

АНАЛІЗ ВПЛИВУ МЕТОДИК ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА СТИСЛИВОСТІ ПРИРОДНОГО ГАЗУ НА ОБСЯГИ ВИРОБНИЧО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВИТРАТ ГАЗОТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ

Н. Я. Дрінь 

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;
76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15;
тел. +38 (0342) 72-71-38; e-mail: natalia.drin@nung.edu.ua

У статті проведено порівняльний аналіз чинних нормативних методик України (базованих на СОУ/НДТОВ) та міжнародного еталонного стандарту (ISO 20765-1/AGA8) щодо визначення обсягів виробничо-технологічних витрат (ВТВ) природного газу, що виникають під час планових ремонтних операцій на магістральних газопроводах. Досліджено критичний вплив коефіцієнта стисливості газу (Z) на точність кінцевого розрахункового обсягу ВТВ.

Актуальність дослідження обумовлена винятковим стратегічним значенням української газотранспортної системи. В умовах нестабільного завантаження та високого зносу інфраструктури, регулярне проведення планово-попереджувальних ремонтів (ППР) є безальтернативною умовою забезпечення надійності. Кожна така операція супроводжується технологічними втратами газу, обсяг яких, згідно з нормативними актами, визначається розрахунковим шляхом. Точність цих розрахунків безпосередньо впливає на формування паливно-енергетичного балансу Оператора ГТС.

Недооцінка або переоцінка обсягів ВТВ призводить до фінансових ризиків та спотворення даних про ефективність роботи. Особлива увага приділяється коефіцієнту стисливості газу (Z), який є ключовим параметром для приведення обсягів газу з робочих умов до стандартних. Застосування спрощених формул, які не враховують повний хімічний склад газу, створює системну похибку. Мінімізація цієї похибки є прямим шляхом до підвищення прозорості ринку та енергоефективності. У контексті євроінтеграційних процесів, узгодження національних розрахункових методик з міжнародними стандартами набуває першочергового значення. Таким чином, забезпечення максимальної точності обліку ВТВ є критичним завданням для фінансової стійкості та технічної надійності ГТС України.

Ключові слова: газотранспортна система (ГТС), виробничо-технологічні витрати (ВТВ), коефіцієнт стисливості, облік газу, продумання, нормативні методики.

Вступ

Функціонування газотранспортної системи (ГТС) є критично важливим елементом енергетичної безпеки та економіки України. ГТС, що включає магістральні газопроводи, компресорні станції (КС), газорозподільні станції (ГРС) та підземні сховища газу (ПСГ), є одним із найбільших споживачів природного газу, який використовується на власні виробничо-технологічні потреби (ВТВ).

Значна частка ВТВ (виробничо-технологічних витрат) газу не вимірюється приладами обліку, а визначається виключно розрахунковим шляхом [4, 6]. До цих витрат належать обсяги газу, випущеного в атмосферу під час планових ремонтних та профілактичних робіт (продування комунікацій, пуски/зупинки агрегатів). Точність цих розрахункових ВТВ безпосередньо впливає на загальний паливно-енергетичний баланс.

Аналіз сучасних закордонних і вітчизняних досліджень та публікацій

Точність обліку природного газу та мінімізація виробничо-технологічних витрат (ВТВ) є критичною проблемою для світової та української газотранспортної системи (ГТС). Актуальність дослідження обумовлена тим, що значна частка ВТВ, особливо під час планових ремонтних робіт, визначається розрахунковим шляхом.

Чинні галузеві нормативні документи України (СОУ/НДТОВ) [2, 3] часто використовують спрощені формули для визначення Z-фактора.

Міжнародні дослідження, підкріплені стандартами ISO 20765-1 та Рівнянням AGA8 [1], доводять, що точний розрахунок коефіцієнта стисливості є запорукою достовірного обліку. Ці еталонні методи вимагають повного хімічного аналізу газу, оскільки будь-яке спрощення моделі призводить до систематичної похибки. Праці вітчизняних вчених (Крижанівський Є. І., Карпаш М. О., Слободян М. Б., Грудз В.Я.) [5, 7, 8] підтверджують, що в умовах нестабільного завантаження ГТС та її зносу, питання точності розрахунку ВТВ набуває особливої фінансової значущості.

Висвітлення невирішених раніше частин загальної проблеми

Незважаючи на наявність чинної вітчизняної нормативної бази, спрямованої на облік виробничо-технологічних витрат (ВТВ) природного газу, у галузі зберігається невирішена проблема методологічної точності розрахунків. Актуальні дослідження, включаючи міжнародні стандарти (ISO 20765-1 / AGA8), вказують на те, що спрощені підходи до визначення коефіцієнта стисливості газу (Z) призводять до систематичного недообліку реальних витрат. Існуючі моделі не повною мірою враховують динамічний хімічний склад газу та його реальні фізичні властивості в умовах магістрального транспортування. Це створює фінансову та балансову невизначеність для Оператора ГТС. Зокрема, не було достатньо висвітлено питання кількісної оцінки та демонстрації прямого фінансового впливу цієї методологічної похибки, що виникає

при застосуванні спрощених формул у порівнянні з еталонними багатокомпонентними моделями. Невирішеною залишається задача узгодження спрощеного, але обов'язкового для звітності, національного розрахунку з міжнародними вимогами до точності. Таким чином, існує потреба у чіткому обґрунтуванні, наскільки великим є ризик недообліку ВТВ під час планових ремонтних операцій, і як цей недооблік впливає на загальну фінансову стійкість газотранспортної системи України.

Мета та завдання досліджень

Метою статті є проведення порівняльного аналізу чинних національних та міжнародних методик розрахунку коефіцієнта стисливості природного газу (Z) для кількісної оцінки методологічної похибки у визначенні обсягів виробничо-технологічних витрат (ВТВ), що виникають під час планових ремонтних робіт на об'єктах газотранспортної системи України.

Методологія розрахунку виробничо-технологічних витрат та порівняння методик

Точність розрахунку ВТВ є фундаментальною для:

- фінансового обліку, так як недооблік ВТВ спотворює вартість транспортування газу та фінансову звітність оператора;

- енергоефективності газотранспортної системи, оскільки точні дані дозволяють виявляти неоптимальні режими роботи і впроваджувати енергозберігаючі заходи;

- балансування системи, бо недостовірні розрахунки напряму збільшують показник «розбалансу», що є однією з основних проблем ГТС.

Сучасна ГТС України працює в режимі значної нестабільності завантаження, що збільшує питомі витрати.

Структура витрат газу є комплексною:

- при технологічних витратах, коли газ, що використовується для забезпечення технологічних процесів, як-от: пуски/зупинки КС, продування лінійної частини, обслуговування запірної арматури. (ці витрати розраховуються за формулами);

- при технічних витоках, тобто відбуваються постійні випуски газу через негерметичність обладнання. Ці втрати є неминучими, але їх обсяг залежить від стану арматури та її ущільнення.

Ключовим параметром у розрахунку будь-якого об'єму газу, приведенного до стандартних умов, є коефіцієнт стисливості (Z).

Обсяг газу, випущеного під час планової операції (Q_p), розраховується за чинною нормативною формулою, що базується на законі ідеальних газів з введенням коефіцієнта стисливості Z :

$$Q_p = \left(\frac{T_{\text{ст}} \cdot V \cdot P}{P_{\text{ст}} \cdot T \cdot Z} \right) + k_{\text{прод}} \cdot V, \quad (1)$$

де Q_p – загальний обсяг витраченого газу, тис. м³; V – геометричний об'єм ділянки, м³; P , T – середні фактичні тиск (МПа) та температура (К) газу на ділянці; $P_{\text{ст}}$, $T_{\text{ст}}$ – стандартні умови (0,101325 МПа, 293,15

К); Z – коефіцієнт стисливості газу (безрозмірний); $k_{\text{прод}}$ – коефіцієнт, що враховує обсяг газу на продування. Згідно з чинними методиками, він часто приймається рівним 3 (об'єм, що втричі перевищує геометричний об'єм V , використовується для фінального продування повітрям).

Точність розрахунку обсягу випущеного газу найбільше залежить від точності визначення коефіцієнта стисливості (Z).

Порівняльний аналіз методик розрахунку коефіцієнта стисливості газу

Для розрахунку коефіцієнта стисливості газу ми використовуємо дві загальнодоступні методики, які демонструють різний рівень точності:

1. Методика 1 (ISO/AGA8) – це міжнародний еталонний метод, що базується на складному рівнянні AGA8 (ISO 20765-1:2005), який є еталоном точності і враховує повний хімічний склад газу.

2. Методика 2 (COU/Спрощений) – це типовий спрощений метод, що використовується в українських галузевих нормах, який часто базується на апроксимації з одним-двома фізичними параметрами (наприклад, густиною).

Розрахунок коефіцієнтів стисливості (Z) базується на двох групах вихідних даних: робочі та стандартні умови (константи для обох методик) та параметри хімічного складу газу (ключова відмінність між методиками). Різниця між розрахунковими Z виникає через те, як кожна методика враховує склад газу.

Таблиця 1. Порівняльний аналіз методик розрахунку Z

Показник	Еталонна Методика (Методика 1)	Спрощена Методика (Методика 2)
Методологія розрахунку	ISO 20765-1 / AGA8. Точний, багатокомпонентний розрахунок.	COU/НДТОВ (Спрощена). Модель, чутлива до похибок спрощення.
Врахування складу газу	Повний, реалістичний хімічний склад (включно з негорючими домішками).	Усереднений або фіксований склад, що ігнорує/занижує вміст негорючих домішок.
Обґрунтування	Еталонний Z нижчий, оскільки точно враховує неідеальність газу при високому тиску.	Z штучно завищений, оскільки спрощена модель недостатньо точно враховує реальні фізичні властивості газу. Це призводить до систематичного недообліку обсягу ВТВ

Вихідні дані для умовної ділянки та результати розрахунку Q_p :

- геометричний об'єм ділянки (V) – 1000 м³;
- середній абсолютний тиск (P) – 5, 5 МПа;
- середня абсолютна температура (T) – 293, 15 К.
- коефіцієнт продування ($k_{\text{прод}}$) – 3.

Таблиця 2. Порівняння обсягів ВТВ при різних методиках розрахунку коефіцієнта стисливості газу

Параметр	Методика 1 (ISO/AGA8)	Методика 2 (COY/Спрощений)
Коефіцієнт стисливості, Z	0, 865	0, 895
Обсяг ВТВ, Q_p (тис. м ³)	62, 561	60, 331
Відхилення від ISO (%)	0, 00%	3, 56%

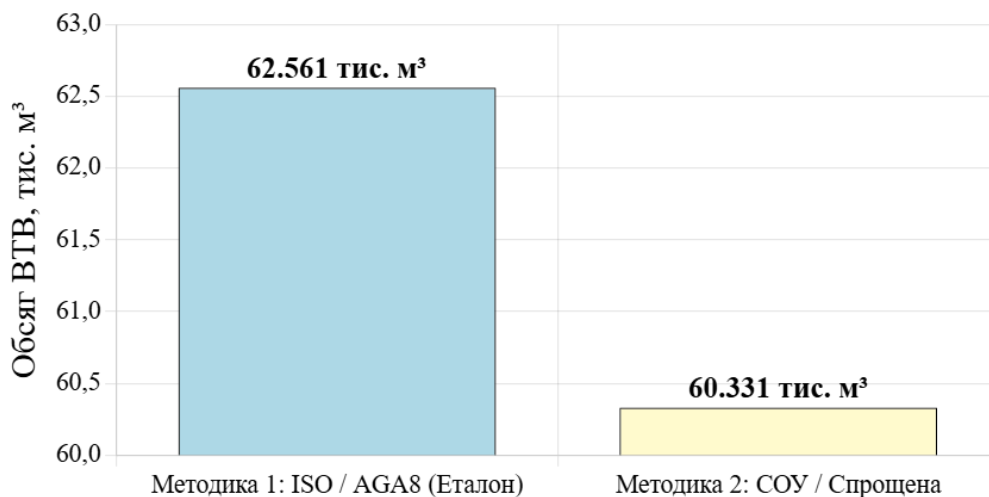


Рис. 1. Схема порівняння обсягів ВТВ (тис. м³) для Методики 1 та Методики 2

Загальний час операції, тобто вся планова робота, включаючи випускання газу з ізолюваної ділянки газопроводу (до атмосферного тиску або тиску, необхідного для ремонту), продування ділянки (газом або інертним газом) після завершення робіт, що є обов'язковим для видалення повітря або газоповітряної суміші перед повторним введенням ділянки в експлуатацію може займати від 1 доби до 3-5 діб.

Фактичний час випуску газу (продування) залежить від діаметра свічного крана, тиску в трубі та довжини ділянки.

Висновки

Проведений порівняльний аналіз підтверджує, що вибір методики розрахунку коефіцієнта стисливості (Z) має прямий вплив на точність визначення виробничо-технологічних витрат газу. Спостерігається систематичне заниження розрахункових обсягів ВТВ на близько 3,56% при використанні спрощеного нормативного методу ($Z = 0,895$) порівняно з еталонним рівнянням AGA8 ($Z = 0,865$). У масштабах Оператора ГТС ця похибка може призводити до значних недооблікованих обсягів газу, що виливається у «розбаланс».

Література

1. ISO 20765-1:2005. Natural gas – Calculation of thermodynamic properties – Part 1: Static and dynamic measurements. International Organization for Standardization, 2005. (Рівняння AGA8).
2. СОУ 60.3-30019801-100:2012. Газ природний горючий. Визначення обсягів витрат природного газу на виробничо-технологічні потреби під час його транспортування газотранспортною системою та експлуатації підземних сховищ газу. Порядок розрахунку. Наказ ДК «Укртрансгаз» № 4 від 11.01.2012 р.
3. НДТОВ 07-003:2019. Методика визначення обсягів витрат природного газу на виробничо-технологічні потреби під час його транспортування газотранспортною системою. Наказ ТОВ «Оператор ГТС України» № 103 від 16.08.2019 р.
4. Андрусів У.Я., Михайлюк Ю.Р., Дрінь Н.Я. Модель управління промисловими підприємствами на засадах циркулярної економіки. Науковий Вісник: Економіка. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ. – 2024. № 1. С. 37 – 46. Фахове видання.
5. Ya. Grudz, I. Prokopiv, K. Novikov, N. Drin, A. Vitushynskyi, L. Kachan, Energy efficiency and reliability of gas transport and distribution net works, Procedia Structural Integrity, Volume 59, 2024, Pages 750-756, DOI:<https://doi.org/10.1016/j.prostr.2024.04.107> (SCOPUS)
6. Drin N.Ya., Ivanov O.V., Pyrih T.Yu., Klymko V.M., Myzyn S.V., Novikov K.V., Karabinovych M.S. Techno-economic aspects of selecting optimal operating modes of gas transmission systems. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, 2025, Vol. 102, No. 3, pp. 55-63. DOI: <https://doi.org/10.5604/17348412>. (SCOPUS)
7. Карпаш М. О., Слободян М. Б., Прищепо І. О. Проблемні питання оцінки ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів на об'єктах ГТС. Нафтогазова енергетика. 2017. № 1 (27). С. 56–64.
8. Карпаш М. О., Слободян М. Б., Рибіцький І. В. Аналіз організаційних заходів щодо підвищення енергоефективності на об'єктах газотранспортної системи України. Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. 2017. № 4 (65). С. 111–115.

Стаття надійшла до редакційної колегії 04.11.2025 р.

Прийнято до друку 05.11.2025 р.

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF NATURAL GAS COMPRESSIBILITY FACTOR DETERMINATION METHODS ON THE VOLUME OF PRODUCTION AND TECHNOLOGICAL GAS LOSSES IN THE GAS TRANSMISSION SYSTEM

N. Ya. Drin 

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas;

76019, Ivano-Frankivsk, 15 Karpatska Street;

tel. +38 (0342) 72-71-38; e-mail: natalia.drin@nung.edu.ua

The article presents a comparative analysis of the current Ukrainian regulatory methodologies (based on SOU/NDTOV) and the international reference standard (ISO 20765-1/AGA8) for determining the volume of production and technological gas losses (PTL) that occur during planned maintenance operations on main gas pipelines. The critical influence of the gas compressibility factor (Z) on the accuracy of the final calculated PTL volume is investigated.

The relevance of the study is dictated by the exceptional strategic importance of the Ukrainian Gas Transmission System (GTS). Given the unstable loading and high wear of the infrastructure, the regular execution of planned preventative maintenance (PPM) is an indispensable condition for ensuring reliability. Every such operation involves technological gas losses, the volume of which, according to regulations, is determined by calculation. The accuracy of these calculations directly affects the formation of the fuel and energy balance of the GTS Operator.

Underestimation or overestimation of PTL volumes leads to financial risks and distortion of performance data regarding operational efficiency. Particular attention is paid to the gas compressibility factor (Z), which is a key parameter for converting gas volumes from operating conditions to standard conditions. The use of simplified formulas, which do not account for the full chemical composition of the gas, creates a systematic error. Minimizing this error is a direct pathway to enhancing market transparency and energy efficiency. In the context of European integration processes, the alignment of national calculation methodologies with international standards becomes a matter of primary importance. Thus, ensuring maximum accuracy in PTL accounting is a critical task for the financial sustainability and technical reliability of the Ukrainian GTS.

Based on hypothetical initial data for a typical section of a main gas pipeline, it is demonstrated that the application of the simplified methodology (Method 2) leads to systematic gas under-accounting, as its calculated coefficient significantly differs from the reference one.

Keywords: gas transmission system (GTS), production and technological losses (PTL), compressibility factor, gas accounting, blowdown, regulatory methodologies.