

Технічні науки

УДК 622.691.4

Григорський Станіслав Ярославович

кандидат технічних наук, доцент,

доцент кафедри газонафтопроводів та газонафтохранилищ

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Григорский Станислав Ярославович

кандидат технических наук, доцент,

доцент кафедры газонефтепроводов и газонефтехранилищ

Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа

Hryhorskyi Stanislav

PhD, Associate Professor, Associate Professor of the

Department of Gas and Oil Pipelines and Gas and Oil Storages

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

Іванов Олександр Васильович

кандидат технічних наук,

доцент кафедри газонафтопроводів та газонафтохранилищ

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Иванов Александр Васильевич

кандидат технических наук,

доцент кафедры газонефтепроводов и газонефтехранилищ

Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа

Ivanov Oleksandr

PhD, Associate Professor of the

Department of Gas and Oil Pipelines and Gas and Oil Storages

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

**ОСОБЛИВОСТІ ГІДРАВЛІЧНОГО РОЗРАХУНКУ
ГАЗОРОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖ ПРИ ТРАНСПОРТУВАННІ
СУМІШІ ПРИРОДНОГО ГАЗУ З ВОДНЕМ**

**ОСОБЕННОСТИ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА
ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ
СМЕСИ ПРИРОДНОГО ГАЗА С ВОДОРОДОМ
FEATURES OF HYDRAULIC CALCULATION OF GAS
DISTRIBUTION NETWORKS BY TRANSPORTATION OF A
MIXTURE OF NATURAL GAS WITH HYDROGEN**

Анотація. Удосконалено методу проекту розрахунку газорозподільних мереж низького тиску при транспортуванні газоводневих сумішей із врахуванням фізичних властивостей, обчислених за рівнянням стану по величині вільної енергії Гельмгольца. Досліджено вплив вмісту водню в складі природного газу на режимні параметри системи газопостачання.

Ключові слова: фундаментальне рівняння стану, газорозподільні мережі, газоводневі суміші, проектний розрахунок газової мережі.

Аннотация. Усовершенствовано методику проектного расчета газораспределительных сетей низкого давления при транспортировке газоводородных смесей с учетом физических свойств, вычисленных по уравнению состояния по величине свободной энергии Гельмгольца. Исследовано влияние содержания водорода в составе природного газа на режимные параметры системы газоснабжения.

Ключевые слова: фундаментальное уравнение состояния, газораспределительные сети, газоводородные смеси, проектный расчет газовой сети.

Summary. The method of design calculation of low-pressure gas distribution networks during the transportation of gas-hydrogen mixtures has been improved, taking into account the physical properties calculated by the equation of state using the Helmholtz free energy. The influence of the hydrogen content in the natural gas composition on the regime parameters of the gas supply system has been studied.

Key words: *fundamental equation of state, gas distribution networks, gas-hydrogen mixtures, gas network design calculation.*

Світові тренди останнього десятиліття у сфері декарбонізації енергетичної сфери загалом та вуглеводневого сектору зокрема зумовили виникнення множини різноманітних технічних рішень. У сфері газової інфраструктури ключовим серед таких рішень є додавання газоподібного водню у середовище природного газу та передача кінцевим споживачам газоводневих сумішей. Концентрація водню у таких сумішах може коливатись у межах від 2% до 100 % залежно від низки чинників, серед яких можна виокремити наявність доступних обсягів водню, технічних можливостей газових мереж та газових приладів у кінцевих споживачів [1; 2; 3].

При проектуванні та експлуатації систем газопостачання основна увага приділяється проведенню достовірних гідравлічних розрахунків ділянок газових мереж. Враховуючи те, що все більшого поширення набуває прокладання газових мереж населених пунктів з поліетиленових газопроводів, проведення достовірних гідравлічних розрахунків наразі є актуальним питанням. У зв'язку з цим важливе практичне значення мають розробка методів та алгоритмів гідравлічних розрахунків поліетиленових газових мереж, а також їх реалізація у програмному забезпеченні [4; 5]. Одним із шляхів удосконалення методів розрахунку систем газопостачання є використання більш точних математичних моделей, які дають змогу більш адекватно змодельовати ті процеси і режими, які мають місце в поліетиленових газопроводах. Особливо це стосується альтернативного та екологічного способу використання газоводневих сумішей та їх постачання споживачам через промислові газопроводи.

Розвиток методів термодинамічного моделювання визначив нові можливості оптимізації визначення витрати газу в потоці. Проте в ранніх

роботах, наприклад, для розрахунку справжнього потоку також вдавалися до досить некоректного припущення щодо ідеальності газової суміші. Більш продуктивними був пошук та застосування для опису поведінки природного газу більш універсальних рівнянь стану, що дозволяють характеризувати сукупність термодинамічних (і термофізичних) властивостей. Поряд із класичними рівняннями Пенга-Робінсона [6] були запропоновані рівняння безпосередньо для опису газів та газових сумішей. Насамперед, слід зазначити рівняння стану AGA-8 [7], прийняте як стандарт Американської газової асоціації [8].

Рівняння стану AGA-8 записується через фактор стисливості Z як функція відносної густини δ , оберненої відносної температури τ і молярних часток компонентів x_i із урахуванням неідеальної складової вільної енергії Гельмгольца у вигляді [8]

$$Z = \frac{p}{\rho \cdot R \cdot T} = 1 + \frac{B \cdot \delta}{K^3} - \delta \cdot \sum_{n=13}^{18} C_n \cdot \tau^{u_n} + \sum_{n=13}^{18} C_n \cdot \tau^{u_n} \cdot \delta^{b_n} \cdot (b_n - c_n \cdot k_n \cdot \delta^{k_n}) \cdot \exp(-c_n \cdot \delta^{b_n}), \quad (1)$$

де B – другий віріальний коефіцієнт;

K – параметр розміру суміші;

C_n – функція молярних долей компонентів газу;

u_n, b_n, c_n, k_n – коефіцієнти рівняння стану і функції молярних часток компонентів.

При проектуванні системи газопостачання населеного пункту обов'язковим розділом є визначення річних і максимальних годинних витрат газу всіма його споживачами.

Річні витрати газу необхідно знати для проектування газотранспортної системи, що живить населений пункт. За максимальними годинними витратами газу виконують всі гідравлічні розрахунки газових

мереж високого, середнього та низького тиску, підбираються регулюючі пристрої на ГРП і ГРС [4; 5; 9].

Основними розрахунками витрат газу споживачами є [9]:

- витрати газу на господарсько-побутові потреби населення в житлових будинках;
- витрати газу на опалення житлових і громадських будинків;
- витрати газу на вентиляцію громадських будинків.

Для дослідження впливу вмісту водню в природному газі на експлуатаційні параметри системи газопостачання населених пунктів необхідно спочатку виконати розрахунки фізичних властивостей газової суміші за класичною [4] та нормативною більш точною методикою AGA-8 [8]. Тоді відповідно до державних будівельних норм [9], необхідно провести обчислення річних і максимальних годинних витрат газу споживачами населеного пункту.

Для прикладу на рисунках 1 та 2 показано результати розрахунків витрати газу на ГРП та котельню для споживачів сільського населеного пункту (число жителів 925) залежно від мольного вмісту водню в складі газу (від 0 до 40 %).

Через відсутність відмінностей при розрахунках теплотворної здатності природного газу по нормативній і класичній методиках результати по витраті газу на ГРП та місцеву котельню для живлення населеного пункту є також практично однаковими (найбільше відхилення між двома методиками розрахунку по абсолютній величині не перевищує 0,3 %).

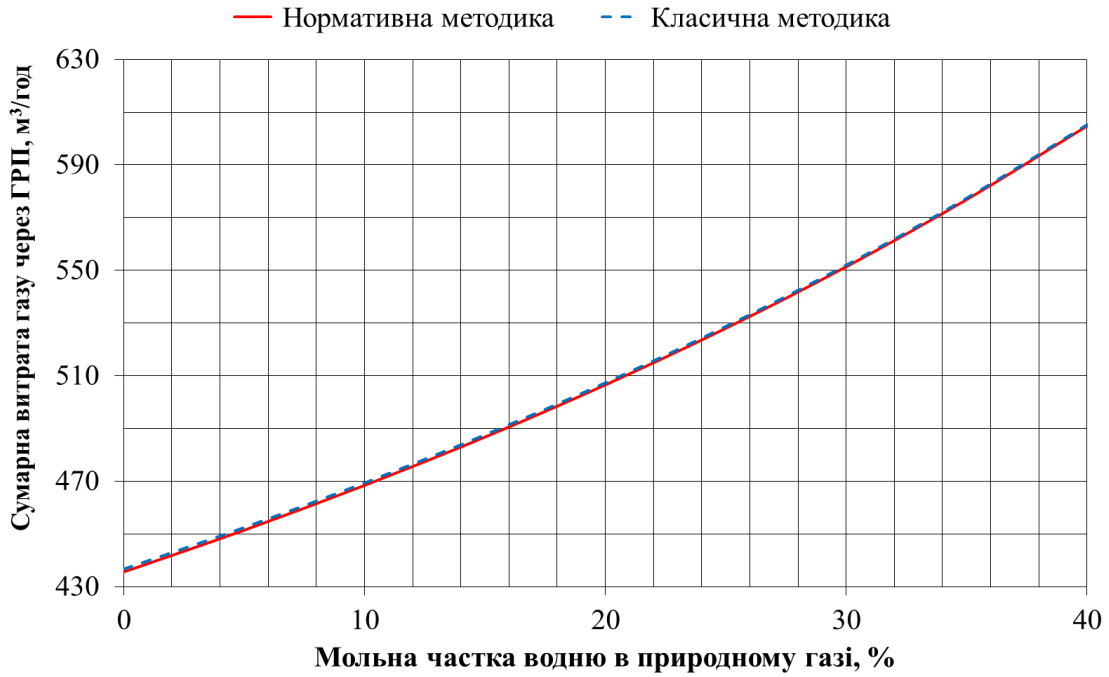


Рис. 1. Зміна сумарної витрати газу на ГРП від мольної частки водню в складі природного газу

Джерело: розрахунок властивостей газу за нормативною [8] та класичною методиками [4]



Рис. 2. Зміна сумарної витрати газу на котельню від мольної частки водню в складі природного газу

Джерело: розрахунок властивостей газу за нормативною [8] та класичною методиками [4]

При зміні мольної частки водню в складі газу від 0 до 40 % витрата газу на ГРП змінюється від 435,6 до 604,8 м³/год, тобто зростає на 38,8 %.

Зазначимо, що залежність зміни розглянутих вище параметрів (розрахункових витрат газу) від мольної частки водню є нелінійною, та з високим ступенем достовірності апроксимації описується за допомогою полінома другого степеня (рис. 3).

Для дослідження впливу мольного вмісту водню в складі природного газу на режимні параметри системи газопостачання проведено проектний розрахунок газової мережі низького тиску вказаного вище сільського населеного пункту. Розрахунки виконувались для мольної концентрації водню в газі 0, 20 та 40 % із урахуванням фізичних властивостей суміші відповідно до рівняння стану AGA-8 [8]. На схемі мережі (рис. 4-6) вказується необхідний діаметр трубопроводу, розрахункова витрата та робочий тиск газу у вузлових точках мережі.

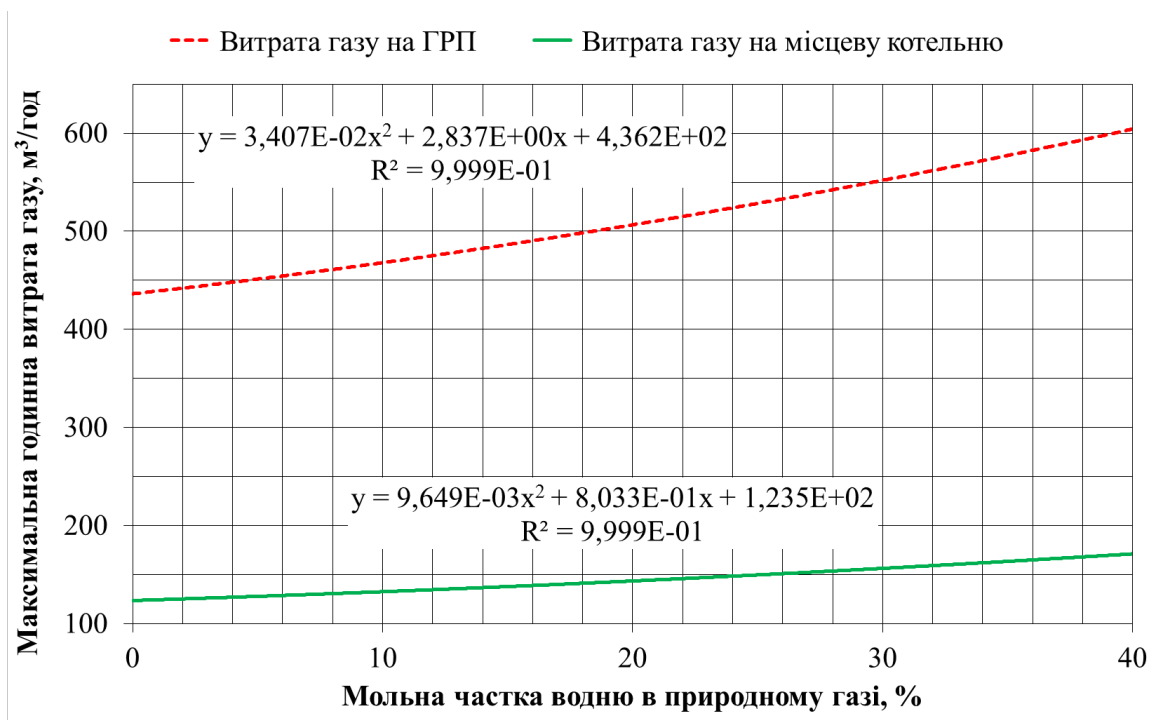


Рис. 3. Результати математичного моделювання сумарної витрати газу на ГРП та місцеву котельню від мольної частки водню в складі природного газу

Джерело: розрахунок за нормативною методикою [8]

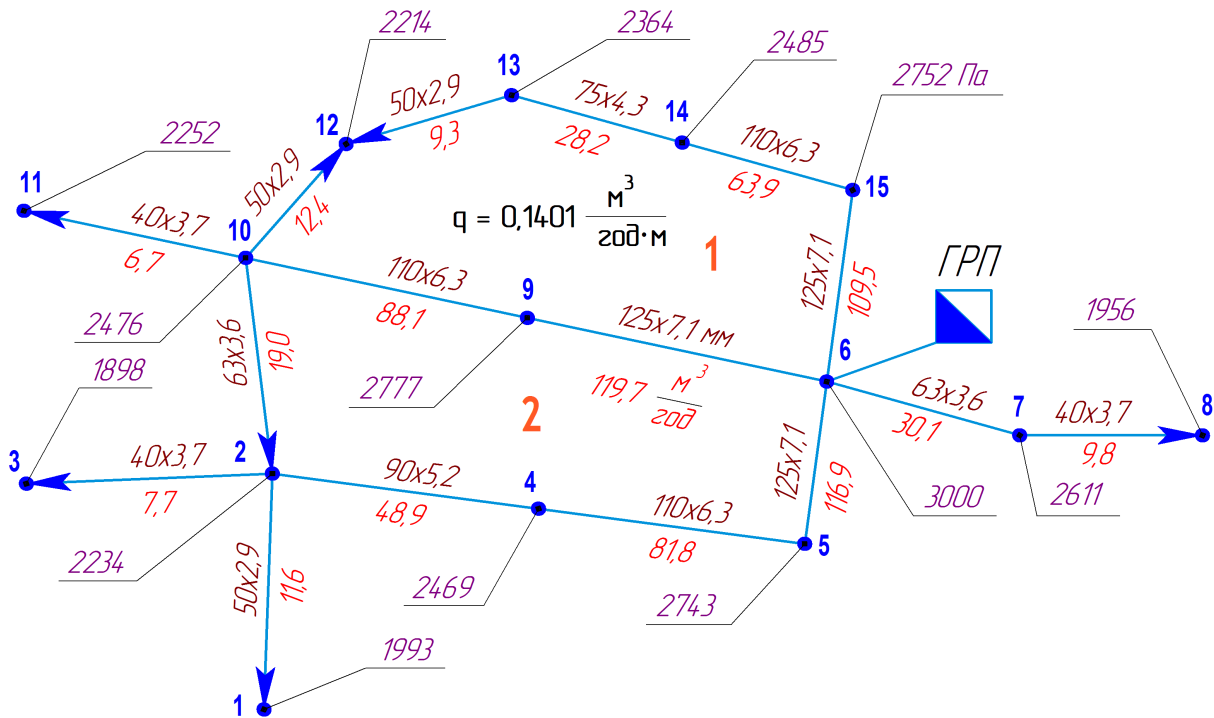


Рис. 4. Результати проектного гідравлічного розрахунку ділянок газової мережі низького тиску із урахуванням фізичних властивостей газу за рівнянням стану AGA-8 [8] (вміст водню в газі 0 %)

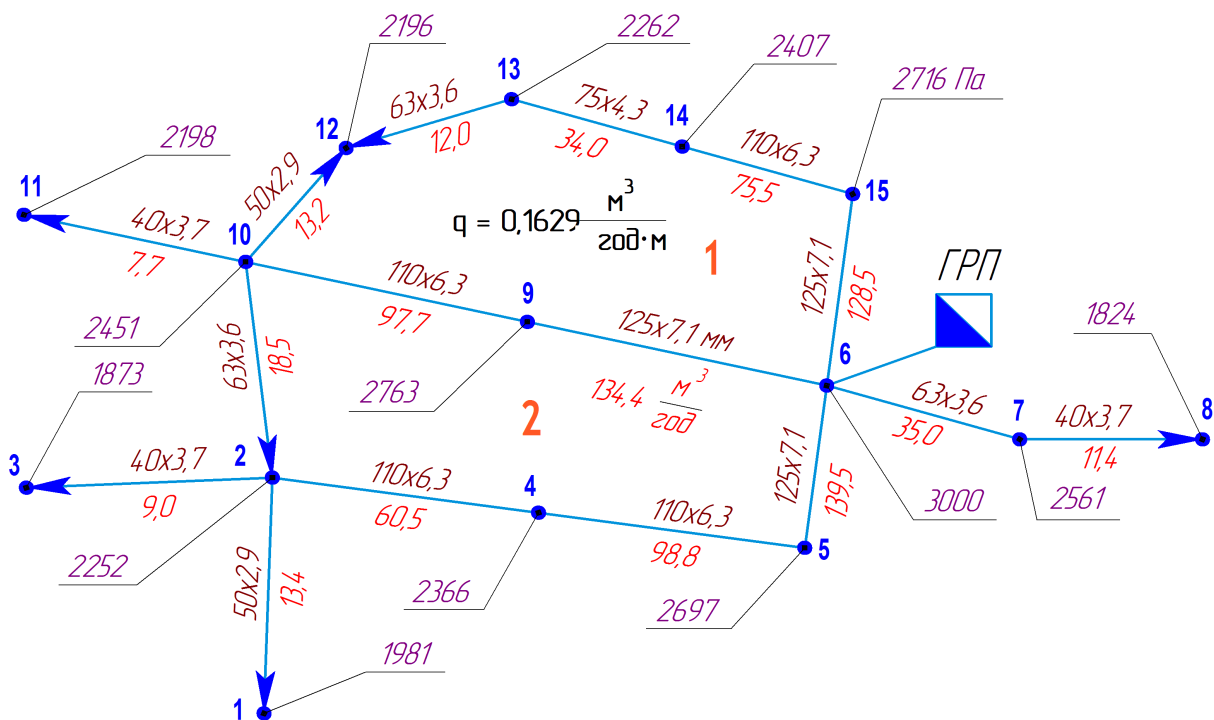


Рис. 5. Результати проектного гідравлічного розрахунку ділянок газової мережі низького тиску із урахуванням фізичних властивостей газу за рівнянням стану AGA-8 [8] (вміст водню в газі 20 %)

населеного пункту. Розрахунки показали, що при зміні концентрації водню від 0 до 40 % в складі природного газу необхідна витрата газу на ГРП зростає майже на 38 %. При цьому для вмісту водню в газі 20 % (в порівнянні з транспортуванням газу без водню) необхідно забезпечити додаткові 150 м поліетиленового газопроводу діаметром 63×3,6 мм та 210 м газопроводу діаметром 110×6,3 мм. Для вмісту водню в газі 40 % вже необхідно забезпечити сумарно 1160 м труб більшого діаметру (в тому числі діаметрами від 50 до 140 мм).

3. Отримані результати дозволять підвищити ефективність прийняття рішень щодо проектування поліетиленових газових мереж низького тиску комбінованої структури при транспортуванні суміші природного газу та водню в мольних концентраціях від 0 до 40 %

Література

1. Никоноров О. Роль газотранспортної інфраструктури України в розвитку водневої енергетики / О. Никоноров // Нафтогазова галузь України. 2020. № 5. С. 3-8.
2. Казда С. Наукове супроводження експериментів транспортування сумішей водню та природного газу розподільними газопроводами / С. Казда, Л. Уніговський // Нафтогазова галузь України. 2020. № 5. С. 9-14.
3. Hydrogen/Helping to “decarbonize” the global energy mix with increased hydrogen use // hydrogen use. URL: <https://www.gti.energy/creating-carbon-freehydrogen>. GTI, IL, 2020.
4. Середюк М.Д. Проектування та експлуатація систем газопостачання населених пунктів / М.Д. Середюк, В.Я. Малик, В.Т. Болонний. Івано-Франківськ: Факел, 2003. 435 с.

5. Гончарук М.І. Довідник з газопостачання населених пунктів України / М.І. Гончарук, М.Д. Середюк, В.І. Шелудченко. Івано-Франківськ: Сімик, 2006. 1314 с.
6. Peng D.Y., Robinson D.B. A New Two-Constant Equation of State // *Ind. Eng. Chem. Fundam.* 1976. V. 15. P. 59.
7. Starling, K.E. and Savidge, J.L. Compressibility Factors of Natural Gas and Other Related Hydrocarbon Gases. American Gas Association Transmission Measurements Committee Report No. 8, Second Edition, November 1992, and Errata No. 1, June 1993, Arlington.
8. ISO 20765-1, 2. Natural gas – Calculation of thermodynamic properties: Part 1: Gas phase properties for transmission and distribution applications; ISO Copyright Office: Geneva, 2006.
9. Газопостачання. Інженерне обладнання будівель і споруд. Зовнішні мережі і споруди: ДБН В.2.5-20-2018. [Чинні від 2019-07-01]. К.: Укрархбудінформ, 2019. 115 с.