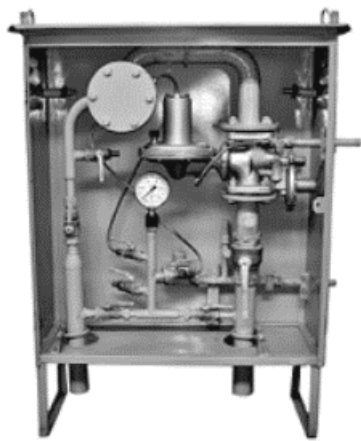
- за призначенням: будинкові та промислові.
- за кількістю виходів: з одним і більше виходами.
- за технологічними схемами:
- з однією лінією редукування;

- з основною та резервною лініями редукування;
- з двома лініями редукування, налаштованими на різний вихідний тиск, та двома резервними лініями;
- з чотирма лініями редукування (дві основні, дві резервні), з послідовним редукуванням, з одним або двома виходами.

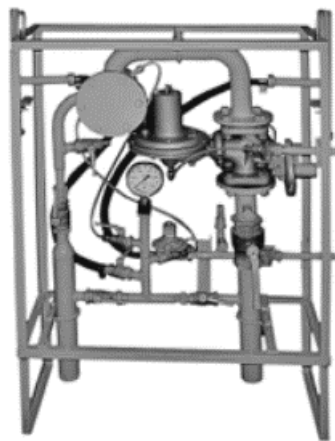


- 1 – кран кульовий – 4 шт;
- 2 – запобіжний скидний клапан – 1 шт;
- 3 – кран кульовий – 4 шт;
- 4 – кран кульовий – 1 шт;
- 5 – фільтр ФГ – 2 шт;
- 6 – регулятор тиску газу с К33-100 – 2 шт;
- 7 – кран кульовий – 3 шт;
- 8 – напоромір (комплектуються додатково);
- 9 – вхідний манометр – 1 шт;
- 10 – кран кульовий – 2 шт;
- 11 – кран кульовий для манометра – 2 шт;
- 12 – індикатор перепаду тиску (комплектуються додатково)

Рисунок 2.4 – Схема газорегуляторного пункту



шафовий (ГРПШ)

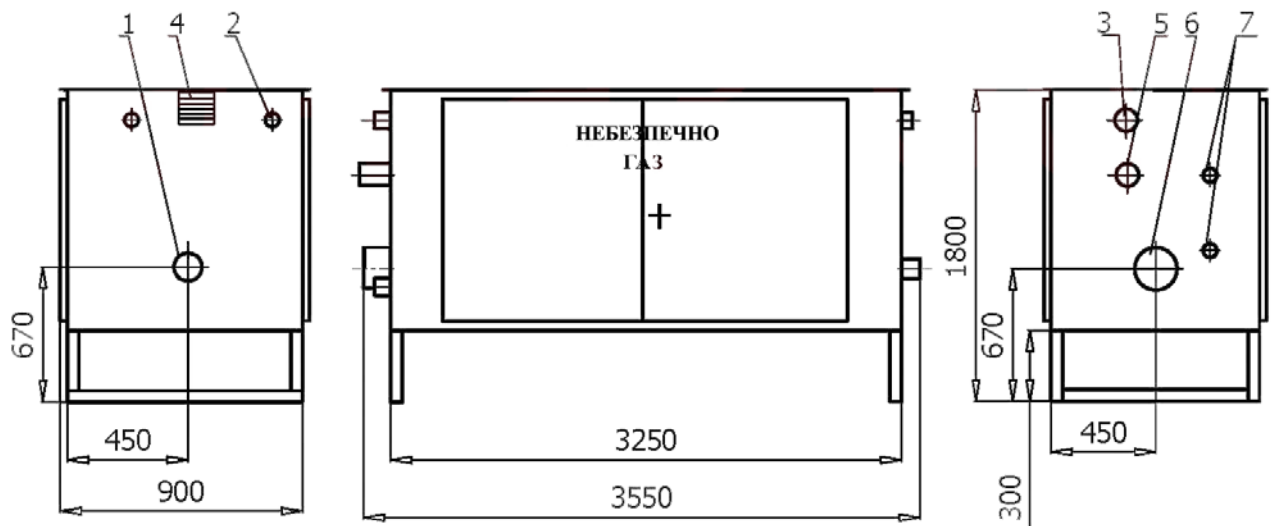


установка (ГРУ)



блочний (ПГБ)

Рисунок 2.5 – Типи газорегуляторних пунктів



1 – вхід газу; 2 – продувний патрубков; 3 – вихід ЗСК; 4 – жалюзійні ґрати;
5 – вхід ЗСК; 6 – вихід газу; 7 – підведення імпульсу до регулятора

Рисунок 2.6 – Габаритне креслення газорегуляторного пункту шафового

ШРП комплектується регулятором тиску газу Itron RBE 3222 (Німеччина), який забезпечує автоматичне підтримання заданого вихідного тиску незалежно від коливань витрати газу та зміни вхідного тиску.



Рисунок 2.7 – Шафовий газорегуляторний пункт ШРП-1-1500-0,3

Джерело: офіційний сайт виробника ІВЦ «Європрилад» (зображення наведено з водяним знаком виробника).

Для очищення газу перед регулюванням передбачено встановлення газового фільтра типу *ФГ*, *ФГСК* або *MADAS FM*.

До складу запірних елементів системи входять кульові крани типу *Breeze (11c42n, 11c41n, 11c67n)*, а також запірні елементи виробників *TBV-25F(G)*, *Valvex*, *Giacomini*, *Ayvaz*, *TK*, *IVR*. Для забезпечення безпечної експлуатації пункт обладнано скидним запобіжним клапаном *MADAS MVS/1 SBV* або *K3B*, який призначений для скидання надлишкового газу в атмосферу при аварійному підвищенні тиску.

Застосування даного шафового газорегуляторного пункту забезпечує надійне редукування тиску газу з високого або середнього до необхідного рівня, стабільне підтримання параметрів газопостачання та автоматичний захист системи у разі аварійних відхилень тиску.

3 РОЗДІЛ З ОХОРОНИ ПРАЦІ

3.1 Аналіз умов праці та організація безпечного ведення робіт при реконструкції мереж

Реконструкція зовнішніх газопостачальних мереж в умовах густої забудови Одеси є комплексом робіт із підвищеним рівнем небезпеки. Головне завдання при організації будівельного майданчика полягає у створенні умов, що мінімізують вплив небезпечних факторів як на працівників, так і на цивільне населення. Відповідно до нормативного документа НПАОП 0.00-1.76-15, будь-які дії на об'єкті розпочинаються з розробки проєкту виконання робіт (ПВР), у якому чітко визначаються межі небезпечних зон.

Організація робочої зони та земляні роботи починаються з очищення траси й демонтажу дорожнього покриття. На цьому етапі існує ризик пошкодження суміжних комунікацій (зокрема електричних кабелів чи водопровідних магістралей). Щоб уникнути подібних ситуацій, роботи у зоні розташування діючих мереж проводяться лише вручну та в присутності представників експлуатаційних служб, без задіяння механізмів на відстані менше 1 метра від комунікацій.

При копанні траншей глибиною понад 1,25 метра (характерно для прибережних супіщаних ґрунтів Одеси), обов'язково застосовуються кріплення стінок. Якщо ж використовуються відкоси без кріплень, їхня крутизна має відповідати природному укосу ґрунту, щоб запобігти обвалам і травмам працівників. Земля, яку виймають із траншеї, повинна розташовуватися щонайменше за 0,5 метра від краю, щоб не створювати додаткового навантаження на схили виритої ями, що може спричинити їх обвалення.

У процесі робіт важливу роль відіграють виробничі умови. Робота на відкритому повітрі впливає на працівників через метеорологічні чинники. Зокрема, влітку температура повітря в Одеському регіоні може перевищувати

+30°C, що підвищує ризик теплових ударів. Для зниження цього ризику організовується графік роботи з обов'язковими перервами в затінених місцях, а також дотримується питний режим.

Шум від використання компресорів, пневматичного інструменту та іншої техніки під час реконструкції часто перевищує показник у 80 дБА. Для захисту слуху співробітники зобов'язані застосовувати протишумові засоби — навушники або спеціальні вкладиші (беруші). Крім того, особливу увагу приділяють видимості працівників поблизу проїжджої частини: вони мають носити сигнальні жилети 2-го або 3-го класу видимості з світловідбивальними елементами, які помітні у сутінках або за поганих погодних умов.

Безпека зони проведення робіт у районі житлової забудови є критично важливою. Для цього будівельну ділянку огорожують інвентарними щитами. У місцях із інтенсивним рухом пішоходів через відкриті траншеї облаштовуються тимчасові містки шириною не менше 1 метра з поручнями заввишки 1,1 метра та бортиком висотою 0,15 метра для запобігання падінню предметів або послизанню. На огорожах обов'язково розміщуються попереджувальні знаки: «Обережно! небезпечна зона», «Прохід заборонено», а також інформаційний стенд із контактними даними відповідальної особи за виконання робіт.

3.2 Технічні заходи безпеки при монтажі та зварюванні газопроводів

Монтажні та зварювальні роботи, що виконуються під час реконструкції зовнішніх газопостачальних мереж, відносяться до категорії робіт із підвищеним рівнем небезпеки. Технологічний процес включає переміщення великогабаритних труб, їх центрування, зварювання та подальшу ізоляцію стиків. Це вимагає безумовного дотримання встановлених норм, зокрема вимог НПАОП 0.00-1.71-13 «Правила безпеки систем газопостачання».

Безпека під час вантажно-розвантажувальних та монтажних робіт. Беручи до уваги значну вагу й довжину труб та секцій газопроводів, їх переміщення

проводиться за допомогою автокранів або спеціальних трубоукладачів. Важливим фактором безпеки є застосування перевірених вантажозахоплювальних пристроїв, таких як стропи, траверси чи м'які рушники, які не пошкоджують ізоляційне покриття труб. Категорично забороняється перебування людей під вантажем, а також у зоні між траншеєю і трубоукладачем. Для уникнення розгойдування труби під час підйому монтажники повинні використовувати відтяжки з прядив'яного канату. Опускання плетених секцій у траншеї має здійснюватись плавно, без ривків, та лише за командою сигнальника.

Електробезпека та вимоги до зварювального обладнання. Оскільки зварювальне обладнання споживає значну кількість електроенергії, існує ризик ураження електричним струмом. Для уникнення небезпеки всі металеві частини агрегатів (корпуси, пульти управління) повинні бути надійно заземлені. Зварювальні кабелі необхідно забезпечити подвійною ізоляцією та захистити від механічних пошкоджень, наприклад, від переїзду транспортними засобами. Використовувати мережу заземлення, рейки чи конструкції чинних газопроводів як зворотний провід строго забороняється. Розрахунок площі заземлювача. Мінімально допустимий переріз заземлюючого провідника залежить від його матеріалу: – Для мідного провідника: не менше 6 мм² – Для сталевого провідника: не менше 12 мм².

Захист персоналу під час зварювальних робіт. Зварювальні роботи супроводжуються сильним ультрафіолетовим і інфрачервоним випромінюванням, а також виділенням шкідливих аерозолів (оксиди марганцю, хрому, вуглецю тощо). Зварювальники зобов'язані використовувати захисні маски із світлофільтром типу «Хамелеон» і спецодяг з вогнестійкого матеріалу. У разі виконання зварювальних робіт у траншеї необхідно обов'язково перевірити наявність природної або примусової вентиляції для усунення небезпеки накопичення важких газів чи продуктів горіння.

Контроль якості та безпека стиків. Оскільки газ постачається під високим тиском, будь-який зварний стик може стати потенційною точкою витoku. Тому кожне з'єднання підлягає строгому контролю: візуально-вимірjувальній перевірці й неруйнівним методам оцінки (рентгенографічний або ультразвуковий контроль). Під час рентгеноскопії на будівельному майданчику встановлюється небезпечна зона радіусом не менше 20 метрів, яка позначається попереджувальними знаками, а перебування сторонніх осіб у цій зоні недопустиме.

Після завершення зварювання стики ізолюють бітумно-полімерними або термоусадковими матеріалами. Це запобігає корозії, забезпечуючи довговічність і безпеку експлуатації мережі навіть у складних умовах агресивних ґрунтів Одеського регіону.

4 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

4.1 Базисна кошторисна вартість

Основні характеристики проекрованої системи газопостачання:

- тип системи: низького тиску, кільцева;
- кількість ГРП – 1 шт.;
- тип прокладки – підземний;
- загальний об'єм споживання газу $Q_{річ} = 3,5 \frac{\text{млн.м}^3}{\text{рік}}$;
- загальна протяжність газопроводу $L = 3279 \text{ м}$.

Головним техніко-економічним показником є потужність системи, тобто обсяг подачі газу протягом року за умови раціонального використання основних фондів (газових мереж і обладнання). Вона визначається за брутто-споживанням газу з урахуванням втрат та витрат на власні потреби.

Потужність системи $Q_{\text{под}}$, тис. м³/рік:

$$Q_{\text{под}} = Q_{\text{брутто}} = (Q_{\text{річ}} \cdot 0,8\%) + Q_{\text{річ}} = Q_{\text{річ}} \cdot 1,008, \quad (4.1)$$

де $Q_{\text{річ}}$ – загальний об'єм споживання природного газу, млн. м³/рік.

$$Q_{\text{под}} = Q_{\text{брутто}} = 3,5 \cdot 1,008 = 3,528 \frac{\text{млн. м}^3}{\text{рік}}$$

Коефіцієнт використання потужності газопроводу $K_{\text{п}}$:

$$K_{\text{п}} = \frac{Q_{\text{річ}}}{Q_{\text{под}}}, \quad (4.2)$$

де $Q_{\text{под}}$ – потужність системи, тис. м³/рік;

$Q_{річ}$ – загальний об'єм споживання газу, тис. м³/рік.

$$K_n = \frac{3,5}{3,528} = 0,992.$$

Базисна кошторисна вартість газопроводу (БКВ), тис. грн.:

$$K_{заг} = C_{п.ср} \cdot L, \quad (4.3)$$

$$K_{заг} = 1,2 \cdot 3279 = 3934 \text{ тис. грн.} = 3,934 \text{млн. грн.}$$

де $C_{п.ср}$ – питома середня ціна на будівництво 1 м підземного поліетиленового газопроводу, тис. грн., $C_{п.ср} = 1,2$ тис. грн.;

L – довжина газопроводу, м.

4.2 Термін окупності

Територіальне розташування будівельних робіт визначається залежно від населеного пункту, де планується спорудження відповідного об'єкта. Процес підготовки кошторисної документації розпочинається зі створення локальних кошторисів, які охоплюють окремі види робіт і витрат для кожного конкретного об'єкта. На основі цих даних розробляється зведений кошторис, що дозволяє визначити загальну вартість виконання будівельних робіт для всієї системи газопостачання. Об'єктний кошторис враховує вартість таких складових: - загальнобудівельні роботи; - спеціалізовані роботи; - монтаж технологічного обладнання; - пусконаладжувальні роботи; - необхідне технічне оснащення. Загальна кошторисна вартість будівництва газопроводу формується на основі зведеного кошторисного розрахунку, підготовленого відповідно до проєкту. Цей документ є постійним і служить основою для фінансування будівельних робіт.

Річні витрати на експлуатацію системи газопостачання включають: - закупівлю матеріалів, у тому числі природного газу; - оплату праці з урахуванням відрахувань на соціальні потреби; - амортизаційні нарахування; - витрати на технічне обслуговування, поточний ремонт та інші супутні витрати. Загальна сума собівартості реалізації газу C_o , тис. грн.:

$$C_o = Z_{кг} + Z_a + Z_{пр} + Z_{оп} + Z_{ін}, \quad (4.4)$$

де $Z_{кг}$ – витрати на купівлю газу, тис. грн.;

$Z_{оп}$ – витрати на оплату праці, тис. грн.;

Z_a – витрати на амортизацію, тис. грн.;

$Z_{пр}$ – витрати на тех.обслуговування і поточний ремонт, тис. грн.;

$Z_{ін}$ – інші витрати, тис. грн.

а) витрати на купівлю газу $Z_{кг}$, млн. грн.:

$$Z_{кг} = Q_{брутто} \cdot C_{тис.м^3}, \quad (4.5)$$

де $Q_{брутто}$ – об'єм подачі газу споживачам з урахуванням втрат газу;

$C_{тис.м^3}$ – ціна купівлі тис.м³ газу – 5500 грн.

$$Z_{кг} = 3,528 \cdot 5500 = 19.404 \text{ млн. грн.}$$

б) витрати на оплату праці $Z_{оп.}$, млн. грн.:

$$Z_{оп} = Z_{ср} \cdot C_{заг} \cdot K_{відр} \cdot n, \quad (4.6)$$

де $Z_{оп}$ – витрати на оплату праці, тис. грн.;

$Z_{\text{ср.}}$ – середньомісячна заробітна плата одного працівника.;

$Ч_{\text{заг}}$ – загальна кількість виробничого персоналу, чол.;

$K_{\text{відр}}$ – коефіцієнт відрахувань на соц.потреби;

n – кількість місяців за рік – 12.

Загальна кількість виробничого персоналу:

$$Ч_{\text{заг}} = Ч_{\text{адп}} \cdot Ч_{\text{вп}}. \quad (4.7)$$

Кількість адміністративного персоналу відповідно до нормативної трудомісткості обслуговування квартир, газових мереж і подачі 1 млн.м³ /рік газу.

Трудомісткість обслуговування однієї квартири $T_{\text{р кв}}$:

$$T_{\text{р кв}} = K_{\text{кв}} \cdot 1, \quad (4.8)$$

де $K_{\text{кв}}$ – кількість квартир, шт.

$$T_{\text{р кв}} = 100 \cdot 1 = 100 \text{ годин.}$$

Трудомісткість обслуговування 1 км газової мережі $T_{\text{р км}}$:

$$T_{\text{р км}} = L_{\text{км}} \cdot 10, \quad (4.9)$$

де $L_{\text{км}}$ – довжина газопроводу, км.

$$T_{\text{р км}} = 3,279 \cdot 10 = 32,79 \text{ годин.}$$

Трудомісткість обслуговування подачі 1 млн. м³ газу в рік $T_{\text{р1млнм}^3}$:

$$T_{p1млнм^3} = Q_{\text{брутто млн.м}^3} \cdot 2, \quad (4.10)$$

де $Q_{\text{брутто млн.м}^3}$ – потужність системи, млн. м³/рік.

$$T_{p1млнм^3} = 3.528 \cdot 2 = 7.056 \text{ годин.}$$

Кількість адміністративного персоналу $Ч_{\text{адп}}$, чол.

$$Ч_{\text{адп}} = \frac{\sum(T_{\text{ркв}} + T_{\text{ркм}} + T_{p1млнм^3}) \cdot \gamma}{1000}, \quad (4.11)$$

де γ – кількість працівників адміністративного персоналу в залежності від суми трудомісткості, в умовних одиницях.

$$Ч_{\text{адп}} = \frac{\sum(100 + 32,79 + 7.056) \cdot 1,3}{1000} \approx 1 \text{ чол.}$$

Кількість виробничого персоналу для основних підрозділів газового господарства розраховується на основі встановлених нормативів чисельності працівників, беручи до уваги кількість газифікованих квартир і протяжність газопроводів. Чисельність працівників служби будинкових мереж $Ч_{\text{бм.}}$, осіб:

$$Ч_{\text{бм.}} = K_{\text{кв.}} \cdot 0,00035, \quad (4.12)$$

де $K_{\text{кв.}}$ – загальна кількість квартир, шт.

$$Ч_{\text{бм.}} = 100 \cdot 0,00035 \approx 1 \text{ чол.}$$

Кількість працівників з експлуатації підземних газопроводів $\text{Ч}_{\text{вм.}}$, чол.:

$$\text{Ч}_{\text{вм.}} = L_{\text{км}} \cdot 0,3, \quad (4.13)$$

$$\text{Ч}_{\text{вм.}} = 3,279 \cdot 0,3 \approx 1 \text{ чол.}$$

Кількість працівників аварійно-диспетчерської служби $\text{Ч}_{\text{адс}}$, чол.:

$$\text{Ч}_{\text{адс}} = 0,0005 \cdot \sum T_p, \quad (4.14)$$

де $\sum T_p$ – загальна трудомісткість в умовних одиницях.

$$\text{Ч}_{\text{адс}} = 0,0005 \cdot (100 + 32,79 + 7.056) \cdot 1,3 = 1 \text{ чол.}$$

Кількість працівників ремонтної служби $\text{Ч}_{\text{рс}}$, чол.:

$$\text{Ч}_{\text{рс}} = 0,0007 \cdot \sum T_p, \quad (4.15)$$

де $\sum T_p$ – загальна трудомісткість в умовних одиницях.

$$\text{Ч}_{\text{рс}} = 0,0007 \cdot (100 + 32,79 + 7.056) \cdot 1,3 \approx 1 \text{ чол.}$$

Загальна кількість працівників виробничого персоналу $\text{Ч}_{\text{заг}}$, чол.:

$$\text{Ч}_{\text{заг}} = \text{Ч}_{\text{адп}} + \text{Ч}_{\text{бм.}} + \text{Ч}_{\text{вм.}} + \text{Ч}_{\text{адс}} + \text{Ч}_{\text{рс}}, \quad (4.16)$$

де $\text{Ч}_{\text{адп}}$ – кількість адміністративного персоналу, чол.;

$\text{Ч}_{\text{бм.}}$ – кількість працівників служби будинкових мереж, чол.;

$Ч_{\text{вм.}}$ – кількість працівників служби з експлуатації підземних газопроводів,
чол.;

$Ч_{\text{адс}}$ – кількість працівників аварійно-диспетчерської служби, чол.;

$Ч_{\text{рс}}$ – кількість працівників ремонтної служби, чол.

$$Ч_{\text{заг}} = 2 + 1 + 1 + 1 + 1 = 5 \text{ чол.}$$

Виплати на оплату праці $З_{\text{оп}}$, тис. грн.:

$$З_{\text{оп}} = 8647 \cdot Ч_{\text{заг}} \cdot 1,36 \cdot 12,7, \quad (4.17)$$

де $Ч_{\text{заг}}$ – загальна чисельність виробничого персоналу, чол.;

8647 – заробітна плата працівників, грн.,

$$З_{\text{оп}} = 8647 \cdot 5 \cdot 1,36 \cdot 12,7 = 746.75492 \text{ тис. грн.}$$

в) витрати на амортизацію $З_{\text{а}}$, тис. грн.:

$$З_{\text{а}} = \frac{K \cdot N_{\text{а}}}{100\%}, \quad (4.18)$$

де $N_{\text{а}}$ – норма амортизації – 5%;

K – сума капітальних вкладень, що дорівнює базисній кошторисній вартості спорудження газової мережі, тис. грн.

$$З_{\text{а}} = \frac{3934 \cdot 5\%}{100\%} = 196.7 \text{ тис. грн.}$$

г) витрати на тех. обслуговування і поточний ремонт $З_{\text{пр.}}$, тис. грн.:

$$Z_{\text{пр}} = 40\% \cdot Z_a, \quad (4.19)$$

де Z_a – витрати на амортизацію, тис. грн.

$$Z_{\text{пр}} = 0,4 \cdot 196,7 = 78,68 \text{ тис. грн.}$$

д) інші витрати $Z_{\text{ін}}$, тис. грн.:

$$Z_{\text{ін}} = 10\% \cdot (Z_a + Z_{\text{оп}}), \quad (4.20)$$

де Z_a – витрати на амортизацію, тис. грн.

$Z_{\text{оп}}$ – виплати на оплату праці, тис. грн.

$$Z_{\text{ін}} = 10\% \cdot (196,7 + 746,75492) = 94,35 \text{ тис. грн.}$$

Тоді загальна сума собівартості реалізації газу C_o , тис. грн., дорівнює:

$$C_o = Z_{\text{кг}} + Z_a + Z_{\text{пр}} + Z_{\text{оп}} + Z_{\text{ін}}, \quad (4.21)$$

$$C_o = 19404 + 196,7 + 78,68 + 746,755 + 94,35 = 20520,5 \text{ тис. грн.}$$

Собівартість реалізації тис.м³ природного газу $C_{\text{тис.м}^3}$, грн./тис.м³:

$$C_{\text{тис.м}^3} = \frac{C_o}{Q_{\text{нетто}}}, \quad (4.22)$$

де C_o – загальна собівартість реалізації природного газу, тис. грн;

$Q_{\text{нетто}}$ – об'єм реалізованого газу споживачам, тис. м³/рік.

$$C_{\text{тис.м}^3} = \frac{20520.5}{350000} \cdot 1000 = 5863.01 \text{ грн./тис.м}^3.$$

Тариф реалізації споживачам $T_{\text{сер}}$, грн./тис.м³, являє собою ціну реалізації природного газу для даного газового підприємства:

$$T_{\text{сер}} = 1,2 \cdot C_{\text{п}}, \quad (4.23)$$

де $C_{\text{п}}$ – ціна реалізації газу для підприємства, грн./тис.м³.

Ціна реалізації газу підприємствам $C_{\text{п}}$, грн./тис.м³:

$$C_{\text{п}} = C_{\text{тис.м}^3} \cdot \left(1 + \frac{P}{100}\right) = C_{\text{тис.м}^3} \cdot \left(1 + \frac{10}{100}\right) = C_{\text{тис.м}^3} \cdot 1,1, \quad (4.24)$$

де $C_{\text{тис.м}^3}$ – собівартість реалізації тис. м³ газу, грн./тис.м³.

$$C_{\text{п}} = 5863 \cdot 1,1 = 6449.3 \text{ грн./тис.м}^3.$$

Тариф реалізації споживачам:

$$T_{\text{сер}} = 1,2 \cdot 6449.3 = 7739.16 \text{ грн./тис.м}^3.$$

Балансовий прибуток Π_6 , тис. грн.:

$$\Pi_6 = D - C_0, \quad (4.25)$$

де D – сума доходу від реалізації газу, тис. грн.;

C_0 – загальна собівартість реалізації природного газу, тис. грн.

Суму доходу D , тис. грн.:

$$D = Q_{\text{нето реаліз.газу}} \cdot T_{\text{сер}}, \quad (4.26)$$

$$D = 350000 \cdot 7739 = 27.087 \text{ млн. грн.}$$

Балансовий прибуток Π_6 , тис. грн.:

$$\Pi_6 = (27.087 - 20.520) \cdot 10^3 = 6567 \text{ тис. грн.}$$

Чистий прибуток $\Pi_ч$, тис. грн.:

$$\Pi_ч = \Pi_6 \cdot H_{\Pi}, \quad (4.27)$$

де Π_6 – балансовий прибуток, тис. грн.;

H_{Π} – обов'язкові державні платежі ($H_{\Pi} = 77\%$).

$$\Pi_ч = 6567 \cdot 0,77 = 5056.59 \text{ тис. грн.}$$

Рівень рентабельності R_p , %:

– по балансовому прибутку

$$R_{pb} = \frac{\Pi_6}{C_0} \cdot 100\%, \quad (4.28)$$

де Π_6 – балансовий прибуток, тис. грн.;

C_0 – загальна собівартість реалізації газу, тис. грн.

$$P_{pb} = \frac{6567}{20520} \cdot 100\% = 32\%$$

– по чистому прибутку

$$P_{pч} = \frac{П_ч}{C_0} \cdot 100\%, \quad (4.29)$$

де $П_ч$ – чистий прибуток, млн.грн;

$$P_{pч} = \frac{5065.59}{20520} \cdot 100\% = 24.69\%$$

Визначаємо термін окупності:

$$T_{окуп} = \frac{K_{заг}}{П_ч}, \quad (4.30)$$

де $K_{заг}$ – капітальні вкладення в будівництво газової мережі, тис. грн.;

$П_ч$ – чистий прибуток, тис. грн.

$$T_{окуп} = \frac{3934}{5056.59} = 0.778 \text{ року.}$$

Результати всіх розрахунків економічної частини заносимо до табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Основні техніко-економічні показники проекту з газифікації мікрорайону

№	Назва показників	Одиниця виміру	Позначення	Кількість
1	Річний об'єм подачі газу в мережу	Млн.м ³	$Q_{брутто}$	3.528
2	Річний об'єм реалізації газу	Млн.м ³	$Q_{річ}$	3.5

3	Капітальні вкладення в спорудження системи газопостачання	Млн. грн.	К	3.934
4	Загальна собівартість реалізації газу	Млн. грн	C_0	20520
5	Собівартість реалізації 1000 м ³ газу	Грн.	C_{1000}	5863
6	Сума прибутку	Млн. грн	Д	27.087
7	Прибуток: -балансовий -чистий	Млн. грн	P_b $P_{ч}$	0.656 0.505
9	Рівень рентабельності: -по балансовому прибутку -по чистому прибутку	%	$P_{рб}$ $P_{чп}$	32.0 24.69
9	Відпускна ціна 1000 м ³ газу споживачам	Грн.	$C_{п}$	6449.3
10	Середній тариф реалізації 1000 м ³ газу споживачам	Грн.	$T_{сер}$	7739
11	Термін окупності капітальних вкладень	роки	$T_{окуп}$	0.778

Було проведено аналіз капітальних витрат на будівництво газової мережі для одного з міських мікрорайонів. За підсумками розрахунків, загальні інвестиції становили 3,934 млн грн. Утім, результати показали швидку окупність цих витрат завдяки продажу природного газу місцевим споживачам. Термін окупності склав лише 8 місяців. Варто зазначити, що реалізація цього проєкту значно покращує рівень життя мешканців та сприяє підвищенню комфорту проживання в цьому районі.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі проведено проектування реконструкції газової мережі низького тиску для приватного сектору населеного пункту. Основна увага приділена врахуванню сучасних нормативних вимог, технічних умов експлуатації та забезпеченню надійного й безпечного газопостачання споживачів.

У рамках роботи виконано детальний аналіз систем газопостачання, здійснено інженерні розрахунки та обґрунтовано оптимальні технічні рішення для модернізації наявної інфраструктури.

У теоретичному розділі вивчено фізичні характеристики природного газу і їхній вплив на процеси транспортування і використання в газових системах. Проаналізовано структуру систем газопостачання населених пунктів, особливості забезпечення приватних житлових будинків газом та специфіку експлуатації газопроводів низького тиску. Ці дослідження дозволили визначити основоположні вимоги до проектування й експлуатації газових мереж, а також ідентифікувати основні чинники, що впливають на їхню функціональність і надійність. Особливе значення приділено нормуванню витрат природного газу. Відповідно до чинних нормативних актів розглянуто потреба в природному газі для опалення, вентиляції й гарячого водопостачання житлових та громадських будівель.

У проєктній частині роботи виконано розрахунок параметрів кільцевої газової мережі низького тиску. Визначено обсяги газу для окремих ділянок мережі, підібрано оптимальні діаметри трубопроводів і перевірено втрати тиску. Гідравлічна ув'язка контурів мережі дозволила досягти рівномірного розподілу газових потоків між споживачами, забезпечуючи стабільний режим роботи системи.

Окрім цього, здійснено вибір газорегуляторного обладнання, яке гарантує підтримання потрібного рівня тиску для споживачів і покращує надійність функціонування системи.

Запропоновані технічні рішення спрямовані на підвищення ефективності роботи мережі та зниження втрат газу під час транспортування. Увага приділена питанням охорони праці та безпеки під час виконання робіт з реконструкції мережі. Проведено ідентифікацію потенційно небезпечних і шкідливих факторів, які можуть виникати під час монтажу й зварювальних робіт. Розроблено комплекс заходів для забезпечення безпеки робітників, попередження аварій та мінімізації ризиків травматизму.

В економічній частині проведено розрахунок вартості реконструкції та оцінку окупності проєкту. Результати показали економічну доцільність реалізації запропонованих рішень. Висновки підтвердили, що модернізація мережі не лише підвищить її надійність і зменшить експлуатаційні витрати, а й сприятиме раціональному використанню природного газу.

В результаті виконання кваліфікаційної роботи досягнута основна мета: розроблено проєкт реконструкції газової мережі низького тиску відповідно до сучасних технічних, економічних і нормативних вимог. Отримані результати можуть використовуватися як основа для подальшого вдосконалення та реконструкції систем газопостачання населених пунктів з метою покращення їхньої надійності, безпеки й ефективності.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ДБН В.2.5-20:2018 Газопостачання. Інженерне обладнання будинків і споруд. Зовнішні мережі та споруди. Затверджено наказом Міністерства регіонального розвитку, будівництва та ЖКГ України від 15.11.2018 № 305. – Київ: Мінрегіон України, 2018.
2. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 Будівельна кліматологія. Затверджено наказом Міністерства регіонального розвитку та будівництва України у 2010 р. Розробники – ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», Український науково-дослідний гідрометеорологічний інститут, Київський національний університет будівництва та архітектури, Національний університет «Львівська політехніка» та ін. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2011.
3. Методика гідравлічного розрахунку кільцевих газових мереж низького тиску із зосередженим відбором газу. А.І. Ксенич, М.Д. Сердюк, І.І. Височанський.
4. Охорона праці в нафтогазовій галузі. Г.М Лисяний, Сердюк М.Д, Акульшин О.О, Говдяк Р.М. – Навчальний посібник Івано-Франківськ 2015.
5. Гончарук М.І., Сердюк М.Д., Шелудченко В.І. Довідник з газопостачання населених пунктів України. - Івано-Франківськ: Сімик, 2006. 1314 с.
6. ДБН А.3.2-2-2009 Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення. Затверджено наказом Мінрегіонбуду України від 27.01.2009 № 45. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2012.
7. ДБН Б.2.2-12:2019 Планування та забудова територій. Затверджено наказом Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 26.04.2019 № 104. Розробник – ДП «Український державний науково-дослідний інститут проектування міст «Діпромісто» ім. Ю.М. Білоконя». – Київ: Мінрегіон України, 2019.

8. ДСТУ Б В.2.5-29:2006 Система газопостачання. Газопроводи підземні сталеві. Загальні вимоги до захисту від корозії. Затверджено наказом Мінбуду України від 20.12.2006. – Київ: Мінбуд України, 2006.

9. ДБН В.2.5-41:2009 Газопроводи з поліетиленових труб. Частина I. Проектування. Частина II. Будівництво. Затверджено наказом Міністерства регіонального розвитку та будівництва України від 29.12.2009 № 697. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2010.

10. ДБН В.2.5-67:2013 Інженерне обладнання будівель і споруд. Опалення, вентиляція та кондиціонування. Затверджено наказами Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 25.01.2013 № 24 та від 28.08.2013 № 410. Розробник – ДП «Український науково-дослідний інститут спеціальних будівельних робіт». – Київ: Мінрегіон України, 2013.

11. ДСТУ Б А.2.4-26:2008 Система проектної документації для будівництва. Газопостачання. Зовнішні газопроводи. Робочі креслення. Затверджено наказом Міністерства регіонального розвитку та будівництва України від 27.06.2008 № 281. Розробник – ДП «Укрміськбудпроект». – Київ: Мінрегіонбуд України, 2008.

12. Єнін П.М., Шишко Г.Г., Предун К.М. Газопостачання населених пунктів і об'єктів природним газом. Навчальний посібник. - К.: Логос, 2002. - 198 с.

13. Касперович В.К. Трубопровідний транспорт газу: підручник. – Івано-Франківськ: Факел, 1999. – 198 с.

14. НПАОП 0.00-1.76-15 Правила безпеки систем газопостачання. Затверджено наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 15.05.2015 № 285. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 08.06.2015 № 674/27119. – Київ, 2015.

15. НПАОП 0.00-4.12-05 Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці. Затверджено наказом

Держнаглядхоронпраці України від 26.01.2005 № 15. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 15.02.2005 № 231/10511. – Київ, 2005.

16. Розгонюк В.В., Хачикян Л. А., Григіль М. А., Удалов О. С., Нікішин В. П. Експлуатаційникові газонафтового комплексу. Київ: Росток, 1998.

17. Середюк М.Д., Пилипів Л.Д., Зарубіна Ю.І. Технологічні розрахунки газових мереж населених пунктів: навч. посібник. Івано-Франківськ: Факел, 2004. 183 с.

18. Сусак О.М., Касперович В.К., Андрієшин М.П. Трубопровідний транспорт газу: підручник.-Івано-Франківськ, 2013.- 345 с.

19. Кодекс газорозподільних систем. Затверджено постановою Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг від 30 вересня 2015 р. № 2494. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 06 листопада 2015 р. № 1379/27824. Із змінами та доповненнями, внесеними постановами НКРЕКП у 2015–2025 рр. – Київ: НКРЕКП, 2015.

20. <https://europyrad.com/ru/hazorehuliatornye-punktty>