

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
НАФТИ І ГАЗУ**

СЛОБОДЯН Микита Богданович



УДК 622.692.4:539.4

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ПРОГНОЗУВАННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ
ГАЗОПРОВІДІВ НА ЗАСАДАХ РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ**

Спеціальність 05.15.13 – трубопровідний транспорт, нафтогазосховища

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Івано-Франківськ – 2020

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор

Карпаш Максим Олегович

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, проректор з науково-педагогічної роботи.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент

Говдяк Роман Михайлович

Інжинірингова компанія «Машекспорт»,
генеральний директор;

кандидат технічних наук

Костів Василь Васильович

ТОВ «Оператор ГТС України»,
заступник головного інженера з експлуатації (західний
регіон).

Захист відбудеться «29» січня 2021 р. о 14⁰⁰ год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.04 при Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу за адресою: 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15

Із рукописом дисертації можна ознайомитись у бібліотеці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15)

Автореферат розіслано «28» грудня 2021 р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради Д 20.052.04
доктор технічних наук, доцент

А. П. Джус

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Обґрунтування вибору теми дослідження. Швидке зростання вартості енергоресурсів на світових ринках вимагає від підприємств застосування енергоощадних заходів та технологій у виробництві. При чому, в разі системного підходу, який буде враховувати усю специфіку конкретного виробництва та всебічний аналіз впровадження заходів та технологій, буде можливим отримати максимальний економічний ефект і віддачу у вигляді ефективного виробництва та зниження споживання енергоресурсів.

Природний газ досі займає значну частку в енергобалансі споживання паливно-енергетичних ресурсів нашої країни. За показником енергоємності продукції Україна є серед лідерів поміж розвинених країн світу.

Не виключенням є і Газотранспортна система України (ГТС), яка в останні роки функціонує не за номінальними режимами, а з урахуванням потреб сьогодення, що спричиняє нестабільність та нерівномірність її завантаження.

Найбільші фінансові затрати в процесі транспортування і зберігання природного газу Оператора ГТС складають витрати на використання природного газу. Слід відзначити, що значну частину від таких величин складають розраховані на основі чинних нормативних документів виключно розрахунковим методом значення виробничо-технологічних витрат. Це призводить до виникнення значних «розбалансів» при побудові паливно-енергетичного балансу роботи ГТС, що не дозволяє в повній мірі судити про можливі шляхи енергозбереження в галузі з використанням різних режимів роботи ГТС.

Тому, актуальним завданням є удосконалення методів прогнозування режимів роботи газопроводів на засадах ресурсозбереження з урахуванням нестабільного завантаження газотранспортної системи, що призведе не лише до підвищення енергетичної ефективності на об'єктах ГТС, зменшення енергоємності та питомих витрат енергоресурсів на одиницю роботи, але й сприятиме розвитку впровадження відновлюваних джерел енергії, зменшенню викидів парникових газів та підвищенню конкурентоздатності економіки країни в цілому.

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

Дисертаційна робота виконувалась за особистою участю автора, як виконавця, на кафедрі енергетичного менеджменту та технічної діагностики Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу відповідно до плану в рамках таких науково-дослідних робіт:

- «Перегляд НДТОВ 07-003:2019 – Методика визначення обсягів витрат природного газу на виробничо-технологічні потреби під час його транспортування газотранспортною системою. – Київ 2019, наказ ТОВ «Оператор ГТС України» №103 від 16.08.2019р.

- «Перегляд НДТОВ 07-002:2019 – Структура та порядок списання природного газу на виробничо-технологічні та інші потреби під час експлуатації магістральних газопроводів. – Київ 2019, наказ ТОВ «Оператор ГТС України» №103 від 16.08.2019р.

Метою дослідження є удосконалення методів прогнозування режимів роботи газотранспортної системи в умовах нестабільного завантаження шляхом встановлення закономірності впливу фізико-хімічних показників транспортованого природного газу на енергоефективність її роботи.

Для досягнення поставленої мети в дисертаційній роботі необхідно вирішити такі **завдання**:

- проаналізувати сучасні методи, засоби і технології забезпечення ефективного функціонування газотранспортних систем;

- провести теоретичні дослідження щодо вдосконалення методів експлуатації газопроводів із врахуванням нестабільності завантаження ГТС, вимог ресурсозбереження, а також дослідження впливу фізико-хімічних показників природного газу на визначення обсягів енергоспоживання та визначення енергоефективності технологічних об'єктів магістрального транспортування газу;

- розробити методологію та провести дослідження щодо перевірки розроблених методів зниження питомого споживання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) у процесі експлуатування газопроводів;

- розробити методичне, інформаційне та нормативне забезпечення для реалізації запропонованих методів експлуатації газопроводів із врахуванням нестабільності завантаження ГТС, а також вимог ресурсозбереження.

Об'єктом досліджень є режими функціонування газотранспортної системи.

Предметом дослідження є методи та засоби підвищення ефективності функціонування газотранспортної системи.

Положення, що захищаються:

- метод прогнозування режимів роботи газопроводів в умовах нестабільного завантаження із врахуванням вимог ресурсозбереження;

- залежність впливу фізико-хімічних показників природного газу на визначення обсягів витрат природного газу та визначення енергоефективності технологічних об'єктів магістрального транспортування газу з метою прогнозування та вибору режиму роботи магістрального газопроводу.

Наукова новизна одержаних результатів визначається такими положеннями:

- вперше встановлена залежність між об'ємами запасу природного газу в трубах та показниками енергоефективності роботи газотранспортної системи із врахуванням реальних витрат та втрат паливно-енергетичних ресурсів при транспортуванні природного газу, що дозволяє підвищити точність прогнозування режимів її роботи;

- удосконалено математичну залежність для визначення коефіцієнту стисливості природного газу від його фізико-хімічних показників, що дає можливість спростити та підвищити точність визначення обсягів витрат природного газу на виробничо-технічні потреби;

- набув подальшого розвитку метод керування витратами паливно-енергетичних ресурсів газотранспортним підприємством на основі додаткового ведення щодобового моніторингу за їх виникненням та визначенням обсягів, а

також на основі постійного порівняння з плановими показниками, які визначені при моделюванні відповідного режиму роботи ГТС.

Практичне значення отриманих результатів. Запропоноване удосконалення аналітичної залежності визначення коефіцієнту стисливості природного газу дає можливість значно спростити та підвищити точність визначення обсягів витрат газу на виробничо-технічні потреби, які отримані розрахунковим способом із застосуванням коефіцієнту стисливості.

Результати досліджень, викладені у дисертаційній роботі, можуть бути використані в газотранспортній системі з метою оптимізації витрат природного газу під час його транспортування. Вказані результати є можливими за рахунок проведення комплексного і всебічного перерахунку витрат газу на виробничо-технічні потреби, які визначаються розрахунковим способом, а також шляхом впровадження комплексного ресурсозберігаючого та екологічного підходу до експлуатації газопроводів. Результати дослідження можуть використовуватись у розробленні НДТОВ 07-003:2019 «Методика визначення обсягів витрат природного газу на виробничо-технологічні потреби під час його транспортування газотранспортною системою», НДТОВ 07-003:2019 «Структура та порядок списання природного газу на виробничо-технологічні та інші потреби під час експлуатації магістральних газопроводів», а також розроблення НДТОВ для Оператора ГТС на базі СОУ 60.3-30019801-019:2005 «Енергозбереження. Планування та облік виконання організаційно-технічних заходів щодо економії паливно-енергетичних ресурсів» та СОУ 60.3-30019801-096:2012 «Економія паливно-енергетичних ресурсів від впровадження енергозберігаючих заходів в ДК «Укртрансгаз». Методи визначення.

Особистий внесок здобувача. Основні положення та результати дисертаційної роботи одержані автором самостійно. Зокрема, в опублікованих у співавторстві роботах здобувачем:

- запропоновано системний підхід до структури витрат та витрат паливно-енергетичних ресурсів під час транспортування природного газу в умовах нестабільного завантаження ГТС із врахуванням реальних показників енергоефективності [1, 2, 3, 8];

- отримана залежність для визначення коефіцієнту стисливості природного газу на основі трьох фізико-хімічних показників, що дозволяє значно спростити математичну модель та водночас підвищити точність визначення обсягів витрат газу на виробничо-технологічні потреби [4];

- розроблена удосконалена методика для визначення запасу газу в трубі, яка дозволяє врахувати його реальні фізико-хімічні показники та з високою точністю прогнозувати необхідні режими роботи системи магістральних газопроводів із врахуванням нестабільного завантаження та вимог ресурсозбереження [7];

- запропоновано покращення керування витратами паливно-енергетичних ресурсів газотранспортним підприємством за рахунок ведення щодобового моніторингу за їх виникненням, а також на основі постійного порівняння з плановими показниками, які були визначені при моделюванні відповідного режиму роботи ГТС [5, 6].

Апробація результатів роботи. Основні положення і результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на міжнародних конференціях, зокрема: 1-шій науково-технічній конференції з міжнародною участю «Неруйнівний контроль в контексті асоційованого членства України в Європейському Союзі – NDT-UA 2017», 24-27 жовтня 2017 року, Люблін, Польща; Міжнародній науково-технічній конференції «Нафтогазова енергетика – 2017», ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ; XXII Міжнародній конференції «Сучасні методи та засоби неруйнівного контролю і технічної діагностики», 10-14 вересня 2018 р., м. Одеса; III Міжнародній науково-практичній конференції «Прикладні науково-технічні дослідження», 3-5 квітня 2019 р., м. Івано-Франківськ.

Публікації результатів досліджень. За темою дисертаційної роботи опубліковано 8 друкованих праць, серед них: 3 статті у наукових фахових виданнях України (із них 1 у виданні, що входить до наукометричної бази Scopus), 1 розділ у співавторстві в науковій монографії, виданій в Європейському Союзі; 4 – у збірниках праць та тезах міжнародних та вітчизняних конференцій.

Обсяг і структура дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Дисертація викладена на 165 сторінках. Окрім того, робота проілюстрована 19 рисунками, включає 30 таблиць, список використаних джерел зі 113 найменувань і 6 додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, наведено загальну характеристику роботи, сформульовано її мету й основні завдання досліджень. Викладено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів досліджень.

У **першому розділі** наведено загальну характеристику основного об'єкту дослідження – газотранспортної системи. Висвітлені основні проблеми її функціонування. Важливим моментом при цьому є нестабільне завантаження газотранспортної системи на сьогодні, що із врахуванням чинних норм для проведення значної кількості технологічних операцій призводить до понаднормових витрат природного газу в процесі експлуатації газопроводів.

Також у розділі проведено аналіз сучасних методів та засобів зниження споживання ПЕР у процесі експлуатування газопроводів. Розглянуто особливості структури витрат та втрат ПЕР під час транспортування природного газу. Проведено аналіз усіх статей витрат природного газу на виробничо-технологічні потреби та виокремлено найбільш затратні, які максимально впливають як на вартість транспортування газу, так і на роботу газотранспортної системи в цілому.

Розглянуто структуру та методики визначення обсягів витрат та втрат природного газу під час експлуатації магістральних газопроводів, компресорних станцій, газорозподільних станцій тощо. Розглянуто існуючі розрахунково-аналітичні, дослідно-експериментальні і звітно-статистичні методи оцінки втрат природного газу та залежність втрат газу від протяжності газопроводів, об'єму газу в трубах, кількості газорозподільчих (ГРС) та компресорних станцій (КС), що

пов'язано з кількістю арматури, свічних кранів, компресорів, контрольно-вимірювальних пристроїв і потенційно негерметичного обладнання.

Визначено, що заходи зниження споживання ПЕР у процесі експлуатування газопроводів розділяються на ті, які приводять до економії енергоресурсів, і ті, які приводять до запобігання перевитрати енергоресурсів. Тобто заходи, від впровадження яких значно збільшується ККД енергетичного обладнання, дають реальну економію природного газу або електроенергії, а заходи, від впровадження яких відновлюються техніко-економічні характеристики енергетичного обладнання до рівня паспортних або нормованих значень, є заходами з запобігання перевитрат газу або електроенергії і їх реальної економії не дають.

Удосконаленню методів та технологій забезпечення надійної роботи ГТС присвячено багато досліджень вітчизняних та зарубіжних вчених. Вагомий вклад в дослідження внесли такі вчені, як Крижанівський Є. І., Грудз В. Я., Середюк М. Д., Говдяк Р. М., Костів В. В., Nyborg R. та інші. Однак, існуючі на сьогодні методики щодо зменшення енергетичних витрат на виробничо-технологічні потреби вимагають удосконалення, оскільки не можуть повною мірою врахувати усі наявні реалії роботи ГТС. Також, у зв'язку із недосконалістю існуючих підходів та методик, є значні «розбаланси» газу в загальному паливно-енергетичному балансі системи. Це, крім нестабільного завантаження системи, також пов'язано із тим фактом, що значна частина витрат природного газу на виробничо-технічні потреби не оцінюється за допомогою системи обліку, а визначається виключно розрахунковим способом згідно з прийнятими методиками, які чинні на сьогодні.

Актуальним завданням є пошук нових та удосконалення існуючих підходів до прогнозування режимів роботи ГТС як в умовах номінального, так і в умовах нестабільного завантаження з урахуванням вимог ресурсозбереження за рахунок підвищення енергетичної ефективності системи в цілому.

На основі проведеного аналізу сформульовано основні напрямки наукових досліджень та завдання, які слід вирішити під час виконання дисертаційної роботи.

У другому розділі проведено теоретичні дослідження щодо удосконалення методів прогнозування режимів роботи ГТС із врахуванням показників її роботи. З цією метою спочатку проведено оцінку паливно-енергетичних балансів ГТС та проведено систематизацію усіх витрат паливно-енергетичних ресурсів за категоріями. На основі цього аналізу отримано результати щодо найбільш енергетично ємнісних процесів у структурі роботи ГТС, що дає можливість спрямувати основні зусилля щодо підвищення енергетичної ефективності саме цих складових. Визначені основні показники енергоефективності, які використовуються при аналізі ефективності використання ПЕР під час прогнозування та оцінки режимів роботи ГТС.

Здійснено розрахунок планового режиму роботи ГТС із визначенням показників енергоефективності технологічних об'єктів магістрального транспортування газу. Згідно з проведеним розрахунком встановлено, що значення цього показника перевищує встановлений норматив на 2016 рік більше, ніж на 20%, що, насамперед, пов'язано із значною недовантаженістю

газопроводів та, певною мірою, не вірно підібраним режимом роботи ГТС. Таке нестабільне завантаження системи спостерігається постійно впродовж останніх років, що свідчить про низьку ефективність застосування існуючих методик економії енергетичних ресурсів, які, в першу чергу, враховують номінальне завантаження системи.

Проведено аналіз реального режиму роботи та здійснено розрахунок і аналіз показників системної енергоефективності ГТС Долинського ЛВУМГ. Проведено визначення обсягів фактичної питомої витрати газу на ВТП ГТС (квартал, рік) і порівняння його з відповідними значеннями норми витрати газу на ВТП ГТС (таблиця 1).

Таблиця 1 – Показники енергоефективності ГТС Долинського ЛВУМГ

Показник	Розмірність	Формула, джерело інформації	Значення показника				
			I кв.	II кв.	III кв.	IV кв.	За 2016 рік
ТТР ГТС	млрд.м ³ ·км	Звітні дані	320,9745	585,3414	184,7578	73,581	1164,6547
Обсяг газу, що витрачається на ВТП ГТС	тис.м ³	Звітні дані	10470,4	9967,4	2607,8	513,3	23558,9
Питома витрата газу на ВТП ГТС	м ³ /(млн.м ³ ·к м)	Формула	32,621	17,028	14,115	6,976	20,228
Питома норма витрати газу на ВТП ГТС	м ³ /(млн.м ³ ·к м)	Звітні дані	16,754	16,754	16,754	16,754	16,754

Як видно з таблиці 1, питома витрата газу на ВТП ГТС за 2016 рік значно перевищує питому норму витрати газу. Щоправда, слід звернути увагу на залежність величини цієї витрати від режиму роботи Долинського ЛВУМГ. Однак, наявність такого перевищення свідчить про можливість пошуку шляхів щодо підвищення енергоефективності систем в цілому.

Насамперед, потрібно звернути увагу на нестабільне завантаження окремих компресорних цехів (КЦ) КС «Долина» (графіки режимів роботи КЦ- 2 та КЦ-3 на КС «Долина» за 7 місяців наведені, відповідно, на рисунках 1 та 2). Як видно з наведених графіків, в окремі місяці КЦ-2 та КЦ-3 працювали почергово, а в певні дні деяких місяців їх робота була повністю зупинена. Тільки в незначний період на початку року відбувалась одночасна робота КЦ-2 та КЦ-3, однак навіть при цьому більша частина ГПА незадіяні в роботі. Подібне нестабільне завантаження є характерним для всієї ГТС, що є важливою особливістю і потребує детального дослідження та оцінки можливостей підвищення ефективності експлуатації системи в таких умовах.

Якщо звернути увагу на невідповідність нормативним значенням системних та локальних показників енергоефективності за кожним із КЦ КС «Долина», то можна прослідкувати недостатню економічність проведення певних технологічних операцій.

Насамперед, слід звернути увагу на перевитрату паливного газу на КС, що свідчить про неоптимальний режим роботи як нагнітачів окремих КЦ, так і

системи загалом. Враховуючи незначну завантаженість системи протягом року слід провести роботи щодо підвищення ККД процесу стискання газу. Це можна зробити на основі зміни кількості працюючих ГПА в цеху, зміни продуктивності сусіднього цеху (враховуючи, що нитки об'єднані).

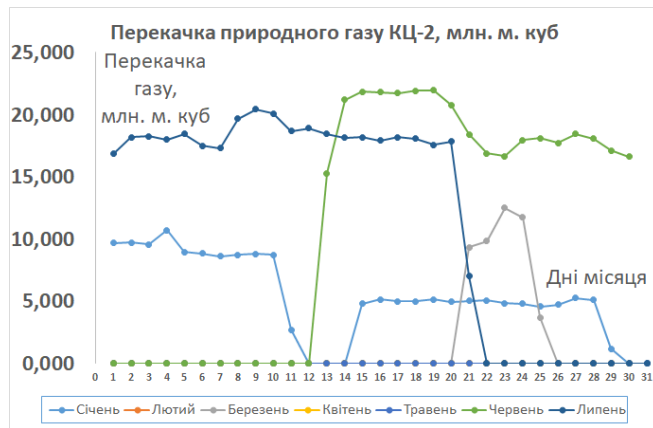


Рисунок 1 – Графіки режиму роботи КЦ-2 на КС «Долина»

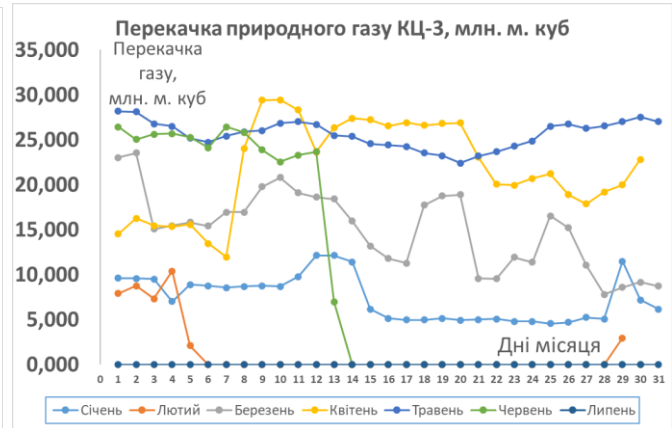


Рисунок 2 – Графіки режиму роботи КЦ-3 на КС «Долина»

Слід також звернути увагу на те, що відповідно до положень СОУ 60.3-30019801-100:2012 (п.6.9.1 СОУ) «Обсяги витрат газу (на пуски і зупинки ГПА, експлуатацію і технічне обслуговування апаратів)» для КЦ за плановий або звітний період визначаються за формулою, в яку входить значення номінальної потужності ГПА, що із врахуванням незначної завантаженості системи суттєво впливає на реальні значення витрат на ВТП. Тому слід узгоджувати проведення технологічних робіт відповідно до існуючого завантаження системи в цілому.

У третьому розділі проведено аналітичні дослідження впливу параметрів природного газу на визначення обсягів енергоспоживання технологічних об'єктів транспорту газу. Встановлено, що значний вплив на величину, отриману під час визначення обсягів витрати природного газу, мають значення параметрів природного газу. До них відносимо такі параметри: густина природного газу, тиск, температура, коефіцієнт стисливості природного газу тощо.

Точність визначення коефіцієнту стисливості напряму впливає на вибір режимів роботи магістральних газопроводів як для визначення обсягів витрат природного газу на виробничо-технологічні потреби, так і для визначення обсягів запасу газу в трубі.

З метою спрощення та підвищення точності як при плануванні режимів роботи МГ, так і під час визначення витрат газу на ВТВ, запропоновано використати удосконалену аналітичну залежність визначення коефіцієнту стисливості природного газу, яка використовує тільки три фізико-хімічні показники природного газу та володіє точністю визначення 1.9%.

Для проведення аналізу застосування удосконаленої методики визначення коефіцієнту стисливості природного газу, який застосовується при теплотехнічних розрахунках, використано протоколи фізико-хімічних показників природного газу, які розміщені у вільному доступі. Було створено базу з більше, ніж 700 наборів даних різних сумішей природного газу (діапазон значення нижчої

теплоти згоряння від 7776 до 8880 ккал/м³) з даними про їх хімічний склад, фізичні параметри, вищої/нижчої теплоти згоряння та вищого/нижчого значення числа Воббе.

Розроблена удосконалена методика визначення коефіцієнту стисливості природного газу, на відміну від чинної на даний час методики ISO 20765-1:2005 (рівняння AGA8), ISO 5168:2005), яка потребує застосування складних обчислень для визначення коефіцієнтів стану, а також наявності результатів аналізу повного компонентного складу (14 параметрів та більше), є простішою в користуванні. Також, на відміну від чинної методики визначення коефіцієнту стисливості природного газу, запропонована методика не потребує аналізу складових компонентів природного газу для вибору тих чи інших коефіцієнтів, значення яких потрібно вибрати з таблиць відповідно до величини часток окремих компонентів природного газу, згідно з фізико-хімічними показниками природного газу.

Для визначення коефіцієнту стисливості природного газу за допомогою розробленої удосконаленої методики достатньо використати тільки три фізико-хімічні показники, такі як нижча теплота згоряння, вище число Воббе та молярний вміст CO₂, що значно спрощує визначення обсягів витрат природного газу.

Розроблена удосконалена методика визначення коефіцієнта стисливості природного газу у порівнянні з використовуваною сьогодні методикою за ISO 20765-1:2005 (рівняння AGA8), ISO 5168:2005) характеризується похибкою не більше 2% у разі зміни компонентного складу природного газу, що відповідає діапазону значення нижчої теплоти згоряння від 7776 ккал/м³ до 8880 ккал/м³. Проте, при проведенні теплотехнічних розрахунків та визначенні витрат природного газу на підприємствах нафтогазового комплексу України (згідно з СОУ 60.3-30019801-100:2012) користуються спрощеною методикою визначення коефіцієнту стисливості природного газу, відповідно до ISO 20765-1:2005.

Згідно з вимогами згаданої методики є два варіанти визначення коефіцієнта стисливості природного газу, кожен з яких використовує тільки один фізико-хімічний показник природного газу: в одному випадку – це густина природного газу, в іншому – значення молярного вмісту діоксиду вуглецю (CO₂).

Отже, на основі аналізу протоколів фізико-хімічних показників природного газу та бази з більш ніж 700 наборів даних різних сумішей природного газу, шляхом проведення регресійного аналізу залежностей між досліджуваними фізико-хімічними властивостями природного газу (теплота згоряння нижча, число Воббе вище та вміст діоксиду вуглецю в пробі природного газу) та коефіцієнтом стисливості природного газу з використанням методу найменших квадратів, було отримано таке рівняння (регресійний аналіз проведено в середовищі Matlab).

$$K = \left(1,0907 - \frac{P}{46} \right) \cdot \left(1,002 - \frac{1,974 \cdot 10^{11} \cdot Q_H^{8,1}}{T^{3,3} \cdot W_B^9} + 5 \cdot 10^{-4} \cdot (20 - x_{CO_2})^{1,2} - 1,332 \cdot 10^{-9} \cdot Q_H^2 \right) \quad (1)$$

де K – коефіцієнт стисливості природного газу;

P – середній тиск газу на ділянці, МПа;

x_{CO_2} – відсотковий молярний вміст діоксиду вуглецю в пробі природного газу;

Q_H – теплота згоряння нижча, ккал/м³;

W_B – число Воббе вище, ккал/м³;

T – температура газу за стандартних умов, 20 °С (293,15°К).

Проведені дослідження та визначення коефіцієнту стисливості природного газу за допомогою методики, яка наведена в СОУ 60.3-30019801-100:2012 та методики в ISO 20765-1:2005 (ISO 5168:2005) виявили, що похибка методики, яка наведена в СОУ у порівнянні з методикою згідно з ISO, при використанні рівняння, яке використовує тільки густину природного газу, складає майже 47%, а при використанні рівняння, в якому використовується тільки значення молярного вмісту діоксиду вуглецю складає більше 118% (таблиця 2).

Таблиця 2 – Результати визначення коефіцієнту стисливості природного газу за різними методиками

Теплота згоряння нижча, ккал/м ³	Коеф стисливості ISO 20765-1:2005	Коеф стисливості NEW	Коеф стисливості СОУ 60.3-100		РІЗНИЦЯ = (Коеф стисливості NEW)	РІЗНИЦЯ = (Коеф стисливості Г.2 СОУ 60.3-100)	РІЗНИЦЯ = (Коеф стисливості Г.1 СОУ 60.3-100)	Теплота згоряння нижча, ккал/м ³
			Г.2	Г.1				
8 880	0,8779	0,8779	0,8949	0,8883	0,0000	-0,0170	-0,0104	8 880
8 869	0,8921	0,8914	0,9047	0,9217	0,0007	-0,0126	-0,0296	8 869
8 843	0,8929	0,8922	0,9050	0,9216	0,0007	-0,0121	-0,0287	8 843
8 821	0,8950	0,8951	0,9074	0,9261	-0,0001	-0,0124	-0,0311	8 821
8 766	0,8779	0,8775	0,8930	0,8833	0,0004	-0,0151	-0,0054	8 766
8 720	0,8820	0,8818	0,8957	0,8855	0,0002	-0,0137	-0,0035	8 720
8 704	0,8956	0,8951	0,9060	0,9132	0,0005	-0,0104	-0,0176	8 704
8 663	0,8998	0,8998	0,9092	0,9253	0,0000	-0,0094	-0,0255	8 663
8 601	0,9009	0,9011	0,9097	0,9208	-0,0002	-0,0088	-0,0199	8 601
8 570	0,9030	0,9026	0,9105	0,9229	0,0004	-0,0075	-0,0199	8 570
8 532	0,8932	0,8934	0,9021	0,8961	-0,0002	-0,0089	-0,0029	8 532
8 508	0,8988	0,8985	0,9061	0,9058	0,0003	-0,0073	-0,0070	8 508
8 470	0,8974	0,8975	0,9053	0,8946	-0,0001	-0,0079	0,0028	8 470
8 469	0,8914	0,8909	0,8992	0,8876	0,0005	-0,0078	0,0038	8 469
8 402	0,9068	0,9066	0,9115	0,9214	0,0002	-0,0047	-0,0146	8 402
8 357	0,9066	0,9066	0,9114	0,9122	0,0000	-0,0048	-0,0056	8 357
8 321	0,9105	0,9104	0,9140	0,9239	0,0001	-0,0035	-0,0134	8 321
8 300	0,9123	0,9119	0,9156	0,9243	0,0004	-0,0033	-0,0120	8 300
8 295	0,9060	0,9054	0,9093	0,9033	0,0006	-0,0033	0,0027	8 295
8 245	0,9143	0,9139	0,9168	0,9247	0,0004	-0,0025	-0,0104	8 245
8 200	0,9153	0,9150	0,9172	0,9240	0,0003	-0,0019	-0,0087	8 200
8 185	0,9062	0,9063	0,9085	0,8994	-0,0001	-0,0023	0,0068	8 185
8 181	0,9128	0,9125	0,9128	0,9260	0,0003	0,0000	-0,0132	8 181
8 139	0,9172	0,9169	0,9181	0,9242	0,0003	-0,0009	-0,0070	8 139
8 099	0,9162	0,9161	0,9159	0,9236	0,0001	0,0003	-0,0074	8 099
8 059	0,9029	0,9029	0,9044	0,8774	0,0000	-0,0015	0,0255	8 059
8 000	0,9221	0,9217	0,9211	0,9262	0,0004	0,0010	-0,0041	8 000
7 932	0,9106	0,9099	0,9068	0,9011	0,0007	0,0038	0,0095	7 932
7 776	0,9258	0,9256	0,9203	0,9262	0,0002	0,0055	-0,0004	7 776
min	0,8779	0,8775	0,8930	0,8774	-0,0002	-0,0170	-0,0311	min
max	0,9258	0,9256	0,9211	0,9262	0,0007	0,0055	0,0255	max
delta	0,0479	0,0481	0,0281	0,0488	0,0008	0,0225	0,0566	delta
Похибка, %					1,8	46,9	118,2	

Графіки залежності зміни коефіцієнта стисливості природного газу від теплоти згоряння, отримані згідно різних методик, наведені на рисунку 3.

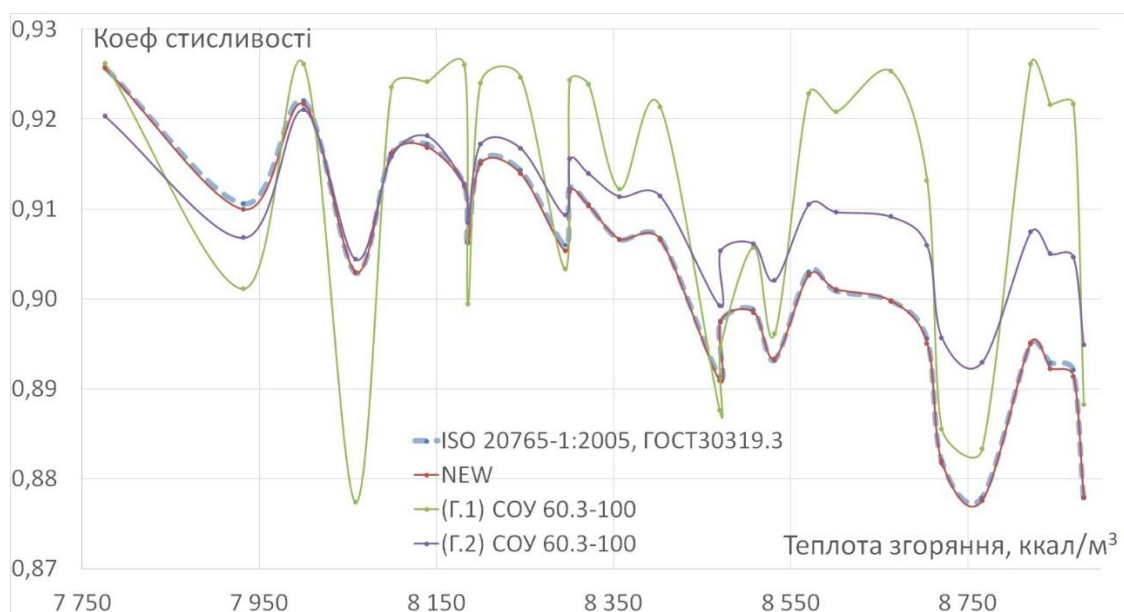


Рисунок 3 – Результати отриманих згідно різних методик залежностей зміни коефіцієнта стисливості природного газу від теплоти згоряння

Далі проведені дослідження та визначення впливу застосування удосконаленої методики визначення коефіцієнту стисливості природного газу при плануванні режимів роботи ГТС. Для проведення досліджень та обчислень обрано показник запасу газу в трубопроводі, який є одним з основних в ГТС та напряму впливає на режим роботи магістрального газопроводу, а також показник обсягів витрат газу для проведення вогневої роботи на ділянці магістрального газопроводу, які розраховувались за допомогою різних підходів визначення коефіцієнту стисливості газу (використано формули ISO 20765-1:2005, COY 60.3-30019801-100:2012, НДТОВ 07-003:2019). Додатково, слід звернути увагу, що використання вказаного підходу справедливе та може бути застосоване до усіх обчислень, в яких використовують коефіцієнт стисливості газу.

Враховуючи, що дані визначення обсягів запасу газу та його зміни використовуються для забезпечення технологічного режиму роботи обладнання і точністю можна нехтувати, фактично при плануванні режимів роботи ГТС коефіцієнт стисливості визначається за спрощеною методикою. Ця методика використовує тільки один фізико-хімічний показник природного газу – густину.

З метою покращення якості та точності вибору режимів роботи ГТС в цілому та обсягів запасу газу зокрема, використовуємо удосконалену методику визначення коефіцієнту стисливості природного газу згідно з формулою (1).

Для визначення впливу коефіцієнту стисливості на вибір режимів роботи ГТС, проведено визначення обсягу запасу газу в трубі з урахуванням трьох формульних підходів, а саме методики ISO 20765-1:2005, чинної методики розрахунку (Методика визначення запасів природного газу, що знаходяться в магістральному газопроводі під час його експлуатування) та запропонованої удосконаленої методики.

Точне визначення обсягу запасу газу в трубі дозволяє максимально коректно обрати режим роботи магістрального газопроводу, що, в свою чергу, дозволяє найбільш точно підібрати необхідну кількість задіяних ГПА, а також

визначити оперативний ресурс газу, який доступний в тій чи іншій ділянці МГ ГТС, що значно підвищує показники надійності при плануванні режиму. Розрахунок запасу природного газу проведено для магістрального газопроводу ДУД-2 (Долина-Ужгород-Держжордон) між КС Долина та КС Росош, довжиною 102900 м. Отримані результати представлені в таблиці 3 та на графіках на рисунку 4.

Таблиця 3 – Результати визначення обсягів запасу природного газу для газопроводу ДУД-2

Теплота згоряння нижча, ккал/м ³	Коеф стисливості ISO 20765-1:2005	Коеф стисливості NEW	Коеф стисливості МЕТОДИКА Наказ Міненергетики №203	РІЗНИЦЯ = (Коеф стисливості ISO 20765-1:2005) - (NEW)	РІЗНИЦЯ = (Коеф стисливості ISO 20765-1:2005) - (Г.І СОУ 60.3-100)	Теплота згоряння нижча, ккал/м ³	Розрахунок запасу природного газу на ділянці газопроводу ДУД-2 (КС "Долина" - КС "Росош")				
							ISO 20765- 1:2005 тис. н. м ³	NEW тис. н. м ³	МЕТОДИКА Наказ Міненер- гетики №203 тис. н. м ³	РІЗНИЦЯ = (К ISO 20765- 1:2005) - (NEW) тис. м ³	РІЗНИЦЯ = (К, ISO 20765-1:2005) - (К, МЕТОДИКА Наказ Міненергетики №203)
8 880	0,8779	0,8779	0,9859	0,0000	-0,1080	8 880	762,25	762,24	678,77	0,02	83,48
8 869	0,8921	0,8914	0,9879	0,0007	-0,0965	8 869	750,12	750,70	677,36	-0,58	72,76
8 843	0,8929	0,8922	0,9880	0,0007	-0,0957	8 843	749,45	750,00	677,32	-0,55	72,13
8 821	0,8950	0,8951	0,9885	-0,0001	-0,0934	8 821	747,69	747,60	676,99	0,09	70,70
8 766	0,8779	0,8775	0,9855	0,0004	-0,1079	8 766	762,25	762,56	679,06	-0,31	83,19
8 720	0,8820	0,8818	0,9860	0,0002	-0,1043	8 720	758,71	758,91	678,66	-0,19	80,05
8 704	0,8956	0,8951	0,9882	0,0005	-0,0931	8 704	747,19	747,63	677,19	-0,44	70,00
8 663	0,8998	0,8998	0,9888	0,0000	-0,0890	8 663	743,70	743,74	676,76	-0,03	66,94
8 601	0,9009	0,9011	0,9889	-0,0002	-0,0879	8 601	742,79	742,67	676,69	0,12	66,11
8 570	0,9030	0,9026	0,9891	0,0004	-0,0865	8 570	741,07	741,39	676,58	-0,33	64,48
8 532	0,8932	0,8934	0,9874	-0,0002	-0,0940	8 532	749,20	749,07	677,73	0,13	71,47
8 508	0,8988	0,8985	0,9882	0,0003	-0,0897	8 508	744,53	744,76	677,16	-0,23	67,37
8 470	0,8974	0,8975	0,9881	-0,0001	-0,0905	8 470	745,69	745,57	677,28	0,12	68,42
8 469	0,8914	0,8909	0,9868	0,0005	-0,0959	8 469	750,71	751,14	678,13	-0,43	72,58
8 402	0,9068	0,9066	0,9893	0,0002	-0,0826	8 402	737,96	738,12	676,46	-0,16	61,51
8 357	0,9066	0,9066	0,9892	0,0000	-0,0826	8 357	738,12	738,11	676,47	0,01	61,66
8 321	0,9105	0,9104	0,9897	0,0001	-0,0794	8 321	734,96	735,07	676,13	-0,11	58,83
8 300	0,9123	0,9119	0,9900	0,0004	-0,0781	8 300	733,51	733,80	675,93	-0,28	57,58
8 295	0,9060	0,9054	0,9888	0,0006	-0,0835	8 295	738,61	739,14	676,74	-0,52	61,88
8 245	0,9143	0,9139	0,9902	0,0004	-0,0763	8 245	731,91	732,22	675,78	-0,31	56,12
8 200	0,9153	0,9150	0,9903	0,0003	-0,0753	8 200	731,11	731,31	675,73	-0,21	55,38
8 185	0,9062	0,9063	0,9887	-0,0001	-0,0823	8 185	738,45	738,34	676,85	0,11	61,60
8 181	0,9128	0,9125	0,9895	0,0003	-0,0770	8 181	733,11	733,34	676,29	-0,22	56,82
8 139	0,9172	0,9169	0,9905	0,0003	-0,0736	8 139	729,59	729,85	675,62	-0,26	53,98
8 099	0,9162	0,9161	0,9901	0,0001	-0,0739	8 099	730,39	730,44	675,90	-0,05	54,49
8 059	0,9029	0,9029	0,9879	0,0000	-0,0849	8 059	741,15	741,11	677,40	0,04	63,74
8 000	0,9221	0,9217	0,9910	0,0004	-0,0693	8 000	725,72	726,06	675,26	-0,34	50,45
7 932	0,9106	0,9099	0,9883	0,0007	-0,0784	7 932	734,88	735,42	677,07	-0,54	57,81
7 776	0,9258	0,9256	0,9909	0,0002	-0,0652	7 776	722,82	722,95	675,35	-0,13	47,47
min	0,8779	0,8775	0,9855	-0,0002	-0,1080	min	722,82	722,95	675,26	-0,58	47,47
max	0,9258	0,9256	0,9910	0,0007	-0,0652	max	762,25	762,56	679,06	0,13	83,48
delta	0,0479	0,0481	0,0055	0,0008	0,0427	delta	39,44	39,61	3,80	0,71	36,02
Похибка, %				1,8	88,8						%

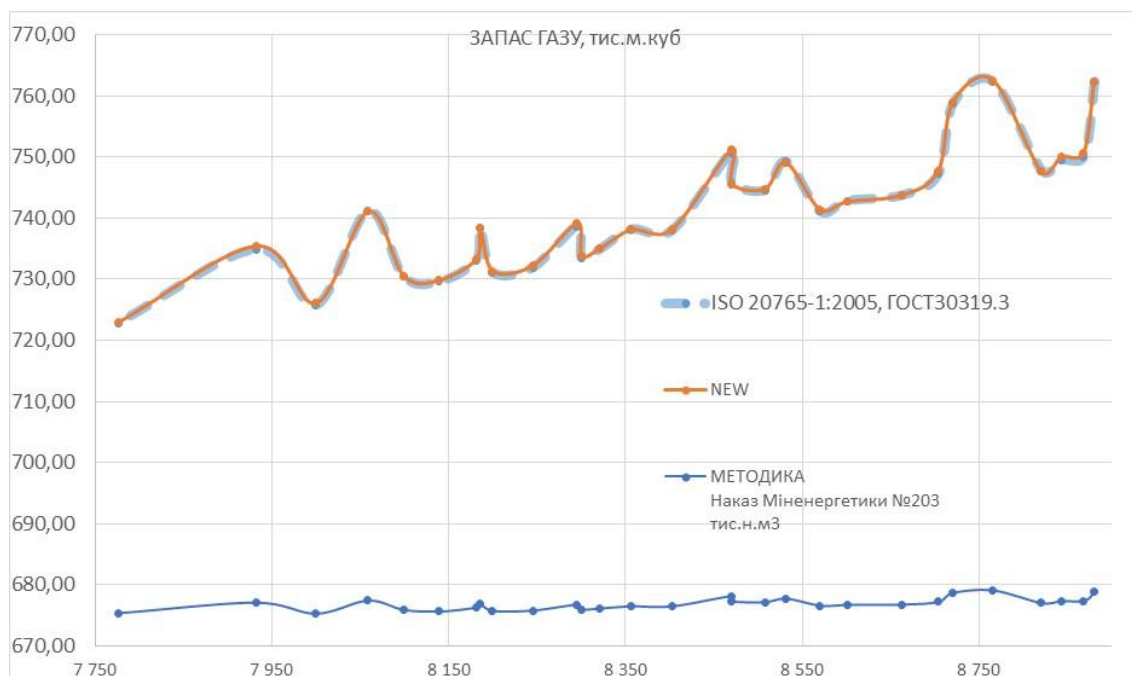


Рисунок 4 – Залежності зміни визначення обсягів запасу природного газу в трубі на основі різних методик

Як бачимо з наведених результатів, у разі неврахування реальних значень якісних параметрів природного газу (теплоту згоряння нижчу, число Воббе вище та вміст діоксиду вуглецю в пробі природного газу), з великою імовірністю обсяги запасу газу в трубі визначаються із значною похибкою (понад 10%) залежно від калорійності газу. Ця похибка не дозволяє точно прогнозувати режими роботи ГТС, оскільки показник обсягу запасу газу в трубі для конкретно досліджуваної ділянки має високу нестабільність (волатильність).

Тобто, визначений обсяг запасу газу в трубі для МГ, проведений без врахування якісних показників природного газу, призводить до значного відхилення отриманих значень, а також сприяє росту зони невизначеності, що, в свою чергу, сприяє розбалансуванню газу.

Також проведено визначення обсягу виробничо-технологічних витрат природного газу на проведення планових вогневих та газонебезпечних робіт. Для прикладу, проведено розрахунок обсягів витрат газу для проведення вогневої роботи на ділянці магістрального газопроводу „Союз” довжиною 41900 м з метою ремонту байпасного крану №520А шляхом приварювання напівмуфт.

Проведено три порівняльні визначення обсягів витрат газу на проведення ремонтних робіт за допомогою формули згідно з СОУ 60.3-30019801-100:2012, НДТОВ 07-003:2019. Коефіцієнт стисливості природного газу визначатимемо в першому і другому випадках за СОУ 60.3-30019801-100:2012 та методикою ISO 20765-1:2005 (ISO 5168:2005), а в третьому випадку із застосуванням удосконаленої методики згідно (1). Результати визначення обсягів витрат газу на проведення вогневих робіт наведені на рисунках 5 та 6.

Як бачимо з наведених результатів, найменша різниця (похибка) обсягу газу, необхідного для проведення вогневої роботи на ділянці МГ, отримана відповідно до запропонованої методики визначення коефіцієнту стисливості газу.

Всебічний та повний перерахунок обсягів витрат природного газу із застосуванням залежності (1), дає можливість не лише підвищити точність, але й суттєво зменшити показники використання газу. Це дозволяє підвищити енергоефективність роботи ГТС в цілому.

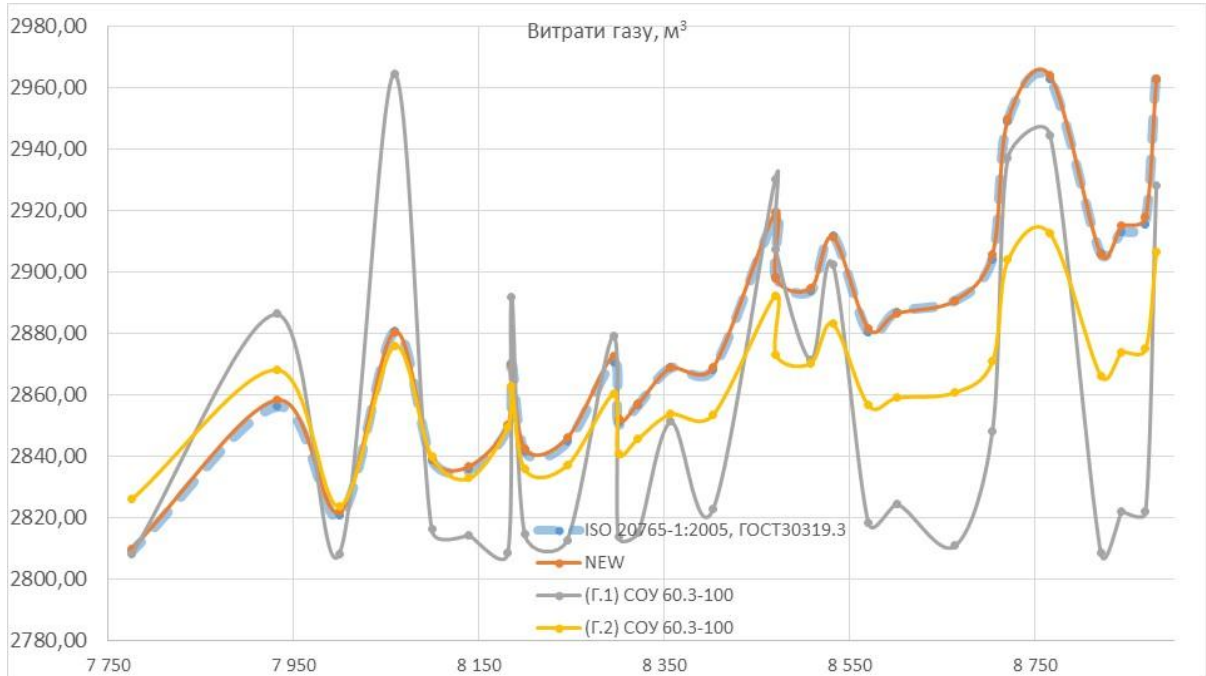


Рисунок 5 – Залежності зміни витрат природного газу на проведення вогневої роботи, отримані на основі використання різних методик

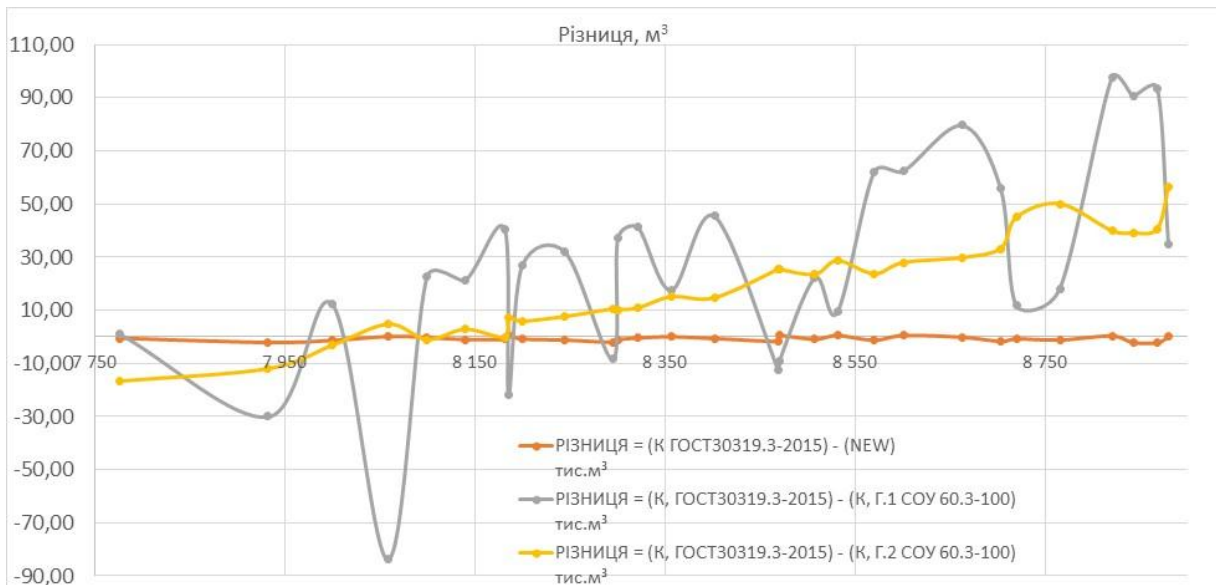


Рисунок 6 – Результати визначення різниць розрахунку за різними методами витрат природного газу при проведенні вогневої роботи

У четвертому розділі проведено дослідження щодо експериментальної перевірки розроблених методів зниження питомого споживання ПЕР у процесі експлуатування газопроводів. З метою зменшення вартості транспортування та підвищення надійності роботи ГТС необхідне впровадження системи моніторингу енергетичної ефективності.

Об'єктами дослідження були системи вироблення, перетворення, транспортування, зберігання, споживання, моніторингу ефективності використання енергоносіїв в газотранспортній галузі.

У результаті виконання роботи проведено розрахунок, аналіз та дослідження показників системної та локальної енергетичної ефективності об'єктів Долинського ЛВУМГ. Здійснено аналіз причин невідповідності фактичних і нормативних значень показників енергоефективності та оцінено відмінності між реальними та нормативними значеннями показників, на основі чого зроблено висновок про наявність значного потенціалу енергозбереження на основному та допоміжному виробництві з можливістю економії ПЕР.

Для вирішення вказаних завдань виконано:

- складання карти використання об'єктом паливно-енергетичних ресурсів;
- розробку організаційних і технічних заходів для зниження втрат енергії;
- визначення потенціалу енергозбереження;
- фінансову оцінку енергозберігаючих заходів.

З результатів проведення вказаних вище робіт отримано, що термін окупності при впровадженні запропонованих енергозберігаючих заходів може варіюватися від одного місяця до 28 років. Тому тільки подальший системний підхід визначення та аналізу показників енергоефективності ГТС дає змогу обрати максимально ефективні шляхи модернізації роботи ГТС, враховуючи її особливості.

Таким чином, на основі визначених причин невідповідності фактичних і нормативних значень показників енергоефективності розроблено організаційно-технічні заходи щодо підвищення ефективності використання ПЕР, а також визначено перелік робіт, необхідних для реалізації конкретних енергозберігаючих заходів. Проведено оцінку факторів, що впливають на економічну ефективність заходів, а також оцінено економічні складові таких заходів та проведено їх ранжування за енергетичною ефективністю.

Також у розділі проведено комплексне дослідження методичного, інформаційного та нормативного забезпечення реалізації запропонованих методів експлуатації газопроводів.

Досліджено існуючу систему збирання і використання інформації про витрати природного газу на базі програмного комплексу «EXPERT», яка забезпечує: внесення і передачу інформації про витрати газу на рівні виробничого підрозділу (ЛВУМГ), УМГ та апарату управління; накопичення бази даних; формування звітних форм; планування витрат тощо.

Програмний комплекс «EXPERT» розроблений понад 20 років тому для операційної системи MS-DOS, доповнювався різними функціональними блоками, частково оновлювався та перелаштовувався під операційну систему Windows. Оскільки програмне середовище, в якому створена програма, морально застаріле,

досить часто виникає потреба в технічній підтримці та супроводженні програми. Також виникають проблеми налаштування комп'ютерів під програмний комплекс «EXPERT», а також коригування звітних форм внаслідок структурних змін на підприємстві та перерозподілу об'єктів.

Зважаючи на наведені вище обставини, а також задля покращення оперативності та ефективності ведення обліку та моніторингу витрат природного газу за виробничими статтями, є необхідність у створенні нової автоматизованої системи збирання інформації. Нова система дозволить зокрема оперативніше пристосовуватись до структурних змін, за рахунок модернізації алгоритму визначення показників точніше планувати витрати газу для різних режимів роботи ГТС, а також у режимі онлайн (за попередню добу) отримувати показники використання природного газу в розрізі структурних підрозділів та статей витрат.

Оскільки в Оператора ГТС вже функціонує система SAP, яка має всі можливості для підтримання відповідних баз даних, то доцільно впровадити саме в ній систему збирання інформації про планування та витрати газу. Щодобовий моніторинг за виникненням витрат паливно-енергетичних ресурсів в газотранспортному підприємстві і порівняння з плановими показниками, які змодельовані для різних режимів роботи ГТС автоматично зможуть використовувати всі зацікавлені підрозділи Товариства в оперативному режимі.

Таким чином, впровадження системи «Обліку витрати газу» на базі системи SAP дозволить відповідальному підрозділу Оператора ГТС: оперативно реагувати на структурні зміни виробництва, отримувати в режимі онлайн показники використання природного газу в розрізі структурних підрозділів та виробничих статей витрат, відслідковувати місця можливих перевитрат енергоресурсу, точніше планувати витрати газу для різних режимів роботи ГТС, автоматично формувати необхідні форми звітності, графічні матеріали із сформованої бази даних, що призведе до удосконалення та підвищення рівня експлуатації газопроводів.

ВИСНОВКИ

На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень вирішена актуальна науково-прикладна задача, яка полягає в удосконаленні методів прогнозування режимів роботи газотранспортної системи в умовах нестабільного завантаження шляхом встановлення закономірностей впливу фізико-хімічних показників транспортованого природного газу на енергоефективність її роботи.

1. Проведено аналіз сучасних методів, засобів і технологій забезпечення ефективного функціонування газотранспортної системи. Проаналізовано чинні методики оцінки споживання паливно-енергетичних ресурсів у процесі експлуатування газопроводів, а також розглянуто особливості структури витрат та витрат паливно-енергетичних ресурсів під час транспортування природного газу. Встановлено, що існуючі на сьогодні методики щодо зменшення енергетичних витрат на виробничо-технологічні потреби вимагають удосконалення, оскільки не

можуть повною мірою врахувати усі наявні реалії роботи газотранспортної системи в умовах її нестабільного завантаження.

2. Проведено теоретичні дослідження щодо удосконалення методів експлуатації газопроводів із врахуванням нестабільності завантаження газотранспортної системи, а також вимог ресурсозбереження. На основі проведених досліджень отримана залежність для визначення коефіцієнту стисливості природного газу від його фізико-хімічних показників, що дало можливість спростити математичну модель та водночас підвищити точність визначення витрат газу на виробничо-технічні потреби. На основі запропонованої моделі здійснено вибір планового режиму роботи газотранспортної системи із визначенням показників енергоефективності технологічних об'єктів магістрального транспортування газу та встановлено перевищення встановленого нормативу даного показника на 2016 рік на 20 %, що пов'язано з нестабільним завантаженням та не точно підібраним режимом роботи газотранспортної системи.

3. З метою перевірки запропонованого методу зниження питомого споживання паливно-енергетичних ресурсів у процесі експлуатування газопроводів проведено визначення об'єму запасу природного газу в трубах на основі показників енергоефективності роботи газотранспортної системи з врахуванням реальних витрат та втрат паливно-енергетичних ресурсів при транспортуванні природного газу, що дозволяє підвищити точність прогнозування режимів її роботи. Встановлено точність даної методики на рівні 1,9 %. Використання даного методу дозволить здійснити перерахунок усіх технологічних операцій пов'язаних з використанням природного газу, які отримані аналітичним способом.

4. Запропоновано керування витратами паливно-енергетичних ресурсів газотранспортним підприємством за рахунок впровадження системи «Обліку витрати газу» на базі системи SAP для забезпечення ведення щодобового моніторингу за їх виникненням та обрахунками, а також постійне порівняння з плановими показниками, які були отримані при моделюванні відповідного режиму роботи ГТС. Вказана система дозволить оперативно реагувати на структурні зміни виробництва, отримувати в режимі онлайн показники використання природного газу в розрізі структурних підрозділів та виробничих статей витрат, відслідковувати місця можливих перевитрат енергоресурсу, якісно планувати витрати газу для різних режимів роботи ГТС, автоматично формувати необхідні форми звітності, графічні матеріали із сформованої бази даних тощо.

Результати досліджень, викладені у дисертаційній роботі, можуть бути використані в газотранспортній системі з метою удосконалення прогнозування режимів роботи газопроводів та оптимізації витрат природного газу під час його транспортування та розробки відповідних нормативних документів.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Rybitskyi I. V., Oliynyk A. P., Yavorskyi A. V., Karpash O.M., Karpash M. O., Tsykh V. S., Slobodyan M. B. Impact Assessment of Non-

Technological Fluid Accumulations in the Cavity of an Existing Gas Pipeline on the Energy Efficiency of Its Operation. *PHYSICS AND CHEMISTRY OF SOLID STATE*. V. 20, № 4 (2019) p. 457-466. ISSN 1729-4428. DOI: 10.15330/pcss.20.4.457-466. <http://journals.pu.if.ua/index.php/pcss/issue/view/233>. (**Scopus**).

2. Карпаш М. О., Слободян М. Б., Прищепо І. О. Проблемні питання оцінки ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів на об'єктах ГТС. *Нафтогазова енергетика*. 1 (27), 2017. С. 56-64. ISSN 2415-3109. (**наукове фахове видання України**).

3. Карпаш М. О., Слободян М. Б., Рибіцький І. В. Аналіз організаційних заходів щодо підвищення енергоефективності на об'єктах газотранспортної системи України. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2017. №4(65). С. 111-115. ISSN 2415 – 332X. (**наукове фахове видання України**).

4. Rybitsky I., Slobodyan M., Kogut G., Popovych V., Karpash M. Analysis of measures to enhance energy efficiency and sustainable development of the gas transmission system of Ukraine. *New Trends in Production Engineering*. Monograph, Part 2. Warsawa. 2019. p.76-84. ISBN 978-973-741-645-2. URL: <https://doi.org/10.2478/ntpe-2019-0046>. <https://content.sciendo.com/view/journals/ntpe/2/1/article-p-432.xml?lang=en&result=4&rskey=FdnWpB>.

5. Слободян М. Б., Карпаш М. О., Рибіцький І. В. Розроблення технічних рішень для забезпечення технологічної та екологічної безпеки на газовому транспорті. Збірник доповідей 1-шої науково-технічної конференції з міжнародною участю «*Неруйнівний контроль в контексті асоційованого членства України в Європейському Союзі – NDT-UA 2017*». 24–27 жовтня 2017 року. Люблін, Польща: УТ НКТД, 2017. С. 81-84.

6. Слободян М. Б. Комплексний підхід до забезпечення енергоефективності газотранспортних підприємств. Міжнародна науково-технічна конференція «*Нафтогазова енергетика – 2017*». ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ, Україна. С. 275-277.

7. Рибіцький І. В., Карпаш О. М., Слободян М. Б. Технічне діагностування трубопровідних систем з врахуванням критеріїв їх енергоефективності. Матеріали XXII Міжнародної конференції «*Сучасні методи та засоби неруйнівного контролю і технічної діагностики*». 10-14 вересня 2018р., м. Одеса. С. 15.

8. Рибіцький І. В., Слободян М. Б., Дослідження комплексу заходів підвищення енергоефективності на об'єктах газотранспортної системи України. *Прикладні науково-технічні дослідження: матеріали III міжнар. наук.-практ. конф.*, 3-5 квіт. 2019 р. Академія технічних наук України. Івано-Франківськ : Симфонія форте, 2019. С. 242. ISBN 978-966-286-154-9.

АНОТАЦІЯ

Слободян М. Б. – Удосконалення методів прогнозування режимів роботи газопроводів на засадах ресурсозбереження. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.13 – трубопровідний транспорт, нафтогазосховища. – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, МОН України, Івано-Франківськ, 2020.

Дисертація присвячена розробленню сучасних підходів до прогнозування режимів роботи газопроводів в умовах як номінального, так і нестабільного завантаження газотранспортної системи нашої держави, що включає детальний аналіз роботи ГТС в цілому та пошук найбільш ефективних шляхів підвищення її енергоефективності та надійності експлуатації.

Основна ідея роботи полягає у встановленні закономірностей впливу фізико-механічних характеристик природного газу на характер протікання технологічних процесів в газових мережах та, відповідно, на визначення показників енергоефективності газотранспортної системи в цілому.

Ключові слова: газотранспортна система, газопровід, методика, контроль, режим роботи, фізико-хімічні показники, паливно-енергетичні ресурси, ефективність, точність.

АННОТАЦИЯ

Слободян М. Б. – Совершенствование методов прогнозирования режимов работы газопроводов на основе ресурсосбережения. – Квалификационный научный труд на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.13 – трубопроводный транспорт, нефтегазохранилища. – Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, МОН Украины, Ивано-Франковск, 2020.

Диссертация посвящена разработке современных подходов к прогнозированию режимов работы газопроводов в условиях как номинальной, так и нестабильной загрузке газотранспортной системы нашего государства, включающего детальный анализ работы ГТС в целом и поиск наиболее эффективных путей повышения ее энергоэффективности и надежности эксплуатации.

Основная идея работы заключается в установлении закономерностей влияния физико-механических характеристик природного газа на характер протекания технологических процессов в газовых сетях и, соответственно, на определение показателей энергоэффективности газотранспортной системы в целом.

Ключевые слова: газотранспортная система, газопровод, методика, контроль, режим работы, физико-химические показатели, топливно-энергетические ресурсы, эффективность, точность.

ABSTRACT

Slobodian M. B. – Improvement of methods for forecasting the operating modes of gas pipelines on the basis of resource conservation. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

The dissertation on reception of a scientific degree of the Candidate of Technical Sciences (PhD) in the specialty 05.15.13 – pipeline transportation, oil and gas storages. – Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ministry of Education and Science of Ukraine, Ivano-Frankivsk, 2020.

The dissertation is devoted to the development of modern approaches to forecasting the operation of gas pipelines in terms of both full and unstable loading of the gas transmission system of our country, which includes a detailed analysis of the gas transmission system as a whole and finding the most effective ways to improve its energy efficiency and reliability.

The main idea of the work is to establish patterns of influence of physical and mechanical characteristics of natural gas on the nature of technological processes in gas networks and, accordingly, to calculate the energy efficiency of the gas transmission system as a whole.

In the dissertation work the tasks concerning the analysis of modern methods, means and technologies of maintenance of effective functioning of gas transport system of our state are considered; theoretical research to improve existing methods of operation of gas pipelines by taking into account the instability of the gas transmission system, resource conservation requirements, as well as analysis and study of the impact of physicochemical parameters of transported natural gas on energy consumption calculations and energy efficiency of main gas transportation facilities in general; development of an improved methodology and verification of the proposed methods for reducing the specific consumption of fuel and energy resources in the operation of gas pipelines; as well as the development of methodological, informational and improvement of the relevant regulatory support in order to implement the proposed methods of operation of gas pipelines, taking into account the instability of the loading of the gas transmission system and resource conservation requirements are considered.

The thesis presents a general description of the object of study – the gas transmission system. The main problems of its functioning are highlighted. An important point is the unstable loading of the gas transmission system today, which, taking into account the current regulations for a significant number of technological operations leads to excessive consumption of the main resource in the operation of pipelines, which is natural gas. Existing methods for reducing energy costs for production and technological needs require improvement, as they cannot fully take into account all the existing realities of the gas transmission system.

Based on the current requirements of regulatory documents and the analysis of existing methods and technologies, theoretical research was conducted to improve methods for forecasting the modes of operation of the gas transmission system, taking into account its performance. The calculation of the planned mode of operation of the gas transmission system with the determination of energy efficiency indicators of technological objects of main gas transportation has been carried out.

Theoretical and experimental studies allowed to develop an improved analytical dependence of determining the coefficient of compressibility of natural gas by using a simplified model based on three physicochemical parameters, which greatly simplifies and at the same time increases the accuracy of gas consumption calculations for production and technical needs. In addition, additional studies have established the dependence of the calculation of gas supply in the pipeline for the gas transmission system with unstable loading by taking into account the structure of costs and losses of fuel and energy resources during natural gas transportation, as well as energy efficiency of such gas transmission system. in turn, allows to increase the accuracy of determining the gas supply in the pipe and, accordingly, to reduce the estimated "imbalances" of the system as a whole.

The use of an improved method of fuel and energy resources management by a gas transmission company is proposed on the basis of additional daily monitoring of their occurrence and calculations, as well as on the basis of constant comparison with planned indicators, which were calculated when modeling the relevant mode of operation of the gas transmission system. operational platform, which will reflect the costs of natural gas online as of the previous day, which, in turn, will improve cost control, increase the responsibility for making calculations and entering indicators into the platform by employees.

The practical significance of the obtained results is primarily that the proposed improvement of the analytical dependence of the coefficient of compressibility of natural gas makes it possible to significantly simplify and, at the same time, increase the accuracy of calculations of gas consumption for production and technical needs, and allows to recalculate all operations related to the use of natural gas and which are calculated using the calculation method using the coefficient of compressibility.

The research results presented in the dissertation can be used in the gas transmission system in order to optimize the consumption of natural gas during its transportation. These results are possible due to a comprehensive and comprehensive recalculation of the calculated indicators and the introduction of a comprehensive resource-saving and environmental approach to the operation of gas pipelines. The results of the study can be used in the development of appropriate methods related to determining the amount of natural gas consumption for production and technological needs during its transportation by the gas transmission system; with the structure and procedure for writing off natural gas for production, technological and other needs during the operation of main gas pipelines; as well as with the development of appropriate programs for energy conservation and efficient use of fuel and energy resources.

Keywords: gas transmission system, gas pipeline, methodology, control, operating mode, physical and chemical parameters, fuel and energy resources, efficiency, accuracy.