

## АНАЛІЗ ВИКЛИКІВ У СИСТЕМНОМУ ПІДХОДІ УПРАВЛІННЯ ДИНАМІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ МЕРЕЖ ГАЗОТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ

С.О. Максим'юк, І.І. Височанський, О.М. Карпаш

ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0342) 506611,  
e-mail: sergmax94@gmail.com

Стаття присвячена аналізу достатності та повноти інформативних параметрів газотранспортної системи із високим рівнем розгалуження технологічних схем та складністю аналізу динамічних процесів транспортування енергоресурсу. Висвітлено проблеми в інформатизації параметрів даних процесів та сформульовано основні задачі оптимізації системи керування газотранспортною мережею. Наведено результати дослідження розбіжності інформативних параметрів про хімічні властивості природного газу на різних рівнях його постачання.

Ключові слова: газотранспортна система, інформативні параметри мережі, оптимальне керування.

Статья посвящена анализу достаточности и полноты информативных параметров газотранспортной системы с высоким уровнем разветвления технологических схем и сложностью анализа динамических процессов транспорта энергоресурса. Освещены проблемы в информатизации параметров данных процессов и сформулированы основные задачи оптимизации системы управления газотранспортной сетью. Приведены результаты исследования разногласия информативных параметров о химических свойствах природного газа на разных уровнях его поставки.

Ключевые слова: газотранспортная система, информативные параметры сети, оптимальное управление.

The article analyzes the adequacy and completeness of informative parameters of gas pipeline system with high branching of processing routes and analytical complexity of dynamic processes in the energy resource transportation. The problems of parameter informatization of these processes are highlighted and the main tasks for optimizing the control system of gas transmission system are defined. The investigation results of the diverging informative parameters of natural gas chemical properties at different levels of its supply are presented.

Key words: gas transmission system, network informative parameters, optimal control.

### Вступ

Природний газ – корисна копалина, що є сумішшю вуглеводнів та неуглеводневих компонентів, перебуває у газоподібному стані за стандартних умов (тиск 760 мм ртутного стовпчика і температура 20°C) і є товарною продукцією. Газ використовується як паливо для індивідуального та централізованого опалення та приготування їжі, як пальне для електростанцій та машин. Природний газ є сировиною у хімічній промисловості [1].

У 2016 році Україна спожила 33,2 млрд м<sup>3</sup> природного газу [2], що складає 24% від загального паливно-енергетичного балансу. В 2017-му загальне споживання скоротилося ще на 4% і склало 31,9 млрд м<sup>3</sup> [3]. Не зважаючи на помітний спад вітчизняного об'єму споживання газу, Україна має першість в рейтингу найбільш енергонеефективних країн за рівнем використання даного енергоресурсу. Згідно з дослідженням Global Energy Statistical Yearbook [4], загальне споживання природного газу України за 2016 рік на 40% більше, ніж Польщі (при цьому, ВВП Польщі [5] в 5 разів вище за ВВП України), в 3 рази більше, ніж Румунія (ВВП Румунії удвічі вище) та в 5 разів більше, ніж Норвегія (ВВП Норвегії в 4 рази вище). В той же час вітчизняне споживання енергоресурсу на 42% менше, ніж у Франції (співвідношення

ВВП – 26,4 рази), в 3 рази менше, ніж в Німеччині (співвідношення ВВП – 37 раз) та на 50% менше, ніж в Туреччині (співвідношення ВВП – 9,2 рази).

В ході експлуатаційної роботи технологічних об'єктів газотранспортної мережі використовуються додаткові об'єми природного газу, їх ще називають виробничо-технологічні витрати газу (ВТВ). Це об'єми витрати газу для забезпечення роботи газорозподільних мереж, ремонту і усунення аварій, а також метрологічні витрати на приладах обліку енергоресурсу. За даними НКРЕКП та НАК «Нафтогаз України» [6] внаслідок того, що обсяг розподілу у 2012-2016 роках скоротився на 41% з 46,56 млрд м<sup>3</sup> до 26,96 млрд м<sup>3</sup> (рис. 1), частка ВТВ в розподільних мережах через високий рівень зношеності мереж зросла на 1,2 відсоткові пункти та становила у 2016 році 3,6%.

Зважаючи на описану вище перевитратність національного енергоспоживання, варто відзначити, що частка 2,5% ВТВ від загального обсягу транспортування газотранспортною системою (ГТС) є значною [7]. Актуальним стає дослідження шляхів зменшення обсягу ВТВ в енергобалансі ГТС України.

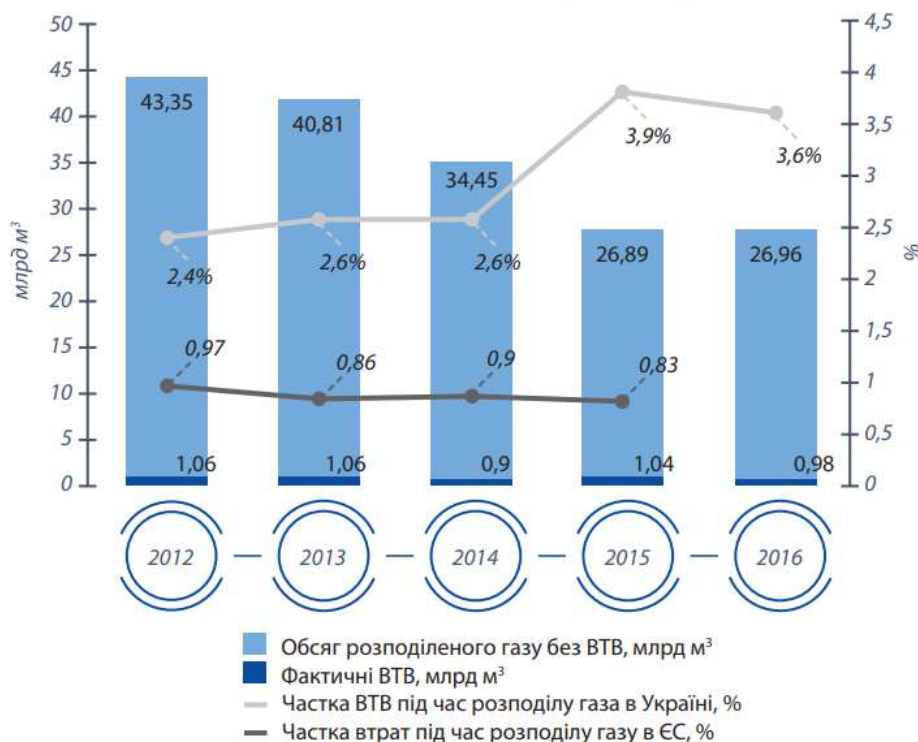


Рисунок 1 – Обсяги розподілу природного газу [6]

### Актуальність роботи

ГТС України – друга найбільш розвинена на Євразійському континенті після ГТС Російської Федерації за параметрами: потужність, протяжність газопроводів та обсяг підземних сховищ газу [8]. Така мережа потребує безперервного контролю, основою якого є інформатизація параметрів самого енергоресурсу та обладнання, що використовується для його транспортування. Підвищення рівня інформатизації також дасть можливість пришвидшити процес визначення та усунення аварійних ситуацій на ГТС, що позитивно вплине на зменшення частки ВТВ та підвищить рівень енергоефективності ГТС країни. Отже, виникає потреба в дослідженні сучасної газотранспортної мережі стосовно наявних проблемних викликів щодо оптимізації процесів керування системою.

### Формулювання цілей статті

1. Теоретичне дослідження наукових напрацювань за напрямком інформатизації технічних процесів в газотранспортних мережах.

2. Аналіз розбіжностей інформативних параметрів мереж транспортування та розподілу газу різних рівнів.

### Опис об'єкту дослідження

Мережа газопостачання є динамічною системою, тобто такою, що змінює параметри свого режиму роботи та характеристики транспортного енергоносія. З початком реформування газового сектору України та впровадження принципів функціонування на території країни ринку природного газу, мережу газопостачання поділено на три ланки – газовидобувні підпри-

ємства, газотранспортну та газорозподільну системи.

Газовидобувні підприємства займаються видобутком (виробництвом) природного газу, у тому числі виробники біогазу або інших видів газу з альтернативних джерел [9]. За даними [10] станом на 2015 рік в Україні налічувалося 3,9 тис. свердловин.

До газотранспортної системи належать магістральні газопроводи з відводами та лупінгами від місця входу з установки підготовки газу на об'єктах газодобування чи газосховищ до місця виходу з газорозподільної станції зі зниженням тиску до 1,2 МПа. Комплекс магістральних газопроводів України характеризується значною протяжністю (22,2 тис. км) та великими діаметрами (700 – 1400 мм) труб [10,11]. З метою підтримання нормального режиму роботи транспортування енергоресурсу в систему транспортування також входять компресорні станції, газорозподільні станції, установки підготовки газу, установки протикорозійного захисту та інші технологічні об'єкти.

Технічний комплекс газорозподільної системи призначений для розподілу природного газу від газорозподільних станцій безпосередньо споживачам, тиск якого не може перевищувати 1,2 МПа. Газорозподільна система складається з організаційно і технологічно пов'язаних між собою об'єктів – газопроводів, обладнання для зниження тиску і підтримання його на заданому рівні (зокрема ГРП та ШРП), установки електрохімічного захисту від корозії та інші технологічні об'єкти [12]. Газопроводи мережі газорозподілу залежно від тиску, що транспортується ними, поділяються [13] на:

- газопроводи високого тиску I категорії (робочий тиск в межах 0,6 – 1,2 МПа). Ними газ рухається від ГРС до ГРП у регіони споживачів. Загальна протяжність таких трубопроводів на території України – 13,4 тис. км [10];

- газопроводи високого тиску II категорії (робочий тиск в межах 0,3 – 0,6 МПа). Служать для подачі газу до промислових об'єктів та газорозподільних пунктів нижчого рівня. Їх протяжність в комплексі постачання природного газу України складає 34,5 тис. км [10];

- газопроводи середнього тиску (робочий тиск в межах 0,005 – 0,3 МПа). Використовуються для розподілу енергоресурсу до виробничих та комунально-побутових підприємств, газорозподільних пунктів нижчого рівня та приватних будинків. Загальна протяжність газопроводів даної категорії складає 110 тис. км [10];

- газопроводи низького тиску (робочий тиск нижче рівня 0,005 МПа). Слугують для подачі енергоресурсу до багатоквартирних та приватних будинків, інших будівель інфраструктури. Загальна протяжність становить 98 тис. км [10].

### **Виклад основного матеріалу**

Такій системі притаманний складний режим роботи, що характеризуються системною зміною точок входу імпортованого газу (залежить від фінансово-політичних передумов), коливаннями рівнів споживання та транзиту газу в значних об'ємах, непроектованими режимами роботи обладнання (реверсне транспортування імпортованого газу на багатьох ділянках газопроводів) тощо. Згідно з [14] Українська ГТС включає близько 10 тис. фізичних точок входу та виходу. Їх кількість постійно змінюється, як і змінюються транзитні об'єми і параметри енергоносія, що транспортується. Такі масштабні зміни в ГТС України проявляються у безперервній зміні унікальності об'єкту – в індивідуальності структури, наборі технологічних об'єктів та їх параметрів, умовах функціонування технологічного обладнання та системи забезпечення їх керованості, постійній зміні складу елементів ГТС і структурних зв'язків між ними в залежності від режиму роботи.

В системі відбувається постійна зміна як режимних параметрів об'єктів ГТС, так і лінійної схеми передачі енергоресурсів, що характеризується певним станом мережі. Враховуючи, що сучасні вимоги та кодекси ГРМ та ГТС [9,12] диктують стислі терміни для прийняття інженерно-технічних рішень при підключенні нових споживачів, а також факт періодичності об'ємів споживання енергоресурсу (ранкові та вечірні піки), за короткий термін часу система може перебудувати в нескінченній кількості таких станів. Більше того, повне реформування газового сектору України до ринкових умов призведе до неперервної зміни постачальників енергоресурсу з різними його характеристиками та об'єму газу в ГТС, яким вони торгують. Кожен стан, який визначається набором інтегральних параметрів технологічного устаткування мережі та енергоресурсу по всій структу-

рі системи, повинен задовольняти набору обмежень, або належати певній багатомірній динамічній області, яку визначають шляхом моделювання роботи ГТС.

Такі умови функціонування газотранспортних та газорозподільчих мереж вимагають прийняття швидких та ефективних рішень щодо режимів експлуатації об'єктів та системи загалом. Це забезпечується роботою системи керування мережею.

При певному стані системи, якому відповідає деяка схема транспортування та розподілу енергоресурсу і вимірних параметрах експлуатації мережі проводиться визначення і підтримка найбільш оптимального режиму роботи газотранспортної системи шляхом керуванням зміною режиму роботи системи газопроводів оператором. Основний метод управління газотранспортною мережею – за допомогою запірної арматури вибудувати потоки газу, регулюючими пристроями на ГРС задати необхідні обсяги і тиск для поставок газу споживачам, розрахувати необхідні потужності компресорних станцій (КС) і задати потрібні параметри (режими) роботи газоперекачувальних агрегатів (ГПА) [15]. Комплекс даних установок є режимом роботи ГТС. Ключовими показниками роботи ГТС є обсяги одержуваного і переданого газу, втрати газу (паливний газ), зміна запасу газу в трубі, а також (за наявності) відбір газу з підземного сховища газу (ПСГ) або закачування газу в ПСГ.

Подальше регулювання потоків газу можна проводити шляхом скоординованого поєднання пасивного і активного впливів на ГТС:

1. Пасивне управління – зміна потоків газу за допомогою запірної арматури лінійної частини. Дозволяє або зупинити транспорт і "стравити" ділянку газопроводу, або спрямувати потік газу за іншим напрямком.

2. Активне управління – збільшення або скорочення подачі газу споживачам, закачування / відбору газу в / із ПСГ, режими роботи ГПА на компресорних станціях. В якості активних об'єктів управління можна також розглядати ГРС (збільшення або скорочення подачі газу з ГТС) і вузли редукування газу, що зменшують тиск при подачі газу з газопроводу з великим тиском в газопровід з меншим.

Умовно можна виділити такі кроки в процесі управління [15]:

1. Початковий крок – збір або оцінка заявок на поставку газу і планування виробничої програми роботи компанії загалом і ГТО – плану транспорту газу. Це, безумовно, завдання управління потоками газу, що забезпечує виконання контрактних зобов'язань.

2. На основі плану розробляються режими, або технологічні карти роботи обладнання – з метою виконання плану за бажаною мінімізацією витрат по паливному газу. Це технологічне планування. Віддаються команди і розпорядження, здійснюється спостереження за процесами. Надалі до процесу роботи підключається персонал операційних і диспетчерських філій

компанії, що відповідають за роботу обладнання і виходу КС і інших систем на задані режими.

3. Далі можуть виникнути можливі "обування" і відхилення від плану транспорту газу і розрахованого початкового режиму роботи обладнання. Перш за все, це зміни в споживанні газу, викликані економічними або погодними причинами. В результаті з'являється надлишок або нестача природного газу. По-друге, це технологічні причини – можливі аварії або заплановані ремонтні роботи. Для виявлення відхилення режиму по ГТС загалом використовуються оперативні (технологічні) баланси газу, які будуть розглянуті далі.

4. Відхилення від заданого стабільного режиму роботи вимагають оцінити ситуацію і приймати рішення як зі зміни графіка поставок і по потоках газу, так і стосовно роботи технологічного обладнання (наприклад, локалізація аварії, відключення ділянки і т. д.).

5. З технологічної частини, і за "поставками" необхідно скласти звітні документи. Найважливішою частиною звітів є баланс газу по підприємству. На відміну від оперативного балансу, він складається за підсумками місяця на основі перевірених показників і служить, в тому числі, для комерційних розрахунків.

Отже, основою для функціонування системи керування є актуальні параметри мережі та енергоресурсу в кожен момент її роботи. Проте, в ГТС України проявляється складність ідентифікації параметрів моделей режиму роботи системи та стану технологічних об'єктів, пов'язаний із значним рівнем невизначеності режимної інформації, яка, в основному, проявляється у відсутності замірів витрат, тисків і температур у багатьох вузлах газотранспортної системи.

Проведений аналіз видів невизначеностей, характерних для газотранспортної системи [16], показав: недостатню точність і неповноту оперативної інформації, яка породжується похибкою вимірювання, малопродуктивною системою передачі даних, асинхронністю вимірювання і надходження, недоступністю до частини інформації тощо. Крім цього, неточність моделей пов'язана із допущенням про однорідність певних підсистем за параметрами гідравлічного стану; спрощенням, яке пов'язане з неповним врахуванням рельєфу прокладання трубопроводів; введенням нечітких моделей типу термогідравлічних еквівалентів, неповним врахуванням суттєвої нелінійності та часткового використання паспортних характеристик тощо.

Ефективне управління ГТС вимагає моделювання потоків енергоносія, що потребує якомога більш точної інформації про потреби клієнтів. Однак попит користувачів може бути передбачений з обмеженою точністю. Невизначеності, що виникли в результаті помилок прогнозування попиту, повинні бути виправлені підвищенням надійності щоденного планування об'єму споживання ГТС [17].

Підтвердженням актуальності даної проблеми та нагальності потреби модернізації ГТС України телекомунікаційним обладнанням є

План розвитку ГТС України на 2018–2027 роки [18]. Згідно з документом на 2018 рік передбачено виділити 127 млн. грн на реконструкцію та капітальний ремонт системи телемеханіки на 11-ти магістральних газопроводах. Це дозволить оперативніше управляти та мати доступ до технологічної інформації, що надходить від різних розподілених джерел обладнання лінійних контрольних пунктів, а також дистанційно керувати запірною та регулювальною апаратурою на технологічних об'єктах лінійної частини газопроводів. Подібну ціль мають також плани газорозподільчих організацій.

Дослідження недостатності та розбіжності інформативних параметрів мережі газорозподілу проведено на прикладі визначення теплоти згоряння природного газу двома організаціями з різним рівнем розподілу енергоресурсу.

Керуючись українським законодавством, комерційним обліком називається процес визначення за допомогою вузла обліку природного газу обсягу споживання, на підставі якого проводяться взаєморозрахунки [19]. Проте, з початком функціонування на території України ринку природного газу в 2015 році [20] облік природного газу повинен виконуватися за його енергетичними показниками. Кількість енергії, що міститься в об'ємі природного газу, визначають з добутку даного об'єму на нижчу питому теплоту згоряння енергоресурсу [21]. До того ж, в умовах конкурентного ринку таку операцію необхідно проводити безперервно. Як наведено в [22], відома питома теплота згоряння природного газу, що протікає мережею розподілу, дасть можливість точніше визначити параметри системи на рівні кінцевих споживачів, що є додатковим параметром оптимізації процесу керування. Якщо з визначенням першого множника проблеми відсутні, то для визначення калорійності природного газу необхідно передбачити достовірний метод розрахунку.

Однією з важливих особливостей сучасної газотранспортної системи України є її високий рівень розгалуженості. Споживач отримує природний газ, якісні параметри якого не відповідають параметрам енергоресурсу, видобутого в найближчому родовищі. Після видобування природний газ, проходячи системою транспортування та крізь газосховища, змішується з іншими зразками як українського видобування, так і закордонного. Таким чином, щоб визначити якість газу в точці входу до споживача не достатньо виміряти його якість на етапі видобування.

З метою визначення можливості використання даних теплоти згоряння природного газу, отриманих від газотранспортних компаній, в процесі розрахунків за природний газ, виконано дослідження зміни енергетичних характеристик газу в газотранспортній мережі.

В якості дослідницької задачі виконано порівняння значень нижчої теплоти згоряння природного газу, виміряних двома компаніями – газотранспортною та газорозподільною. Обидва значення отримані хроматографічним методом.

**Таблиця 1 – Найбільші відхилення між значеннями теплоти згоряння природного газу, виміряними газотранспортною (дані сертифікату) та газорозподільчою компаніями (дані лабораторії)**

Номер виміру	Дата відбору проби	Місце відбору проби	Нижча теплота згоряння, МДж/м <sup>3</sup>	Вища теплота згоряння, МДж/м <sup>3</sup>	Нижча теплота згоряння, ккал/м <sup>3</sup> (дані лаб)	Нижча теплота згоряння, ккал/м <sup>3</sup> (дані сер)	Різниця між значеннями
1	15.01.18	ГРС Угринів	34,58	38,31	8265	8345	80
3	15.01.18	ГРС Стримба	36,18	40,05	8647	8496	-151
4	15.01.18	ГРС Перерісль	35,84	39,68	8566	8496	-70
29	05.02.18	ГРС Стримба	35,75	39,58	8544	8464	-80
48	19.02.18	ГРС Стримба	34,55	38,28	8257	8539	282
67	12.03.18	м.Івано-Франківськ, ГРП № 1	34,49	38,27	8243	8345	102
69	12.03.18	м.Івано-Франківськ, ГРП № 12	34,13	37,85	8157	8258	101
109	13.04.18	ГРС Ст.Лисець	35,13	38,92	8396	8541	145
115	18.04.18	ГРС Косів	33,24	36,90	7944	8149	205
124	24.04.18	ГРС Калуш-1	31,87	35,37	7617	7691	74

**Таблиця 2 – Одинакові дані сертифікату якості природного газу при різних фактичних значеннях теплоти згоряння**

Номер виміру	Дата відбору проби	Місце відбору проби	Нижча теплота згоряння, МДж/м <sup>3</sup>	Вища теплота згоряння, МДж/м <sup>3</sup>	Нижча теплота згоряння, ккал/м <sup>3</sup> (дані лаб)	Нижча теплота згоряння, ккал/м <sup>3</sup> (дані сер)	Різниця між значеннями
27	02.02.18	ГРС Угринів	34,51	38,23	8248	8233	-15
28	05.02.18	ГРС Угринів	34,49	38,22	8243	8233	-10
40	13.02.18	ГРС Долина	34,39	38,11	8219	8222	3
43	14.02.18	ГРС Долина	34,38	38,09	8217	8222	5

Проте, газотранспортна компанія оприлюднює сертифікати якості природного газу лише раз в два тижні. Вони використовуються для визначення середньомісячної калорійності газу, поданої в платіжці споживачів. Дані газорозподільчої компанії мають лише перевірочне значення і отримані пересувною лабораторією перевірки якості природного газу. Місцями збору зразків енергоресурсу для лабораторії є газорозподільчі станції мережі.

В ході дослідження перевірено 127 точок вимірювання якості природного газу за чотири місяці. Модуль різниці даних, отриманих з двох джерел, складає 3833 ккал/м<sup>3</sup>. При цьому, в 48,8 % точках вимірювання значення нижчої теплоти згоряння природного газу від газотранспортної організації перевищує фактичне значення, отримане пересувною лабораторією. Найбільш яскраві відмінності між значеннями наведені в таблиці 1.

Однакові значення сертифікату в різний час вимірювання якості газу лабораторією в одній точці вказує на перерви між вимірюваннями якості газу газотранспортною організацією (таблиця 2).

Також простежуються однакові показники якості сертифікату від газорозподільчої компанії для різних ГРС, розміщених поблизу (для прикладу для групи ГРС Брошнів, Болехів, Долина, Рожнятів).

Отримані результати вказують на невідповідність фактичних показників якості природного газу результатам сертифікатів якості, поданих газотранспортною компанією. Використання даних з сертифікатів у розрахунках за природний газ є неприпустимим, оскільки супроводжуватиметься значними похибками. Причина похибки – різниця між вимірною раз на два тижні нижчою теплоотою згоряння палива в точці входу в мережу газорозподілу та фактичною, що постачається споживачеві. Це свідчить про потребу в модернізації газотранспортних та газорозподільчих мереж додатковими інформатизованими засобами для визначення калорійності енергоресурсу в потоковому режимі з метою виконання запланованих в [17-19] вимог щодо комерційного обліку природного газу за його енергетичними показниками. Виникає потреба в дослідженні достатності інформаційно-технологічного забезпечення для визначення інших параметрів природного газу та

мережі для досягнення оптимального рівня кутрування швидкозмінними динамічними процесами ГТС України.

### **Висновки**

Підсумовуючи результати виконаних досліджень, можна стверджувати наступне:

Основним викликом у процесі впровадження системного підходу для управління українською ГТС, на нашу думку, є інтегральне поєднання відсутності оперативної інформації про параметри функціонування технологічних об'єктів мережі та характеристики енергоносія, асинхронності надходження достовірної інформації на різних рівнях структури мережі, недоступністю інформаційних параметрів мережі як для її операторів, так і споживачів. Враховуючи всебічне дослідження мереж ГТС на магістральному рівні, виявлено потребу в додатковому дослідженні газорозподільчих мереж стосовно питань повноти наявних інформативних параметрів з метою оптимального управління системами.

За результати проведеного дослідження визначення різниці значень теплоти згоряння природного газу між даними газотранспортної та газорозподільчої компаній, в 48,8 % точках виміру значення нижчої теплоти згоряння природного газу від газотранспортної організації перевищує фактичне значення. Тому для переходу розрахунків за природний газ з об'ємних до енергетичних показників виникає потреба у використанні засобів додаткових методів визначення питомої теплоти згоряння енергоресурсу в потоковому режимі.

### **Література**

1 Про нафту і газ [Електронний ресурс] // Закон України – 2001. – Режим доступу до ресурсу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2665-14>

2 У 2016 році використання природного газу в Україні скоротилось на 0,6 млрд куб. м [Електронний ресурс] // Офіційний сайт НАК "Нафтогаз Україна". – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.naftogaz.com/www/3/nakweb.nsf/0/E8A50F7214508AE8C22580BC00440E84?OpenDocument>.

3 Обсяги використання газу [Електронний ресурс] // Офіційний сайт НАК "Нафтогаз Україна". – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.naftogaz.com/www/3/nakweb.nsf/0/8B3289E9F4B2CF50C2257F7F0054EA23?OpenDocument&Expand=7&>

4 Natural gas domestic consumption [Електронний ресурс] // Global Energy Statistical Yearbook. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://yearbook.enerdata.net/natural-gas/gas-consumption-data.html>.

5 Хасцька О. П. Аналіз динаміки ВВП України та інших країн світу / О. П. Хасцька, М. В. Вертелецький. // Електронне наукове фахове видання "Ефективна економіка". – 2018. – №1.

6 Зелена книга Системний перегляд якості державного регулювання "Роздрібного ринку природного газу" [Електронний ресурс] // Офіс ефективного регулювання BRDO. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: [http://www.eu4business.eu/files/medias/regulation.gov\\_ua\\_zelena\\_kniga\\_sistemny\\_pereglyad\\_yakosti\\_derzhavnogo\\_regulyuvannya\\_rozdribnogo\\_rink\\_u\\_prirodного\\_gazu.pdf](http://www.eu4business.eu/files/medias/regulation.gov_ua_zelena_kniga_sistemny_pereglyad_yakosti_derzhavnogo_regulyuvannya_rozdribnogo_rink_u_prirodного_gazu.pdf)

7 На "трубі": репортаж з диспетчерської української ГТС [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.epravda.com.ua/publications/2018/03/7/634729/>.

8 Офіційний сайт НАК "Нафтогаз України" [Електронний ресурс] // Офіційний сайт НАК «Нафтогаз Україна». – 2012. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.naftogaz.com/www/3/nakweb.nsf/0/3375A8575C8884D0C22571010035B9D2?OpenDocument>

9 Кодекс газотранспортної системи [Електронний ресурс] // Постанова Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг 30.09.2015 № 2493. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1378-15>.

10 Звідки природний газ береться і як доставляється споживачам [Електронний ресурс] // За даними сайту 104.ua. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: <https://104.ua/ua/gas/id/zvidki-prirodni-gaz-beretsia-i-yak-dostavliaietsi-12269>.

11 Гончарук М. І. Довідник з газопостачання населених пунктів України / М. І. Гончарук, М. Д. Середюк, В. І. Шелудченко. – Івано-Франківськ: Сімик. 2006. – 1313 с.

12 Кодекс газорозподільчих систем [Електронний ресурс] // Постанова Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг 30.09.2015 № 2494. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1379-15>.

13 ДБН В.2.5-20-2001 – Газопостачання. – Київ: Держбуд України. 2001. – 88 с

14 ТОЧКИ ВХОДУ/ВИХОДУ [Електронний ресурс] // Офіційний сайт Укртрансгаз. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: <http://utg.ua/utg/customers/points.html>.

15 Бернер Л. И. Управление газотранспортной сетью с использованием методов моделирования и прогнозирования / Л. И. Бернер, А. А. Ковалев, В. В. Киселев // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. – 2013. – С. 48–53.

16 Синтез оптимального керування динамічними процесами в газотранспортних системах // Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання [текст]: матеріали Міжнарод. наук.-практ. конф. м. Івано-Франківськ. 14-19 травня 2018 р. – Івано-Франківськ: п. Голіней О.М., 2018. – 406 с.

17 Managing demand uncertainty in natural gas transmission networks. // Journal of Natural Gas Science and Engineering. – 2016. – Pp. 100–111.

18 План розвитку ГТС України на 2018 – 2027 [Електронний ресурс] // Офіційний сайт ПАТ «Укртрансгаз». – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <http://utg.ua/img/menu/gts/TYNDR-TSO.pdf>.

19 Законом України «Про забезпечення комерційного обліку природного газу» [Електронний ресурс] // Відомості Верховної Ради України (ВВР). № 5, ст. 28. – 2012. – Режим доступу до ресурсу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3533-17>.

20 Закон України «Про ринок природного газу» [Електронний ресурс] // Відомості Верховної Ради (ВВР). № 27, ст.234. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/329-19>.

21 Природний газ. Визначення енергії. (ISO15112:2007, IDT) [Текст]: ДСТУ ISO15112:2009. – [Чинний від 2011-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2011. – 83 с.

22 Оптимізація газових мереж низького тиску з врахуванням енергетичних характеристик природного газу / І.І. Височанський, Н.І. Чабан, С.О. Максим'юк // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2017. -- № 4(65). – С.103-110.

*Стаття надійшла до редакційної колегії*  
24.10.18

*Рекомендована до друку*  
*професором Грудзом В.Я.*  
*(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)*  
*канд. техн. наук Петришиним І.С.*  
*(ДП «Івано-Франківськстандартметрологія»,*  
*м. Івано-Франківськ)*