

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

ФРАНЧУК ЮРІЙ ЙОСИПОВИЧ



УДК 533.1:620.93:658.56:696.2

КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ЯКОСТІ ПРИРОДНОГО ГАЗУ ДЛЯ
ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ЙОГО ОБЛІКУ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ
НАДІЙНОСТІ СИСТЕМ ГАЗОПОСТАЧАННЯ

Спеціальність 05.23.03 - Вентиляція освітлення та теплогазопостачання

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі теплогазопостачання і вентиляції Київського національного університету будівництва і архітектури Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор економічних наук, доцент
ПРЕДУН КОСТЯНТИН МИРОНОВИЧ,
завідувач кафедри теплогазопостачання і
вентиляції Київського національного
університету будівництва і архітектури

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, старший науковий
співробітник
ЖУК ГЕННАДІЙ ВІЛПОРОВИЧ,
директор Інституту газу НАН України

кандидат технічних наук, професор
РАТУШНЯК ГЕОРГІЙ СЕРГІЙОВИЧ
професор кафедри інженерних систем у
будівництві Вінницького національного
технічного університету

Захист відбудеться «28» вересня 2021 р. об 11.00 на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.056.07 у Київському національному університеті будівництва і архітектури за адресою: 03037, м. Київ, Повітрофлотський проспект, 31, Зал засідань, ауд.466.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Київського національного університету будівництва і архітектури за адресою: 03037, м. Київ, Повітрофлотський проспект, 31.

Автореферат розісланий «28» серпня 2021 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д26.056.07
доктор технічних наук, професор



Т.М.Ткаченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Системи газопостачання є одним з елементів інженерної інфраструктури населених пунктів України. Згідно з Енергетичною стратегією України на період до 2035 р. природний газ залишається основним енергоносієм в порівнянні з іншими видами традиційних палив. Його розвідані запаси становлять приблизно 1 трлн. м³, що гарантовано забезпечує потребу держави на період до 50 років. Поки що власного видобутку достатньо лише для задоволення господарсько-побутових потреб мешканців та частково потреб у теплопостачанні. Значний ресурс біогазів (до 2 млрд. м³ на рік) не в змозі використовуватись існуючими системами транспорту й розподілу без приведення його характеристик до показників якості природного газу.

Системи газопостачання в основному склались у 60-80-і роки минулого століття. Соціальна спрямованість державної політики країни у ті часи забезпечувала низьку вартість усіх енергоносіїв, у т.ч. і природного газу. З набуттям незалежності, переходом на ринкові умови господарювання ціна природного газу стрімко зросла. Водночас, технологічно структура видобутку, транспорту та розподілу і споживання залишилась практично незмінною. З підписанням Угоди про асоціацію з ЄС Україна прийняла на себе ряд зобов'язань. Так, наприклад, отримуючи природний газ з Європи, взаєморозрахунки виконують в одиницях енергії (як добуток кількості і теплотворної здатності газу).

З виміром і подальшим моніторингом (добовим балансуванням) вказаних величин сьогодні існують певні проблеми. Лічильники газу – це у переважній більшості прилади об'ємного типу з показами у м³, як правило, без необхідної їх корекції. Фізико-хімічні властивості палив визначають лише на основних маршрутах магістральних газопроводів і доводять до відома споживачів. Тобто, кінцеві споживачі, у т.ч. населення, підприємства комунальної теплоенергетики, які використовують наразі найбільші обсяги природного газу в державі, сьогодні не в змозі забезпечити достовірність розрахунків з постачальниками палива.

Вітчизняні та іноземні науковці основну увагу приділяють визначенню фізико-хімічних властивостей природного газу та їх покращенню (при необхідності) безпосередньо на газових родовищах перед магістральним транспортуванням. Водночас практично відсутні напрацювання за контролем цих показників безпосередньо у кінцевих споживачів, які продовжують обліковувати паливо, як правило, традиційними механічними лічильниками, а фізико-хімічні властивості спожитого газу лише доводять до їх відома без забезпечення можливості щодо їх перевірки.

Наукові та системні підходи щодо вирішення проблеми якості природного газу на усіх етапах: від видобутку і транспортування до використання кінцевими споживачами, диференційованої оцінки вартості палива в залежності від його якості розроблено недостатньо. Пошук шляхів вирішення вказаних проблем визначає актуальність обраної теми.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Робота виконана згідно з «Державною програмою створення систем енергозбереження України» і безпосередньо пов'язана з планами

держбюджетної тематики Київського національного університету будівництва і архітектури, які виконувалися на замовлення Міністерства освіти і науки України (№№ держреєстрації 0102U000932,0108U010643).

Метою дисертаційної роботи є розробка комплексної оцінки якості природного газу та наукове обґрунтування підвищення ефективності його використання шляхом визначення пріоритетності кроків щодо покращення окремих фізико-хімічних властивостей для отримання показів засобів обліку кількості спожитого палива в одиницях енергії в режимі реального часу.

Визначена мета дослідження обумовила потребу вирішення таких **завдань**:

- провести аналіз існуючих наукових та інженерно-технічних розробок і практичного досвіду для забезпечення нормативних вимог щодо фізико-хімічних властивостей природного газу на етапах «видобування – підготовка до транспорту – транспортування – використання кінцевим споживачем»;

- відслідкувати процесно-контентну еволюцію поняття «якість природного газу» в аспекті подальшого застосування при визначенні кількості спожитої енергії;

- побудувати математичну модель для оцінки якості природного газу перед використанням кінцевим споживачем, а також визначення впливу виявлених факторів, що характеризують фізико-хімічні властивості палива, на експлуатаційну надійність газорозподільних систем населених пунктів, окремих об'єктів, а також на достовірність показів засобів обліку природного газу в одиницях енергії;

- розробити технологічну схему функціонування системи інтелектуального обліку природного газу в населеному пункті в одиницях енергії;

- обґрунтувати економічні переваги пропонованих заходів щодо принципової модернізації змісту та методології організаційно-технічного проектування та регламентування експлуатації газорозподільних систем населених пунктів.

Об'єктом дослідження є технологічні процеси підготовки природного газу до транспортування, безпосереднього транспортування та наступного використання кінцевим споживачем включно з обліком.

Предметом дослідження є газотранспортна та газорозподільні мережі населених пунктів й окремих об'єктів, а також споруди на них

Методи дослідження. Вирішення поставлених завдань здійснювалось сучасними методами системного аналізу, аналітичного, математичного і комп'ютерного моделювання. Використовувались також експериментальні методи досліджень щодо очистки природного газу від шкідливих домішок, його осушки та боротьби з утворенням кристалогідратів. Для забезпечення достовірності аналітичних і експериментальних досліджень застосовувались методи планування експерименту та статистичної обробки отриманих результатів.

Наукова новизна роботи:

- удосконалено математичну модель багатофакторного аналізу чинників, які впливають на якість природного газу та є визначальними при оцінці точності показів засобів обліку в одиницях енергії та забезпеченні експлуатаційної надійності газотранспортної й газорозподільних систем;

- розроблено технологічну схему інформаційної системи обліку природного газу, яка сприятиме підвищенню точності при запровадженні добового балансування палива;

- визначена пріоритетність заходів для покращення окремих властивостей газу.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що:

- розроблена енергоефективна система осушки природного газу за рахунок використання ефекту Ранка, що запобігає утворенню гідратів і, відповідно, підвищує експлуатаційну надійність та безаварійну роботоздатність багатоступеневих газорозподільних систем;

- запропоновані та обґрунтовані рекомендації щодо принципової модернізації змісту та методології організаційно-технічного проектування та регламентування експлуатації газорозподільних систем населених пунктів в частинах підвищення точності обліку та балансування природного газу в одиницях енергії, а також безаварійної (безвідмовної) роботоздатності цих систем;

- розроблено інженерну методику оцінки якості природного газу у кінцевого споживача без використання додаткових експериментальних досліджень з врахуванням низки кількісних та якісних факторів впливу на лінгвістичні змінні.

Науково-прикладні результати досліджень впроваджено в практику діяльності газових господарств України (акт від 28.03.2018 р.)

Особистий внесок здобувача. Автором дисертації здійснено аналіз літературних джерел, інженерно-технічної документації, що стосуються питань чинного стану систем газопостачання України, напрямків модернізації, підвищення точності обліку природного газу та забезпечення безаварійної експлуатації тощо. Проаналізувано вимоги чинних нормативно-правових актів щодо якості природного газу та його обліку кінцевими споживачами. Запропонована ієрархічна класифікація факторів, що впливають на якість природного газу на стадіях: видобування з родовища, підготовки (очищення) газу для транспортування, розподілу на території населеного пункту та споживання та визначена пріоритетність їх впливу. Отримано аналітичні моделі функцій належності експертних нечітких баз знань, що впливають на оцінювання і прогнозування якості природного газу. Запропонована математична модель щодо оцінки якості природного газу на базі нечіткої логіки. Отримані залежності параметрів природного газу від його температури дозволили розробити рекомендації щодо підвищення достовірності його обліку. Виконано дослідження фізико-хімічних властивостей природного газу, відібраного в газорозподільній мережі населеного пункту, з наступним порівнянням з вимогами нормативно-правових актів і перевіркою адекватності пропонованої методики оцінки якості природного газу. Розроблена енергоефективна система осушки природного газу за рахунок використання ефекту Ранка та виконано техніко-економічне обґрунтування у порівнянні з традиційними абсорбційними методами.

Апробація роботи. Основні науково-теоретичні, методичні та практичні результати дисертаційної роботи доповідались на науково-практичних конференціях Київського національного університету будівництва і архітектури (м. Київ, 2019, 2020), Вінницького національного технічного університету (м.

Вінниця, 2018, 2019), Міжнародних науково-практичних конференціях «Modern methods, innovation and experience of practical application in the field of technical science: Conference Proceedings» (Радом, Республіка Польща, 2017), «The development of technical sciences: problems and solutions» (Брно, Чеська Республіка, 2018 р.), «Технічні науки, історія, сучасність, майбутнє, досвід ЄС» (Влоцлавек, Республіка Польща, 2019), «Экологические вопросы в инженерных системах и сооружениях» (Баку, Республика Азербайджан, 2019).

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковані 13 друкованих праць, у т.ч. 10 статей у фахових виданнях, 3 – у міжнародних виданнях.

Структура та обсяг дисертації. Структура дисертаційної роботи підпорядкована змісту та порядку вирішування завдань дослідження. Дисертація містить: анотації (українською та англійською мовами), список праць за темою дисертації, вступ, основну частину в складі п'яти розділів та висновків, список використаної літератури (зі 171 джерела) та 3 додатків. Обсяг основного місту складає 153 сторінок друкованого тексту, у т.ч. 27 таблиця та 39 рисунків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ

У **вступі** обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, сформульовано мету і завдання, об'єкт і предмет, методи дослідження, викладено наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, вказано особистий внесок здобувача та наведено дані про апробацію результатів досліджень і публікацій.

У **першому розділі дисертації** проаналізовано сучасні стан та перспективи розвитку систем газопостачання в Україні в частині підвищення достовірності обліку природного газу в одиницях енергії, експлуатаційної надійності газопроводів та технологічного устаткування за рахунок вибору та обґрунтування послідовності пріоритетних запобіжних заходів.

Значний внесок у розвиток теоретичної бази та розроблення прикладних аспектів щодо обліку природного газу, підвищення експлуатаційної надійності систем газопостачання населених пунктів, окремих об'єктів тощо зробили Д. Б. Баясанов, Й. Й. Білинський, Я. М. Власюк, П. М. Гофман, Г. В. Жук, П. М. Єнін, О. О. Іонін, Ф. Калео, І. І. Капцов, М. С. Купріянов, З. Г. Любанська, А. Ю. Ляуконіс, Ф. Д. Матіко, М. В. Мелець, Є. П. Пістун, К. М. Предун, Г. С. Ратушняк, О. Ф. Редько, О. Є. Середюк, В. А. Смірнов, Дж. Томпсон, Я. М. Торчинський, В. О. Осієвський, С. Чан, Г. Г. Шишко та інші.

Водночас відмічено, що переважна частина обладнання і устаткування систем газопостачання морально й технічно застаріла й потребує заміни, а підняття вартості блакитного палива до ринкових значень призвело до значних дебалансів в оплаті за надані послуги з газопостачання між суб'єктами господарювання. Також недостатнє вивчення впливу зовнішніх та внутрішніх чинників, які обумовлені існуючим станом технологічного устаткування, якістю проектних рішень, будівельно-монтажних робіт та експлуатаційних заходів, що є визначальними при забезпеченні здатності газорозподільних мереж і обладнання виконувати покладені на них функції у повному обсязі за умов дотримання вимог чинних в Україні нормативно-правових актів з газопостачання, енергозбереження і енергоефективності, охорони праці тощо унеможлиблює надійність і безаварійність газопостачання. Практична

відсутність врахування факторів впливу на якість природного газу у кінцевих споживачів, розбіжності у вимогах чинних нормативних документах спричиняють кризові явища у платежах за спожите паливо. Показано необхідність дослідження та накопичення інформації про фактори впливу на якість природного газу.

Проаналізовано практичний досвід з організаційно-технологічного забезпечення фізико-хімічних властивостей природного газу у відповідності з вимогами нормативних документів на усіх етапах його видобування, транспортування, розподілу і споживання, який свідчить, що створення інформаційних систем обліку природного газу в одиницях енергії сприятиме як налагодженню взаємних розрахунків, так і дасть можливість отримати реальне добове балансування в газотранспортній та газорозподільних системах. Аналіз праць показав відсутність моделей інтелектуальної підтримки прийняття управлінських рішень з оцінювання та забезпечення комплексної оцінки якості природного газу.

Зважаючи на вивчення теоретичних положень, аналіз технічних і технологічних параметрів, а також розгляд особливостей організації обліку у споживачів газорозподільних систем населених пунктів був обраний предмет дослідження, який дає змогу системно підійти до вирішення проблеми підвищення точності обліку блакитного палива в одиницях енергії в Україні.

Дослідження **другого розділу** були спрямовані на розробку та обґрунтування експертно-моделювальної системи для багатофакторного аналізу чинників, які впливають на якість природного газу на всіх етапах ланцюга системи газопостачання «видобування – підготовка до транспортування – транспортування магістральною мережею – розподіл в населеному пункті – використання кінцевим споживачем». Запропоновано ієрархічну класифікацію та формалізацію кількісних та якісних факторів, які впливають на фізико-хімічні властивості природного газу (рис.1).

На підставі складеної класифікації, розглядаючи процес на системному рівні, лінгвістичну змінну $A_{ялг}$, що характеризує якість природного газу, можна представити у вигляді співвідношення

$$A_{ялг} = f(X; Y; Z), \quad (1)$$

де X – лінгвістична змінна (ЛЗ), що описує фізико-хімічні властивості видобутого з родовища природного газу; Y – ЛЗ, що описує якість підготовки (очищення) природного газу для транспортування; Z – ЛЗ, що описує технічні умови експлуатації газорозподільної системи населеного пункту.

Лінгвістична змінна, що описує фізико-хімічні властивості видобутого з родовища природного газу, може бути представлена виразом

$$X = f_x(x_1; x_2), \quad (2)$$

де x_1 – ЛЗ «вміст вуглеводнів у складі природного газу»; x_2 – ЛЗ «вміст шкідливих компонентів у складі газу».

Лінгвістична змінна, що описує якість підготовки (очищення) природного газу для транспортування магістральною мережею, може бути представлена виразом

$$Y = f_y(y_1; y_2; y_3; y_4; y_5; y_6; y_7; y_8; y_9), \quad (3)$$

де y_1 – ЛЗ «очистка від сірководню (H_2S)»; y_2 – ЛЗ «очистка від азоту (N_2)»; y_3 – ЛЗ «очистка від вуглекислого газу (CO_2)»; y_4 – ЛЗ «очистка від кисню (O_2)»; y_5 – ЛЗ «очистка від механічних домішок»; y_6 – ЛЗ «очистка від вологи»; y_7 – ЛЗ «число Воббе вище (стандартні умови)»; y_8 – ЛЗ «теплота згоряння вища (стандартні умови)»; y_9 – ЛЗ «відносна густина природного газу».

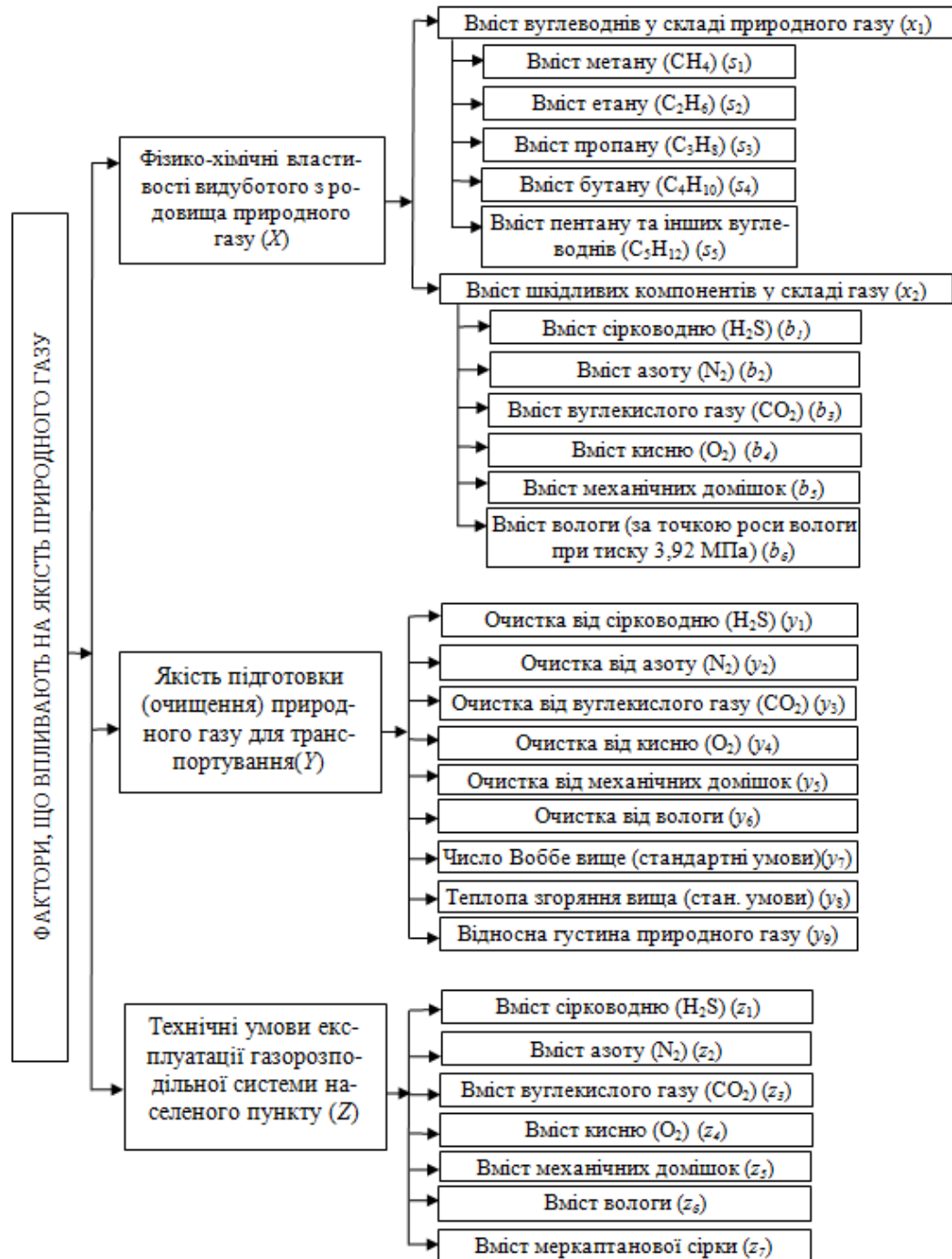


Рис.1. Фактори, що впливають на якість природного газу

Лінгвістична змінна, що описує технічні умови експлуатації газорозподільної системи населеного пункту, може бути представлена виразом

$$Z = f_z(z_1; z_2; z_3; z_4; z_5; z_6; z_7),$$

(4)

де z_1 – ЛЗ «вміст сірководню (H_2S)»; z_2 – ЛЗ «вміст азоту (N_2)»; z_3 – ЛЗ «вміст вуглекислого газу (CO_2)»; z_4 – ЛЗ «вміст кисню (O_2)»; z_5 – ЛЗ «вміст механічних домішок»; z_6 – ЛЗ «вміст вологи»; z_7 – ЛЗ «вміст меркаптанової сірки».

В рівняння (2) входять змінні x_1, x_2 , які в свою чергу залежать від інших факторів:

$$\begin{aligned} x_1 &= f_{x_1}(s_1; s_2; s_3; s_4; s_5); \\ x_2 &= f_{x_2}(b_1; b_2; b_3; b_4; b_5; b_6), \end{aligned} \quad (5)$$

(6)

де s_1 – ЛЗ «вміст метану (CH_4)»; s_2 – ЛЗ «вміст етану (C_2H_6)»; s_3 – ЛЗ «вміст пропану (C_3H_8)»; s_4 – ЛЗ «вміст бутану (C_4H_{10})»; s_5 – ЛЗ «вміст пентану та інших вуглеводнів (C_5H_{12})»; b_1 – ЛЗ «вміст сірководню (H_2S)»; b_2 – ЛЗ «вміст азоту (N_2)»; b_3 – ЛЗ «вміст вуглекислого газу (CO_2)»; b_4 – ЛЗ «вміст кисню (O_2)»; b_5 – ЛЗ «вміст механічних домішок»; b_6 – ЛЗ «вміст вологи (за точкою роси вологи при тиску 3,92 МПа)».

За класифікованими факторами впливу на якість палива (див. рис. 1) побудовано дерево логічного висновку (рис. 2), яке представляє собою систему вкладених одне в одного висловлювань, тобто їх ієрархічний зв'язок. Прогнозований якості природного газу відповідає корінь дерева логічного висновку, а факторам, що впливають на його якість, – висячі вершини.

Для забезпечення підтримки при моделюванні прогнозованої якості природного газу виконано побудову функцій належності (рис. 3) оцінок впливу факторів на фізико-хімічні властивості видобутого з родовища палива. Аналогічно було побудовано функції належності для кожного з інших факторів, які визначають якість природного газу на усіх етапах ланцюга системи газопостачання.

Для визначення змодельованої оцінки якості природного газу у кінцевого споживача виконано побудову нечітких матриць знань та їх бази систем нечітких логічних рівнянь для лінгвістичних змінних факторів впливу та залежностей, що їх описують (див. рівняння (1) – (6)) для кожної змінної. Систему нечітких логічних рівнянь, які характеризують поверхню належності змінних за відповідним термом, представлено такими співвідношеннями:

$$\begin{aligned} \mu_H(A_{ЯПГ}) &= \mu_H(X) \wedge \mu_H(Y) \wedge \mu_H(Z) \vee \mu_H(X) \wedge \mu_{HC}(Y) \wedge \\ &\wedge \mu_H(Z) \vee \mu_H(X) \wedge \mu_H(Y) \wedge \mu_{HC}(Z); \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \mu_{HC}(A_{ЯПГ}) &= \mu_H(X) \wedge \mu_C(Y) \wedge \mu_C(Z) \vee \mu_{HC}(X) \wedge \mu_{HC}(Y) \wedge \\ &\wedge \mu_{HC}(Z) \vee \mu_C(X) \wedge \mu_H(Y) \wedge \mu_{HC}(Z); \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \mu_C(A_{ЯПГ}) &= \mu_{HC}(X) \wedge \mu_C(Y) \wedge \mu_C(Z) \vee \mu_C(X) \wedge \mu_C(Y) \wedge \\ &\wedge \mu_C(Z) \vee \mu_C(X) \wedge \mu_{HC}(Y) \wedge \mu_{eC}(Z); \end{aligned} \quad (9)$$

$$\mu_{eC}(A_{ЯПГ}) = \mu_{eC}(X) \wedge \mu_{eC}(Y) \wedge \mu_{eC}(Z) \vee \mu_C(X) \wedge \mu_{eC}(Y) \wedge$$

$$\wedge \mu_B(Z) \vee \mu_{6C}(X) \wedge \mu_B(Y) \wedge \mu_C(Z); \quad (10)$$

$$\mu_B(A_{\text{ЯПГ}}) = \mu_B(X) \wedge \mu_B(Y) \wedge \mu_{6C}(Z) \vee \mu_B(X) \wedge \mu_{6C}(Y) \wedge \wedge \mu_B(Z) \vee \mu_B(X) \wedge \mu_B(Y) \wedge \mu_B(Z). \quad (11)$$

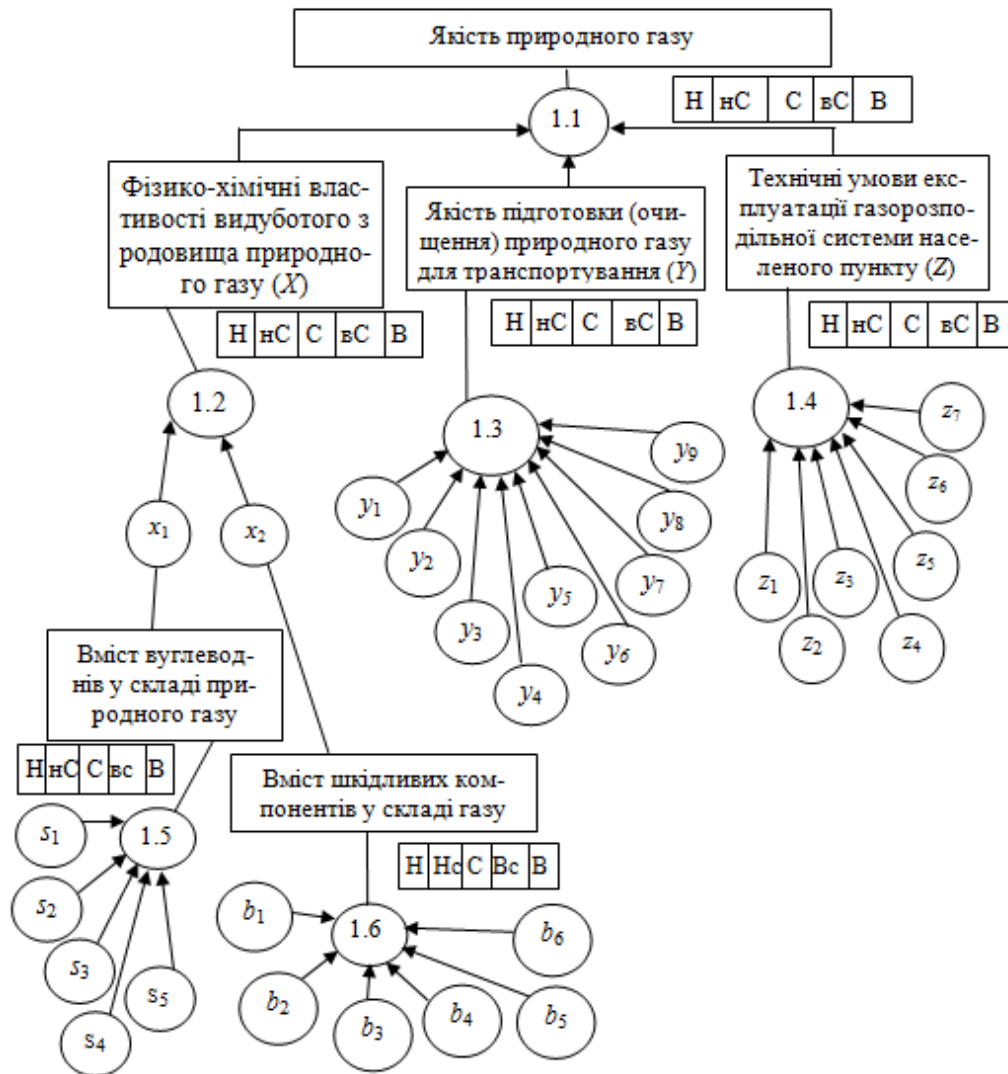


Рис. 2. Дерево логічного висновку ієрархічних зв'язків факторів, що впливають на якість природного газу

В результаті нечіткої множини отримано прогнозовану бальну оцінку якості природного газу відповідно до вимог нормативних документів, яка становить 3,092 за пропонованою 5-бальною шкалою. Модель нечіткого логічного висновку разом з процедурою дефазифікації забезпечує можливість спостереження за змінами вихідного показника – якості природного газу залежно від кількісних та якісних факторів. Використання пропонованої математичної моделі в комплексі для всіх підрівнів та рівнів лає можливість отримання прогнозованої оцінки впливу наведених факторів на якість природного газу. При цьому отримане значення приймається за результатами віртуального експерименту.

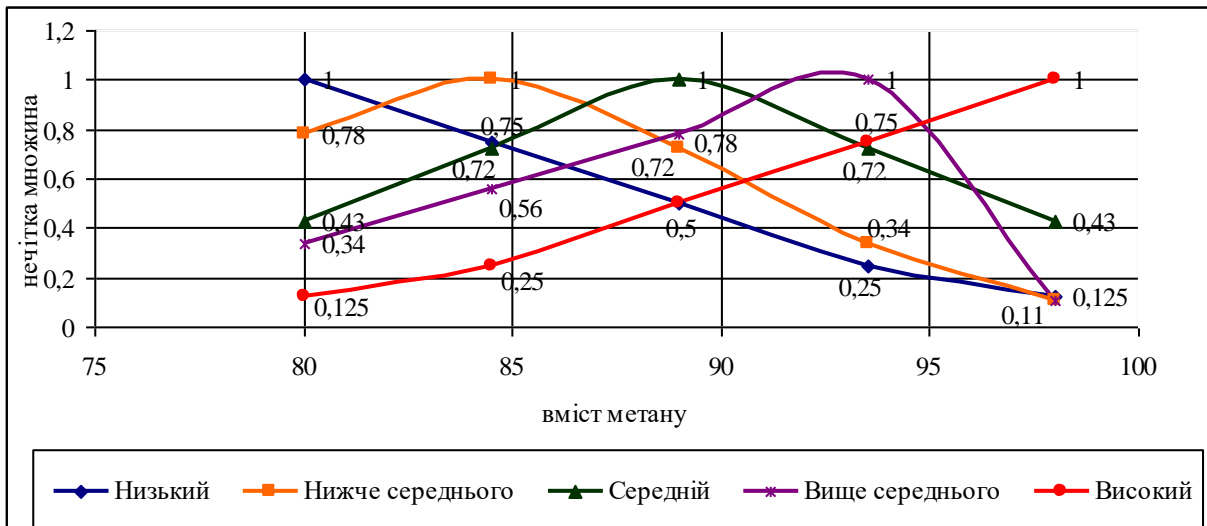


Рис. 3. Функції належності для ЛЗ «вміст метану (CH₄) у складі природного газу»

Розроблено програмний продукт в середовищі MATLAB для комп'ютерної реалізації методики оцінки якості природного газу та виконано перевірку його достовірності для конкретних умов. Місцями відбору проб були газомірювальна станція установки комплексної підготовки газу в Ямало-Ненецькому АО Російської Федерації (газ I) та газопровід «Тула-Шостка-Київ» (газ II), що постачають газ споживачам Київської області.

Адекватність пропонованої математичної моделі для реалізації проекту оцінювання якості природного газу перевірено з використанням методу парних порівнянь Т.Сааті. За результатами чисельного експерименту глобальні пріоритети якості природного газу складають: газ I – 0,487; газ II – 0,513. Газ горючий природний (склад II) отримав найвищу оцінку за глобальними пріоритетами. Відповідно, його можна вважати найбільш залежним від факторів впливу. Отримані результати дозволили оцінити питому вагу кожного фактору впливу на формування кінцевих незалежних управлінських висновків та пропозицій щодо якості природного газу. Це є підтвердженням адекватності моделі прогнозування якості природного газу з використанням теорії нечіткої логіки й лінгвістичних змінних та достовірності пропонованої експертно-моделювальної системи.

Для аналізу та управління ризиком в складній та багатозв'язковій системі газопостачання визначено пріоритети факторів впливу на якість палива методом побудовим діаграми Парето та проведення ABC-аналізу. При побудові діаграми Парето (рис. 4) використано класифікацію параметрів – факторів впливу (див. рис. 1) зі значеннями їх функцій належності, отриманих на основі експертних оцінок. В результаті визначено ключові області та встановлено пріоритети серед факторів.

З діаграми видно, що найбільш впливовим фактором є теплота згоряння вища при стандартних умовах. Водночас теплота спалювання визначається в першу чергу кількісним і якісним складом суміші вуглеводнів (яка практично залишається незмінною протягом часу експлуатації родовища) та інших інгредієнтів, у першу чергу негорючих, а також наявністю механічних домішок.

Тобто, вміст останніх двох груп шкідливостей слід обмежити (що і відбувається під час підготовки природного газу до транспортування магістральними газопроводами). Наступним суттєвим чинником є вологість палива: наявність вологи впливає на експлуатаційну надійність як газотранспортної, так і у значно більшій мірі газорозподільних систем. У зв'язку з цим при організаційно-технологічному забезпеченні споживання природного газу вони підлягають розгляду в першу чергу. Відповідно, виникає потреба експериментальних досліджень впливу вологовмісту палива на якість природного газу. Встановлення і дотримання температури точки роси (ТТР) за вологою та температури точки роси за вуглеводнями у природному газі є надважливими чинниками, що запобігають безлічі негативних наслідків для безпечного транспортування і використання блакитного палива.

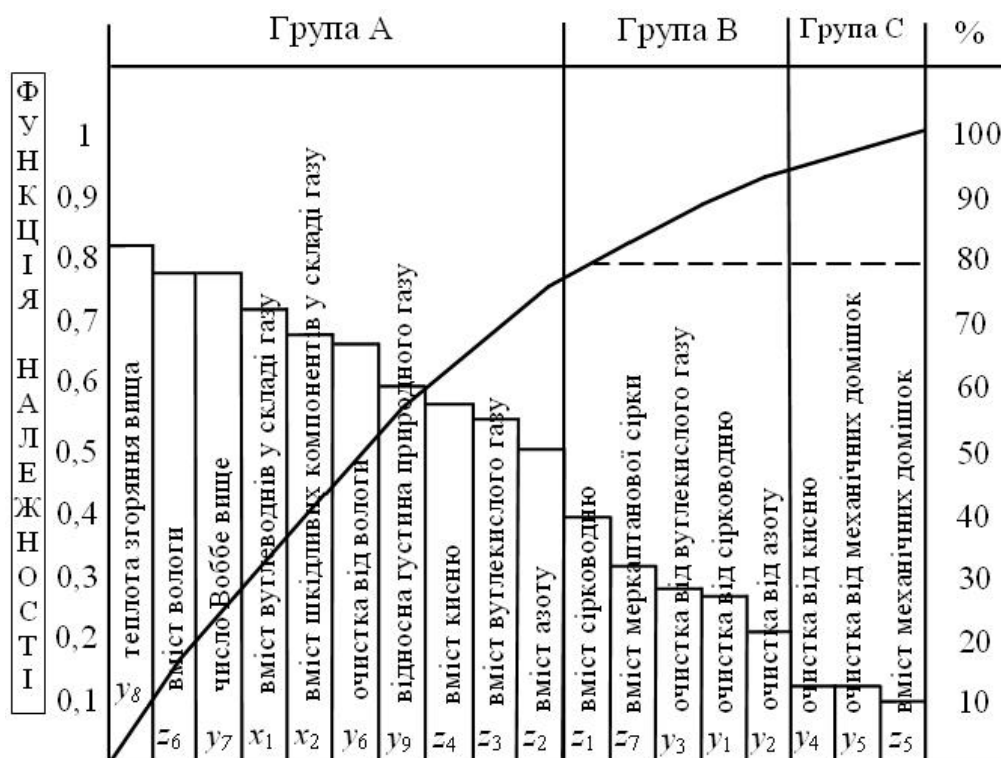


Рис. 4. Діаграма Парето накопичених факторів, що характеризують якість природного газу

У **третьому розділі** обґрунтовано методику та наведено результати досліджень.

В газовій промисловості вологовміст прийнято виражати через температуру точки роси. В Україні встановлено два сезонних значення: в холодний період року точка роси має бути не вище мінус 8 °С, а у теплий – не вище 0 °С. Серед усіх можливих методів вимірювання вибрано конденсаційно-термоелектричний метод. Він дає можливість достатньо точно отримати як абсолютне значення вмісту вологи, так точку роси при фактичному тиску в газопроводі.

Для визначення кількісного і якісного складу природного газу використано газовий хроматограф 6890N фірми «Agilent» (США) разом з відповідним

програмним забезпеченням «OpenLabChemStation». За його допомогою було ідентифіковано хімічні інгредієнти і визначено їх кількість.

Відбір проб реального природного газу відбувався на ГРС м. К. з наступними значеннями тисків газу: 2,5 МПа (на вході) і 0,3 МПа (на виході). Обробка результатів аналізів, а саме: побудова оптимальної градуовальної характеристики за допомогою регресійного аналізу, обчислення молярних часток та невизначеностей компонентів, побудова контрольних карт, роздруковка звіту тощо виконувались за допомогою програми «Report10.1». Результати наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Компонентний склад газу, %

| Компоненти | Колба №1 | Колба №2 | Колба №3 | Колба №4 |
|---------------------------------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| N ₂ | 1,03 | 1,52 | 1,18 | 1,36 |
| CH ₄ | 90,78 | 91,89 | 90,87 | 91,12 |
| CO ₂ | 2,41 | 0,95 | 2,27 | 1,84 |
| C ₂ H ₆ | 3,89 | 3,77 | 3,79 | 3,74 |
| C ₃ H ₈ | 0,94 | 0,93 | 0,89 | 0,91 |
| iC ₄ H ₁₀ | 0,09 | 0,1 | 0,06 | 0,1 |
| nC ₄ H ₁₀ | 0,14 | 0,14 | 0,09 | 0,13 |
| H ₂ O | 0,72 | 0,7 | 0,85 | 0,8 |
| Сума | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |

Дослідження виконані на стенді (рис. 5).



Рис.5. Експериментальний стенд

де 1 – балон з газом, $P \leq 10,0$ МПа; 2 – манометр МТИ 1246 (діапазон 0...6 МПа, клас точності 0,6); 3 – манометр цифровий «Baroli» DS200M (діапазон 0...60 бар, клас точності 0,35); 4 – редуктор типу ДОНМЕТ БКО-50ДМ (МГ) (пропускна здатність – 50 м³/год., тиски максимальні: $P_{вх}=20$ МПа, $P_{вих}=1,25$ МПа); 5 – реактор-абсорбер; 6 – гігрометр «ТОРОС-3-2В» (діапазон вимірювань точки роси -45...20 °С, максимальна похибка $\pm 0,5$ °С, витрата 2 \pm 0,25 л/хвил.); 7 – з'єднувальні трубопроводи

Було виконано декілька дослідів: реальний газ (проби 1а і 1б), штучно насичений вологою (проба 2), для осушки використано два типи адсорбентів: технічні силікагель (проба 3) і цеоліт (проба 4). Результати досліджень подані у табл. 2.

Таблиця 2

Вимірювання температури точки роси (ТТР)

| Характеристика точки вимірювання | ТТР, °С | | Тиск газу, МПа | Проба № |
|---|---------|------------|----------------|---------|
| | вода | вуглеводні | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Газ із балону реальний | -9,3 | +0,8 | 2,5 | 1а |
| | -23,1 | -20,5 | 0,3 | 1б |
| Газ із балону насичений | +4,3 | +5,7 | 2,5 | 2 |
| Газ із балону після осушки (силікагель) | <-40 | <-40 | 0,3 | 3 |
| Газ із балону після осушки (цеоліт) | -29,7 | -27,9 | 0,3 | 4 |

У зв'язку з тим, що використані методики проведення хроматографічного аналізу (результат – див. табл.3) не передбачають визначення вмісту важких вуглеводнів C₅₊, для моделювання складу газу застосовано програмну систему (ПС) «ГазКондНафта». Поряд з іншими можливостями ПС дозволяє моделювати умови випадання кристалогідратів (визначення температури їх утворення, витрати певного інгібітора для унеможливлення кристалізації тощо), точок роси по волозі й вуглеводням.

Таблиця 3

Розрахункова температура точки роси по воді й вуглеводням (відповідно до відібраних проб природного газу)

| Проба № | | 1а | 1б | 2 | 3 | 4 |
|-----------------------------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Давление | МПа | 2.500 | .300 | 2.500 | .300 | .300 |
| Температура | °С | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 |
| Доля : газа (пара) | | .99387 | 1.00000 | .99407 | .99942 | .99992 |
| нефти (конденсата) | | .00000 | .00000 | .00000 | .00000 | .00000 |
| водного раствора | | .00613 | .00000 | .00593 | .00058 | .00008 |
| Расход | кмоль/час | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| | кг/час | .69 | .69 | .64 | .62 | .65 |
| | ст.м3/час | .94 | .94 | .89 | .84 | .89 |
| | м3/час | .04 | .31 | .03 | .28 | .30 |
| Мол.масса | | 17.76 | 17.76 | 17.39 | 17.68 | 17.61 |
| Плотность | кг/м3 | 19.40 | 2.20 | 18.97 | 2.19 | 2.18 |
| | | мольн.доля | мольн.доля | мольн.доля | мольн.доля | мольн.доля |
| Азот | | .0103000 | .0103000 | .0152000 | .0118000 | .0136000 |
| Метан | | .9078000 | .9078000 | .9189000 | .9087000 | .9112000 |
| Диоксид углерода | | .0241000 | .0241000 | .0095000 | .0227000 | .0184000 |
| Этан | | .0389000 | .0389000 | .0377000 | .0379000 | .0374000 |
| Пропан | | .0094000 | .0094000 | .0093000 | .0089000 | .0091000 |
| изо-Бутан | | .0009000 | .0009000 | .0010000 | .0006000 | .0010000 |
| н-Бутан | | .0014000 | .0014000 | .0014000 | .0009000 | .0013000 |
| Вода | | .0072000 | .0072000 | .0070000 | .0085000 | .0080000 |
| Точка росы по воде | °С | 55.70 | 18.52 | 55.08 | 21.17 | 20.08 |
| | К | 328.85 | 291.67 | 328.23 | 294.32 | 293.23 |
| Точка росы по углеводородам | °С | -58.67 | -84.45 | -58.98 | -88.05 | -84.92 |
| | К | 214.48 | 188.70 | 214.17 | 185.10 | 188.23 |

Попередньо була виконана адаптація складу природного газу до отриманих даних щодо ТТР по воді (табл.4), а потім проведено адаптацію температури точки роси по вуглеводням шляхом введення домішок важких

вуглеводнів C₅₊ при збереженні концентрації води (табл.5). Результати моделювань подані нижче.

Таблиця 4

Розрахункова температура точки роси по воді
(скорегований компонентний склад природного газу)

| Проба № | | 1a | 1б | 2 | 3 |
|--------------------|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 4 | | | | | |
| Давление | МПа | 2.500 | .300 | 2.500 | .300 |
| Температура | °С | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 |
| Доля : газа (пара) | | 1.00000 | 1.00000 | 1.00000 | 1.00000 |
| нефти (конденсата) | | .00000 | .00000 | .00000 | .00000 |
| водного раствора | | .00000 | .00000 | .00000 | .00000 |
| Расход | кмоль/час | .0 | .0 | .0 | .0 |
| | кг/час | .41 | .51 | .52 | .35 |
| | ст.м3/час | .55 | .70 | .72 | .48 |
| | м3/час | .02 | .23 | .03 | .16 |
| Мол.масса | | 17.76 | 17.76 | 17.39 | 17.67 |
| Плотность | кг/м3 | 19.27 | 2.20 | 18.85 | 2.19 |
| | | мольн. доля | мольн. доля | мольн. доля | мольн. доля |
| Азот | | .0103732 | .0103719 | .0153011 | .0119003 |
| Метан | | .9142586 | .9141367 | .9250110 | .9164248 |
| Диоксид углерода | | .0242714 | .0242682 | .0095632 | .0228930 |
| Этан | | .0391767 | .0391716 | .0379507 | .0382222 |
| Пропан | | .0094668 | .0094657 | .0093618 | .0089756 |
| изо-Бутан | | .0009064 | .0009062 | .0010067 | .0006051 |
| н-Бутан | | .0014099 | .0014097 | .0014093 | .0009078 |
| Вода | | .0001370 | .0002700 | .0003962 | .0000712 |
| Точка росы | °С | -9.29 | -23.26 | 4.30 | -36.52 |
| по воде | К | 263.86 | 249.89 | 277.45 | 236.63 |

Таблиця 5

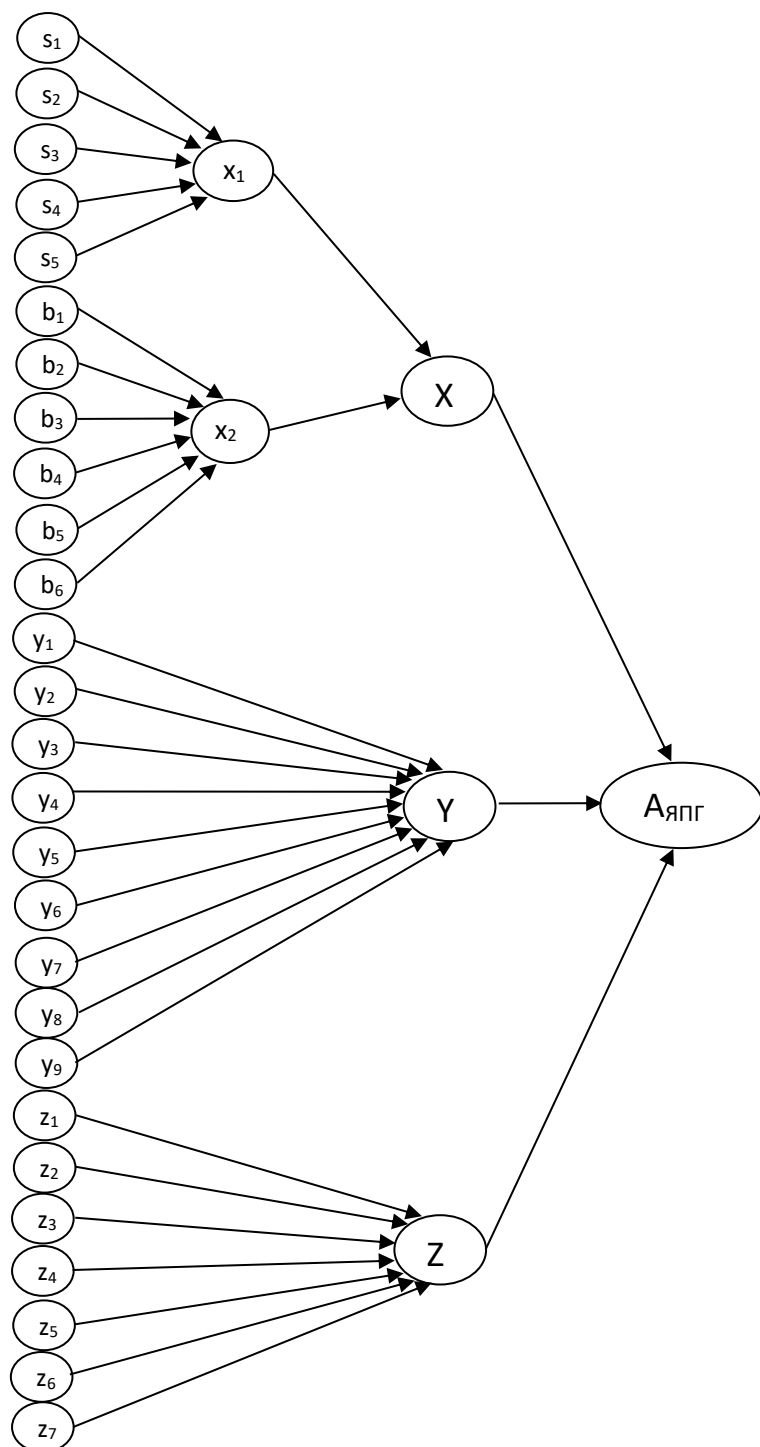
Розрахункова температура точки роси по воді й вуглеводням
(скорегований компонентний склад природного газу)

| Проба № | | 1a | 1б | 2 | 3 |
|--------------------|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 4 | | | | | |
| Давление | МПа | 2.500 | .300 | 2.500 | .300 |
| Температура | °С | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 |
| Доля : газа (пара) | | 1.00000 | 1.00000 | 1.00000 | 1.00000 |
| нефти (конденсата) | | .00000 | .00000 | .00000 | .00000 |
| водного раствора | | .00000 | .00000 | .00000 | .00000 |
| Расход | кмоль/час | .0 | .0 | .0 | .0 |
| | кг/час | .09 | .04 | .31 | .25 |
| | ст.м3/час | .12 | .05 | .43 | .34 |
| | м3/час | .00 | .02 | .02 | .11 |
| Мол.масса | | 17.78 | 17.77 | 17.42 | 17.69 |
| Плотность | кг/м3 | 19.30 | 2.20 | 18.89 | 2.19 |
| | | мольн. доля | мольн. доля | мольн. доля | мольн. доля |
| Азот | | .0103732 | .0103719 | .0153011 | .0119003 |
| Метан | | .9142586 | .9141367 | .9250110 | .9164248 |
| Диоксид углерода | | .0242714 | .0242682 | .0095632 | .0228930 |
| Этан | | .0391767 | .0391716 | .0379507 | .0382222 |
| Пропан | | .0094668 | .0094657 | .0093618 | .0089756 |
| изо-Бутан | | .0009064 | .0009062 | .0010067 | .0006051 |
| н-Бутан | | .0007099 | .0010097 | .0006093 | .0005078 |
| н-Пентан | | .0002000 | .0001100 | .0002000 | .0002000 |
| н-Гексан | | .0002000 | .0001000 | .0002000 | .0001000 |
| н-Гептан | | .0001200 | .0000700 | .0001500 | .0000500 |
| н-Октан | | .0001000 | .0000600 | .0001400 | .0000500 |
| н-Нонан | | .0000800 | .0000600 | .0001100 | .0000000 |
| Вода | | .0001370 | .0002700 | .0003962 | .0000712 |
| Точка росы | °С | -9.29 | -23.26 | 4.30 | -36.52 |
| по воде | К | 263.86 | 249.89 | 277.45 | 236.63 |
| Точка росы | °С | .55 | -20.39 | 5.55 | -39.92 |
| по углеводородам | К | 273.70 | 252.76 | 278.70 | 233.23 |

Розрахункові значення температур точки роси по воді й вуглеводням, отримані за результатами вимірювань і змодельовані (з урахуванням фракцій C₅₊), є достатньо адекватними. Максимальна похибка не перевищує для: води –

1,0 %, вуглеводнів – 3,0 %. Причому, наявність важких вуглеводнів C_{5+} (за результатами моделювання) дещо підвищує відповідне значення ТТР.

У четвертому розділі наведено розроблену методику оцінки якості природного газу, синтезовану в середовищі програмування MatLab інструментами Fuzzy Logic Toolbox.



Її створення вимагає наявності достовірної інформації про фактичний фізико-хімічний склад видобутого з родовища природного газу, характеристику технологічних процесів підготовки палива до транспортування, характеристику необхідного обладнання, його ефективність тощо, зміни параметрів під час розподілу і подачі кінцевому споживачу, вимоги нормативно-правових актів щодо фізико-хімічних властивостей газу.

Складність полягає в тому, що певна кількість факторів впливу на якість природного газу в процесі оцінки його фізико-хімічних показників не можуть бути вимірні кількісно, тобто не можуть бути отримані формалізовані оцінки. Оцінка, наприклад, таких факторів впливу на якість природного газу як «очистка від сірководню (H_2S)» або «осушка», як правило, будується на суб'єктивній думці фахівця, досвіді його роботи і найчастіше виражаються такими висловлюваннями, як: «відсутня», «часткова», «повна» тощо.

Рис.6. Структура ієрархічної системи для оцінювання якості природного газу

На рис. 6 представлено структуру ієрархічної нечіткої системи підтримки прийняття рішень, яка складається з 27 вхідних лінгвістичних змінних, 6 баз знань з нечіткими правилами та однієї вихідної лінгвістичної змінної.

Інструментом для вираження певних нечітких факторів впливу є математичний апарат, що базується на теорії нечітких множин.

На рис. 7 показано робочий інтерфейс експертно-моделювальної системи оцінки якості природного газу, що дозволяє визначити: його оцінку за пропонованою 5-бальною шкалою, необхідність розробки та проведення технологічних заходів щодо покращення окремих показників перед використанням кінцевим споживачем.

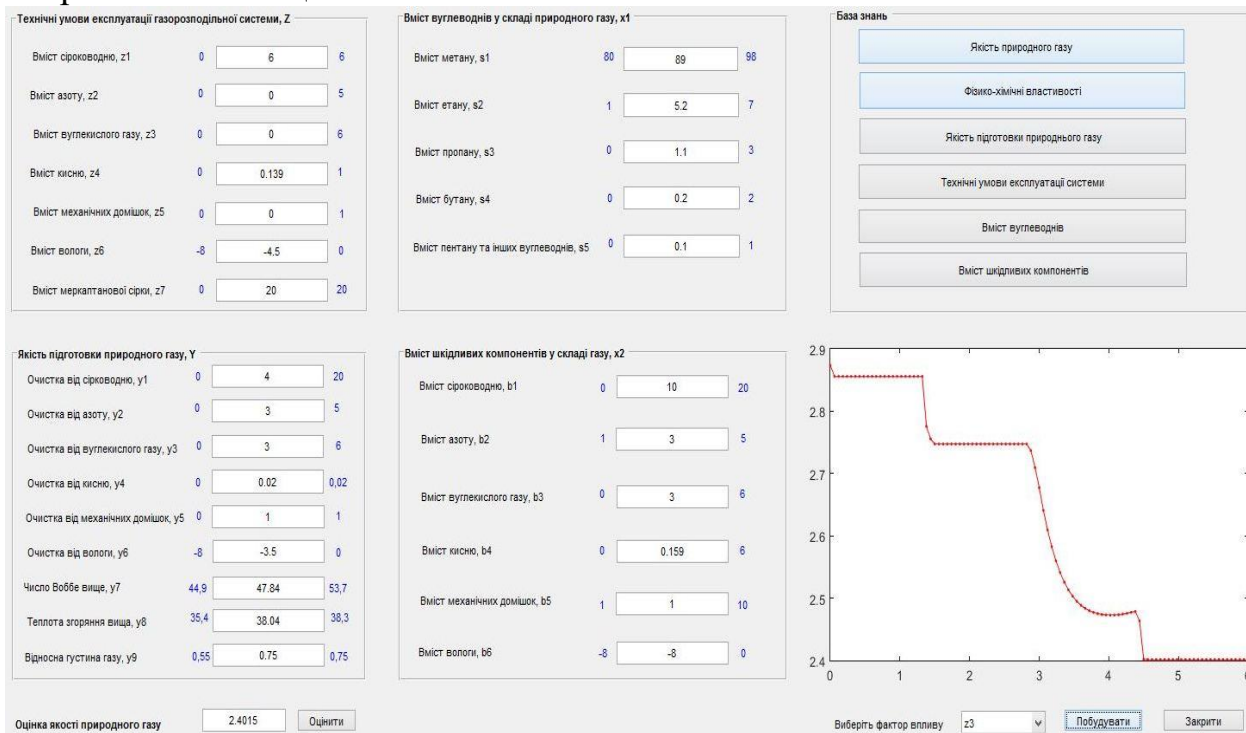


Рис.7. Робочий інтерфейс експертно-моделювальної системи

У п'ятому розділі дисертації наведено інформаційну систему інтелектуального обліку природного газу (на прикладі населеного пункту), створення якої наразі є одним із пріоритетних завдань державної технічної політики, а також зобов'язань України стосовно вимог Третього енергетичного пакету. На рис. 8 зображена технологічна схема такої системи, а у табл.6 – ієрархічна структура її побудови.

Таблиця 6

Ієрархічна структура системи з довільною кількістю вузлів обліку газу (ВОГ) включно з абонентськими лічильниками – районний диспетчерський пункт (ДП) – ДП газорозподільної компанії – центральний ДП

| Структурний елемент системи містобудування | Житловий будинок | Мікрорайон (район) | Населений пункт | |
|--|---|-------------------------------------|----------------------------------|---|
| | | | 4 | 5 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Структурний елемент системи газопостачання | Будинкова сис-тема газопоста-чання НИЗЬКОГО | Міська газорозподільна мережа (ГРМ) | Міська ГРМ високого (середнього) | Газотранспортна система (ГТС) (магістральний) |

Продовження табл. 6

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|-------------|----------------|-------|-------------|
| | тиску | низького тиску | тиску | газопровід) |
| | Абонент. ЛГ | | | |

| | | | | |
|-----------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|--|-------------------------|
| Облік природного газу | Загально будинковий ЛГ* | ВОГ комерційний, поряд з мережним ГРП | ВОГ комерційний, поряд з ГРС (на вході в | ВОГ комерційний, на ГРС |
| Наявність приладів обліку | + (не у всіх абонентів чи будинках) | - | - | + |
| Визначення показників якості газу | - | - | - | + (не у всіх ГРС) |

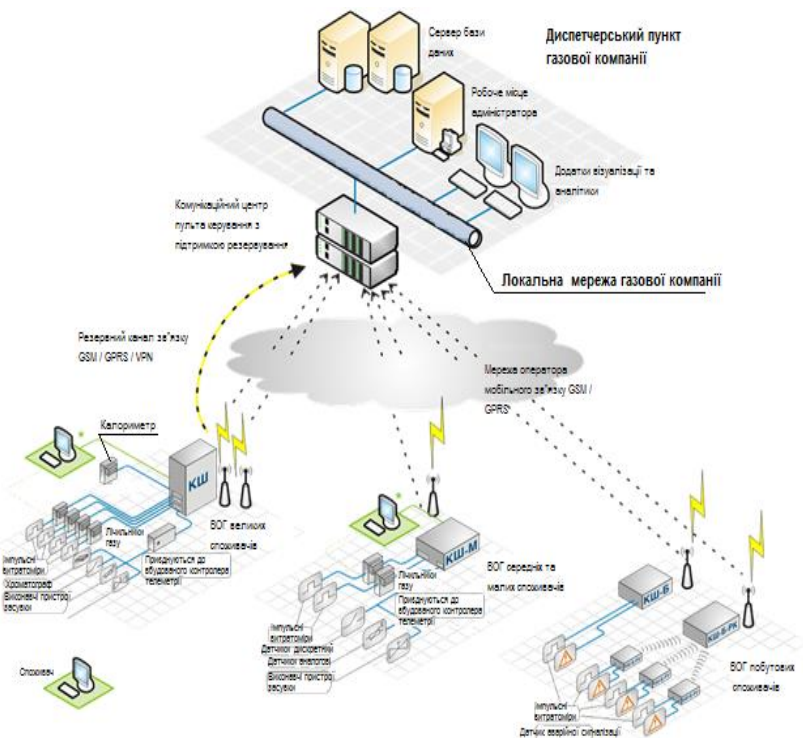


Рис. 8. Технологічна схема інформаційної системи інтелектуального обліку природного газу

В результаті впровадження систем інтелектуального обліку, що дозволить у т.ч. визначати кількість спожитого газу в одиницях енергії, буде створено єдиний інформаційний простір обліку природного газу включно з окремим абонентом, багатоквартирним будинком (при необхідності), районним ВОГ поряд з мережним ГРП (ГРМ низького тиску), міським ВОГ (ГРМ високого (середнього) тиску), ВОГ газотранспортної системи (магістральний газопровід). Таким чином, суттєво зменшаться збитки, які виникають у зв'язку з відсутністю на більшості ГРС і головних ГРП поточкових хроматографів для моніторингу фізико-хімічних властивостей природного газу в режимі реального часу, що сприятиме добовому балансуванню палива між газотранспортною організацією і постачальником, постачальником і споживачем. Наразі невраховані втрати природного газу за 2020 р. в Україні склали 1,054 млрд.м³ або майже 4,5 млрд. грн.

У мешканців житлових будинків, які спожили у 2020 р. 8,2 млрд.м³ блакитного палива або 26,5 % від загальнодержавного обсягу, встановлено побутових лічильників газу приблизно 80 % від потреби, з яких лише 15 % мають можливість корекції показів в залежності від температури. Іншим

споживачам доводиться лише суб'єктивна інформація стосовно корегуючих коефіцієнтів і характеристик газу. Смарт-лічильників, які поєднали кращі традиції традиційних механічних приладів з функціями інтелектуального обліку, нараховується всього декілька сотень тисяч.

Пропонована методика щодо оцінки якості природного газу дозволяє використовувати її і для інших горючих газових сумішей: газоводневих, біогазів тощо. Причому, вартість такого палива пропонується диференційована – залежно від його фізико-хімічних властивостей.

Розроблена автором технологічна схема осушки природного газу за рахунок внутрішньої енергії палива, а також апарат з використанням ефекту Ранка впроваджені на ряді об'єктів газового господарства країни. Економічний ефект за рахунок відмови від використання традиційних абсорбційних методів становив близько 175 тис. грн. на рік. Окрім того була забезпечена безвідмовність роботи технологічного устаткування, що унеможливило виникнення аварійних ситуацій.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. На підставі аналізу літературних джерел, інженерно-технічних розробок розглянуто і систематизовано фактори, які впливають на фізико-хімічні властивості природного газу на етапах видобування, підготовки до транспортування, транспортування, розподілу й використання кінцевим споживачем. Відслідковано процесно-контентну еволюцію поняття «якість природного газу» для подальшого застосування для визначення кількості спожитої енергії.

2. Розроблено математичну модель оцінювання якості природного газу, а також встановлено пріоритетність факторів, які характеризують фізико-хімічні властивості палива, і впливають на експлуатаційну надійність газорозподільних мереж населених пунктів, окремих об'єктів, а також на точність показів засобів обліку в одиницях енергії в режимі реального часу. Встановлено за допомогою методу Парето, що найбільш впливовими факторами є температура спалювання газу та вологість газу.

3. На підставі виконаних теоретичних досліджень розроблено інженерну методику комплексної оцінки якості природного газу, адекватність якої підтверджена за результатами експериментальних досліджень. Щодо фактора «вологість природного газу» максимальна похибка у визначенні температури точки роси не перевищує: для води – 1,0 %, вуглеводнів – 3,0 %.

4. Удосконалено технологічну схему інформаційної системи інтелектуального обліку природного газу в одиницях енергії, яка сприятиме підвищенню точності вимірювань при запровадженні добового балансування палива, вирішенню виникаючих проблем при узгодженні фактичних витрат між суб'єктами господарювання при транспортуванні, розподілі, постачанні та використанні газу, а також налагодженню платежів в обумовлені терміни. Техніко-економічні розрахунки дозволяють констатувати можливість зниження в Україні неврахованих втрат природного газу не менше, чим на 4,5 млрд. грн. щороку.

5. Запропоновані технічні рішення щодо удосконалення конструкції інтелектуального лічильника природного газу шляхом обліку спожитого палива в одиницях енергії в режимі реального часу і в залежності від його фізико-хімічних властивостей.

6. Розроблена енергоефективна система осушки природного газу з використанням ефекту Ранка, що запобігає утворенню гідратів і, відповідно, підвищує експлуатаційну надійність та безаварійну роботоздатність багатоступеневих газорозподільних систем. Економічний ефект за рахунок відмови від використання традиційних абсорбційних методів становив близько 175 тис. грн. за опалювальний період для водогрійної котельні потужністю 20 МВт.

7. Теоретико-методичні та науково-прикладні результати досліджень у вигляді методики та комп'ютерної програми розрахунку «Комплексна оцінка якості природного газу» можуть бути використані при розробці та обґрунтуванні рекомендацій групи компаній «Нафтогаз України» щодо принципової модернізації змісту та методології організаційно-технічного проектування та регламентування експлуатації газорозподільних систем населених пунктів в частині достовірності обліку та балансування природного газу, а також безаварійної (безвідмовної) роботоздатності цих систем.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Франчук Ю.Й. Аналіз та оцінка заходів щодо підвищення енергоефективності систем централізованого теплопостачання / К.М.Предун, Ю.Й.Франчук // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання: наук.-техн. збірник. – Вип. 23. – К.: КНУБА, 2017. – с.31-35. *Особистий внесок здобувача: за результатами аналізу виконаних розрахунків підтверджено можливість використання природного газу як основного енергоносія для систем теплопостачання населених пунктів України.*

2. Франчук Ю.Й. Оцінка якості природного газу як енергоносія на основі лінгвістичної інформації / Ю.Й.Франчук, О.І.Ободянська, К.М.Предун // Управління розвитком складних систем: наук.-техн. збірник. – К.: КНУБА, 2019. – Вип.38. – с. 143-150. *(Збірник входить до міжнародних наукометричних баз: Ulrichsweb (США), BASE (Німеччина), Index Copernicus (Польща)). Особистий внесок здобувача: запропонована ієрархічна класифікація факторів, що впливають на якість природного газу на стадіях: видобування з родовища, підготовки (очищення) газу для транспортування, розподілу на території населеного пункту та споживання.*

3. Франчук Ю.Й. Модель багатофакторної оцінки якості природного газу / К.М.Предун, Ю.Й.Франчук, О.І.Ободянська // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання: наук.-техн. збірник. – К.: КНУБА, 2019. – Вип.30. – с.20-28. *(Збірник входить до міжнародної наукометричної бази: Index Copernicus (Польща)). Особистий внесок здобувача: отримано аналітичні моделі функцій належності експертних нечітких баз знань, що впливають на оцінювання і прогнозування якості природного газу.*

4. Франчук Ю.Й. Моделювання інтелектуальної підтримки прийняття рішення щодо оцінки якості природного газу методом парних порівнянь /

К.М.Предун, Ю.Й.Франчук, О.І.Ободяньська // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І.Вернадського. Серія: Технічні науки. – К.:ТНУ, 2019. – Том 30 (69). – №6. – Част.2. – с.195-201. *(Журнал входить до міжнародної наукометричної бази: Index Copernicus (Польща)). Особистий внесок здобувача: запропонована математична модель підтримки прийняття рішення щодо оцінки якості природного газу, яка дає змогу оцінити доцільність та достовірність експертно-моделюючої системи інтелектуальної підтримки прийняття рішень на базі нечіткої логіки.*

5. Франчук Ю.Й. Створення експертно-моделювальної системи для аналізу факторів, які впливають на якість природного газу / Ю.Й.Франчук // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання: наук.-техн. збірник . – К.: КНУБА, 2019. – Вип. 31. – с.33-41. *(Збірник входить до міжнародної наукометричної бази: Index Copernicus (Польща)).*

6. Франчук Ю.Й. Моделювання оцінки якості природного газу з використанням нечітких баз знань / К.М.Предун, Ю.Й.Франчук, О.І.Ободяньська // Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві: наук.-техн. журнал. – Т.27, №2. – Вінниця: ВНТУ, 2019. – с.114-122. *(Журнал входить до міжнародної наукометричної бази: Index Copernicus (Польща)). Особистий внесок здобувача: отримана модель нечіткого логічного висновку, яка разом з процедурою дефазифікації забезпечує можливість спостереження за змінами вихідного показника (якість природного газу) при варіації факторів впливу та дозволяє прогнозувати склад та якість природного газу з використанням експертних та експериментальних даних, що характеризують умови експлуатації.*

7. Франчук Ю. Й. Дослідження проблеми забезпечення оптимального тиску в розподільчих мережах газопостачання перед побутовими газовими приладами / Ю.Й.Франчук, В.А. Коновалюк // Вентиляція, освітлення і теплогазопостачання: наук. техн. збірник. – Вип. 33. – К. КНУБА, 2020. – с. 32-38. *(Збірник входить до міжнародних наукометричних баз: Index Copernicus, Googl scholar). Особистий внесок здобувача: запропоновані рекомендації щодо реконструкції існуючих газорозподільних систем та їх подальшої експлуатації з метою підтримання рекомендованих значень тисків газу у кінцевих споживачів.*

8. Франчук Ю. Й. Дослідження впливу температури на параметри природного паливного газу / Ю.Й.Франчук, В.А. Коновалюк // Вентиляція, освітлення і теплогазопостачання: наук. техн. збірник. – Вип. 36. – К.: КНУБА, 2021. – с. 48-56. *(Збірник входить до міжнародних наукометричних баз: Index Copernicus, Googl scholar). Особистий внесок здобувача: отримані залежності параметрів природного газу від його температури дозволили розробити рекомендації щодо підвищення достовірності його обліку.*

9. Франчук Ю.Й. Моделювання управління якістю природного газу з використанням функцій належності лінгвістичних змінних методом Парето /К.М.Предун, Ю.Й.Франчук, О.І.Ободяньська // Містобудування та територіальне планування : наук.-техн. збірник. – К.: КНУБА, 2021. – Вип.76. – с. 235-249. *(Збірник входить до міжнародної наукометричної бази: Index Copernicus). Особистий внесок здобувача: запропонував використати методи Парето та ABC-аналізу при моделюванні управління якістю природного газу, що дозволило встановити пріоритетність факторів та виявити, з яких із них необхідно*

починати діяти з метою постачання газу до споживачів з параметрами, обумовленими вимогами чинних нормативно-правових актів.

10. Франчук Ю. Й. Удосконалення системи обліку природного газу в одиницях енергії / К.М.Предун, В.А. Коновалюк, Ю.Й.Франчук // Вентиляція, освітлення і теплогазопостачання: наук. техн. збірник. – Вип.37. – К.: КНУБА, 2021. – с. 62-66. (Збірник входить до міжнародних наукометричних баз: *Index Copernicus, Google scholar*). Особистий внесок здобувача: виконав дослідження фізико-хімічних властивостей природного газу, відібраного в газорозподільній мережі населеного пункту, з наступним порівнянням з вимогами нормативно-правових актів.

11. Y. Franchuk. Modernization of organizational and technological solutions in design and use of modern heating systems / K. Predun, O. Shevchuk, Y. Franchuk // Scientific journal innovative solutions in modern science, № 2(29), 2019, p.62-77. Dubai, United Arab Emirates. (Збірник входить до міжнародних наукометричних баз: *Crossref, WorldCat, Scientific Indexing Services (CISA); CORE (Великобританія), Bielefeld Academic Search Engine (BASE) (Німеччина), ResearchBib (Японія), Citefactor (Канада), Google Scholar (Search)*). Особистий внесок здобувача: виконав порівняння викидів забруднювальних речовин і парникових газів в атмосферне повітря при спалюванні природного газу і альтернативних палив.

12. U. Franchuk. Principal content and methodology modernization of organizational and engineering design and exploitation regulations for locality GDS / Predun K., O. Obodyanska, U. Franchuk // Paradigm of Knowledge. Multidisciplinary Scientific Journal. – No. 2 (34), 2019. – p. 74-92. (Збірник входить до міжнародних наукометричних баз: *CORE (Великобританія), Bielefeld Academic Search Engine (BASE) (Німеччина), Citefactor (Канада), Google Scholar, WorldCat (США), ResearchBib (Японія) та інші.*). Особистий внесок здобувача: запропонував шляхи удосконалення чинних технологічних схем систем інтелектуального обліку природного газу.

13. U. Franchuk. Using fuzzy logic elements to assess the quality of natural gas / K. Predun, U. Franchuk, O. Obodyanska / The scientific heritage. – Vol.73, 2021. – p. 37-48. (Збірник входить до міжнародних наукометричних баз: *Index Copernicus та інші.*). Особистий внесок здобувача: створив робочий інтерфейс експертно-моделюючої системи оцінки якості природного газу.

АНОТАЦІЯ

Франчук Ю.Й. Комплексна оцінка якості природного газу для підвищення точності його обліку та експлуатаційної надійності систем газопостачання. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.03 – вентиляція, освітлення та теплогазопостачання. – Київський національний університет будівництва і архітектури Міністерства освіти і науки України, Київ, 2021.

В дисертації вирішується актуальна науково-практична задача комплексної оцінки якості природного газу на етапах «видобування – підготовка до транспортування – транспортування – розподіл – використання кінцевим

споживачем», що дозволить підвищити точність обліку палива в одиницях енергії й запровадити диференційовану плату в залежності від енергетичної цінності. За результатами проведеного аналізу означено існуючі методи, способи та технічні засоби обліку природного газу та запропоновано обґрунтовану математичну модель підтримки прийняття рішень з оцінки якості природного газу з врахуванням якісних та кількісних чинників.

На базі аналітичних досліджень створено та обґрунтовано ієрархічну класифікацію та формалізацію факторів впливу на якість природного газу, яка дає можливість отримати функції належності оцінок впливу кожного фактора. Запропоновано інженерну методику визначення оцінки якості природного газу у кінцевого споживача та програмний продукт для її комп'ютерної реалізації. Це дозволяє встановити пріоритетність факторів впливу на якість палива та, відповідно, обґрунтувати першочерговість заходів щодо підвищення якості палива, а також експлуатаційної надійності систем газопостачання за рахунок здійснення запобіжних заходів.

Наведені теоретичні положення знайшли свої підтвердження в ході експериментальних досліджень чинників, що впливають на процес осушення газу для попередження утворення кристалогідратів. Запропоновано технічні рішення з підвищення експлуатаційної надійності систем газопостачання. Удосконалено технологічну схему інформаційної системи обліку природного газу, яка сприятиме підвищенню достовірності при запровадженні добового балансування палива й вирішенню проблем при узгодженні фактичних витрат між суб'єктами господарювання при транспортуванні, розподілі та використанні природного газу. Проведено техніко-економічне обґрунтування запропонованих способу і засобів обліку природного газу.

Ключові слова: природний газ, фізико-хімічні властивості, якість, система газопостачання, експлуатаційна надійність, фактори впливу на технічний стан, функції належності, лінгвістична змінна, вологість, осушення, облік, інтелектуальний лічильник газу, точність вимірювання.

ANNOTATION

Franchuk Yu.Y. Comprehensive assessment of natural gas quality to increase the accuracy of its accounting and operational reliability of gas supply systems. - Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the candidate of technical sciences on a specialty 05.23.03 - ventilation, lighting and heat and gas supply. – Kyiv National University of Civil Engineering and Architecture of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2021.

The dissertation solves the current scientific and practical problem of comprehensive assessment of natural gas quality at the stages of "extraction - preparation for transportation - transportation - distribution - use by the end user", which will increase the accuracy of fuel accounting in energy units and introduce a differentiated fee depending on energy value. Based on the results of the analysis, the existing methods, methods and technical means of natural gas metering are identified and a substantiated mathematical model of decision support for natural gas quality assessment taking into account qualitative and quantitative factors is proposed.

On the basis of analytical researches the hierarchical classification and formalization of factors of influence on quality of natural gas is constructed and proved, which gives the chance to receive functions of belonging of estimations of influence of each factor. An engineering method for determining the quality assessment of natural gas at the final consumer and a software product for its computer implementation are proposed. This allows to determine the priority of factors influencing fuel quality and, accordingly, to justify the priority of measures to improve fuel quality, as well as the operational reliability of gas supply systems through the implementation of precautionary measures.

These theoretical positions were confirmed in the course of experimental studies of the factors influencing the process of gas drying to prevent the formation of crystal hydrates. Technical solutions to increase the operational reliability of gas supply systems are proposed. The technological scheme of the natural gas metering information system has been improved, which will increase the reliability of the introduction of daily fuel balancing and solve problems in agreeing on the actual costs between economic entities in the transportation, distribution and use of natural gas. Feasibility study of the proposed method and means of natural gas metering is carried out.

Key words: natural gas, physicochemical properties, quality, gas supply system, operational reliability, factors influencing technical condition, membership functions, linguistic variable, humidity, dehumidification, accounting, intelligent gas meter, measurement accuracy.

Підписано до друку 26.08.2021. Формат 60x84 1/16.
Друк офсетний. Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman.
Умов. друк. арк. 0,9. Обл. вид. арк. 0,7.
Наклад 100 прим. Замовлення № 94/121.

Надруковано в ТОВ «Видавництво «Юстон»
01034, м. Київ, вул. О. Гончара 36-а.
тел.: (044) 360-22-66.
www.yuston.com.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру видавців,
виготовлювачів і розповсюджувачів видавничої продукції
серія ДК № 497 від 09.09.2015 р.