УДК 696.2

доцент **Юрій Франчук**,
franchuk.yy@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-7910-8705,
доцентка **Вікторія Коновалюк**,
konovaliuk.va@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0001-5115-7188
Київський національний університет будівництва і архітектури

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ТЕПЛОТИ ЗГОРЯННЯ ГАЗУ НА ВИЗНАЧЕННЯ ДІАМЕТРІВ ГАЗОПРОВОДІВ

Анотація. Розподільчі системи газопостачання в переважній більшості вводилися в експлуатацію тридцять-п'ятдесят років тому і відповідали нормативним вимогам, які були чинні на той час. Зараз змінилися навантаження в цих мережах, вичерпався нормативний строк експлуатації. На стан газових мереж значно вплинули воєнні дії. Вимоги нормативних документів у сфері газопостачання значно змінились у напрямку гармонізації з чинним європейським законодавством. Запроваджуються розрахунки за обсягом природного газу в одиницях енергії, що визначається за вищою теплотою згоряння. Пропонується при визначенні діаметра газових мереж використовувати вищу теплоту згоряння газу. Розглянуто влив компонентного складу газу на його фізико-хімічні властивості і, як наслідок, на пропускну здатність системи. Також унаслідок впровадження в будівлях термомодернізаційних заходів зменшується кількість спожитого газу і виникає потреба оптимізувати значення коефіцієнтів одночасної роботи газових приладів.

Ключові слова: газопостачання, тиск газу, об'єм газу, діаметр трубопроводу, коефіцієнт одночасності

Вступ. Природний газ у структурі енергозабезпечення відіграє значну роль. Згідно з Енергетичною стратегією України до 2035 року [1] у загальному постачанні первинної енергії природний газ складатиме 29 млн. т. н.е., що становить 30,2 % всього енергобалансу держави. При цьому зміниться структура первинного постачання енергії. Так, частка біомаси, біопалива та відходів зросте з 2,3 % до 11,5 %.

Впроваджується додавання біометану та водню в газорозподільні мережі. Удосконалюється нормативна база, внесені зміни до Кодексу газотранспортної системи (Кодекс ГТС), де дозволений вміст кисню збільшився з 0,2 до 1,0% [2].

В інших країнах нормативними документами передбачено контролювання вмісту водню згідно з табл. 1.

Таблиця 1. Максимальна допустима концентрація водню в газових мережах [3]

Країна	Нідерланди	Німеччина	Франція	Іспанія	Австрія	Швейцарія
Уміст H_2, %	12	10	6	5	4	4
Країна	Італія	Швеція	Бельгія	Велика Британія	Японія	Україна
Уміст H_2, %	3	0,5	0,1	0,1	0	не нормується

Компонентний склад газу має принциповий вплив на кількість енергії, що утворюється при його спалюванні. В Україні прийнято Закон [4] про проведення оплати за спожитий газ в одиницях енергії, тому важливе розуміння, як зміна складу газу вплине на його кількість для забезпечить потреб споживачів, суми нарахувань і матеріалоємність системи газопостачання.

Актуальність дослідження. Унаслідок застосування нових норм в обліку газу і розрахунках за нього та впровадження сучасного високоефективного газовикористовувального обладнання виникає нагальна потреба в нових підходах до розрахунків газових мереж. Вони позитивно вплинуть на вартість будівельних робіт на газових мережах та дозволять об’єктивно проаналізувати пропускну здатність газопроводів. Виникає потреба в дотриманні певної якості газу (теплоти згоряння), числа Воббе, нормативного тиску на пальниках тощо. Потреба у відбудові газопроводів, пошкоджених внаслідок воєнних дій, з використанням об’єктивних параметрів при їхніх гідравлічних розрахунках підвищує актуальність цього питання.

Останні дослідження та публікації. Методика проведення гідравлічного розрахунку газопроводів викладені в додатку Г [5]. Зараз відбувається процес узгодження законодавства України з вимогами законодавчої бази Європейського союзу. Необхідно враховувати вплив енергетичної цінності газу та інші нормативні вимоги, викладені у Кодексі газотранспортної системи (ГТС) [2], Кодексі газорозподільних систем (Кодекс ГРС) [6], Кодексі усталеної практики України (Кодекс УП) [7] та Правилах безпеки систем газопостачання (ПБСГ) [8]. Застосування методики гідравлічного розрахунку систем газопостачання викладено в [9-10]. Змінились вимоги до якості газу, здійснюється перехід до комерційного обліку газу в одиницях енергії. Проте недостатньо інформації як склад газу, його якість, наявність біометану та водню в мережах впливає на

гідравлічні характеристики системи газопостачання.

Формулювання цілей статті. Провести аналіз впливу теплоти згоряння на визначення діаметрів газопроводів при проведенні їх гідравлічного розрахунку і на можливість повнішого використання пропускної здатності наявних мереж.

Основна частина. При проєктуванні системи газопостачання визначають діаметри трубопроводів для пропускання розрахункової витрати газу при максимально допустимих втратах тиску. При виконанні робіт з реконструкції газопроводів при відомих діаметрах на ділянках необхідно забезпечити розрахункове падіння тиску із подаванням необхідної кількості теплової енергії. Кількість енергії залежить від кількості газу та енергетичної цінності одиниці його об'єму. При розробленні проектів генеральних планів населених пунктів допускається приймати укрупнені показники споживання газу при теплоті згоряння газу 34 МДж/м^3 [5]. Раніше ГОСТ 5542-87 «Гази горючі природні для промислового та комунально-побутового призначення. Технічні умови» (чинний з 01.01.1988 по 01.01.2022 рр.) передбачав, що теплота згоряння газу повинна бути не менше 31,8 МДж/м^3. Наразі в Кодексі ГТС [2] встановлено, що теплота згоряння газу, який подається в систему газопостачання, має відповідати іншим чисельним значенням (табл. 2).

Таблиця 2. Теплота згоряння газу (при температурі 20 °С) [2]

Показник якості	Одиниця вимірювання	
	МДж/м^3	кВт·год/м^3
Вища теплота згоряння		
мінімум	36,20	10,06
максимум	38,30	10,64
Нижча теплота згоряння		
мінімум	32,66	09,07
максимум	34,54	09,59

Вимоги Кодексу УП [7] передбачають що якість природного газу має відповідати вимогам Кодексу ГРС [6].

Проведений аналіз чисельних значень компонентного складу та фізико-хімічних показників газу, обчислених на його основі, наведених в Паспортах фізико-хімічних показників природного газу за період з 01.03.2021 до 01.04.2021, переданого оператором ГТС та прийнятого газорозподільним підприємством (таблиця 2).

Таблиця 3. Дані з паспортів фізико-хімічних показників природного газу

Марш-рут	Вміст метану, %	Вміст інших вугле-воднів, %	Вміст горю-чих га-зів, %	Теплота згоряння			
				нижча		вища	
				МДж/м^3	кВт·год/м^3	МДж/м^3	кВт·год/м^3
106	91,12	5,27	3,61	34,67	9,63	38,41	10,67
108	86,03	8,45	5,52	34,43	9,56	38,12	10,59
697	89,00	7,20	3,80	35,92	9,88	39,73	11,03

У газі, що подавався газопроводами маршруту №108, теплота згоряння газу відповідає, а склад газу не відповідає нормативним вимогам, наведеним в табл.2. У маршруті № 697 вміст метану нижче нормативного значення, але внаслідок підвищеного вмісту важких вуглеводнів нижча теплота згоряння перевищує максимальне нормативне значення.

Чинним в період з 1988 по 2021 роки нормативом [11] була передбачена мінімальна теплота згоряння 31,8 МДж/м^3. Проведено аналіз змін чисельних значень теплоти згоряння в нормативних документах та деяких паспортах фізико-хімічних показників газу (табл.2, рис. 1).

Таблиця 4. Зміна значень теплоти згоряння газу

№ з/п	Документ що визначає теплоту згоряння газу	Значення теплоти згоряння газу, МДж	Абсолютне відхилення, МДж	Відсоткове відхилення, %
1	Біогаз	30,00	+ 1.80	+5,70
2	ГОСТ 5542-87	31,80	0	0
3	Кодекс ГРС	32,66	- 0,86	- 2,70
4	Маршрут №108	34,43	- 2,63	- 8,27
5	Кодекс ГРС	34,54	- 2,74	- 8,61
6	Маршрут №697	35,92	- 4,12	- 12,96
7	Кодекс ГТС	36,20	- 4,40	- 13,84
8	Маршрут №108	38,12	- 6,32	- 19,87
9	Кодекс ГТС	38,30	- 6,50	- 20,44
10	Маршрут №697	38,73	- 6,93	- 21,79

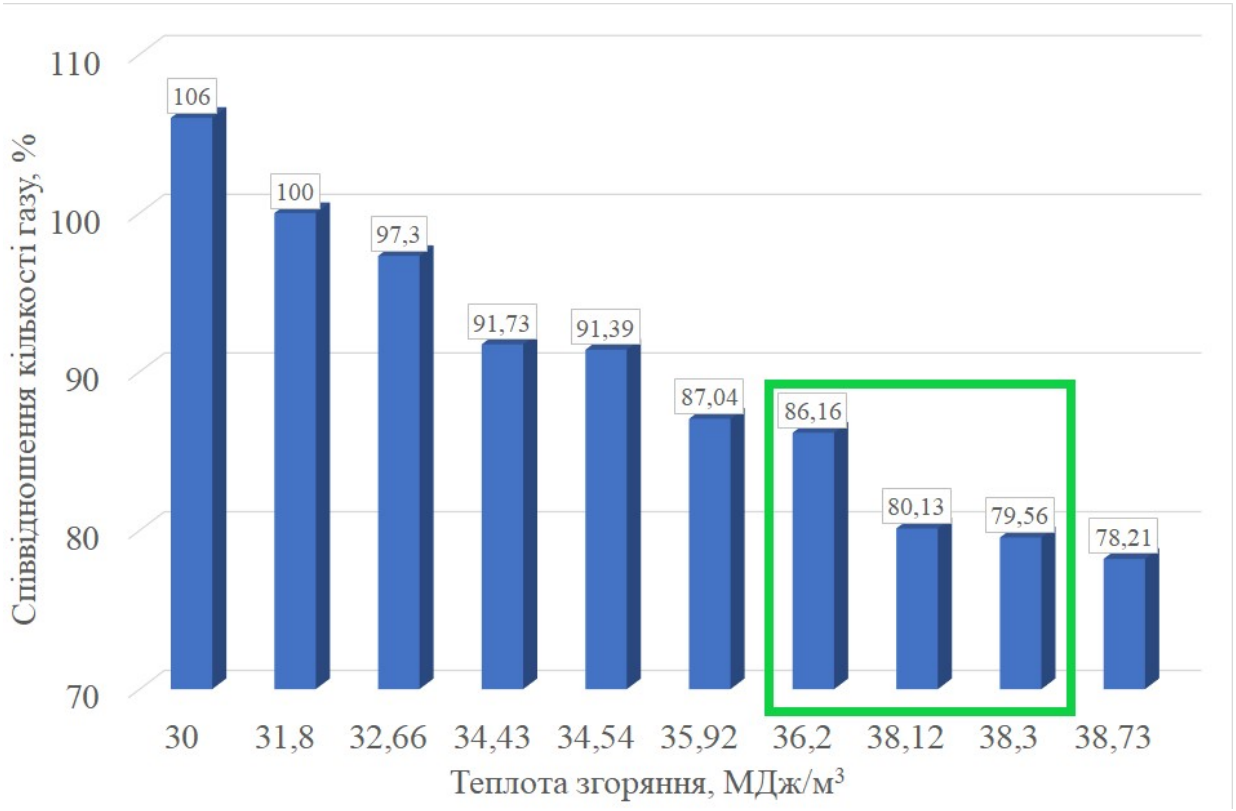

Рис. 1. Графічна залежність розрахункової кількості газу від теплоти згорання

Різниця між рекомендованою теплотою згоряння газу для розрахунків діаметрів газопроводів 34 МДж/м^3 [5] і теплотою згоряння газу 10,64 кВт·год/м^3 (38,30 МДж/м^3) [2], що використовується для розрахунків газу в одиницях енергії, становить 12,65 %. Як видно з таблиці 2, значення теплоти згоряння газу, що приймається для розрахунку об’єму газу, може коливатися в діапазоні 20-30 %.

Відповідно до [5], витрату газу визначають за формулою:

$$V_i = 3{,}6 \cdot Q/(\eta \cdot Q_p^н), \text{ Па}, \quad (1)$$

де Q – теплова потужність, кВт; η – коефіцієнт корисної дії; $Q_p^н$ – нижча теплота спалювання газу, МДж/м^3.

Діаметр газопроводу визначають за формулою:

$$d = 0{,}036238 \sqrt{\frac{Q(273+t)}{P_m \cdot V}}, \quad (2)$$

де d – діаметр газопроводу, см; Q – витрата газу, м^3/год, за температури 0 ºС і тиску 0,10132 МПа; t – температура газу, ºС; P_m – середній тиск газу (абсолютний) на розрахунковій ділянці газопроводу, МПа; V – швидкість газу, м/с.

Як видно з наведених залежностей, чисельне значення теплоти згорання напряму впливає на витрату газу і величини розрахункових діаметрів на ділянках мережі (рис. 2).

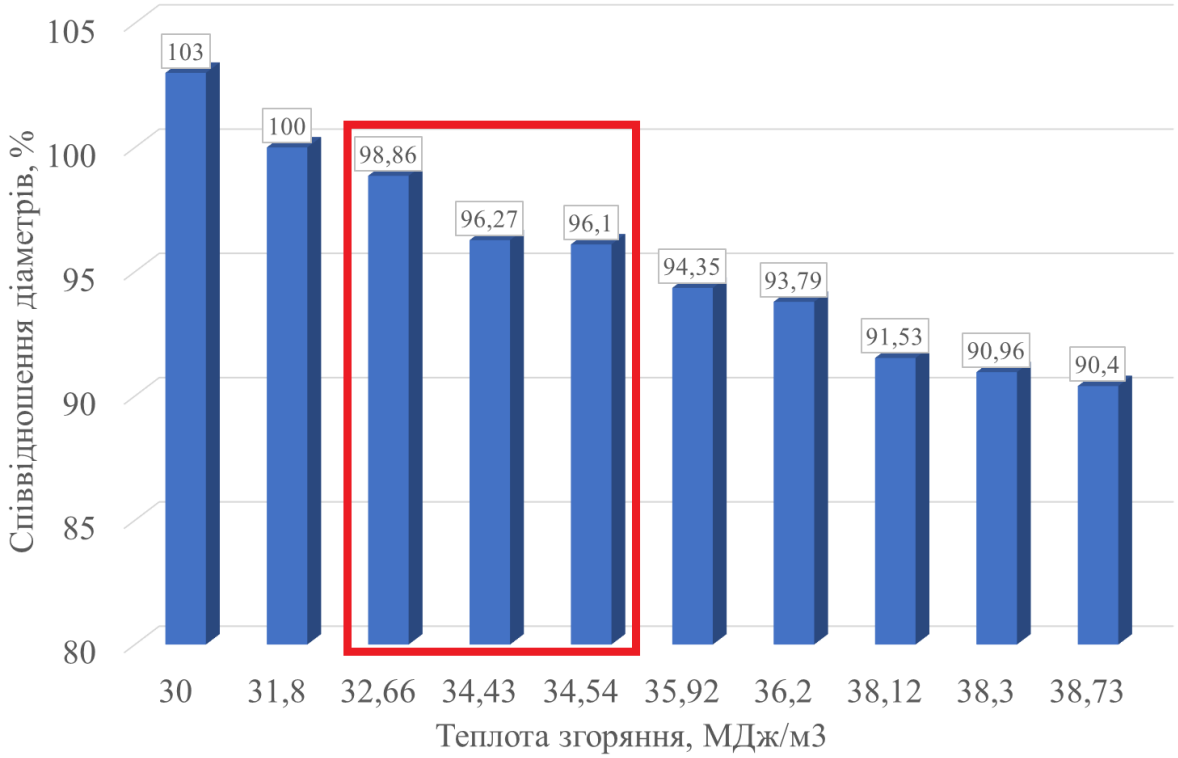

Рис. 2. Графічна залежність співвідношень зміни діаметрів газопроводів від теплоти згорання

Як видно з рис. 1 і 2, теплота згорання впливає на розрахункову кількість газу в межах 20 %, а на співвідношення діаметрів – до 15 %. Згідно з [4], розрахунки на ринку природного газу здійснюються за обсягом природного газу в одиницях енергії, що визначається за вищою теплотою згоряння. Одиницею вимірювання енергії природного газу є кіловат-година (кВт·год). Тарифи повинні бути визначеними в одиницях енергії з застосуванням коефіцієнта, який відповідає значенню вищої теплоти згоряння 10,64 кВт·год/м^3.

Як бачимо, для розрахунків діаметрів газопроводів передбачено використовувати теплоту згоряння 34 МДж/м^3, раніше допускалось 31,8 МДж/м^3, а для розрахунків (нарахувань) за спожитий газ вказується значення 10,64 кВт·год/м^3, що відповідає максимальній вищій теплоті згоряння 38,30 МДж/м^3.

Аналіз значень теплоти згоряння в регіонах України показав, що нижча коливається в межах 33,22-37,93 МДж/м^3 (9,22-10,53 кВт·год/м^3), а вища – 34,22-39,63 МДж/м^3 (9,50-11,013 кВт·год/ м^3). Вища теплота згоряння 38,3 МДж/м^3 (10,64 кВт·год/м^3) спостерігається лише в декількох точках з кілька десятка обстежених.

Річне споживання газу в Україні зменшилося з 100 до 25 млрд. м^3 унаслідок спаду виробництва, впровадження енергоефективних технологій, організації процесу обліку газу, використання обладнання з більш високим коефіцієнтом корисної дії тощо.

В Додатку 1 Кодексу ГРС [6] передбачено групи споживання за побутовими споживачами, та їхній річний профіль споживання природного газу.

Розглянемо визначення витрат газу на прикладі квартири площею 40,5 м^2 багатоквартирного будинку. Річне споживання за розрахунком згідно з [6] становить 40,5 м^2 · 24 м^3/м^2 = 972 м^3 газу.

У квартирі газ використовується 4-х пальниковою газовою плитою та опалювальним котлом виробництва KD NAVIEN (Корея), потужністю 24 кВт, витрата газу згідно з паспортом 0,98 м^3/год, коефіцієнт корисної дії – 88 % Річне споживання газу згідно показів лічильника газу G 2.5 «Самгаз» становило 361 м^3 (табл. 3).

Таблиця 3. Витрата газу квартири площею 40,5 м^2 5-ти поверхового житлового будинку

Показник	місяці												Σ
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Споживання газу, м^3	55	40	30	25	23	25	24	25	20	24	30	40	361

У той же час, при використанні в опалювальному котлі автоматики АПОК - 1 у будинках старої забудови споживання газу в опалювальний період на опалення становить декілька сотень м^3/міс.

У розділі «Газопостачання житлових будинків» [5] передбачається встановлення, малометражних котлів, теплогенераторів, газових плит, конвекторів та лічильників газу. У сучасних будинках для газифікації використовується весь перелік передбаченого обладнання в будь-які комбінації. Але в Додатку В [5] для визначення коефіцієнта одночасності K_{sim} передбачено лише чотири варіанти визначення коефіцієнта: плита 4-комфоркова, плита 2-комфоркова, плита 4-комфоркова та газовий проточний нагрівач, плита 2-комфоркова та газовий проточний нагрівач. Не наведена інформація про газові конвектори та двоконтурні котли.

При порівнянні значень K_{sim} чинного документа з раніше чинними ДБН В.2.5-20-2001 та СНиП 2.04.08-87 видно що значення коефіцієнта залишилось без змін з 1987 року, хоча за цей час змінилися конструкції газових приладів, їхній коефіцієнт корисної дії, покращилися теплоізоляційні характеристики будівель.

Зросли вимоги і до складу та якості природного газу. Вивчається питання транспортування і використання як мережного газу водню, біометану та інших сумішей. Поряд з питаннями безпеки це вплине і на розрахунки визначення діаметрів труб. Оскільки Україна використовує 30, а видобуває біля 20 млрд м^3 газу то постачаненя в газову мережу 10 млрд біогазу є реальним [4].

Висновки. Відповідно до закону України «Про внесення змін до деяких законів України щодо запровадження на ринку природного газу обліку та розрахунків за обсягом газу в одиницях енергії» здійснюється перерахунок розподілу потужностей у точках входу до газотранспортної системи та/або в точках виходу з газотранспортної системи, що визначені в одиницях об’єму (метрах кубічних), в обсяги, визначені в одиницях енергії, за коефіцієнтом, що відповідає значенню вищої теплоти згоряння 38,3 МДж/м^3 (10,64 кВт·год/м^3). Але при розрахунку розподільчої частини системи газопостачання ДБН «Газопостачання» рекомендують використовувати теплоту згоряння газу 34 МДж/м^3, що нижче прийнятого в перерахунку значення на 12,6 %. Використання значення вищої теплоти згоряння 38,3 МДж/м^3 при проведенні гідравлічного розрахунку газопроводів дозволить раціональніше підбирати діаметри на ділянках. Використання витрат газу, визначених в одиницях енергії, дозволить зменшити фактичні діаметри газопроводів, їх матеріалоємність, отже і загальну вартість системи. При відновленні і реконструкції систем газопостачання врахування цього фактору дозволить отримати повнішу інформацію про пропускну здатність системи при забезпеченні потрібних перепадів тиску. Забезпечення відповідності визначення кількості газу в одиницях об’єму (при доставці споживачу) і в одиницях енергії (при здійсненні нарахувань за спожитий газ) з використанням однакового підходу дозволить досягти справедливості в розрахунках. Вирішення прямої задачі дасть змогу більш точно визначати діаметри газопроводів для постачання заданого об’єму газу з певними параметрами. Це зменшить матеріалоємність труб, здешевить будівництво в цілому. При вирішенні оберненої задачі буде змога при відомому діаметрі газопроводу визначити точні об’єми постачання газу при заданому перепаду тиску. Це дасть змогу в більш повній мірі використовувати наявний потенціал.

References

1. Enerhetychna stratehiia Ukrainy do 2035 roku. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80#Text. Accessed 30 September 2023.

2. Kodeks hazotransportnoi systemy. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1378-15 Accessed 30 September 2023.

3. Mayrhofer, M., Koller, M., Seemann, P., Prieler, R., & Hochenauer, C. "Assessment of natural gas/hydrogen blends as an alternative fuel for industrial heat treatment furnaces." International journal of hydrogen energy, vol 46, iss. 41, 2021, pp. 21672-21686, https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.03.228

4. Zakon Ukrainy «Pro vnesennia zmin do deiakykh zakoniv Ukrainy shchodo zaprovadzhennia na rynku pryrodnoho hazu obliku ta rozrakhunkiv za obsiahom hazu v odynytsiakh enerhii». https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1850-20#Text. Accessed 30 September 2023.

5. Hazopostachannia. DBN V.2.5-20:2018. Ukrarkhbudinform, 2019 (in Ukrainian).

6. "Kodeks hazorozpodilnykh system." Ofitsiinyi visnyk Ukrainy, no 92, 27 November 2015, p. 461. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1379-15#Text (in Ukrainian).

7. Kodeks ustalenoi praktyky Ukrainy. Hazorozpodilchi systemy. Rekomendatsii shchodo proektuvannia, budivnytstva, kontroliuvannia za budivnytstvom, uvedennia ta vyvedennia z ekspluatatsii hazorozpodilchykh system. Kodeks 2:2021 DP «UkrNDNTs», 2022. (in Ukrainian). https://oblgaz.donetsk.ua/files/tech-nadzor/kodeks-ustalenoyi-praktyky-2022.pdf

8. Pravyla bezpeky system hazopostachannia. NPAOP 0.00-1.76-15. Osnova, 2015. https://nvkarta.com/project/nusta/uploads/documents/helsi/[pb2]-pravyla-bezpeky-system-hazopostachannia.pdf (in Ukrainian).

9. Yenin P.M., Shyshko H.H., Predun K.M. Hazopostachannia naselenykh punktiv i obiektiv pryrodnym hazom: navchalnyi posibnyk. Lohos, 2002 (in Ukrainian).

10. Tkachenko V. A., Skliarenko O. M. Hazopostachannia. IVNVKP «Ukrheliotekh», 2012 (in Ukrainian).

11. Hazy horiuchi pryrodni dlia promyslovoho ta komunalno-pobutovoho pryznachennia. Tekhnichni umovy. HOST 5542-87. https://budinfo.org.ua/doc/1815580.jsp (in Ukrainian, valid 01 January 1988 — 01 January 2022)

12. V Ukraini ziavylys pershi biometanovi zavody. https://forbes.ua/money/v-ukraini-zyavlyayutsya-pershi-biometanovi-zavodi-chi-varto-investuvati-v-tsey-biznes-i-skilki-mozhna-zarobiti-30092022-8713 . Accessed 11 September 2023.

UDC 696.2

Associate Professor **Yurii Franchuk,**
franchuk.yy@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-7910-8705,
Associate Professor **Viktoriia Konovaliuk,**
konovaliuk.va@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0001-5115-7188
Kyiv National University of Construction and Architecture

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE HEAT OF COMBUSTION OF GAS ON THE DETERMINATION OF GAS PIPELINE DIAMETERS

Abstract. Natural gas plays a significant role in the energy supply structure. The country's primary energy supply includes 29 million tons of natural gas, which accounts for 30.2 % of the country's total energy balance. Part of the biomass, combustion and output increased from 2.3 % to 11.5 %. On the other hand, the majority of gas distribution systems were put into operation thirty to fifty years ago and met the regulatory requirements in force at the time. Now, gas flows and loads in these networks have changed, and the standard service life has expired. The state of gas networks has been significantly affected by military operations. The requirements of regulatory documents in the field of gas supply have been significantly expanded in order to harmonise with the current European legislation. Calculations were introduced based on the volume of natural gas in energy units, which is determined by the higher calorific value. There are some conflicts in the national normative base, which causes the problems for gas supply design. It is proposed to use the higher heating value of gas when determining the diameter of gas networks. The use of the higher calorific value of 38.3 MJ/m^3 in the hydraulic calculation of gas pipelines will allow for a more rational selection of diameters in the sections. The use of gas consumption in energy units will reduce the actual diameters of gas pipelines, their material consumption, and thus the overall cost of the system. The influence of the gas component composition on its physical and chemical properties and, as a result, on the system capacity is considered. In addition, as a result of the implementation of thermal modernisation measures in buildings, the amount of gas consumed is reduced and there is a need to optimise the values of the coefficients of simultaneous operation of gas. For today, old values are used, which are defined in 1987, when the norms of gas supply and living conditions were different. Thus, the coefficients should be adapted to the modern life and norms.

Keywords: gas supply, gas pressure, gas volume, pipe diameter, simultaneity factor