

УДК 5691.263

DOI 10.31471/1993-9981-2020-1(44)-147-154

МОДЕЛЮВАННЯ МОЖЛИВОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ВИЩОЇ ТЕПЛОТИ ЗГОРЯННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ ЗА НАЯВНИХ ІНФОРМАТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ

І. В. Рибіцький, О. М. Карнаш, М. О. Карнаш

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, Україна
тел./факс: (380) 0342 72-71-38; e-mail: rybitsky@gmail.com*

Розглянуто вплив зобов'язань нашої держави про імплементацію Третього енергетичного пакету на ринок газу. Показано, що відсутність в споживачів природного газу інформації про кількість та вартість спожитої енергії створює певні проблеми при формуванні ринку газу. Описано існуючі на даний час методи та технічні засоби, які їх реалізують, для визначення енергетичних характеристик природного газу, а також подано перелік нормативного забезпечення, яке регламентує цю діяльність. Доведено необхідність удосконалення існуючих методів та технічних засобів вимірювання теплоти згоряння природного газу, з метою забезпечення їх роботоздатності на газових мережах низького тиску.

Вимірювання якості природного газу (його теплотворної здатності) є складним та дорогим процесом. Як правило вона на даний час вимірюється тільки самими газотранспортуючими та газопостачаючими компаніями на точка входу та виходу газотранспортної системи, а також в окремих точках на рівні газорозподільчих станцій. Вимірювання здійснюється за допомогою промислових потокових чи стаціонарних лабораторних хроматографів, вартість яких сягає сотень тисяч євро. Окрім цього обслуговування таких хроматографів є дорівартісним, а їх робота вимагає наявності висококваліфікованих працівників. Простому побутовому споживачеві такі вимірювання є недоступними в основному через вартість заміру однієї проби, яка може сягати десятків тисяч гривень і тому він може вдовільнитись тільки інформацією, яку йому надає газопостачальна організація. В такій схемі взаємовідносин постачальник – споживач криється конфлікт інтересів, оскільки організація, яка продає газ сама і визначає (вимірює) його якість. Аналіз останніх досліджень в галузі контролю якості природного газу, зокрема його теплотворної здатності, показав, що найбільш перспективними з точки зору вартості та можливості застосування на різних ділянках транспортування газу, від видобування до споживання, є кореляційні методи.

Аналіз останніх досліджень в галузі контролю якості природного газу, зокрема його теплотворної здатності, показав, що найбільш перспективними з точки зору вартості та можливості застосування на різних ділянках транспортування газу, від видобування до споживання, є кореляційні методи.

Отримано нову кореляційну залежність між фізико-хімічними властивостями природного газу (швидкістю поширення ультразвукових коливань та вмістом діоксиду вуглецю в пробі природного газу) та вищою теплою згоряння природного газу. Удосконалено метод контролю теплоти згоряння природного газу, підвищено точність вимірювання та розширено функціональні можливості.

Ключові слова: теплота згоряння; природний газ; ультразвук; діоксид вуглецю; якість газу; фізико-хімічні показники.

Рассмотрено влияние обязательств нашего государства о имплементации Третьего энергетического пакета на рынок газа. Показано, что отсутствие у потребителей природного газа информации о количестве и стоимости потребленной энергии создает определенные проблемы при формировании рынка газа. Описаны существующие в настоящее время методы и технические средства, которые их реализуют, для определения энергетических характеристик природного газа, а также перечислено нормативное обеспечения, регламентирующее эту деятельность. Доказана необходимость усовершенствования существующих методов и технических средств измерения теплоты сгорания природного газа, с целью обеспечения их работоспособности на газовых сетях низкого давления.

Измерение качества природного газа (его теплотворной способности) является сложным и дорогим процессом. Как правило она в настоящее время измеряется только самыми газотранспортными и газопоставляющими компаниями на точке входа и выхода газотранспортной системы, а также в отдельных точках на уровне газораспределительных станций. Измерение осуществляется с помощью промышленных

поточних или стационарных лабораторных хроматографов, стоимость которых достигает сотен тысяч евро. Кроме этого обслуживания таких хроматографов является дорогостоящим, а их работа требует наличия высококвалифицированных работников. Простом бытовом потребителю такие измерения недоступны в основном из-за стоимости замера одной пробы, которая может достигать десятков тысяч гривен и поэтому он может довольниться только информацией, которые ему предоставляет газопоставляющая организация. В такой схеме взаимоотношений поставщик - потребитель кроется конфликт интересов, поскольку организация, которая продает газ сам и определяет (измеряет) его качество. Анализ последних исследований в области контроля качества природного газа, в частности его теплотворной способности, показал, что наиболее перспективными с точки зрения стоимости и возможности применения на различных участках транспортировки газа, от добычи до потребления, являются корреляционные методы.

Получена новая корреляционная зависимость между физико-химическими свойствами природного газа (скорости распространения ультразвуковых колебаний и содержанием диоксида углерода в пробе природного газа) и выше теплотой сгорания природного газа. Усовершенствован метод контроля теплоты сгорания природного газа, повышена точность измерения и расширены функциональные возможности.

Ключевые слова: теплота сгорания; природный газ; ультразвук; диоксид углерода; качество газа; физико-химические показатели.

The impact of our state's commitments on the implementation of the Third Energy Package on the gas market is considered. It is shown that the lack of natural gas consumers information about the amount and cost of energy consumed creates certain problems in the formation of the gas market. The currently existing methods and technical means that implement them to determine the energy characteristics of natural gas are described, as well as a list of regulations governing this activity. The necessity of improving the existing methods and technical means of measuring the heat of combustion of natural gas in order to ensure their operability on low pressure gas networks is proved. Measuring the quality of natural gas (its calorific value) is a complex and expensive process. As a rule, it is currently measured only by the gas transmission and gas supply companies at the point of entry and exit of the gas transmission system, as well as at individual points at the level of gas distribution stations. Measurements are made using industrial flow or stationary laboratory chromatographs, which cost hundreds of thousands of euros. In addition, the maintenance of such chromatographs is expensive, and their work requires highly qualified workers. Such measurements are not available to the average household consumer mainly due to the cost of measuring one sample, which can reach tens of thousands of hryvnias, and therefore he can be satisfied only with the information provided to him by the gas supply organization. In such a scheme of supplier-consumer relationship lies a conflict of interest, because the organization that sells gas itself and determines (measures) its quality. An analysis of recent research in the field of natural gas quality control, in particular its calorific value, has shown that the most promising in terms of cost and applicability in different areas of gas transportation, from production to consumption, are correlation methods.

A new correlation was obtained between the physicochemical properties of natural gas (the rate of propagation of ultrasonic vibrations and the content of carbon dioxide in the sample of natural gas) and the higher heat of combustion of natural gas. The method of natural gas combustion heat control has been improved, measurement accuracy has been increased and functionality has been expanded.

Key words: heat of combustion; natural gas; ultrasound; carbon dioxide; gas quality; physico-chemical parameters.

Вступ

В 2015 році Верховною Радою України був прийнятий Закон України «Про ринок природного газу» [1]. Цей закон запроваджує засади функціонування ринку природного газу в Україні на принципах вільної конкуренції, захисту прав споживачів та безпеки постачання природного газу, а також створення регіональних ринків природного газу. Передувало прийняттю цього Закону підписання в 2014 році Україною Угоди про асоціацію з ЄС, наслідком якої стали зобов'язання взяті нашою державою про

імплементацію Третього енергетичного пакету, зокрема актів законодавства Енергетичного Співтовариства у сфері енергетики, а саме: Директиви 2009/73/ЄС про спільні правила внутрішнього ринку природного газу [2]; Регламенту (ЄС) 715/2009 про умови доступу до мереж транспортування природного газу та яким скасовується Регламент (ЄС) 1775/2005; Директиви 2004/67/ЄС про здійснення заходів для забезпечення безпеки постачання природного газу.

Згадані реформи покликані інтегрувати наш ринок газу до європейського ринку та, що

важливо, підсилити енергетичну безпеку нашої держави. Також одним із позитивних нововведень даних реформ є запровадження використання енергетичних одиниць при розрахунках за природний газ. Згадане запровадження створює передумови подолання численних проблем, які існують в українській газовій сфері, зокрема: відсутність у споживачів реальної інформації про кількість та вартість спожитої енергії; розбаланс на газовому ринку, які пов'язані з різною якістю газу та її зміною в часі; труднощі при подальшому розвитку оптового ринку газу в Україні; різна якість природного газу, який видобувається в Україні. З огляду на вищесказане, для забезпечення функціонування українського ринку газу потрібно переглянути існуючі способи вимірювання кількості природного газу як енергетичного товару.

Вимірювання якості природного газу (його теплотворної здатності) є складним та дорогим процесом. Як правило вона на даний час вимірюється тільки самими газотранспортуючими та газопостачаючими компаніями на точка входу та виходу газотранспортної системи, а також в окремих точках на рівні газорозподільчих станцій. Вимірювання здійснюється за допомогою промислових поточкових чи стаціонарних лабораторних хроматографів, вартість яких сягає сотень тисяч євро. Окрім цього обслуговування таких хроматографів є дорівартісним, а їх робота вимагає наявності висококваліфікованих працівників [3, 4]. Простому побутовому споживачеві такі вимірювання є недоступними в основному через вартість заміру однієї проби, яка може сягати десятків тисяч гривень і тому він може вдовільнитись тільки інформацією, які йому надає газопостачальна організація. В такій схемі взаємовідносин постачальник – споживач криється конфлікт інтересів, оскільки організація, яка продає газ сама і визначає (вимірює) його якість.

З огляду на вищесказане, питання розроблення, реалізації та впровадження простих та недорогих систем вимірювання якості природного газу є актуальним.

Формування цілей статті

В зв'язку з актуальністю питання визначення якості природного газу, було сформульовано наступні цілі:

- провести аналіз існуючих методів та технічних засобів контролю якості природного газу;

- удосконалити існуючі методи та засоби контролю якості природного газу, а також провести моделювання їх удосконалених можливостей з метою забезпечення ринку відносно недорогими та доступними різним споживачам технічними засобами контролю якості природного газу.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питання пошуку нових методів та розроблення технічних засобів контролю якості природного газу достатньо глибоко досліджується багатьма вченими, а процедура визначення енергії природного газу прийнята в міжнародному стандарті ISO 15112, який в 2009 році набув чинності і в Україні [5]. Визначення теплоти згорання природного газу в Україні регламентується стандартом, який гармонізований з міжнародним, ДСТУ ISO 15971:2014 [6], в якому визначення теплоти згорання природного газу здійснюється за трьома методами: прямим, непрямим та кореляційним.

Прямі методи вимірювання гуртуються на вимірюванні за допомогою термометричних вимірювань вивільненої теплоти під час повного спалювання природного газу [6]. Хоча прилади, які реалізують даний метод відносяться до приладів 1-го класу і відповідно володіють високою точністю, проте вони не дають можливість визначення енергії потоку природного газу, оскільки через теплову інерцію повільно реагують на зміну реального значення теплоти згорання природного газу, потребують спалювання газової проби, організації відводу продуктів горіння та мають значні масо-габаритні показники.

Вимірювання теплоти згорання природного газу непрямыми методами базується на розрахунковому підході з використанням хроматографів для визначення компонентного складу проби газу [7]. Незважаючи на домінування даних методів в газовій промисловості на даний час та їх високу точність вимірювання, вони володіють рядом

недоліків, основний з яких це їх вартість, пов'язаної з необхідністю створення відповідної інфраструктури та постійне технічне обслуговування висококваліфікованим персоналом.

Кореляційні методи вимірювання теплоти згоряння природного газу базуються на вимірюванні окремої чи групи фізико-хімічних властивостей газу і використанні отриманої в результаті експериментальних досліджень залежності між окремою чи частіше групою фізико-хімічних властивостей газу і теплою його згоряння [3]. Прилади, які реалізують кореляційні методи є порівняно невеликими, значно дешевшими у порівнянні з приладами, що реалізують прямі та непрямі методи, є достатньо швидко дійними та не потребують спалювання газової проби. На даний час існує декілька моделей приладів, що реалізують даний метод вимірювання, проте жоден з них не розрахований на роботу в газових мережах низького тиску, тобто на рівні побутових споживачів.

Висвітлення невирішених раніше частин загальної проблеми

Аналіз останніх досліджень в галузі контролю якості природного газу, зокрема його теплотворної здатності, показав, що найбільш перспективними з точки зору вартості та можливості застосування на різних ділянках транспортування газу, від видобування до споживання, є кореляційні методи.

На зважаючи на те, що на даний час за кордоном існують приладові реалізації даних методів, проте вони не дозволяють проводити вимірювання на всіх ділянках транспортування газу, зокрема на мережах низького тиску.

Дану проблему намагаються вирішити колектив науковців Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (ІФНТУНГ). Зокрема з 2009 року і по сьогодні на кафедрі «Енергетичного менеджменту та технічної діагностики» тривають дослідження з розроблення нового кореляційного методу контролю енергетичних характеристик природного газу. За цей час дослідження пройшли шлях від створення лабораторного стенду [3] до промислового взірця приладу [4]. Розроблений взірець приладу реалізує комплексний кореляційний підхід до контролю теплоти згоряння

природного газу. На основі багаточисельних експериментальних досліджень вдалось отримати, реалізовану за допомогою штучних нейронних мереж, залежність між такими фізико-хімічними властивостями природного газу як швидкість поширення ультразвукових коливань в природному газі, вмістом в ньому діоксиду вуглець та значення нижчої теплоти згоряння природного газу [8 - 10]. Крім того з метою розширення можливостей використання приладу як в побутових умовах, так і в умовах промислу за різних температур навколишнього середовища та природного газу, а також з метою підвищення точності вимірювання нижчої теплоти згоряння, були проведені дослідження залежностей зміни швидкості поширення ультразвукових коливань в природному газі від його температури [11]. Проведені дослідження та удосконалення дозволили забезпечити проведення вимірювання теплоти згоряння природного газу за допомогою розробленого приладу з зведеною до діапазону похибкою 4,1%.

Проте на стадії розроблення приладу основною метою було тільки отримання кореляційної залежності між згаданими фізико-хімічними властивостями та тільки значенням нижчої теплоти згоряння природного газу. В даній статті висвітлені результати моделювання можливості визначення вищої теплоти згоряння природного газу шляхом пошуку нових кореляційних залежностей між досліджуваними фізико-хімічними властивостями природного газу (швидкістю поширення ультразвукових коливань та вмістом діоксиду вуглецю в пробі природного газу) та вищою теплою згоряння природного газу.

Висвітлення основного матеріалу.

З метою підвищення точності вимірювань та розширення можливостей приладу було проведено моделювання можливості виведення нової кореляційної залежності між значенням вищої теплоти згоряння природного газу та значеннями швидкості поширення ультразвукових коливань в ньому та вмістом діоксиду вуглецю. Вибір тільки двох фізико-хімічних параметрів природного газу (швидкість поширення ультразвукових коливань та вміст діоксиду вуглецю) пов'язаний з технічними особливостями розробленого приладу для контролю нижчої теплоти згоряння

[4]. Вимірювання фізико-хімічних параметрів природного газу за допомогою згаданого приладу відбувається в спеціально розробленій герметичній вимірювальній камері, в якій розміщені: давач визначення вмісту діоксиду вуглецю газу (CO₂), який працює по принципу недеспергованої інфрачервоної спектроскопії (NDIR), виробництва компанії Daunament з чутливістю вимірювання концентрації діоксиду вуглецю в газовій суміші 0,01%; давач температури, для приведення фізико-хімічних параметрів природного газу до стандартних умов за експериментально дослідженою залежністю; два ультразвукові п'єзоелектричні перетворювачі з частотою збудження 1 МГц, які розміщені на певній відстані один від одного та виготовлені за оригінальною технологією, що містить елементи know how та обладнані багатошаровим узгоджуючим шаром для забезпечення вводу ультразвукового сигналу з частотою 1 МГц в газове середовище вимірювальної камери.

Отримана залежність, за якою приладом відбувається розрахунок значення нижчої теплоти згоряння природного газу за вимірними параметрами таких фізико-хімічними властивостей природного газу як швидкість поширення ультразвукових коливань в природному газі, вмістом в ньому діоксиду вуглецю стала результатом довготривалих та багаточисельних експериментальних випробувань на різних реальних сумішах (пробах) природного газу. Введення додаткових вимірювальних параметрів, вимагає внесення конструктивних змін в прилад, пошуку необхідних давачів, що потягне за собою збільшення вартості та складності виготовлення приладу, а також проведення нових довготривалих та дороговартісних випробувань на нових сумішах природного газу.

З огляду на вищесказане, було прийнято рішення проведення моделювання можливості визначення вищої теплоти згоряння природного газу шляхом пошуку нових кореляційних залежностей між досліджуваними фізико-хімічними властивостями природного газу (швидкістю поширення ультразвукових коливань та вмістом діоксиду вуглецю в пробі природного газу) та вищою теплою згоряння природного газу. Вища теплота згоряння - це повна кількість енергії, що виділяється при

повному згорянні 1 кг або 1 м³ природного газу за умови, що водень, який міститься в ньому, згоряє з утворенням води.

На основі аналізу протоколів фізико-хімічних показників природного газу [13], які розміщені у вільному доступі, було створено базу з 1040 наборів даних різних сумішей природного газу з даними про їх хімічний склад, фізичні параметри, вищої/нижчої теплоти згоряння та вищого/нижчого значення числа Воббе. Ці протоколи фізико-хімічних показників природного газу отримані за допомогою хроматографічного методу на різних ділянках відбору різними філіями, а також компаніями, що не входять в структуру АТ «Укртрансгаз». Всього було проаналізовано більше 5000 протоколів за більш ніж 400-ми маршрутами в всіх областях України (крім ОРЛО та АР «Крим»). Варто зазначити, що вимірювання за допомогою хроматографів в АТ «Укртрансгаз» в основному здійснюється шляхом відбору на окремих маршрутах проб газу в пробовідбірники з подальшим їх перевезенням до хроматографічних лабораторій, які розміщені в управліннях. Тобто такий процес є затратним за часом та коштами.

Сформована база містить різні набори фізико-хімічних показників природного газу, зокрема діапазон зміни (табл. 1): нижчої теплоти згоряння від 7760ккал/м³ до 8907ккал/м³; діоксиду вуглецю від 0,0001% мол. до 4,83% мол.; метану від 75% мол. до 99% мол.; вищої теплоти згоряння від 8615ккал/м³ до 9843ккал/м³.

Для розрахунку швидкості поширення ультразвукових коливань в природному газі скористаємось рівнянням, яке подане в ISO 20765-1:2005 (рівняння AGA8) [12]. Метод базується на відомих термодинамічних залежностях між швидкістю звуку, показником адіабати газу та коефіцієнтом стисливості газу, а рівняння має вигляд:

$$V = 18,591 \cdot \sqrt{\frac{k \cdot T \cdot K}{\rho_c}}, \quad (1)$$

де: V - швидкість ультразвукових коливань в природному газі, м/с; $k=1,3$ - показник адіабати; $K=0,9978$ - коефіцієнт стисливості природного газу; $T = 293,15\text{K}$ - температура газу; ρ_c - густина газу, кг/м³, з протоколів

фізико-хімічних показників природного газу (табл. 1).

Результати розрахунку швидкості поширення ультразвукових коливань в вибраних для моделювання наборах сумішей газу подано в табл. 1. Діапазон зміни швидкості складає від 391м/с до 442 м/с.

Шляхом проведення регресійного аналізу залежностей між досліджуваними фізико-хімічними властивостями природного газу (швидкістю поширення ультразвукових коливань V та вмістом діоксиду вуглецю XCO2 в пробі природного газу) та вищою теплою згоряння природного газу QB з використанням методу найменших квадратів, було отримано наступне рівняння:

QB = 108 + QH * (1,052434 + 10^-4 * V - sqrt(6 - XCO2) / 6500) (2)

З використанням встановленої залежності (2) було розраховано значення вищої теплоти згоряння природного газу в залежності від

значення його нижчої теплоти згоряння, швидкості поширення ультразвукових коливань та вмісту в ньому діоксиду вуглецю, які можна виміряти за допомогою вищезгаданого приладу для контролю нижчої теплоти згоряння. Результати розрахунку подано в табл. 1.

За результатами проведених моделювань, було побудовано порівняльні графіки зміни нижчої, вищої (за даним протоколом) та вищої розрахованої теплоти згоряння для всього діапазону наборів даних (рисунок 1).

Аналіз отриманих результатів проведеного моделювання показує, що максимальне розходження значень вищої теплоти згоряння природного газу за даними протоколів фізико-хімічних показників та значень, отриманих за допомогою отриманої залежності (2) складає не більше ±4 ккал/м³, а приведена до діапазону 1147ккал/м³ похибка вимірювань складає не більше 0,7%.

Таблиця 1 - База наборів різних сумішей природного газу з даними про їх хімічний склад, фізичні параметри

Table with multiple columns: No пробні, Компонентний склад, % мол., Фізико-хімічні показники газу, Теллота згоряння нижча, Теллота згоряння вища, Число Боббе нижче, Число Боббе вище, ШИВДАСТІ, Число СОНОВ. The table contains a large grid of numerical data for various gas samples.

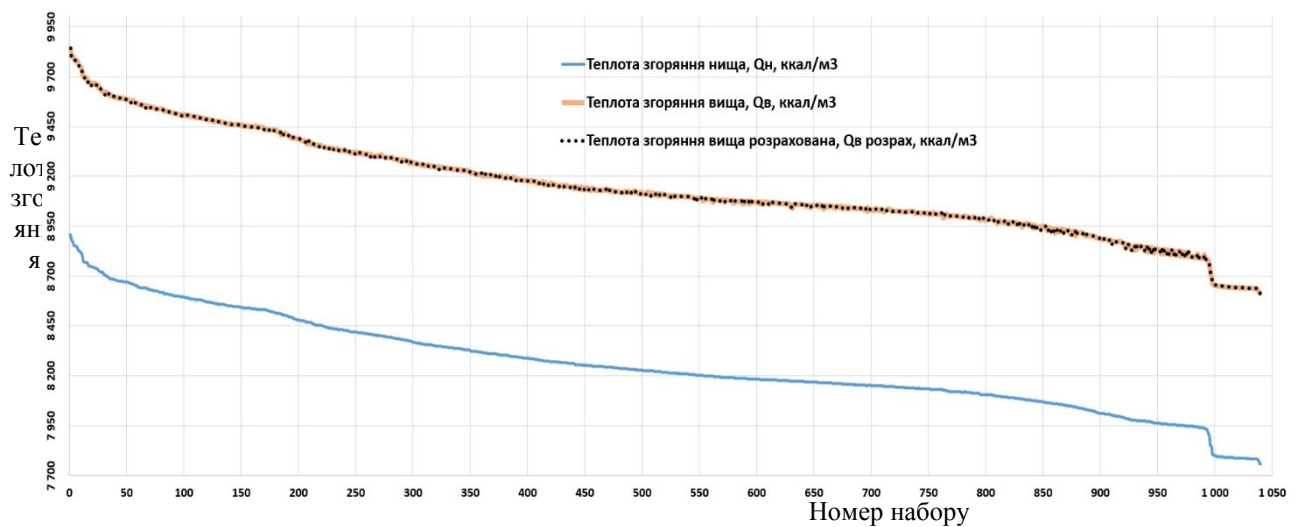


Рисунок 1 - Зміни нижчої, вищої (за даним паспортів) та вищої розрахованої теплоти згоряння від номера набору даних

За результатами проведеного моделювання з метою пошуку нових кореляційних залежностей між досліджуваними фізико-хімічними властивостями природного газу (швидкістю поширення ультразвукових коливань та вмістом діоксиду вуглецю в пробі природного газу) та вищою теплотою згоряння природного газу, можемо зробити наступні висновки:

1) Розроблення нових високоточних та недорогих приладів для контролю якості природного газу, зокрема його теплоти згоряння є актуальною задачею, особливо для газових мереж низького тиску.

2) Отримана залежність для визначення вищої теплоти згоряння дозволяє використовувати можливості розробленого приладу для контролю якості природного газу без зміни його конструкції та збільшення вартості виготовлення.

Проведені моделювання дозволять удосконалити метод контролю теплоти згоряння природного газу та розширити діапазон вимірювання приладу, який його реалізує.

Список використаних джерел

1. Закон України «Про ринок природного газу» <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/329-19>.
2. Директива Європейського Парламенту та Ради 2009/73/ЄС від 13 липня 2009 року URL: <http://old.minjust.gov.ua/file/32544.docx>.

3. Rybitskyi I., Karpash O., Darvai I., Karpash M. New low-cost method for determination of heating value of natural gas. *Wiertnictwo. Nafta. Gaz. Vol. 28, Issue 1-2. Krakow, 2011. P.333-338, ISSN 1507-0042.*

4. Рибіцький І.В. Виготовлення, налагодження та промислова апробація в умовах ПАТ «Укртрансгаз» приладу для експрес-контролю теплоти згоряння природного газу / І.В. Рибіцький, М.О. Карпаш, А.В. Яворський, П.М. Райтер, І.О. Орлов, М.І. Болховітін // *Нафтогазова галузь України. 2018. - №4. С. 32-37. УДК 620.179.*

5. ДСТУ ISO 15112:2009. Природний газ. Визначення енергії.

6. ДСТУ ISO 15971:2014. Природний газ. Вимірювання властивостей.

7. ДСТУ ISO 6976:2009. Природний газ. Обчислення теплоти згоряння, відносної густини і числа Воббе на основі компонентного складу.

8. Taras Koturbash, Maksym Karpash, Iryna Darvai, Ihor Rybitskyi, Vladimir Kutcherjv / *Development of new instant technology of gas quality determination / Proceedings of the ASME 2013 Power Conference, Power2013, July 29-August 1, 2013, Boston, Massachusetts, USA (Scopus) DOI: 10.1115/POWER2013-98089.*

- 9 Патент на винахід UA 92846. Спосіб експрес-визначення теплоти згоряння природного газу / Карпаш О.М., Дарвай І.Я.,

Карпаш М.О., Яворський А.В., Рибіцький І.В. (Україна). Опубл. 10.12.2010, Бюл.№ 23, 2010р.

10. Патент на корисну модель UA 40002 U. Ультразвуковий перетворювач для безконтактного вимірювання товщини матеріалів при використанні повітряно-акустичного зв'язку / Карпаш О.М., Рибіцький І.В., Карпаш М.О. (Україна). Опубл. 25.03.2009р, Бюл. № 6, 2009 р.

11. Рибіцький І.В. Урахування температури природного газу при експрес-визначенні його теплоти згоряння / І.В. Рибіцький, І.І. Височанський, О.М. Карпаш, М.О. Карпаш // Нафтогазова енергетика. – 2017. - №2(28). С. 83-88.

12. ISO 20765-1:2005 Natural gas. Calculation of thermodynamic properties. Part 1: Gas phase properties for transmission and distribution applications.

13. Якість газу. АТ «Укртрансгаз». URL: <http://utg.ua/utg/business-info/yakst-gazu.html>.

References

1. Zakon Ukrainy «Pro rynek pryrodnoho hazu» <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/329-19>.

2. Dyrektyva Yevropeys'koho Parlamentu ta Rady 2009/73/YES vid 13 lypnya 2009 roku: URL: <http://old.minjust.gov.ua/file/32544.docx>.

3. Rybitskyi I., Karpash O., Darvai I., Karpash M. New low-cost method for determination of heating value of natural gas. *Wiertnictwo. Nafta. Gaz*. Vol. 28, Issue 1-2. Krakow, 2011, p.333-338, ISSN 1507-0042.

4. I.V. Rybits'kyy, M.O. Karpash, A.V. Yavors'kyy, P.M. Rayter, I.O. Orlov, M.I. Bolkhovitin Vyhotovlennya, nalahodzhennya ta promyslova aprobatsiya v umovakh PAT «Ukrtrans·haz» pryladu dlya ekspres-kontrolyu teploty z·horyannya pryrodnoho hazu / // *Naftohazova haluz' Ukrainy*. 2018. - №4. P. 32-37.

5. DSTU ISO 15112:2009. Pryrodnyy haz. Vyznachennya enerhiyi.

6. DSTU ISO 15971:2014. Pryrodnyy haz. Vymiryuvannya vlastyivostey.

7. DSTU ISO 6976:2009. Pryrodnyy haz. Obchyslennya teploty z·horyannya, vidnosnoyi hustyny i chysla Vobbe na osnovi komponentnoho skladu.

8. Taras Koturbash, Maksym Karpash, Iryna Darvai, Ihor Rybitskyi, Vladimir Kutcherjv / Development of new instant technology of gas quality determination / Proceedings of the ASME 2013 Power Conference, Power2013, July 29-August 1, 2013, Boston, Massachusetts, USA (Scopus) DOI: 10.1115/POWER2013-98089.

9 Patent na vynakhid UA 92846. Sposib ekspres-vyznachennya teploty z·horyannya pryrodnoho hazu / Karpash O.M., Darvai I.YA., Karpash M.O., Yavors'kyy A.V., Rybits'kyy I.V. (Ukrayina). Opubl. 10.12.2010, Byul.№ 23, 2010.

10. Patent na korysnu model' UA 40002 U. Ul'trazvukovyy peretvoryuvach dlya bezkontaktneho vymiryuvannya tovshchyny materialiv pry vykorystanni povitryano-akustychnoho zv'yazku / Karpash O.M., Rybits'kyy I.V., Karpash M.O. (Ukrayina). Opubl. 25.03.2009r, Byul. № 6, 2009.

11. Rybits'kyy I.V. Urakhuvannya temperatury pryrodnoho hazu pry ekspres-vyznachenni yoho teploty z·horyannya / I.V. Rybits'kyy, I.I. Vysochans'kyy, O.M. Karpash, M.O. Karpash // *Naftohazova enerhetyka*. – 2017. - №2(28). P. 83-88.

12. ISO 20765-1:2005 Natural gas. Calculation of thermodynamic properties. Part 1: Gas phase properties for transmission and distribution applications.

13. Yakist' hazu. АТ «Ukrtrans·haz». URL: <http://utg.ua/utg/business-info/yakst-gazu.html>