

Міністерство освіти і науки України
Івано-Франківський національний технічний університет
нафти і газу



ТРОФІМЧУК ВАДИМ ІВАНОВИЧ

УДК 622.692.48

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ГАЗОТРАНСПОРТНОЇ
СИСТЕМИ УКРАЇНИ ШЛЯХОМ ВДОСКОНАЛЕННЯ ЗАХОДІВ
ЕНЕРГЕТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

Спеціальність 05.15.13 – трубопровідний транспорт, нафтогазосховища

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Івано-Франківськ-2021

Дисертацією є рукопис.

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

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Рибіцький Ігор Володимирович,
Івано-Франківський національний технічний університет
нафти і газу, доцент кафедри енергетичного менеджменту та
технічної діагностики.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Никифорчин Григорій Миколайович,
Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН
України, провідний науковий співробітник відділу
діагностики корозійно-водневої деградації матеріалів;

кандидат технічних наук, доцент
Костів Василь Васильович,
ТОВ «Оператор ГТС України», заступник Головного
інженера з експлуатації.

Захист відбудеться *«11» травня 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 « 11 » квітня 2021р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 20.052.04
доктор технічних наук, доцент



А. П. Джус

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. З моменту набуття незалежності та становлення України як держави, українська економіка посідає перше місце у світі за кількістю використання енергії на одиницю валового внутрішнього продукту за незмінного паритету купівельної спроможності.

В п'ятірку найбільш енергомістких виробництв входить газотранспортна система України (ГТС). ГТС для своєї діяльності використовує близько 8% природного газу від загального споживання країною.

На сьогодні ГТС України, є однією з найбільших і найпотужніших в Європі. Основним викликом для компанії є великий ризик зменшення транзиту територією України у зв'язку із будівництвом газопроводів в обхід території України. Зменшення товаротранспортної роботи призведе до зменшення рентабельності підприємства, в разі недостатнього завантаження – до його збитковості.

З огляду на вищесказане, особливої актуальності набуває питання енергоефективної та безпечної експлуатації ГТС, а також забезпечення безперебійного постачання природного газу споживачам, витрачаючи при цьому якомога менше енергетичних ресурсів.

Значний внесок в теорію та практику дослідження енергоефективності підприємств внесли:

Грудз В.Я., Крижанівський Є.І., Говдяк Р.М., Шлапак Л.С., Тимків Д.Ф., Копей Б.В., Гораль Л.Т., Лоскутов А.В., Метаксіотіс К., Мілевська В.І., Мін Янг та Ксін Ю, Сергєєв О.П., Степ'юк М.Д., Пилипів Л.Д., Тіде С., Хайд Д., Яковлев Е.І.

У роботах зазначених науковців розглянуто широке коло питань підвищення енергетичної ефективності у виробничій сфері, досліджено найважливіші завдання енергетичної ефективності у ГТС, розроблено методи та шляхи розв'язання їх. Водночас треба зазначити, що на сьогодні сукупність виконаних досліджень з підвищення енергетичної ефективності роботи ГТС, не можна розглядати, як цілком сформовану та систематизовану галузь знань.

Таким чином розроблення та вдосконалення моделей, методів і синтез засобів збирання й аналізування статистичних енергетичних показників системи керування енергоефективністю газотранспортного підприємства з високими техніко-економічними характеристиками з метою підвищення ефективності роботи газотранспортної системи України є актуальною науково-практичною задачею.

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

Дисертаційну роботу виконано згідно з тематикою науково-дослідних робіт кафедри енергетичного менеджменту та технічної діагностики Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (договір №1606000541 (УМГ «Прикарпаттрансгаз») «Послуги щодо наукового досліджування та експериментального розроблення у сфері інших природничих наук (енергетичні та супутні послуги) (послуги з енергоаудиту, моніторингу та аналізу енергоспоживання, визначення показників енергоефективності, розробка пропозицій щодо енергозбереження для об'єктів ПАТ «УКРТРАНСГАЗ»)» (термін виконання –2016-2017рр.), а також із рішенням науково-технічної ради УМГ «Черкаситрансгаз» № 2 від 20.01.2016 «Про затвердження технічного завдання на розроблення системи

аналізу та моніторингу за ефективним використанням енергетичних ресурсів підприємствами УМГ «Черкаситрансгаз».

Мета дослідження полягає у вирішенні науково-практичної задачі в галузі підвищення енергоефективності газотранспортної системи шляхом розроблення нових енергоефективних заходів енергетичного керування та вдосконалення системи керування енергоефективністю газотранспортного підприємства. Для досягнення зазначеної мети в роботі було поставлено такі завдання:

- дослідити вплив параметрів експлуатації газопроводу на оцінку обсягу газу в його порожнині
- розробити та впровадити у виробництво корпоративну систему цільового енергетичного моніторингу та внутрішнього бенчмаркінгу на конкретному газотранспортному підприємстві;
- провести математичне моделювання та оцінити оптимальні режими роботи газорозподільчої станції та їх вплив на витрати палива вогневими підігрівачами газу;;
- провести математичне моделювання та розрахувати ефективність роботи системи відбирання тепла із системи охолоджувальної оливи газоперекачуючого агрегата (ГПА) та оцінити економічний ефект від впровадження даного заходу.

Об'єктом дослідження є процеси керування роботою енергоспоживаючого обладнання об'єктів магістральних газопроводів.

Предметом дослідження є параметри експлуатації і режими роботи газопровідних систем та обладнання для забезпечення енергоефективності роботи газотранспортного підприємства.

Методи дослідження: методологія енергетичного керування, загально-логічні методи наукових досліджень, методи теоретичного пізнання та методи проєктного аналізування, теоретичний синтез, теплофізичні методи.

Положення, що захищаються:

1. Математичні залежності значення критерія нестационарності для визначення маси газу в газопроводі.
2. Методологія аналізування енергетичних даних роботи котельного обладнання та підігрівачів газу на ГРС із урахуванням чинників, які впливають на їх роботу.
3. Спосіб використання теплообмінників для відбирання тепла із охолоджувальної оливи газоперекачуючого агрегата.

Наукова новизна одержаних результатів. На основі виконаних теоретичних та експериментальних досліджень отримано такі результати:

- уперше встановлено залежність допустимого значення критерія нестационарності газового потоку, який застосовують для визначення маси газу в газопроводі в умовах квазістационарного режиму транспортування природного газу, що дало можливість визначити масу газу з похибкою, що не перевищує 1% для кожного з моментів часу нестационарного процесу;
- уперше доведено можливість та запропоновано спосіб використання теплообмінників для відбирання тепла із охолоджувального масла ГПА, що дає можливість відмовитись від використання газу котельнями для обігріву приміщень та електроенергії необхідної для підтримання непрацюючих ГПА у «гарячому резерві»;
- удосконалено методологію аналізування енергетичних даних роботи котельного обладнання із урахуванням чинників, які впливають на його роботу

(температури зовнішнього повітря, якості природного газу та ККД котла), що дало можливість визначити технічний стан обладнання за витратою газу;

– набув подальшого розвитку метод використання показника градусодні в частині визначення показника впливу температури зовнішнього повітря на роботу системи опалення компресорної станції, що дало змогу оцінювати якість проведених заходів із енергоефективності;

Практичне значення одержаних результатів полягає у наступному:

1. Розроблено та впроваджено в ТОВ «Оператор ГТС України» систему цільового енергетичного моніторингу та внутрішнього бенчмаркінгу, яка дала змогу побудувати систему моніторингу за енергоресурсами на підприємстві на окремих центрах енергетичного керування. Це дало змогу ставити енергетичні цілі, оцінювати рівень їх досягнення, виявляти причини неефективного використання енергетичних ресурсів та швидко реагувати на них, впроваджуючи коригувальні дії.

2. Визначено оптимальну температуру газу на виході із ГРС, що дало змогу транспортувати газ споживачам із мінусовою температурою без втрати надійності газопостачання. Приведення температури газу на виході із досліджуваних ГРС до оптимальної зменшило споживання газу вогневими підігрівачами на 27 %.

3. Впровадження системи відбирання тепла із лінії трубопроводів охолоджуючої оливи газоперекачуючого агрегата на об'єктах ГТС України дасть змогу суттєво зменшити використання газу котельнями для обігріву приміщень, та електроенергії для підтримання газоперекачуючих агрегатів, що не працюють, у «гарячому резерві». Розрахований термін окупності впровадження даного проекту та його чистий приведений прибуток підтверджує ефективність впровадження цієї системи використання вторинного тепла в підрозділах ГТС України.

Особистий внесок здобувача. Основні наукові положення, теоретичні та практичні результати, винесені на захист, і подані в дисертаційній роботі, автор отримав самостійно в період 2012–2020 рр.

З опублікованих у співавторстві робіт, здобувач:

– довів можливість використання теплообмінників для відбирання тепла із охолоджувальної оливи ГПА [5, 6];

– удосконалив метод використання показника градусодні в частині визначення показника впливу температури зовнішнього повітря на роботу системи опалення компресорної станції [3, 8];

– розробив методологію аналізування енергетичних даних роботи котельного обладнання із урахуванням чинників, які впливають на їх роботу [4, 8];

– удосконалив методологію підвищення енергоефективності роботи підігрівачів газу на ГРС дотриманням оптимальної температури та проектного тиску газу на виході із ГРС [1, 2, 7].

Апробація результатів дисертації. Основні теоретичні положення та практичні результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на: восьмій міжнародній науково-технічній конференції пам'яті професора Ігоря Кісіля «Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазопромислового обладнання»; міжнародній науково-практичній конференції студентів, аспірантів та науковців «Соціально-економічний

потенціал України та країн Європи: правове регулювання, проблеми і тенденції розвитку».

Результати дисертаційної роботи в повному обсязі доповідались на науковому семінарі кафедри газонафтопроводів та газонафтоосховищ і міжкафедральному науковому семінарі Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу в 2020 році.

Публікації. За темою дисертаційної роботи опубліковано 8 наукових праць, у тому числі: 5 – у фахових наукових журналах МОН України (із них 1 – в міжнародному виданні, що індексується в Scopus, Index Copernicus International), 1 – в науковому журналі, 2 – тези доповідей у збірниках матеріалів вітчизняних та міжнародних конференцій.

Структура та обсяг роботи. Дисертація містить вступ, п'ять розділів основного тексту, висновки, перелік використаних джерел із 172 найменувань. Загальний обсяг дисертації – 215 сторінок, в тому числі 39 рисунків, 19 таблиць, 7 додатків. Основний текст викладено на 139 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, сформульовано мету, завдання, об'єкт та предмет дослідження, подано методи досліджень, викладено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, зазначено особистий внесок здобувача та кількість публікацій, а також дані про апробацію результатів дисертації.

У **першому розділі** проаналізовано основні чинники високої енергоємності промисловості України в цілому та ГТС, як її складової. Аналіз енергетичних витрат ГТС за останні 19 років показав, що технологічні витрати найбільше піддаються енергетичному керуванню та майже не залежать від товаротранспортної роботи.

Проаналізовано причин низького використання вторинних джерел енергії та методів визначення економічного ефекту впровадження заходів енергоефективності, який показав, що основною причиною є недостатній розвиток ризик орієнтованого підходу до впровадження енергоефективних проєктів.

Другий розділ присвячено розробленню та впровадженню у виробництво корпоративної системи енергетичного моніторингу (КСЕМ), яка є симбіозом внутрішнього бенчмаркінгу та цільового енергетичного моніторингу (ЦЕМ).

Робота КСЕМ полягає в оцінюванні енергоефективності роботи котельні з урахуванням температури зовнішнього повітря за опалювальний період, реального значення ККД котла залежно від його завантаження та реального значення теплоти згоряння природного газу. Це дає змогу оцінити наскільки на об'єктах дотримується впроваджені системи енергоменеджменту.

Виведено залежність, яка визначає об'єм споживання газу від значення теплоти згоряння газу, ККД котла, часу роботи обладнання та умов навколишнього та внутрішнього середовища:

$$V_{\text{н}} = \frac{C_{\text{б}} \cdot V_{\text{б}} \cdot \eta_{\text{б}} \cdot K_{\text{дв(б)}} (t_{\text{а}} - t_{\text{зоб(б)}})}{C_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{н}} \cdot K_{\text{дв(б)}} (t_{\text{а}} - t_{\text{зоб(б)}})}, \quad (1)$$

де Q_b – споживання тепла за базовий період; Q_n – споживання тепла за період порівняння; $K_{длб(б)}$ – тривалість базового періоду опалення, діб; $K_{длб}$ – тривалість періоду опалення для порівняння, діб; $t_b = 20\text{ }^\circ\text{C}$; $t_{зов(б)} = 3\text{ }^\circ\text{C}$; C – нижня теплота згорання газу; V – об'єм спожитого газу; η – ККД котла; q_b – витрата газу котлом ($\text{м}^3/\text{год}$).
Оскільки

$$V_b = q_b \cdot K_{длб(б)} \cdot 24 \quad (2)$$

та враховуючи отримані за експериментальними даними із застосуванням методів математичної регресії залежності ККД котла від витрати газу

$$\eta_b = 111,41 \cdot q_b^{-0,04} \quad (3)$$

$$V_n = 24 \cdot \frac{C_b \cdot q_b^{0,96} \cdot q_n^{0,04} \cdot K_{длб}(t_b - t_{зов(б)})}{C_n \cdot (t_n - t_{зов(б)})} \quad (4)$$

Використовуючи режимні карти котлів за формулою 4 було побудовано графік залежності витрати газу від ККД котла рис. 1.

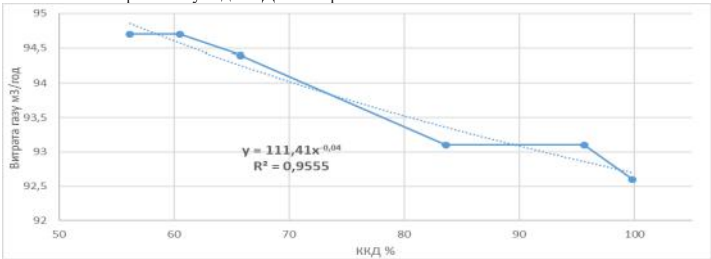


Рисунок 1 – Залежність витрати газу котлом від його ККД

Змодельовані режими роботи котла на основі режимних карт занесено до табл.1.

Отримана таким чином залежність оцінює споживання газу котельнею залежно від зовнішніх та внутрішніх умов її експлуатації з урахуванням теплоти згорання природного газу та ККД котла. Також вона дає змогу оцінити ефективність роботи системи енергоменеджменту, наприклад якщо підрозділи дотримуються відповідних температурних режимів та режимів роботи обладнання і, при цьому відбувається зниження ККД котла порівняно із його споживанням газу, що дозволяє зробити висновок про необхідність проведення профілактики котла (чистки, ремонту) з метою підвищення його ККД.

Додатково КСЕМ має змогу аналізувати ефективність роботи котельного обладнання для підігріву приміщень компресорних станцій (КС), не прив'язуючись до внутрішньої температури в приміщеннях.

Запропоновано в якості показника ефективності опалення використовувати показник градусодні - умовну одиницю виміру, яка дозволяє оцінити перевищення середньодобової температури над заданим мінімумом («базовою температурою»).

Показник градусодні визначають як різницю заданої температури T_{int} (у нашому випадку визначена нормативними актами мінімальна середньодобова зовнішня температура повітря, за якою вмикають систему опалення $T_{int} = 10$) та середньодобової температури зовнішнього повітря на досліджуваному об'єкті T_{ht} .

Таблиця 1 – Змодельовані режими роботи котла на основі режимних карт

Навантаження	Теплова потужність, Гкал/год	ККД брутто, %	Витрата газу, м ³ /год
51%	0,44	94,7	56,18
55%	0,474	94,7	60,48
60%	0,513	94,4	65,8
75%	0,644	93,1	83,62
86%	0,736	93,1	95,63
89%	0,765	92,6	99,84

Проведений аналіз якості природного газу, який надходив в ГТС України із 2014 по 2019 рік показав, що показник нижчої теплоти згорання газу коливався від 7700 ккал/м³ до 9226 ккал/м³. За допомогою математичного моделювання було

проаналізовано вплив якості газу на розхід газу котлом та виведено коефіцієнт ефективності роботи котла K .

Для порівняння показників енергоефективності різних об'єктів, в нашому випадку котельень, потрібно нівелювати вплив змінних чинників, які впливають на ефективність роботи обладнання. Такими чинниками є: температура зовнішнього повітря, яка є різною для різних регіонів за досліджуваний час, якість природного газу, ККД котлів, який залежить від режиму роботи котлів та опалюваний об'єм приміщень.

Тому показник витрачання газу для обігріву приміщень Q_{DD} при відповідному DD визначаємо за формулою:

$$Q_{DD} = \frac{Q_i}{DD \cdot K \cdot \eta}, \quad (5)$$

де Q_i – витрата газу на котельню за i -й проміжок часу; $i=1$, оскільки розрахунок проводимо щодобово; K – коефіцієнт впливу якості газу на ефективність роботи котла; DD – умовна одиниця виміру, яка дозволяє оцінити перевищення середньодобової температури над заданим мінімумом («базовою температурою») $DD = T_{int} - T_{ht}$.

Питоме енергоспоживання опалення кожного з промислових майданчиків Е знайдено як відношення показника витрачання газу для обігріву приміщень до опалюваного об'єму приміщень.

Як видно із діаграми рисунку 2 питоме енергоспоживання ПМ 1 є найвищим, а ПМ 4 найнижчим. Для визначення причин розбіжностей кожного ПМ КСЕМ передбачає графічний моніторинг роботи котельень за показниками: питомий показник, що характеризує відношення кількості спаленого газу котельнею до об'єму опалюваних приміщень – синя крива та середньодобова температура зовнішнього повітря – червона крива (рис. 3).

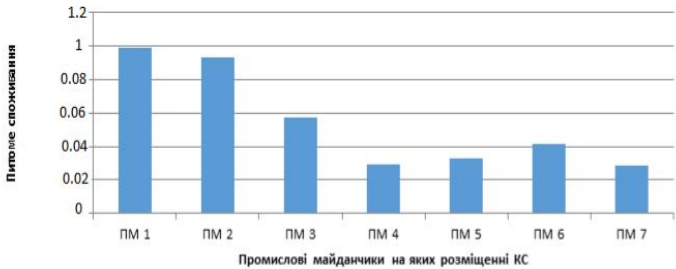


Рисунок 2 – Питоме споживання газу котельнями за березень 2016 року

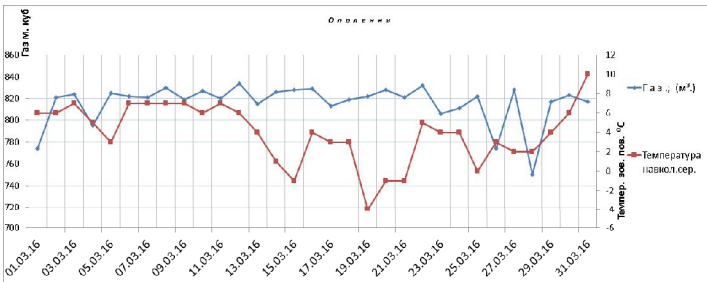


Рисунок 3 – Добові значення питомого споживання газу та середньодобової температури зовнішнього повітря ПМ 1 за березень 2016р

Графік на рисунку 3 показує, що в разі змінення температури повітря від -4 C до $+10\text{ C}$ (червона крива) питоме споживання газу (синя крива) майже не змінюється. Хоча повинна бути обернена залежність, тобто в разі збільшення температури зовнішнього середовища, споживання газу має зменшуватись і навпаки. Як альтернативу взято дані, за аналогічний період, роботи котельні ПМ 4 того самого МГ. Робота котельні на ПМ 4 (рис. 4) має чітку обернену залежність питомого споживання газу (синя крива) від середньої температури повітря (червона крива).

Далі за формулою (5) знаходимо питоме споживання газу котельнями ПМ 1 та ПМ 4 за кожен день досліджуваного періоду (березень 2016 року) та будемо діаграму (рис. 5) показника витрачання газу по днях.

Площа червоної фігури і буде перевитратою газу котельнею ПМ 1. Різниця між обсягами спожитого газу між ПМ 1 та ПМ 4 в натуральних одиницях, становила $12,3$ тис m^3 газу.

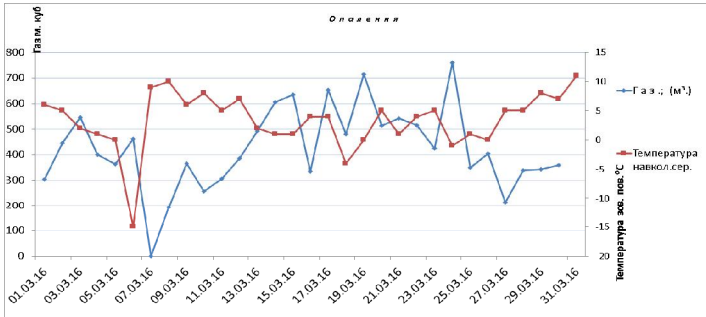


Рисунок 4 – Добові значення питомого споживання газу та середньодобової температури зовнішнього повітря ПМ 4 за березень 2016 року

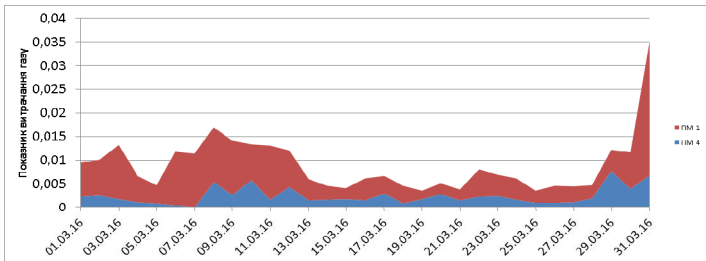


Рисунок 5 – Питоме споживання газу котельнями на ПМ 1 та ПМ 4 за березень 2016 року

Метод ЦЕМ передбачає, що для кожного центру енергетичного обліку існує лінійна залежність енергоспоживання $E_{ст}$ від чинника F , який називають функцією стандартного енергоспоживання, а коефіцієнти a і b визначають методом лінійної регресії (апроксимації).

Отже, функцію стандартного енергоспоживання побудовано методом математичної регресії за точками обліку за i -й інтервал часу, виділеного аналізованого періоду фактичного споживання енергоресурсу за i -й інтервал часу E_i і фактичного значення чинника F_i за той самий інтервал часу. А отримана сукупність значень $E_{ст}$ (пряма лінія) є середньстатистичним фактичним енергоспоживанням за різних значень F .

На рисунку 6 зображено функцію математичної регресії залежності спожитого газу від температури повітря на ПМ4 та ПМ 1 за грудень 2016 року. Визначивши функцію стандартного енергоспоживання, розраховано економію або перевитрату

енергії для будь-якого і-го інтервалу часу віднімаючи значення енергоспоживання за цей період.

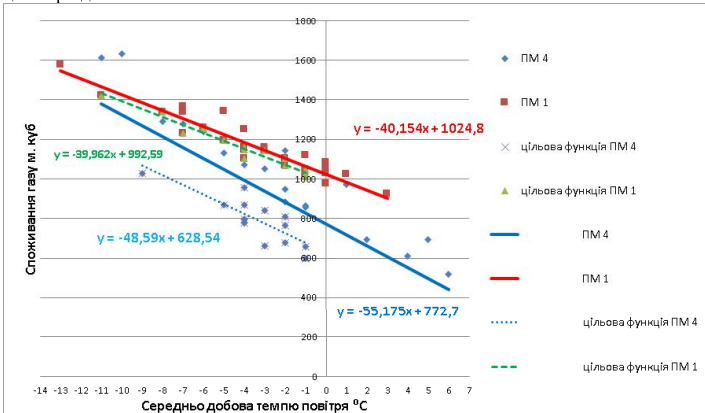


Рисунок 6 – Залежність споживання газу котельнями КС 4 та КС 1 залежно від температури повітря за грудень 2016 року

Крім аналізу енергоспоживання, КСЕМ дає змогу ставити конкретні енергетичні цілі. Функція цільового енергоспоживання, як і функція стандартного енергоспоживання, є лінійною функцією. Перед тим, як будувати функцію цільового енергоспоживання, з усього масиву точок функції стандартного енергоспоживання виключають ті, які лежать вище прямої функції стандартного енергоспоживання, а за рештою точок, розташованих нижче функції стандартного енергоспоживання, будують усереднену пряму, як і раніше, методом лінійної регресії. Отримана пряма (рис.6 пунктирна лінія) і є функцією цільового енергоспоживання.

Для підвищення роботи підігрівачів газу на ГРС було проаналізовано роботу підігрівачів газу на ГРС на предмет дотримання заданої температури газу на виході ГРС. Встановлено, що в нормативних документах, які регулюють діяльність ГТС України не визначено оптимальну температуру, за якою необхідно передавати газ споживачеві на ГРС. На підставі аналізу вимог нормативних документів було визначено оптимальну температуру газу на виході ГРС, якою є температура газу мінус 5°С.

Перевитрату природного газу на ГРС за добу можна знайти за формулою:

$$Q_{\text{перев}} = \frac{Q_{\text{підгр}}}{T_{2 \text{ роз}} - T_{2 \text{ реал}}} (T_{2 \text{ реал}} - T_{2 \text{ задане}}), \quad (6)$$

де $Q_{\text{підгр}}$ – кількість газу, використана на підігрів природного газу за добу, м³; $T_{2 \text{ роз}}$ – температура газу на виході із ГРС за формулою Джоуля – Томсона, К; $T_{2 \text{ реал}}$ –

реальна температура підігрітого газу на виході із ГРС, K ; T_2 задане – мінімально допустима температура на виході із ГРС, K .

Так як автором встановлено, що оптимальною температурою на виході ГРС буде температура мінус 5°C , то у формулу (6) замість $T_{2\text{задане}}$ підставляємо значення -5°C . Кількість газу витраченого на вогневі підігрівачі ГРС $Q_{\text{оптим}}$ за температури газу на виході мінус 5°C розрахуємо за формулою:

$$Q_{\text{оптим}} = Q_{\text{витрач.}} - Q_{\text{перев.}}, \quad (7)$$

де $Q_{\text{витрач.}}$ – кількість газу витраченого на вогневі підігрівачі ГРС.

На основі проведених розрахунків побудовано графіки фактичної витрати газу на вогневі підігрівачі та змодельовані витрати за температури газу на виході ГРС мінус 5°C (рис. 7).

Площа синьої фігури відображає економію газу за заданої температури газу на виході мінус 5°C порівняно із фактичною. За проведеними розрахунками встановлено, що $Q_{\text{перев.}}$ за 2018 рік становить 274717 м^3 .

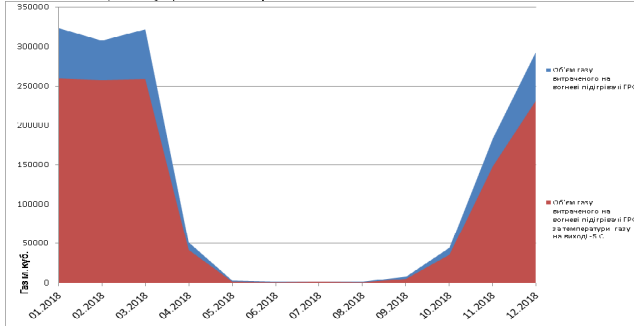


Рисунок 7 – Порівняння об'єму фактичної витрати газу на вогневі підігрівачі зі змодельованими витратами за температури газу на виході ГРС мінус 5°C

Також у межах пошуку чинників, які впливають на температуру газу на виході із ГРС було проаналізовано роботу ГРС, одного із підрозділів ГТС України на предмет дотримання проєктних тисків газу на виході із ГРС. Аналіз показав, що у середньому зниження тиску відбулось на $0,43 \text{ МПа}$.

Провівши розрахунки по характеристикам роботи кожної із досліджуваних ГРС визначено середній коефіцієнт Джоуля -Томсона, який становить $5,42 \text{ К/МПа}$.

Для визначення економічного ефекту доведення тиску на виході ГРС до проєктного визначено збільшення температури на виході ГРС у разі підвищення тиску на $0,43 \text{ МПа}$.

$$T_{2\text{реал}} - T_{2\text{задане}} = D_1 \cdot P_{\text{збільш.}}, \quad (8)$$

де $P_{збільш}$ – підвищення тиску на виході ГРС, МПа; Di – коефіцієнт Джоуля -Томсона, К/МПа. $D_1 = \frac{T_1 - T_2}{P_1 - P_2}$, де T_1, T_2 – температура природного газу до та після регулятора тиску відповідно, К; P_1, P_2 – тиск природного газу до та після регулятора тиску відповідно, МПа.

$$T_{збільш} = 0,43 * 5,42 = 2,3 \text{ К}$$

Отримані дані підставляємо у формулу (6) та отримуємо кількість газу, яка додатково витрачається підігрівачем на догрів газу на температуру $T_{збільш}$ за добу.

$$Q_{перев} = \frac{Q_{підігр}}{T_2 \text{ роз} - T_2 \text{ реал}} \cdot T_{збільш} \cdot \quad (9)$$

За результатами розрахунків встановлено, що $Q_{перев}$ вищевказаними ГРС становить 170423 м³ за 2018 рік.

У третьому розділі розраховано вплив гідравлічної ефективності газопроводу та нестационарності газового потоку на оцінку маси газу в його порожнині.

Коефіцієнт гідравлічної ефективності газопроводу знижується з двох причин: збільшення рідинних відкладень в порожнині газопроводу і зростання еквівалентної шорткості труб. Якщо причиною зниження коефіцієнта гідравлічної ефективності є наявність рідинних відкладень в порожнині газопроводу, то їх об'єм вплине на оцінку точності обсягу газу в порожнині газопроводу. Результати досліджень приведено на рисунку 8.

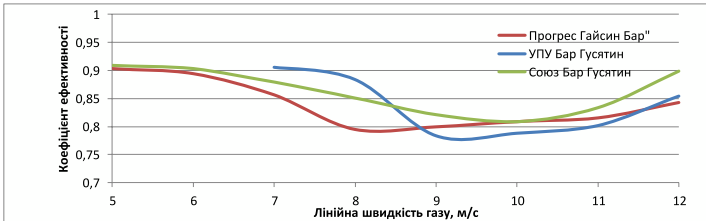


Рисунок 8 – Залежність гідравлічної ефективності від лінійної швидкості газу

За малих значень лінійної швидкості газу коефіцієнт гідравлічної ефективності зі зростанням швидкості газу зменшується, що характерно для проходження газу через місцеві опори. За великих швидкостей газу коефіцієнт гідравлічної ефективності зі зростанням лінійної швидкості зростає, що пояснюється винесенням рідини з колін газопроводу і зменшенням коефіцієнта місцевого опору. Отже, картина залежності коефіцієнта гідравлічної ефективності від лінійної швидкості газу дає підстави стверджувати про наявність рідинної фази в порожнині газопроводів.

Український науково-дослідний інститут природних газів (м. Харків) на основі багаторазових вимірів ефективності і кількості рідинних скупчень, що виносяться з газопроводу в процесі очистки, була запропоновув кореляційну залежність основним недоліком якої є її низька точність. Похибка (через неточність коефіцієнтів) перевищує 50 %.

За результатами проведеного математичного моделювання було отримано залежність (10), що розраховує обсяг рідини в газопроводі і дає до 10% похибки, що є допустимо.

$$W = \frac{\Delta W}{E_{до}^{0,8} - E_{до}^{0,8}} (1 - E^{0,8}), \quad (10)$$

де W – об'єм рідини, м³; E – коефіцієнт ефективності; $E_{до}$, $E_{по}$ – коефіцієнти ефективності до та після очистки.

Для встановлення характеру залежності на ділянках газопроводів було проведено ідентифікацію співвідношень між коефіцієнтом гідравлічної ефективності і обсягом винесеної рідини з трубопроводу при їх очистках перед внутрішньотрубним діагностуванням. За результатами розрахунків побудовано графічні залежності, які приведені на рисунку 9.

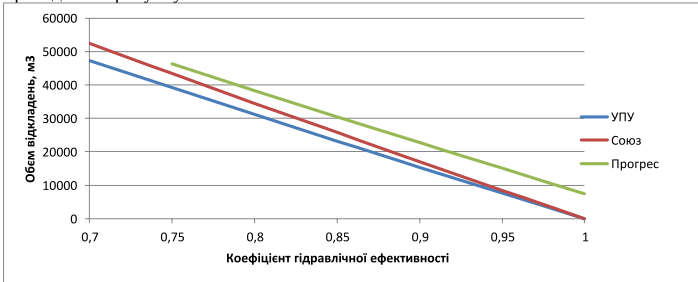


Рисунок 9 – Залежність між ефективністю газопроводу і об'ємом відкладень

В результаті проведених досліджень встановлено, що при середньому значенні коефіцієнта гідравлічної ефективності 0,95 зменшення геометричного об'єму порожнини трубопроводів за рахунок відкладів призведе до аналогічних похибок в оцінці кількості газу в газопроводі.

Також у третьому розділі досліджено вплив нестационарності газового потоку на оцінку кількості газу в газопроводі.

Для вирішення поставленої задачі розглянуто гіпотетичний газопровід довжиною 100 км і діаметром 1420х20 мм, яким транспортують газ відносної густини 0,6 з початковим тиском 7,5 МПа і кінцевим 5 МПа за середньої температури 293 К. За даних параметрів витрата газу, визначена за умов стаціонарного режиму з основного рівняння газопроводів, складає 578,43 кг/с за середнього тиску 6,333 МПа і з коефіцієнтом гідравлічного опору 0,00899. Маса газу в трубопроводі при цьому складає 7766413,6 кг.

Далі виведено математичні залежності витрати газу, на основі яких побудовано графіки зміни тиску в ізолюваній ділянці газопроводу, тобто процес його

вирівнювання після закриття лінійних кранів на початку і в кінці траси. Ці графічні залежності подано на рисунку 10.

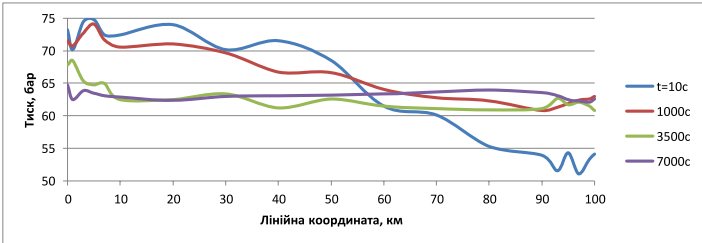


Рисунок 10 – Характер зміни тиску в газопроводі

Аналіз графіків показує, що після збурення стаціонарної течії газу внаслідок закриття лінійних кранів в газопроводі починається нестационарний процес вирівнювання тиску, причому хвиля збурення поширюється із швидкістю звуку від кінців траси до її середини з безперервним затуханням амплітуди і зниженням частоти коливань. Найдовша тривалість нестационарності характерна власне на кінцях траси, це пояснюється відбиттям і суперпозицією хвиль тиску. Тому на трасі виникають ділянки тимчасового підвищення тиску і ділянки пониженого тиску. Внаслідок цього маса газу по довжині розподілена нерівномірно, що в кінцевому результаті призведе до похибки в оцінці кількості газу у відсіченій ділянці газопроводу.

Середній тиск в газопроводі визначають за площею графіка, розміщеною під інтегральною кривою. Для кожного з приведених на рисунку 10 моментів часу розраховано середній тиск, коефіцієнт стисливості газу при середніх умовах (температура газу вважається сталою і рівною 293К) і масу газу в газопроводі

Результати розрахунку подано в таблиці 2.

Таблиця 2 – Результати розрахунку маси газу в газопроводі

№	Час, с	Середній тиск, МПа	Маса газу, кг	Критерій нестационарності	Відносна похибка
1	0	6,3333	7766413,6	0	
2	10	6,7951	8413271,1	1,264	0,08328
3	1000	6,5175	7999249,2	0,119	0,02998
4	3500	6,3964	7844971,4	0,0342	0,0101
5	7000	6,3439	7779411,6	0,0173	0,00167

Для кожного з моментів часу розраховано значення критерію нестационарності та похибку в обчисленні маси газу порівняно зі стаціонарним режимом.

За результатами обчислень побудовано графічну залежність похибки визначення маси газу в газопроводі від критерію нестационарності, поданої на рисунку 11.

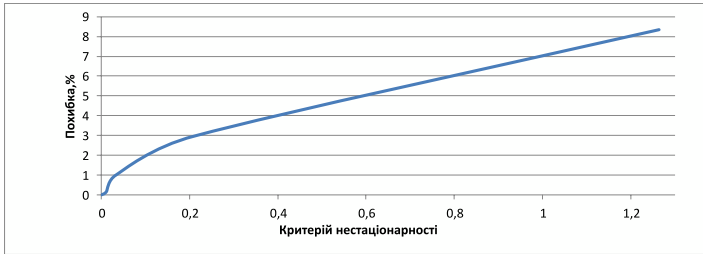


Рисунок 11 – Вплив нестационарності на похибку визначення маси газу

Якщо поставити за мету визначити масу газу в умовах квазістационарного режиму з похибкою, яка не перевищує 1%, то за поданим графіком можна встановити допустиме значення критерія нестационарності, яке за таких умов складає 0,025.

Четвертий розділ присвячено розгляду заміщення покупних енергоресурсів використанням вторинного тепла ГПА при роботі КС. Запропоновано використовувати тепло із системи автоматичного повітряного охолодження оливи ГПА.

Технічний результат досягається за рахунок встановлення теплообмінника на лінії трубопроводів системи охолодження оливи ГПА та підігрівання теплоносія системи опалення компресорної станції за рахунок передавання тепла «олива-теплоносій», яке будуть використовувати для обігріву приміщень в опалювальний період, та підтримувати ГПА, що не працюють у «гарячому резерві» за рахунок передавання тепла «теплоносій-олива».

Таке конструктивне виконання системи рисунок 12 дає змогу поєднати три технологічних процеси за допомогою теплообміну:

1) підігрівання теплоносія для обігріву приміщень КС в опалювальний період, що забезпечує максимально енергоефективний підігрів, оскільки надлишкове тепло оливи дає змогу мінімізувати використання котельень;

2) підігрівання оливи на ГПА, що перебувають у «гарячому резерві», що забезпечує економію електроенергії, яку використовують для роботи електричних нагрівачів під час підігрівання оливи;

3) утилізація тепла гарячого оливи, відведеного з вальничних вузлів газотурбінного двигуна і нагнітача ГПА, що забезпечує економію електроенергії для роботи двигунів вентиляторів системи охолодження масла.

Розраховано, що кількість теплоти, яку можливо виробити на теплообміннику буде 839 кВт·год. Оскільки для обігріву приміщень КС потрібно в середньому 500 кВт·год., тому робота одного теплообмінника забезпечує потребу в обігріві приміщень КС.

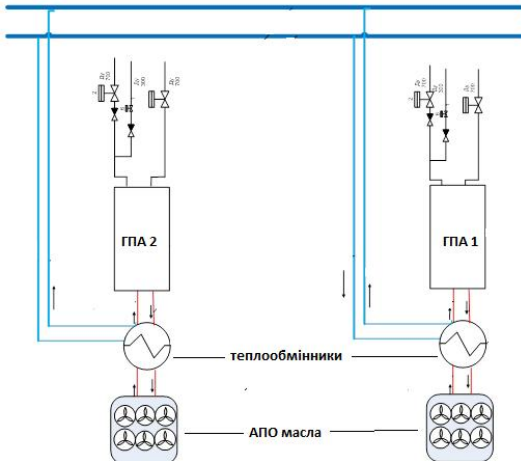


Рисунок 12 – Теплова схема системи відбирання тепла із лінії системи автоматичного повітряного охолодження оливи на КС

У розділі також розраховано роботу утилізаторів тепла вихлопних газів типу ГТК -10 120.00.000, установлених на КС МГ «Кременчук-Ананьів-Богородчани». Використовування утилізаторів у вихлопних шахтах призводить до збільшення опору вихлопних газів на виході із ГПА і як наслідок до зменшення ККД та збільшення витрати паливного газу. Конструкція даних утилізаторів не передбачає демонтаж їх у неопалюваний період, тому перевитрата паливного газу відбувається постійно не залежно від того, виробляє утилізатор тепло чи ні.

Розрахунок показав, що утилізатори тепла на досліджуваній КС збільшили витрату паливного газу на 323,865 тис. м³ у 2018 році.

У п'ятому розділі дисертаційної роботи розглянуто різні методології розрахунку економічного ефекту на прикладі впровадження інвестиційного проєкту з відбирання тепла із лінії автоматичного повітряного охолодження (АПО) оливи під час роботи КС по транспортуванню природного газу.

На сьогодні в ГТС України діє методика визначення економічного ефекту від впровадження заходів нової техніки (Методика), згідно з якою економічний ефект вимірюють як різницю між грошовими доходами завдяки впровадженню та експлуатації заходів і грошовими витратами на розроблення, впровадження та використання заходів.

Згідно з Методикою строк окупності для вибраних для реалізації проєкту КС №3 та КС №6 буде близько 1,8 роки.

А загальний економічний ефект, тобто сума зекономлених коштів, за 5 років складе майже 14,1 млн. грн.

Викладена методика є статичною відносно оцінки руху грошових коштів та не враховує, що вартість грошей з часом змінюється. Тому для визначення основних показників економічної ефективності інвестиційних проектів є інша методика, яка згідно з міжнародними стандартами бізнес-планування визначає справжню зведену вартість грошей, згідно із якою дисконтований строк окупності проекту становить 2,2 роки, а дисконтований грошовий потік за 5 років (загальний економічний ефект) – 5,7 млн. грн. рисунок 13.



Рисунок 13 – Дисконтований грошовий потік (NPV) проекту за 5 років

Отже, розрахунок за цією методикою показав збільшення строку окупності проекту на 22% (з 1,8 до 2,2 років відповідно) та зменшення економічного ефекту на -8,4 млн. грн. (з 14,1 до 5,7 млн. грн. відповідно), порівняно із розрахунками за методикою, затвердженою в ГТС України.

Недоліками цих методик є те, що вони не враховують факторів (ризиків), які можуть виникнути під час експлуатації проекту енергоефективності та будуть впливати на його ефективність.

Окрім того, обидві Методики передбачають точкове значення строку досягнення економічного ефекту, а з погляду математичного моделювання ймовірність досягнення точкового прогнозованого значення прямує до нуля. Тобто, твердження, що запланований економічний ефект буде досягнуто за конкретний строк, у переважній більшості випадків не досягне.

Для оцінювання ризиків та можливостей аналізування їхнього впливу на показники ефективності інвестиційного проекту було обрано метод імітаційного моделювання Монте-Карло. Моделювання за методом Монте-Карло дає змогу отримати розподіл імовірностей можливих значень показників NPV та строку окупності проекту.

Для початку обрано основні ризики, які можуть впливати на показники економічної ефективності інвестиційного проекту. Для можливості імітаційного моделювання ризиків для кожного з визначених ризик-чинників вказано його «базове значення». Далі, за допомогою методу експертних оцінок, визначено відповідні

діапазони відхилів від базового значення. Це дає змогу сформувати діапазон допустимих значень для кожного із ризик-чинників: мінімальне значення, максимальне значення (рис. 14).

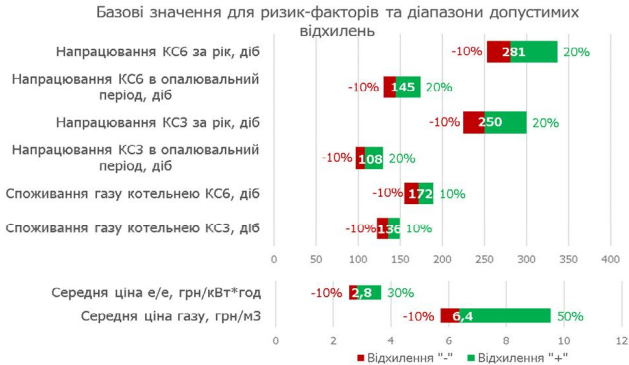


Рисунок 14 – Ризик-чинники та діапазони відхилів від їх базових значень

Далі за допомогою спеціалізованого програмного додатку ModelRisk, інтегрованого в Excel, для кожного ризик-чиннику задано функцію розподілу ймовірностей PERT.

Згідно з отриманими результатами розподілу ймовірностей можливих значень показнику NPV проекту (рисунок 15, по осі X вказано ймовірні значення NPV, а по осі Y – ймовірність кожного зі значень). Ймовірність того, що сукупно за 5 років показник NPV проекту буде в діапазоні від 1,38 до 3,48 млн. грн. становить 90%.

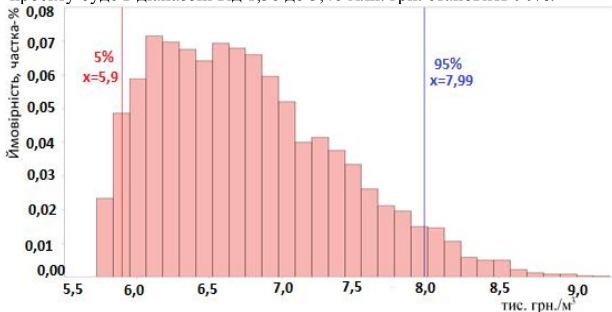


Рисунок 15 – Моделювання методом Монте-Карло показника NPV проекту

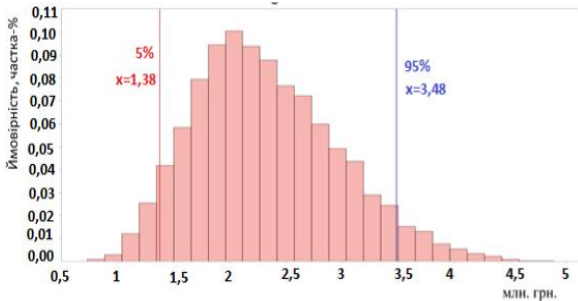


Рисунок 16 – Моделювання методом Монте-Карло показника строку окупності проекту

Одним з результатів моделювання методом Монте-Карло є діаграма Торнадо, (рис.17, по осі X вказано ймовірні значення NPV проекту, а по осі Y – ризик-чинники проекту). Діаграма дає змогу визначити, які ризик-чинники мають найбільший вплив на показники ефективності проекту.

Діаграма Торнадо показала, що найбільш впливовими ризик-чинниками проекту є ціна на газ та нагрівання в опалювальний період. Також діаграма Торнадо дає змогу кількісно оцінити їхній вплив на показники ефективності проекту. Наприклад, для визначених ризиків щодо зміни ціни на газ, відхил показника NPV від базового значення (-0.5 млн. грн.) може бути в діапазоні від -1.492 до 0.415 млн. грн. Це і є діапазон невизначеності показника NPV в залежності від ризиків зміни ціни на газ в період реалізації проекту.

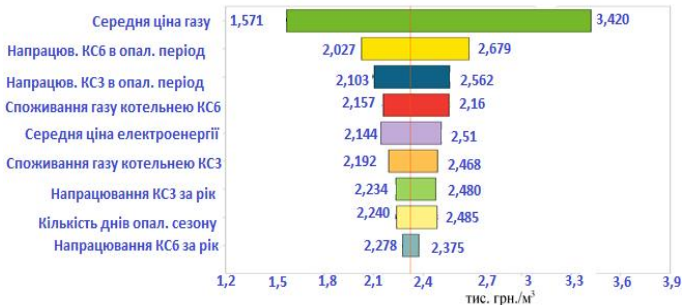


Рисунок 17 – Діаграма Торнадо для показника NPV проекту

Окрім того, діаграма Торнадо для показника NPV проекту дає змогу приймати управлінські рішення, визначаючи їхню ступінь впливу на проект.

ВИСНОВКИ

На основі проведених досліджень процесів керування ефективним використанням паливно-енергетичних ресурсів газотранспортного підприємства, вирішено важливу науково-технічну задачу у визначенні напрямків та розробленню заходів для зменшення енергоємності ГТС України. В результаті проведених теоретичних та експериментальних досліджень одержано такі основні результати:

1. Встановлено, що зменшення геометричного об'єму порожнини трубопроводів за рахунок відкладів призведе до похибок в оцінці кількості газу в газопроводі. За допомогою математичного моделювання показано вплив нестационарності на точність оцінки кількості рідини в газопроводі і встановлено, що нестационарність процесу призводить до завищеної оцінки маси газу в газопроводі. Визначено похибку обчислення маси газу та значення критерію нестационарності для кожного з моментів часу нестационарного процесу.

2. Упровадження у виробництво корпоративної системи цільового енергетичного моніторингу та внутрішнього бенчмаркінгу в ТОВ «Оператор ГТС України» дало змогу:

- виявити та усунути перевитрати газу котельнями;
- на основі аналізу енергоспоживання ставити конкретні енергетичні цілі перед підприємством;
- графічно моделювати ефективність використання енергоресурсів та наглядно показувати ефективність використання їх;
- в режимі реального часу визначити технічний стан котла на основі залежності його ККД від витрати газу.

3. На основі аналізу нормативних документів та фізико-хімічних властивостей транспортованого природного газу визначено оптимальну температуру газу на виході із ГРС. Моделювання роботи ГРС із проєктними вихідними тисками та оптимальною температурою показали значний потенціал підвищення енергоефективності під час роботи підігрівачів газу. Приведення температури газу на виході із ГРС до оптимальної дало змогу на 27% зменшити використання газу вогневиими підігрівачами газу.

4. Доведено можливість та ефективність використовувати надлишкове тепло із системи охолодження оливи ГПА для опалювання приміщень КС встановленням теплообмінників. Упровадження цієї технології у підрозділах ГТС України дасть змогу скоротити використання покупних енергетичних ресурсів.

5. Використовуючи різні методики оцінювання ефективності впровадження проекту з відбирання тепла із лінії АПО оливи на КС доведено його ефективність та переваги методу математичного моделювання Монте-Карло, який дає змогу виконати імітаційне моделювання ризиків та максимально достовірно спрогнозувати майбутню ефективність проекту залежно від змінних чинників (ризиків).

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. I. Rybitskyi, V. Trofimchuk, G. Kogut. Enhancing the efficiency of gas distribution stations operation by selecting the optimal gas pressure and temperature parameters at the station outlet. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2020. № 3 (98). P. 47–52. ISSN 2071-2227, E-ISSN 2223-2362. (**Scopus, Index Copernicus International**).
2. Рибіцький І.В., Трофімчук В.І., Карпаш М.О. Основні чинники енергоємності газотранспортної системи України та роль управлінських заходів для їх зменшення. *Розвідка та розробка нафтових та газових родовищ*. 2017. №4(65). С. 21-25. (**наукове фахове видання України**)
3. Трофімчук В.І. Досвід роботи системи цільового енергетичного моніторингу та внутрішнього бенчмаркінгу у філії УМГ «Черкаситрансгаз». Частина I. *Нафтогазова галузь України*. 2018. №4. С. 11-15. (**наукове фахове видання України**)
4. Трофімчук В.І. Досвід роботи системи цільового енергетичного моніторингу та внутрішнього бенчмаркінгу у філії УМГ «Черкаситрансгаз» Частина II. *Нафтогазова галузь України*. 2018. №5. С. 3-8. (**наукове фахове видання України**)
5. Трофімчук В.І., Савельєв В.Г. Аналіз методів оцінки економічного ефекту від впровадження проєктів енергетичної ефективності. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2020. №1. С. 68-78 (**наукове фахове видання України**)
6. Рибіцький І.В., Трофімчук В.І. Відбір тепла із лінії трубопроводів охолоджуючого масла газоперекачуючого агрегату та способи його ефективного використання. *Вісник КрНУ*. 2019. №6. С. 133-139. (**наукове видання України**)
7. Рибіцький І.В., Трофімчук В.І. Енергозатратність газотранспортної системи України та основні чинники, які на неї впливають. *Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазопромислового обладнання: тези доповідей восьмої міжнародної науково-технічної конференції пам'яті професора Ігоря Кісіля 14-16 листопада 2017 р. м. Івано-Франківськ*, 2017. С. 169-171.
8. Трофімчук В.І. Досвід роботи системи цільового енергетичного моніторингу та внутрішнього бенчмаркінгу у філії УМГ «Черкаситрансгаз». *Соціально-економічний потенціал України та країн Європи: правове регулювання, проблеми і тенденції розвитку: матеріали доповідей Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та науковців 17 травня 2018 року*. м. Київ. 2018. С. 184-187.

АНОТАЦІЯ

Трофімчук В.І. Підвищення ефективності роботи газотранспортної системи України шляхом вдосконалення заходів енергетичного керування. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.13 – «трубопровідний транспорт, нафтогазоєзхoviща». – Івано-

Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, 2021.

На основі проведених досліджень визначено, що технологічні витрати енергоресурсів ГТС України найбільше піддаються енергетичному керуванню. Упроваджено у виробництво корпоративну систему енергетичного моніторингу, яка має змогу графічно моделювати ефективність використання енергоресурсів, виявляти причини перевитрат енергії, враховуючи чинники, які впливають на роботу обладнання. Проведено моделювання роботи ГРС із проектними вихідними тисками та оптимальною температурою газу на виході. На основі проведених досліджень визначено вплив відкладів у трубопроводах на похибку в оцінці кількості газу в газопроводі. Визначено вплив нестационарності на точність оцінки кількості рідини в газопроводі та похибку в обчисленні маси газу і значення критерію нестационарності для кожного з моментів часу нестационарного процесу. Доведено можливість та ефективність використання надлишкової температури оливи у лінії трубопроводів охолодження оливи ГПА для опалювання приміщень КС установленням теплообмінників. За допомогою використання різних методик оцінювання ефективності впровадження проєкту з відбирання тепла із лінії АПО оливи на КС доведено його ефективність та переваги методу математичного моделювання Монте-Карло, який дає змогу виконати імітаційне моделювання ризиків та максимально достовірно спрогнозувати майбутню ефективність проєкту залежно від змінних чинників.

Ключові слова: градусодні, енергоефективні заходи, ККД котла, температура газу, критерій нестационарності, вторинні енергоресурси, Монте-Карло.

АННОТАЦІЯ

Трофимчук В.И. Повышение эффективности работы газотранспортной системы Украины путем совершенствования мер энергетического управления. – 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, Ивано-Франковск, 2021.

Установлено, что украинская экономика занимает первое место в мире по количеству энергии, используемой на единицу валового внутреннего продукта при неизменном паритете покупательной способности. Проанализированы основные причины высокой энергоёмкости украинской экономики. На основе проведенных исследований установлено, что технологические расходы энергоресурсов газотранспортной системы Украины наиболее подвержены энергетическому управлению. Проведен анализ теоретических подходов к определению понятий в сфере энергосбережения и энергоэффективности. Внедрено в производство корпоративную систему энергетического мониторинга и внутреннего бенчмаркинга в одном из подразделений газотранспортной системы Украины, которая имеет возможность графически моделировать эффективность использования энергоресурсов, выявлять причины перерасхода энергии, учитывая факторы, которые

влиять на работу оборудования, устанавливать энергетические цели и анализировать степень их достижения. Выведено зависимость, которая учитывает объем потребления газа, теплоту сгорания газа, КПД котла, время работы оборудования и условия окружающей и внутренней среды. Установлены закономерности, которые в режиме реального времени позволяют определить техническое состояние котла на основе зависимости его КПД от расхода газа. Определена оптимальная температура газа на выходе из газораспределительной станции. Получил дальнейшее развитие метод использования показателя градусодни в части определения показателя влияния температуры наружного воздуха на работу системы отопления компрессорной станции, что позволило оценивать качество проведенных мероприятий по энергоэффективности. Проведено моделирование работы газораспределительной станции с проектными выходными давлениями и оптимальной температурой газа на выходе. Доказана возможность, безопасность и энергоэффективность транспортировки газа потребителям с отрицательными температурами. На основе проведенных исследований определено влияние отложений в трубопроводах на погрешность в оценке количества газа в газопроводе. Определены с помощью математического моделирования влияние нестационарности на точность оценки количества жидкости в газопроводе и определены погрешность в вычислении массы газа и значение критерия нестационарности для каждого из моментов времени нестационарного процесса. Установлено допустимую величину критерия нестационарности при определении массы газа в условиях квазистационарного режима с погрешностью, не превышающей 1%. Доказана возможность и эффективность использования избыточной температуры масла в линии трубопроводов охлаждения масла газоперекачивающего агрегата для отопления помещений компрессорной станции и поддержки не работающих газоперекачивающих агрегатов в горячем резерве, установлением теплообменников. Рассчитано эффективность использования утилизаторов тепла выхлопных газов газоперекачивающих агрегатов при транспортировке природного газа. С помощью использования различных методик оценки эффективности внедрения проекта по отбору тепла из линии аппарата воздушного охлаждения масла на компрессорной станции доказана его эффективность и преимущества метода математического моделирования Монте-Карло, который позволяет выполнить имитационное моделирование рисков и максимально достоверно спрогнозировать будущую эффективность проекта в зависимости от переменных факторов. С помощью диаграммы Торнадо определены риск-факторы, которые оказывают наибольшее влияние на показатели эффективности проекта.

Ключевые слова: градусодень, энергоэффективное мероприятие, КПД котла, температура газа, критерий нестационарности, вторичные энергоресурсы, Монте-Карло.

ANNOTATION

Trofimchuk V.I. Improving the efficiency of Ukrainian gas transmission system operation by improving energy management measures. – Qualified 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, 2021.

According to the research results it was determined that the technological costs of GTS energy resources were mostly susceptible to energy management. A corporate system of targeted energy monitoring and internal benchmarking was implemented in LLC "Gas Transmission System Operator", which made it possible to model graphically the efficiency of energy resources usage, identify the causes of energy consumption by taking into account the factors that affected the equipment operation. Regularities were established, which in real time allowed to determine the technical condition of the boiler based on the dependence of its efficiency on gas consumption. The optimal gas temperature at the outlet of the GDS was determined. Simulation of GDS operation with design outlet pressures and optimal gas temperature at the outlet was carried out. On the basis of the research results the influence of deposits in pipelines on an error in an estimation of gas volume in gas pipeline was determined. The influence of nonstationarity on the accuracy of estimating the amount of liquid in the gas pipeline was shown by mathematical modeling and the error in calculating the gas volume and the value of the nonstationarity criterion for each of the time points of the nonstationary process was determined. The possibility and efficiency of excess oil temperature application in for the GTI oil cooling pipelines subjected for heating the premises of the CS by installing heat exchangers was proved. By using the methods of evaluating the effectiveness of the project on removing the heat from the oil ACI at the CS, its efficiency and advantages of the Monte Carlo mathematical modeling method were justified, which allowed to perform risks simulation and predict the future efficiency of the project depending on variables as accurately as possible.

Keywords: degree-day, energy-efficiency measures, boiler efficiency, gas temperature, nonstationarity criterion, waste energy, Monte Carlo.

Підписано до друку 10.04.2021
Формат 60x84/16, Папір офсетний. Друк цифровий.
Гарнітура "Times New Roman". Ум. друк. арк. 0.9
Наклад 100 примірників. Зам. №2100-035462 від 10.04.2021.

Виготовлено ТОВ "24 ПРІНТ"
03150, м.Київ, Голосиївський район, ВУЛИЦЯ АНТОНОВИЧА, будинок 50А

24print@24print.ua

+38(067) 24 7 24 27

Свідотство про державну реєстрацію:

№ свід. 106810200000 від 26.12.2019

