

504.057
157

ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
НАФТИ І ГАЗУ

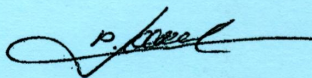
Говдяк Роман Михайлович

УДК 504.054:622.691.4

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ
МАГІСТРАЛЬНИХ ГАЗОПРОВІДІВ НА ПІЗНІЙ
СТАДІЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ**

Спеціальність 05.15.13 – трубопровідний транспорт, нафтогазосховища

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук



Івано-Франківськ
2008

Дисертацією є рукопис.

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

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор

Семчук Ярослав Михайлович

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, завідувач кафедри безпеки життєдіяльності, м. Івано-Франківськ.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор, член -кореспондент НАН України

Похмурський Василь Іванович

Фізико-механічний інститут ім. Г.В.Карпенка НАН України, заступник директора, м. Львів.

доктор технічних наук, професор

Капцов Іван Іванович

Український науково-дослідний

інститут природних газів,

завідувач відділом транспортування газу, м. Харків.

доктор технічних наук, професор

Осадчук Василь Антонович

Національний університет «Львівська політехніка»,

завідувач кафедри зварювального виробництва, діагностики



Захист спеціалізованого технічного університету вул. Карпатська

З дисертації Івано-Франківського Івано-Франківського

Автореферент Вчений спеціалізований кандидат

засіданні національного Івано-Франківського,

Івано-Франківського Івано-Франківського

р.

орнута



АГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

...ль теми. Газотранспортна система України – одна з найбільших, але разом з тим і одна з найстаріших в Європі – її розвиток розпочався ще в 1924 р. Особливо швидко система почала розвиватися з 1967 р., який вважається початком експорту українського, а потім і російського газу до країн Центральної і Західної Європи, початком функціонування найбільшого на сьогодні коридору транзиту російського газу.

На території держави створено найбільшу систему транзитних магістральних газопроводів, яка забезпечує близько 93 % експортних поставок російського газу, що складає понад чверть загального об'єму споживання газу в Європі. Газотранспортна система ДК “Укртрансгаз” технологічно з'єднана з системами магістральних газопроводів Росії, Беларусі, Молдови, Румунії, Угорщини, Словаччини, Польщі, а через них - газопроводами всього європейського континенту.

На теперішній час загальна протяжність газопроводів сягає 34,8 тис. км, у тому числі магістральних газопроводів-відводів – 12,5 тис. км. Проектна пропускна спроможність газотранспортної системи на вході в Україну складає 292 млрд м³ на рік (800 млн м³ на добу). Загальна потужність компресорних станцій складає 5492 МВт.

У структурі газопроводів суттєво переважають трубопроводи великого діаметра. Так, газопроводи діаметром 1420 мм складають 15,82 %, діаметром 1020–1220 мм – 23,34 %; діаметром 720-820 мм – 14,93 %.

Водночас газотранспортна система має у своєму складі 59,43 % газопроводів з терміном експлуатації від 15 до 50 років, 5,8 тис. км газопроводів відпрацювали свій амортизаційний строк – 33 роки, а більше третини газопроводів мають антикорозійне покриття з полімерних плівок холодного нанесення. Все це зумовлює необхідність щорічного виконання значних обсягів робіт з капітального ремонту та реконструкції газопроводів.

Сьогодні у газотранспортній системі ДК “Укртрансгазу” в експлуатації перебуває 78 компресорних станцій (121 компресорний цех) з працюючими 779 газоперекачувальними агрегатами двадцяти типів як вітчизняного, так і зарубіжного виробництва у тому числі 449 агрегатів із газотурбінними приводами, що складає 80 % від загальної потужності. Близько 20 % парку газоперекачувальних агрегатів відпрацювали встановлений моторесурс тож подальша їх експлуатація не забезпечуватиме надійної та ефективної роботи. Експлуатація такого багаточисленного та різнотипного парку, у тому числі агрегатів з низьким ККД, різним моторесурсом, часто морально та фізично застарілих, вимагає належного сервісного обслуговування, а також змушує вирішувати проблеми із розробки та впровадження високоєкономічних і більш екологічно чистих газоперекачувальних агрегатів.

Отже, газотранспортна система України на пізній стадії експлуатації вимагає вирішення важливих і невідкладних науково-технічних проблем, пов'язаних з підвищенням надійності лінійної частини та економічності експлуатації компресорних станцій, оцінки залишкового ресурсу газоперекачувальних агрегатів з метою проведення переоснащення компресорних станцій та впливу системи на довкілля.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота носить як теоретичний, так і науково-прикладний характер. Виконувалась за участі автора згідно переліку науково-дослідних, дослідно-конструкторських робіт ВАТ "Укргазпроект" на 2005, 2006, 2007 роки та договору №11-102-6 з Івано-Франківським національним технічним університетом нафти і газу, 2007 рік.

Тематика роботи охоплює декілька завдань національних та галузевих програм "Нафта і газ України у 2010 році", "Програми науково-технічного прогресу газової промисловості України до 2015 року", "Програми забезпечення діагностики і моніторингу газотранспортної системи України на 2002-2030 роки", "Програми реконструкції лінійної частини газотранспортної системи ДК "Укртрансгаз", "Програми реконструкції компресорних станцій ДК "Укртрансгаз".

Мета роботи. Розробка наукових основ та впровадження створених методів та засобів у практику експлуатації газотранспортних систем на пізній стадії експлуатації для підвищення ефективності роботи трубопроводів та обладнання.

Завдання досліджень.

1. Аналіз сучасного стану досліджень у галузі забезпечення експлуатаційної надійності магістральних газопроводів.
2. Дослідження критичного напружено-деформаційного стану лінійної частини газопроводів та оцінки залишкового ресурсу.
3. Встановлення закономірностей зміни ефективності експлуатації газоперекачувальних агрегатів на компресорних станціях для обґрунтування термінів їх переоснащення.
4. Розробка методів та засобів підвищення енергетичної ефективності газотурбінних установок компресорних станцій.
5. Обґрунтування науково-технічного напрямку підвищення ефективності експлуатації компресорних станцій магістральних газопроводів шляхом використання вторинних енергоресурсів.
6. Розробка методів та засобів підвищення акустичної ефективності компресорних станцій магістральних газопроводів.
7. Впровадження у виробництво розроблених методик і засобів для підвищення ефективності експлуатації магістральних газопроводів.

Об'єкт дослідження: системи магістральних газопроводів на пізній стадії експлуатації.

Предмет дослідження: технології, методи, заходи підвищення ефективності експлуатації обладнання і лінійної частини магістральних газопроводів.

Методи досліджень. Аналіз причин відмов газотранспортних систем проводився з використанням методу дерева відмов, який ґрунтується на оберненій (дедуктивній) логіці; прогнозування впливу природних та техногенних факторів на відмову газових об'єктів проводилось методами математичного моделювання; для модифікації камер згоряння газоперекачувальних агрегатів застосовувались стендові та натурні випробування. Вірогідність отриманих висновків підтверджено результатами натурних дослідів та статистичними даними із застосуванням алгоритмів обробки даних.

Наукові положення, що виносяться на захист:

1. Закономірності зміни ефективності експлуатації газоперекачувальних агрегатів компресорних станцій з тривалим терміном експлуатації.
2. Результати досліджень критичного напружено-деформованого стану лінійних ділянок газопроводів і методи розрахунку їх залишкового ресурсу.
3. Методи зі зниження рівня аварійних ризиків та шкідливого впливу об'єктів магістрального газопроводу на довкілля.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у наступному:

1. Вперше для підвищення ефективності експлуатації вітчизняних магістральних газопроводів розроблено метод прогнозування ризиків аварій на основі статистичного аналізу їх технічного стану та бального оцінювання окремих факторів впливу.
2. Удосконалено метод визначення залишкового ресурсу магістральних газопроводів на пізній стадії експлуатації на основі закономірностей кінетики втомного руйнування і експериментальних досліджень індикаторів навантаження та моделей-“вирізок” із труб газопроводу.
3. Удосконалено метод визначення залишкового ресурсу газоперекачувальних агрегатів компресорних станцій шляхом встановлення ефективного ККД конкретного агрегату із врахуванням його критичного стану і зміною його в минулому, а також характеру тренду, побудованого для усієї сукупності ідентичних агрегатів.
4. Розвинуто концепцію підвищення енергетичної ефективності камер згоряння газотурбінних установок компресорних станцій на основі трубчастої технології спалювання газу.

5. Отримали подальший розвиток наукові основи використання вторинних енергоресурсів та підвищення акустичної ефективності компресорних станцій магістральних газопроводів.

Практичне значення одержаних результатів полягає:

1. Удосконалено методи кількісного аналізу аварійного ризику газотранспортних об'єктів підвищеної небезпеки, які схвалені і взяті для використання Управлінням Держпромгірнагляду МНС України.
2. Розроблено науково-технічні заходи з впровадження трубчастої технології спалювання газу у камерах згоряння газоперекачувальних агрегатів компресорних станцій, що дало змогу значно підвищити її енергетичну ефективність (патенти України на корисну модель №8303, №8304, №21118, №22994), технологію впроваджено на Бердичівській компресорній станції УМГ «Київтрансгаз».
3. Розроблена технологія одержання вуглекислоти з димових газів, що зменшує навантаження на довкілля (патенти України та Росії на корисну модель №5959, №46753).
4. Створено шумоглушники-утилізатори для газотурбінних агрегатів ГПА-Ц-6,3 та ГТК-10-і (патенти України та Росії на корисну модель №2352, №24041, №61814), які взяті для виготовлення Ухтинським експериментальним механічним заводом (Росія).

Особистий внесок здобувача. Особистий внесок здобувача у роботах, опублікованих у співавторстві, полягає у такому: 1) розглянуто і сформульовано проблеми енергоекологічної безпеки газових об'єктів України; визначено інноваційні пріоритети паливно-енергетичних комплексів країни, сформовано нові підходи до кількісного аналізу аварійного ризику газотранспортних об'єктів, сучасного стану досліджень підвищення ефективності магістральних газопроводів та компресорних станцій [1-7, 13, 15, 16, 21, 41]; 2) визначено залишковий ресурс лінійної частини магістральних газопроводів та здійснено вибір діагностичного параметра агрегатів компресорних станцій [42]; 3) сформульовано і окреслено напрямки створення малотоксичних камер згоряння [11, 12, 22, 27, 28,32, 33, 35-37,42]; 4) висунуто ідею використання вторинних ресурсів компресорних станцій для виробництва вуглекислоти [23,26,30, 38,48]; 5) взято участь у створенні модифікованих шумоглушників-утилізаторів[10, 45, 46].

Апробація результатів роботи. Основні результати дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на конгресах та науково-технічних конференціях: 7-ій міжнародній науково-практичній конференції «Нафта і газ України-2002 (м. Київ, 2002р.), шостій міжнародній конференції «Енергетична безпека Європи ХХІ століття» (м. Київ, 2003р.), сьомій міжнародній конференції «Енергетична безпека Європи ХХІ століття. Інноваційні пріоритети» (м. Київ, 2004р.), IV міжнародному енергоекологічному конгресі «Енергетика. Екологія. Людина» (м.Київ, 2004р.);

8-й міжнародній науково-практичній конференції «Нафта та газ України - 2004» (м. Судак, 2004 р.), першій в Україні міжнародній конференції «Когенерація в промисловості та комунальній енергетиці» (м. Київ, 2005р.), науково-практичній конференції «Екологічні проблеми нафтогазового комплексу» (м. Яремча Івано-Франківської обл., 2004р.), 5-ому міжнародному енергетичному конгресі «Енергетика. Екологія. Людина» (м. Київ, 2005р.), 8-й міжнародній конференції «Енергетична безпека Європи XXI століття, «Євразійські енергетичні коридори (м. Київ, 2005р.), VI міжнародному енергоекологічному конгресі «Енергетика. Екологія. Людина»(м. Київ, 2006р.), 9-й міжнародній конференції «Енергетична безпека Європи XXI століття», «Євразійські енергетичні коридори» (м. Київ, 2006р.), науково-практичної конференції «Нафтогазовий комплекс України, стратегія розвитку» (м. Київ, 2006р.), XII міжнародній конференції «Ресурсоенергозбереження в ринкових відносинах» (м. Ялта, 2006р.), міжнародній науково-технічній конференції «Новітні ресурсозберігаючі технології в нафтогазовій енергетиці ІФНТУНГ-40» (м. Івано-Франківськ, 2007р.), 3-й міжнародній науково-практичній конференції «Екологічні проблеми нафтогазового комплексу» (санаторій Сияк, Закарпатська обл., 2007), VII міжнародному енергетичному конгресі «Енергетика. Екологія. Людина.» (м. Київ, 2007р), 10-й міжнародній конференції «Енергетична безпека Європи XXI століття» (м. Київ, 2007р.), на семінарах кафедри безпеки життєдіяльності і міжкафедральному науковому семінарі факультету нафтогазопроводів Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (м. Івано-Франківськ 2004, 2005, 2006, 2007р.р.)

Публікації. За темою дисертаційної роботи опубліковано 4 монографії, 33 статті у фахових наукових журналах, збірниках, 9 тез та статей міжнародних конференцій і семінарів, одержано 11 патентів України та Росії.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, 6 розділів, висновку, списку використаних джерел (233 найменування), 6 додатків на 58 сторінках, 83 рисунки та 40 таблиць. Загальний обсяг роботи – 350 сторінок, з них основний текст – 237 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність проблеми, сформульовано мету, завдання, об'єкт досліджень, доведено наукову новизну і значимість одержаних результатів, вказано шляхи їх апробації та впровадження.

У першому розділі проведено аналіз сучасного стану досліджень ефективності магістральних газопроводів, що експлуатуються у складних і досить різноманітних природних умовах, спектр навантажень та впливів на магістральні трубопроводи є дуже широким. Окрім цього, система трубопроводів має різне конструктивне рішення по всій її протяжності та різні терміни

експлуатації. Все це призводитиме до їх відмов. Як свідчать статистичні дані, найбільша кількість аварій спостерігається на газопроводах, які експлуатуються понад 20 років і сягає майже 80% загальної аварійності. Загалом, структура лінійної частини газопроводів за терміном експлуатації має такий вигляд: 10 і менше років – 9%, від 11 до 15 років – 10%, від 16 до 20 років – 17%, від 21 до 32 років – 31%; 33 і більше років – 33%, що вимагає безпечних умов експлуатації газотранспортних систем. Оцінка технічного та екологічного ризику запрограмована в нормативних актах, документах та наукових працях.

Одним з напрямків перспективного розвитку газового комплексу України є впровадження науково-технічних розробок і певного досвіду забезпечення ефективності газотранспортних систем. Проблему забезпечення ефективності експлуатації газотранспортної системи неможливо розглянути окремо від процесів реформування суспільства загалом, а також від змін соціально-економічних умов країни.

Зауважимо, що до теперішнього часу в Україні, в основному, вже розроблено достатню кількість ефективних екологічних, енерго-ресурсозберігаючих технологій і обладнання для магістральних газопроводів. Вони дають можливість вже зараз значно збільшити ефективність використання природного газу на компресорних станціях і в перспективі перетворити їх у відносно екологічно чисті енерготехнологічні комплекси комбінованого виробництва різних видів енергії (механічної, електротехнічної, теплової).

Великий внесок у розвиток теорії та практики з розробки енерго-ресурсозберігаючих технологій, обладнання і засобів та заходів з підвищення ефективності експлуатації лінійної частини магістральних газопроводів внесли такі вітчизняні і зарубіжні вчені: Бородавкін П.П., Грудз В.Я., Іванцов О.М., Івасів В.М., Карпаш О.М., Котляревський В.А., Крижанівський Є.І., Мазур М.М., Овчаров С.В., Сафонов В.С. і Одішарія Г.Є., Семчук Я.М., Середюк М.Д., Харіоновський В.В., Телегін Л. Г., Шаталов А.А., Шлапак Л.С. та інші.

Розробкою науково-технічних засобів та заходів для підвищення ефективності експлуатації компресорних станцій магістральних газопроводів займалися такі вчені: Барський І.Л., Бойко А.М., Дикий Н.А., Карп І.М., Любчик Г.Н., Терехов А.Л., Шелковський Б.І., Щуровський В.А., Сотеа С.М., Leonard G. та інші. Але слід зауважити, що науково-технічні розробки минулих років зараз вимагають вдосконалення, підвищення ефективності та поліпшення енерго-екологічних показників вітчизняних магістральних газопроводів на пізній стадії експлуатації. Все це послужило мотивом для вибору теми дисертації, яка може стати орієнтиром у практичній роботі фахівців науково-дослідних і експлуатуючих організацій.

У цьому розділі проведено аналіз аварійних ситуацій на вітчизняних і зарубіжних магістральних газопроводах, а також їх причин та наслідків.

Загалом відмова магістральних газопроводів під дією техногенних, природних чи антропогенних факторів може супроводжуватися: утворенням ударної хвилі; загорянням газу і термічним впливом пожежі на довкілля; токсичним забрудненням атмосферного повітря; створенням пожежовибухової небезпеки у житлових та робочих приміщеннях через потрапляння газу; розлітанням шматків металу та фрагментів внаслідок руйнування лінійної частини трубопроводів.

Другий розділ присвячений теоретичним дослідженням аварійного ризику під час експлуатації вітчизняних магістральних газопроводів.

Аналіз та керування аварійним ризиком є складною комплексною процедурою, що включає низку етапів. Залежно від того, про який період життєвого циклу ГТС йде мова, ступінь глибини й деталізація аварійного ризику буде різною.

Якісний та кількісний аналіз небезпечних факторів, що призводять до відмов газотранспортних систем є невід'ємним і найважливішим етапом у створенні комплексної системи керування ними. Очевидно, що виникнення цієї чи іншої позаштатної ситуації є явищем випадковим. Проте наведений у цьому розділі статистичний аналіз дає змогу оперувати показниками імовірності виникнення аварійної ситуації та уникнути стохастичної невизначеності. Основою математичного аналізу цих факторів є теорія імовірності та теорія надійності.

Позначимо λ_{ijk} потенційно небезпечний фактор, що може призвести до виникнення відмов газопроводу. Класифікуватимемо їх за обставинами – $i=1$, які можуть виникнути у випадку просідання лесових, болотистих та інших ґрунтів; $i=2$ – під час зсувів земної поверхні; $i=3$ – у разі механічного пошкодження трубопроводу; $i=4$ – за вітрового навантаження (наземна частина трубопроводу)]; за основними причинами відмов – j , та за видами подій – K .

Показник частоти λ_{ijk} прояву X_{ijk} -го фактора відмов газопроводу визначимо за запропонованою автором формулою:

$$\lambda_{ijk} = \lambda_{ijk}^A + \lambda_{ijk}^P = \left(\frac{K_{ijk}^A}{\sum_i \sum_j \sum_k (K_{ijk}^A)} + \frac{1,2 \cdot K_{ijk}^P}{\sum_i \sum_j \sum_k (K_{ijk}^P)} \right) \quad (1)$$

де λ_{ijk}^A – дійсний показник частоти прояву X_{ijk} -го фактору відмов газопроводу в конкретному районі або в країні;

λ_{ijk}^P – потенційний показник частоти;

K_{ijk}^A – кількість випадків відмов, що сталися протягом певного періоду внаслідок випадку, який стався за i -тої обставини, за i -ї причини, як наслідок K -ї події;

$\sum_i \sum_j \sum_k (K_{ijk}^A)$ – загальна кількість відмов;

K_{ijk}^{Π} - потенційна кількість відмов газопроводу у межах району, країни на певний період як прояв X_{ijk} -го фактора;

$\sum_i \sum_j \sum_k (K_{ijk}^{\Pi})$ - загальна потенційна кількість відмов.

Потенційна складова частоти прояву відмов газопроводу у формулі (1) розраховується як добуток дійсної складової на коефіцієнт збільшення відмов МГ (старіння трубопроводів, активізація природних процесів тощо). Він встановлюється на основі статистичних даних відмов за певний період часу. Так, за останні 16 років експлуатації вітчизняних МГ частота їх відмов збільшилася з $0,35 \text{ рік}^{-1}$ до $0,42 \text{ рік}^{-1}$ на 1000 км, тобто у 1,2 рази.

Аварії на газопроводах характеризуються наявністю суттєвих розходжень у значеннях питомої частоти аварій $\lambda_{сер}$ у середньому по галузі й значеннях питомої частоти аварій $\lambda_{МГ}$ у цілому по конкретному газопроводу й локальної частоти λ_n по його окремих ділянках, що відрізняються за своїми конструктивно-технологічними характеристиками, особливостями проектування, будівництва й експлуатації за різних зовнішніх умов. Тому під час дослідження аварійного ризику експлуатації МГ неминуче постає питання про ранжування його окремих ділянок таким чином, щоб найнебезпечнішим (з огляду на технічний стан) ділянкам приділялася найбільша увага - і при з'ясуванні прийнятності аварійного ризику, і під час планування ремонтних робіт та інших превентивних заходів.

Залежно від сукупності конкретних значень різних факторів впливу (ФВ) на аварійність, що мають місце на розглядуваній ділянці траси, інтенсивність аварій на ній буде так чи інакше відрізнятися від середньої по галузі $\lambda_{сер}$. Ці розходження пропонується враховувати за допомогою інтегрального коефіцієнта впливу ($k_{впл}$), що вказує у скільки разів локальна інтенсивність аварій відрізняється від $\lambda_{сер}$ і розраховується як добуток трьох коефіцієнтів впливу: регіонального ($k_{рег}$), «діаметрального» (k_D) і локального ($k_{лок}$), тобто локальна інтенсивність аварій на n -ій ділянці траси може бути виражена [Мазур І.І., Іванцов О.М., 2004] як:

$$\lambda_{сер} = \lambda_{сер} (k_{рег} \cdot k_D \cdot k_{лок}) \quad (2)$$

Для розрахунку локального значення інтенсивності аварій на n -ій ділянці траси авторами запропоновано формулу:

$$\lambda_n = \lambda_{сер} \cdot k_{рег} \cdot k_D = \frac{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{J(i)} p_i \cdot q_{ij} \cdot B_{ij}}{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{J(i)} p_i \cdot q_{ij} \cdot B_{ij}^{сер}}, \quad (3)$$

де B_{ij} - бальна оцінка фактора впливу;

p_i - частка i -ої групи фактора впливу;

q_{ij} - частка j -го фактора впливу в i -ій групі;

$B_{сер}$ - бальна оцінка середньостатистичної по Україні ділянки МГ.

$B_{сер}$ знаходимо за середніми по Україні значеннями $f_{ijсер}$ кожного фактора впливу і відповідних їм бальним оцінкам $B_{ijсер}$.

Розрахунок локальних значень інтенсивності аварій для кожної ділянки траси за цією формулою дає можливість одержати розподіл питомої частоти аварій по довжині траси $\lambda_n(x)$.

На практиці, під час аналізу аварійного ризику на вітчизняних МГ, визначення λ_n зустрічає значні труднощі через нестачу коректних статистичних даних з аварійності МГ. Якщо ця обставина має місце в конкретній роботі, допускається використовувати аналогічні статистичні дані по МГ, що експлуатуються за подібних умов і мають подібні технічні характеристики. За відсутності й таких даних рекомендується дотримуватись логіки максимально консервативного підходу, приймаючи $\lambda_{сер} = 3 \cdot 10^{-4}$ 1/км · рік, а $k_{рег}$ взагалі не розраховувати.

Загалом аналіз аварійного ризику є складною комплексною процедурою, що включає чотири етапи.

На першому етапі виявляються основні потенційні небезпеки, властиві МГ.

На другому етапі проводиться аналіз і кількісна оцінка можливих наслідків від прогнозованих аварій. Третій етап являє собою частотний аналіз аварійних подій; що полягає у визначенні інтенсивностей (частот) - ймовірностей аварійних подій. На четвертому етапі дані про очікуваний збиток і втрати від окремих аварій комбінуються з даними про можливу інтенсивність і ймовірність аварійних подій, та розраховується величина прогнозованого аварійного ризику.

Після кожного з перерахованих етапів проводиться аналіз отриманих даних, і у випадку їхньої неприйнятності розробляються і реалізуються коригувальні впливи на МГ з метою знизити рівень його небезпеки.

У **третьому розділі** наведено результати експериментальних досліджень з визначення залишкового ресурсу лінійної частини магістральних газопроводів шляхом використання індикаторів навантаження.

Для вирішення проблеми оцінки залишкового ресурсу аварійно небезпечних ділянок МГ доцільно використовувати накладки з індикаторами навантаження. При цьому необхідно мати кінетичні діаграми втомних індикаторів, тобто криві втомних за різних ступенів їх пошкодження.

Провівши серію втомних випробувань індикаторів за різного ступеня пошкодження (у нашому випадку, з різною довжиною вирощеної тріщини), отримаємо кінетичні діаграми втомних з імовірнісними характеристиками.

Суть даної методики полягає в наступному. На індикаторах вирощують з допомогою розробленої нами установки тріщини різної довжини і прикріплюють їх за допомогою точкового зварювання до моделей-вирізків. Моделі-вирізки з привареними індикаторами з вирощеними тріщинами групуємо за довжиною початкової тріщини. Потім проводимо серію втомних випробувань на

розробленому дослідному стенді з індикаторами кожної групи до повного руйнування індикаторів.

Рівні навантаження визначають за умови охоплення для кожної серії інтервалу багаточислової втоми ($N = 10^4$ - 10^7 циклів до руйнування) з найбільшою рівномірністю, що значно спрощує подальші імовірнісні розрахунки.

На другому етапі усі результати зводяться у генеральну вибірку і за допомогою програми обробки даних визначаються параметри усередненої кривої втоми Q_c , σ_{rc} і V_{oc} . Для цього розроблено алгоритм обробки експериментальних даних, який призначений для використання у середовищі програмування комп'ютерної математичної системи *Maple*.

На основі алгоритму створено комп'ютерну програму для розрахунку та графічної побудови імовірнісних кривих втоми.

Приклад побудованих кінетичних кривих втоми індикаторів наведено на рис. 1. Знаючи величину σ та кількість циклів за визначений період експлуатації ΔN , можна прогнозувати залишковий ресурс МГ в імовірнісному аспекті. Але при експлуатації МГ їх визначення є дуже складною задачею. В першу чергу це пояснюється випадковим характером навантаження, змінами режимів експлуатації та іншими випадковими факторами. Постійний контроль навантаження тільки частково знімає цю проблему.

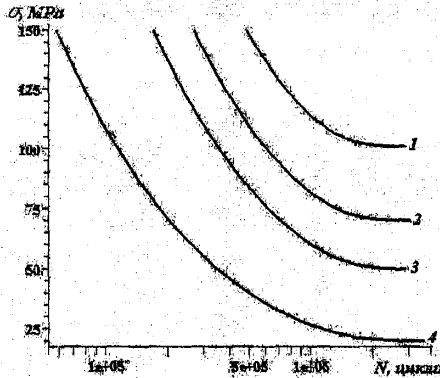


Рис.1 Кінетичні криві втоми індикаторів з довжиною тріщини
1 – 0,5 мм; 2 – 1 мм; 3 – 1,5 мм; 4 – 2,5 мм

Так, навіть при постійному моніторингу за напруженим станом у випадку складного багаточастотного навантаження зробити висновок про еквівалентне напруження $\sigma_{екв}$ та кількість циклів неможливо без значних спрощень гіпотетичного характеру при схематизації процесу. Нами пропонується визначити $\sigma_{екв}$ і ΔN з допомогою кінетичних кривих втоми індикаторів навантажування.

Для цього необхідно мати хоча б три зруйновані індикатори з різним початковим пошкодженням l_i і визначеним терміном експлуатації p_i , наприклад, за кількістю років експлуатації накладки до поломки індикатора ($p_1 < p_2 < p_3$).

За достатньо великих термінів експлуатації в одних умовах можна прийняти еквівалентну кількість циклів напружень за однаковий термін експлуатації ΔN величиною незмінною.

Тоді $N_1 - N_2 = \Delta N(p_2 - p_1)$, $N_2 - N_3 = \Delta N(p_3 - p_2)$ і ми можемо записати систему рівнянь

$$\begin{cases} \Delta N(p_2 - p_1) = \frac{Q_1}{\sigma_{\text{екс}}} \ln \left\{ 1 + \left[\exp \left(\frac{\sigma_{\text{екс}} - \bar{\sigma}_{R1}}{V_0} \right) - 1 \right]^{-1} \right\} \\ - \frac{Q_2}{\sigma_{\text{екс}}} \ln \left\{ 1 + \left[\exp \left(\frac{\sigma_{\text{екс}} - \bar{\sigma}_{R2}}{V_0} \right) - 1 \right]^{-1} \right\} \\ \Delta N(p_3 - p_2) = \frac{Q_2}{\sigma_{\text{екс}}} \ln \left\{ 1 + \left[\exp \left(\frac{\sigma_{\text{екс}} - \bar{\sigma}_{R2}}{V_0} \right) - 1 \right]^{-1} \right\} \\ - \frac{Q_3}{\sigma_{\text{екс}}} \ln \left\{ 1 + \left[\exp \left(\frac{\sigma_{\text{екс}} - \bar{\sigma}_{R3}}{V_0} \right) - 1 \right]^{-1} \right\} \end{cases}, \quad (4)$$

розв'язком якої і будуть шукані величини ΔN і $\sigma_{\text{екс}}$.

Маючи достатню кількість індикаторів з різною довжиною початкової тріщини, послідовно визначають напруження і кількість циклів за визначений період експлуатації ділянки МГ.

У нашому випадку втомні випробування моделей-вирізків проводяться за коефіцієнта асиметрії $r=0$, отже, відомими є тільки значення σ_0 та S_0 . Для окремої ділянки МГ коефіцієнт асиметрії через дію внутрішнього тиску та можливий в ускладнених умовах експлуатації згин (зсув ґрунту, повітряні та підводні переходи тощо) може змінюватися в широких межах $-1 < r < 1$. Тому необхідним є приведення результатів втомних випробувань при $r=0$ до визначеного для конкретної ділянки МГ коефіцієнта асиметрії. Визначення $\bar{\sigma}$, проводимо за рівняннями

$$\bar{\sigma}_r = \frac{2\bar{\sigma}_{-1}}{2 - (1 - \psi)(1 + r)} \quad \text{при } r \leq 0; \quad (5)$$

$$\bar{\sigma}_r = \frac{2\bar{\sigma}_{-1}\sigma_0}{(1 - r)(1 + \psi)\sigma_0 + 2r\bar{\sigma}_{-1}} \quad \text{при } r > 0; \quad (6)$$

де ψ – коефіцієнт чутливості до асиметрії навантаження;

$\bar{\sigma}_{-1} = \frac{\bar{\sigma}_0}{2}(\psi + 1)$ – границя витривалості за симетричного циклу навантаження;

σ_e – нижня межа границі міцності матеріалу труби.

Використовуючи параметри рівняння кривих втоми труби з різною імовірністю не руйнування, з допомогою одержаної інформації будують кінетичні криві втоми ділянки МГ і визначають залишковий ресурс в імовірнісному аспекті.

У розділі також наведено методику прогнозування залишкового ресурсу газопроводу з урахуванням пульсацій тиску. Для розв'язання цієї проблеми необхідно визначити відносно накопичення пошкоджень газопроводу під час його роботи у визначених умовах експлуатації. Для проведення експериментальних досліджень було взято моделі – “вирізки” з газопроводу діаметром 820 мм і товщиною стінки 8 мм (сталь 19Г) без дефектів та з локальними механічними дефектами. За допомогою створеної у середовищі Maple програми розрахунку параметрів та побудови кінетичних кривих втоми з різною імовірністю неруйнування виконано розрахунки середньоквадратичного відхилення границі витривалості газопроводу та його залишкового ресурсу. Відмічено, що за даних параметрів дефектів і навантаженості загрози руйнування немає. Але, якщо врахувати відключення тиску в газопроводі (один раз на рік експлуатації), то залишковий ресурс значно зменшується і становить близько 18 років експлуатації.

У четвертому розділі запропоновано метод прогнозування залишкового ресурсу устаткування заснований, на спостереженні у процесі експлуатації, а також на узагальненні низки статистичних параметрів експлуатації, відхилення яких можуть порушити встановлені норми експлуатації компресорної станції.

Результати вимірювань параметрів кожного агрегату використовують для побудови середньої кривої вимірювального параметра групи агрегатів в залежності від напрацювання кожного з них. Отримані ламані криві характеру зміни вимірюваного параметра кожної машини можна скоригувати шляхом збільшення періодичності вимірювань діагностичного параметра та побудови кривої середніх значень параметрів експлуатації для групи досліджуваних агрегатів.

Зміна середньої кривої вимірюваного параметра в часі буде мати вигляд функції

$$P = S(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n, t), \quad (7)$$

де: $\alpha_1, \dots, \alpha_n$ – коефіцієнти моделі кожного агрегату; t – напрацювання агрегату.

Критичне значення напрацювання пропонується визначити так. Для кожного агрегату встановлено критичне значення параметра або заводом-виробником, або досвідом експлуатації. Це означає, що кожний параметр має своє допустиме значення, яке відповідає нормальній роботі.

Із заданої множини $S_{кр}$ для кожної кривої (агрегата) визначається критичне значення напрацювання $T_{кр}$. Для m різних агрегатів встановлені m різних значень: $T_{кр}; T_{1кр}, T_{2кр}, \dots, T_{mкр}$.

Серед визначальних параметрів діагностики ГПА найбільш часто використовується для визначення технічного стану ефективний коефіцієнт корисної дії (ККД). Метод побудови функції зміни ККД полягає в наступному: в процесі експлуатації для різних напрацювань агрегатів необхідно встановити різні значення ККД, розрахувати середнє значення $\eta_{гпа}$ групи досліджуваних агрегатів для кожного напрацювання, побудувати статистичну криву зміни ККД $\eta_{гпа}$ в залежності від напрацювання, функція якої має параболічну форму.

Використання методики оцінки еквівалентності режимів при різноманітних умовах роботи агрегатів R , дозволяє встановити ресурс будь-якого агрегата, якщо відомі параметри експлуатації одного із них. Реалізується це наступним чином. Нехай в одних умовах роботи ГПА при його ресурсі t_1 ймовірність роботи без ремонту (або заміни), через досягнення критичного стану агрегата рівна $\varphi_{гпа}(t_1, R_1)$. Якщо необхідно зберегти у відсотках ймовірність роботи без ремонту в інших умовах експлуатації агрегатів, то необхідно задовільнити рівняння:

$$\varphi_{гпа}(t_1, R_1) = \varphi_{гпа}(t_2, R_2) \quad (8)$$

де:

$$\varphi_{гпа}(t, R) = e^{-\int_0^t \lambda(t, R) dt},$$

$\lambda(t, R)$ - значення інтенсивності відмов обладнання.

Так, визначається величина ресурсу t_2 в нових умовах експлуатації агрегатів за відомих даних $\lambda_{ср}(R_1)$, $\lambda_{ср}(R_2)$ і t_1 .

Прогресивна форма диференціації ресурсу – експлуатація ГПА за технічним станом. За різноманітних форм технічного обслуговування, заміни елементів і ремонти, включаючи капітальні, проводяться в залежності від фізичного стану кожного агрегату. Ця форма експлуатації найбільш повно задовольняє умову (8), оскільки вона забезпечує максимальне використання агрегатів в залежності від їх конструктивних можливостей. Відповідно, при збільшенні величин ресурсу більшість агрегатів буде ремонтуватися раніше встановленого терміну із врахуванням їх фактичного стану.

Критичне значення ефективного ККД характеризує ненормальний стан агрегатів. Заключення про критичне значення ефективного ККД базується на певному ряді критеріїв (критерій забезпечення мінімуму витрат або критерій безпечної роботи).

Оптимальне критичне значення ефективного ККД визначається напрацюванням, за якого сума втрат вартості недовиконаного об'єму робіт буде вищою вартості сукупності заміненних елементів C_3 .

Функція прибутку, принесеного агрегатом, залежить від часу t , ступеня відновлення ефективного ККД і від характеру його зміни в наступний період експлуатації. У цьому випадку вона виражається залежністю:

$$C(t) = f(t, \lambda, C_p, V). \quad (9)$$

де: C_p – вартість заміни елементів ГПА;

V – коефіцієнт варіації функції зміни ККД.

Прибуток, принесений агрегатом між двома сусідніми ремонтами (k і $k+1$), виражається через ефективний ККД:

$$C^k(\Delta t_k) = \int_0^{\Delta t_k} f(\eta_{\text{еф}}, t) dt,$$

де $C^k(\Delta t_k)$ – прибуток при k – му значенні ККД.

Загальний прибуток, принесений агрегатом за весь міжремонтний цикл $T_{\text{МК}}$ до капітального ремонту, визначається так:

$$M = \int_{T_0}^{T_{\Delta}} \pi(t) dt + \sum_{i=1}^{k+1} \left\{ \int_{T_k}^{T_{k+1}} f(\eta_{\text{еф}}(T_i)) dt - C_p^i \right\}, \quad (10)$$

$$M = C^0(\Delta t_0) + \sum_{i=1}^{k+1} \{C^i(\Delta t_i) - C_p^i\}$$

де: $C^0(\Delta t_0)$ – прибуток за нормальних значень ККД;

$\pi(t)$ – функція прибутку за нормальних значень;

$\Delta t_0 = T_{\Delta} - T_0$ – період до першого ремонту.

Якщо відома функція швидкості прибутку $C(t)$ і вартість заміни (або ремонту) елементів вимірювального агрегата C_p , віднесена на період напрацювання t , то середній одиничний чистий прибуток складатиме:

$$\xi(t) = \frac{1}{t} \left[\int_0^t c(t) dt - C_p \right]. \quad (11)$$

Функція $\xi(t)$ буде максимальною у разі досягнення агрегатом свого критичного стану. Критичне напрацювання $T_{\text{кр}}$, відповідає критичному значенню ефективного ККД ($\eta_{\text{ГПА кр}}$).

Метод визначення залишкового ресурсу ГПА полягає у вимірюванні ефективного ККД конкретного агрегату із врахуванням його критичного стану і зміною його в минулому, а також характеру зміни, виявленої для всієї сукупності ідентичних агрегатів.

Реалізація цього методу дає можливість отримати достовірний прогноз залишкового ресурсу і високий техніко-економічний ефект. Для цього спочатку

необхідно побудувати середню функцію зміни ефективного ККД для групи однотипних спостережувальних агрегатів на основі середніх даних по критичному стану групи агрегатів, після чого встановлюють допустимі відхилення функції зміни ефективного ККД і його середнього значення (рис 2).

Допустимі відхилення:

$$U_1 = \eta_{\text{ср}} - k\delta; \quad U_2 = \eta_{\text{ср}} + k\delta, \quad (12)$$

де $\eta_{\text{ср}}$ - середнє квадратичне значення ККД в перерізі А-А.

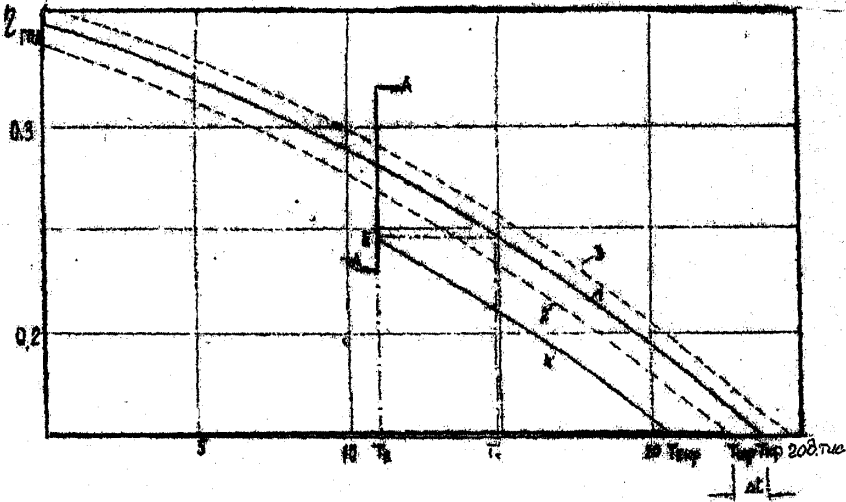


Рис. 2. Визначення залишкового ресурсу агрегату:

1 – крива середніх значень ефективного ККД; 2, 3 – криві нижнього і верхнього відхилення від середніх значень ККД; 4 – крива зміни ефективного ККД агрегату;

А-А – переріз, де визначаються відхилення від середнього значення.

Далі для знайдених величин U_1 і U_2 будуть відповідні криві для декількох значень напрацювання, де проводять вимірювання (діагностику).

Послідовно, за критичних значень $\eta_{1кр} = \eta_{2кр} = \eta_{\text{ср}} \text{кр}$ визначають відповідні напрацювання $T_{1кр}$ і $T_{2кр}$ для кривих 1 і 2.

У п'ятому розділі дисертації розроблені науково-технічні засоби та заходи підвищення ефективності експлуатації компресорних станцій магістральних газопроводів. Відомо, що близько 16% ГПА фізично і морально застаріли, мають порівняно низький ККД – 24-26 %, незадовільні екологічні характеристики за рівнем шуму та концентрацією шкідливих (CO_2) та токсичних (NO) теплових викидів із вихлопними газами у навколишнє середовище. Для зниження токсичності продуктів згоряння вуглеводневих палив розроблено науково-

технічну програму з модернізації штатних камер згоряння ГТК-10, суть якої полягає у заміні периферійних пальників реєстрового типу на прямоточні пальники трубчастого типу (I-ий етап модернізації) та збільшенні первинного надлишку повітря (II-ий етап модернізації).

Особливістю даної технології є раціональне використання конструктивних особливостей і особливих аеродинамічних ефектів насадки Борда, яка широко використовується в різних галузях техніки у напрямку інтенсифікації і стабілізації горіння, а також створення умов мінімізації токсичності продуктів згоряння.

З метою наукового обґрунтування ефективності застосування такої технології проведено стендові дослідження одиночних трубчастих модулів (внутрішній діаметр повітряної трубки 36 мм) з різними схемами сумішоутворення в широкому діапазоні зміни коефіцієнта надлишку повітря, а також визначення характеристик емісії оксидів азоту NO та CO . Умови досліджень: діапазон температур повітря на вході в камеру згоряння - 211 ... 268 °С; діапазон зміни коефіцієнта надлишку повітря у зоні горіння $\alpha = 1,15...3,36$; тиск - атмосферний.

Методика діагностики складу продуктів згоряння: відбір водоохолоджувальною інтегруючою трубкою проби продуктів згоряння з наступним аналізом на автоматизованому хроматографі фірми "Unigas", який фіксував коефіцієнт розбавлення продуктів згоряння (h) та концентрації NO_x і CO . Коефіцієнту надлишку повітря (α) визначався за результатами матеріального балансу та газового аналізу.

Промислова перевірка можливості використання трубчастих пальників в камері згоряння ГПА ГТК-10-4 здійснена на Бердичівській КС. Зіставлення емісійних характеристик $NO_x(\alpha = 3,5) = f(\alpha)$ при роботі агрегату з штатними (реєстровими) пальниками і модернізованими (трубчастими) наведено на рис. 3.

Аналіз характеристик емісії оксидів азоту свідчить що:

- максимальне зниження емісії оксидів азоту у результаті використання I-го варіанту трубчастого пальника за загального надлишку повітря $\alpha_0 = 7,0$, що відповідає номінальному значенню для даного типу ГТК, сягає 30 % від рівня максимальної емісії у випадку роботи установки із штатними пальниками;
- форма характеристики $NO_x(\alpha = 3,5) = f(\alpha)$ під час роботи трубчастих пальників вказує на помітну дію надлишку повітря на емісію оксидів азоту, особливо в області $\alpha_0 < 7,0$.

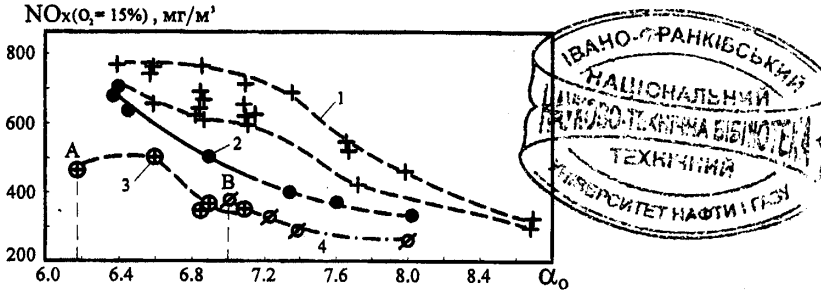


Рис. 3. Результати екологічної діагностики ГПА ГТК-10-4: 1 – ГПА ГТК-10-4 (ст. №4) зі штатними реєстровими пальниками; 2 - ГПА ГТК-10-4 (ст. №4) з пальниками трубчастого типу (I варіант); 3 - ГПА ГТК-10-4 (ст. №1) з штатними реєстровими пальниками; 4 - ГПА ГТК-10-4 (ст. №1) з пальниками трубчастого типу (II варіант).

У результаті модернізації досягнуто приріст ($\Delta\eta_e$) ефективного ККД ГПА порівняно з варіантом, коли ГПА оснащено штатною камерою згоряння з реєстровими пальниками та патрубками локального дозованого вдування (ЛДВ) у середньому на 3,4%, що еквівалентно відносному приросту ($\delta\eta_e = 100 \cdot \Delta\eta_e / \eta_e$, %) ККД приблизно на 10,7...11,8 % (залежно від режиму експлуатації) і такому ж рівню економії природного газу на привід ГПА (рис. 4).

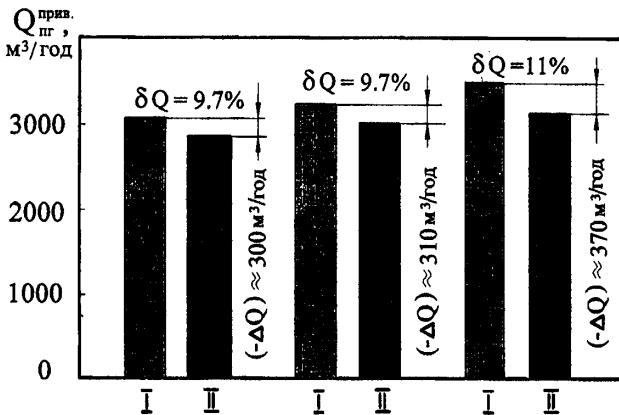


Рис. 4. Порівняння рівнів витрат паливного газу на привід ГПА ГТК-10-4 за різних оборотів ТНД за початкового (I) і модернізованого (II) варіанту експлуатації

У випадку застосування трубчастої технології тільки на одному ГПА за рахунок зниження витрат паливного газу на власні потреби на 10% економічний

ефект складає близько 1 млн. грн. на рік (за терміну реалізації 1 місяць з терміном окупності заходів із застосування трубчастої технології 1-2 місяці).

У результаті модернізації камери згоряння досягається: підвищення надійності експлуатації ГПА ГТК-10 за рахунок високої ефективності роботи модернізованої камери згоряння в широкому діапазоні режимів експлуатації ГПА та розширення запасу по ефективній потужності агрегату; підвищення коефіцієнта надлишку повітря у камері згоряння ГПА (приблизно на 10% за однакової ефективної потужності); утворення однорідної термічної структури потоку та підвищення рівномірності поля температур газів перед сопловим апаратом ТВТ; зниження рівня максимумів температур перед турбіною високого тиску за однозначної ефективної потужності (з оптимізованим і штатним варіантом камери згоряння).

Важливим напрямком підвищення ефективності експлуатації компресорних станцій є використання вторинних енергоресурсів. У ВАТ "Укргазпроект" за участі автора розроблено схему (рис. 5) для одержання вуглекислоти на КС з електроприводним ГПА і газотурбінними агрегатами вуглекислотну установку на імпортному устаткуванні, що використовує побічний продукт - вуглекислий газ, який міститься в продуктах згоряння працюючих газових опалювальних котелень на КС із газотурбінними ГПА.

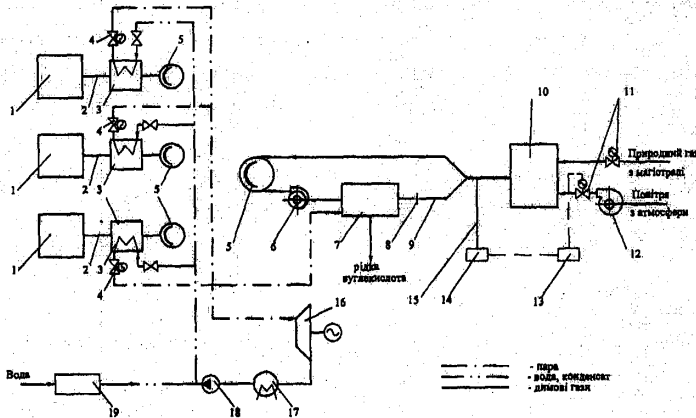


Рис. 5. Принципова технологічна схема одержання вуглекислоти з використанням вторинних ресурсів КС газопроводів: 1 – газотурбінний газоперекачувальний агрегат; 2 – випускний тракт агрегату; 3 – паровий котел-утилізатор; 4, 11 – засувка з електроприводом; 5 – димова труба; 6 – димосос; 7 – вуглекислотна установка; 8 – шибера; 9 – димохід; 10 – котельня; 12 – вентилятор; 13 – блок управління; 14 – газоаналізатор; 15 – відвід; 16 – парова турбіна з електрогенератором; 17 – конденсатор; 18 – конденсатний насос; 19 – блок водопідготовки

Димові гази газових котелень, як сировина для одержання рідкої вуглекислоти повинні відповідати певним вимогам, що дають змогу проводити технологічний процес з максимальною ефективністю. Вміст CO_2 в них повинен бути максимальним (не менш ніж 9,0%) за мінімального вмісту кисню.

Кисень є окислювачем абсорбенту CO_2 з димових газів і суттєво впливає на його витрату. Абсорбентом є розчин моноетаноламіну (МЕА). Тому процес спалювання природного газу для одержання димових газів повинен здійснюватись з мінімально можливим коефіцієнтом надлишку повітря.

Для спільних цілей теплофікації КС і одержання вуглекислоти визначений оптимальний коефіцієнт надлишку повітря α .

Для вибору оптимальних параметрів газової опалювальної котельні, як генератора вуглекислого газу, на ПЕОМ були проведені розрахунки термодинамічно рівноважних складів продуктів згоряння природного газу різних родовищ за коефіцієнтів надлишку повітря в інтервалі 0,8÷1,2.

Аналіз результатів розрахунку, які проведені в Інституті газу НАНУ і ВАТ "Укргазпроект", свідчить, що оптимальною величиною α при використанні продуктів згоряння газу для одержання вуглекислоти є $\alpha \approx 0,9$. За цього режиму горіння відсутні залишковий кисень, оксиди азоту, а вміст CO_2 у продуктах згоряння максимальний. Для продуктів згоряння природного газу різних, вибраних нами, родовищ величини CO_2 складають 9,46÷9,71% об.

Згідно з усередненими паспортними даними теплова потужність газових опалювальних котелень КС з різними типами ГПА складає близько 4,2 МВт, а витрата природного газу - 500 м³/год. При цьому витрата повітря при $\alpha \approx 0,9$ для газу різних родовищ у середньому приблизно дорівнює 4150 м³/год. У разі спалювання такої кількості газів з продуктів згоряння можна одержати 500 кг/год (12 т/добу) рідкої вуглекислоти.

Шостий розділ дисертації присвячений розробці науково-технічних заходів та засобів підвищення акустичної ефективності компресорних станцій магістральних газопроводів.

Інтенсивним джерелом шуму на КС є вихлопні шахти газоперекачувальних агрегатів. Як правило, для зниження рівня шуму вихлопу ГПА із судновим та авіаційним приводами типу ГПА-Ц-6,3, ГПА-Ц-16, ГПА-10-і застосовують одно або двоступінчасті глушники, які являють собою набір плоских металевих перфорованих пластин, заповнених базальтовим волокном і встановлених паралельно потоку вихлопних газів ГПА. Ефект глушіння шуму полягає в поглинанні порами звуковбирного волокна звукової енергії, що витрачається на подолання тертя часток повітря і інерції кістяка звуковбирного матеріалу. Однак, такі глушники мають низьку акустичну ефективність (близько 5 дБ) і експлуатаційну надійність. Під впливом швидкісного потоку гарячих (понад

350°C) вихлопних газів ГПА відбувається руйнування поверхонь перфорованих пластин і викид металу та звукоізоляційного матеріалу в атмосферу.

Разом з тим завдання звукоізоляції може бути більш ефективно вирішене шляхом встановлення у вихлопних шахтах ГПА шумоглушників-утилізаторів (ШУТ), які забезпечують зниження шуму вихлопу агрегатів з одночасною утилізацією теплоти їх вихлопних газів для підігріву води, повітря і інших теплоносіїв у системах теплопостачання КС. Такий шумоглушник-утилізатор (ШУТ) для ГТУ був запропонований інститутом "Укргазпроект" на рівні винаходу. Конструкція такого шумоглушника наведена на рис 6. Потік вихлопних газів надходить на вхід у шумоглушник-теплоутилізатор, а потім у простір між обтічниками, де відбувається дроблення потоку, його багаторазові звуження й розширення за рахунок прямокутних труб теплообмінників. При цьому відбувається відбиття звукових хвиль від прямокутних стінок і їхній вплив на осьовий потік вихлопних газів ГПА. Водночас відбувається інтенсивне охолодження потоку газів циркулюючим в каналах теплообмінника охолоджувачем. Це призводить до додаткового зниження рівня шуму вихлопу завдяки відбиттю звукових хвиль і їхнього накладення на осьовий потік вихлопних газів через різницю імпедансів поблизу стінки теплообмінника і у потоці газів.

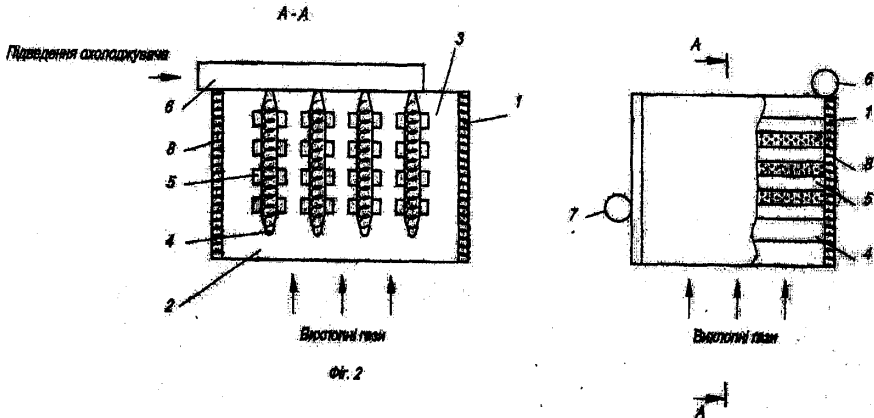


Рис. 6 – Шумоглушник-утилізатор для ГПА: 1 - корпус; 2 – впускний отвір; 3 – випускний отвір; 4 - обтічник; 5 - утилізаційний теплообмінник; 6 - підвідний повітряний колектор; 7 – відвідний повітряний колектор; 8 - звуковбирне волокно.

Акустична ефективність нової конструкції шумоглушника-утилізатора для ГПА визначається за методикою, розробленою в лабораторії охорони праці ТОВ „ВНІІГАЗ” за участю фахівців ВАТ „Укргазпроект”, в тому числі і автора, і Московського автомеханічного інституту. Вона являє собою суму

$$\Delta L = \Delta L_p + \Delta L_a, \quad (13)$$

де ΔL_p і ΔL_a - акустична ефективність відповідно до реактивної і абсорбційної частини ШУТ, дБ.

Розрахунок абсорбційної частини ШУТ зводиться до акустичного розрахунку пластинчастого глушника шуму.

Акустична ефективність реактивної частини ШУТ визначається для багатокамерного глушника за формулою:

$$\Delta L_p = 20N \lg \left(|B| + \sqrt{B^2 + 1} \right), \quad (14)$$

$$\text{де } B = 0,5 \left\{ \left[1 + 0,5 \left(m + \frac{1}{m} \right) \right] \cos[k(l_k + l_{TP})] + \left[1 - 0,5 \left(m + \frac{1}{m} \right) \right] \cos[k(l_k - l_{TP})] \right\}; \quad (15)$$

де m - ступінь розширення, рівна відношенню площі перетину камери S_k до площі поперечного перерізу трубопроводу;

$k = 2\pi f/c$ - хвильове число, м^{-1} ;

f - частота звуку, л/с ;

c - швидкість звуку в потоці вихлопних газів, м/с ;

l_k - довжина камери, м ;

l_{TP} - довжина трубопроводу, м ;

N - число камер.

Як критерій оптимальності під час вибору акустичних характеристик прийнятий максимум акустичної ефективності глушника. При визначенні його енергетичних характеристик науково обґрунтовано вибір і прийнятий як критерій оптимальності мінімум питомих наведених витрат. Таким чином, внаслідок розробки шумоглушників-утилізаторів для ГПА було вирішено двокритеріальне завдання оптимізації.

ВИСНОВКИ

Вирішено важливу науково-прикладну проблему підвищення ефективності магістральних газопроводів на пізній стадії експлуатації шляхом встановлення закономірностей впливу на аварійність природних та техногенних факторів, методів та методик для визначення залишкового ресурсу лінійної частини трубопроводів та обладнання компресорних станцій, а також енергоекологічних безпечних засобів та методів.

Основні наукові та практичні результати:

1. Проведено аналіз сучасного стану досліджень у галузі забезпечення експлуатаційної надійності вітчизняних магістральних газопроводів. Запропоновано та забезпечено кількісною інформацією аналітичні залежності для визначення показника прояву природних та техногенних

факторів на частоту відмов газопроводу в конкретному районі; для розрахунку локального значення інтенсивності аварій на окремій ділянці **визначених газопроводів** проведено бальне оцінювання окремих факторів впливу; розроблено загальну схему послідовності вивчення відмов під час експлуатації газопроводів, що складається з чотирьох етапів: на першому етапі виявляються основні потенційні небезпеки, на другому – проводиться аналіз і кількісна оцінка можливих наслідків, на третьому - визначаються інтенсивність (частота) та ймовірність аварійних подій, а на четвертому - розраховуються збитки і втрати від окремих аварій та величина прогнозованого ризику.

2. На основі теоретичних та експериментальних досліджень удосконалено метод оцінки ймовірності руйнування магістральних газопроводів за допомогою індикаторів навантаженості на основі закономірностей кінетики втомного руйнування, що дає змогу прогнозувати залишковий ресурс та критичні деформації окремих ділянок газопроводів. Розроблено методика прогнозування залишкового ресурсу з урахуванням пульсацій тиску та ступеня пошкодження ділянки газопроводу. Проведено експериментальні дослідження моделей-“вирізків” з газопроводу діаметром 820 мм і товщиною стінки 8 мм (матеріал – сталь 19Г) без дефектів і з локальними механічними дефектами. Розраховано залишковий ресурс пошкодженої ділянки газопроводу і відмічено, що за даних параметрів дефектів і навантаженості дефект не несе загрози руйнування.
3. Встановлено закономірності зміни технічного стану газоперекачувального агрегату в процесі експлуатації, який характеризується ефективним ККД, і на їх основі запропоновано методика визначення критичних значень стану, що дає змогу визначити залишковий ресурс ГПА.
4. Вперше в результаті виконаних теоретичних та експериментальних досліджень вирішено науково-технічну задачу, що стосується розробки основ теорії та практики підвищення ефективності та екологічної безпеки газоперекачувальних агрегатів з газотурбінним приводом шляхом впровадження модернізованих малотоксичних камер згоряння на основі трубчастих пальників. Це дало змогу отримати та ефективно поєднати основні стадії робочого процесу у напрямку інтенсифікації сумішоутворення, стабілізації горіння і мінімізації емісії токсичних NO_x та CO при високих енергетичних показниках; високі пускові властивості трубчастих модулів і всережимність їхньої ефективної роботи.
5. На основі проведених досліджень обґрунтовано науково-технічний напрям підвищення ефективності експлуатації компресорних станцій магістральних газопроводів шляхом використання вторинних енергоресурсів – одержання

рідкої вуглекислоти з димових газів опалювальних котельень; проведено розрахунок вмісту основних компонентів продуктів згорання природних газів за різних коефіцієнтів надлишку повітря у межах 0,88-0,92 і встановлено, що за потужності 4,2-4,6 МВт із димових газів можна одержувати 12 т/добу рідкої вуглекислоти.

6. Розроблено науково-технічні заходи та засоби щодо підвищення акустичної ефективності компресорних станцій магістральних газопроводів принципово нову конструкцію шумоглушника-теплоутилізатора з аеродинамічним опором зі сторони вихлопних газів 197 Па та з акустичною ефективністю 11,4-12 дБ.
7. Результати дисертаційної роботи: методи кількісного аналізу аварійного ризику газотранспортних об'єктів підвищеної небезпеки схвалені і взяті для використання Управлінням Держпромгірнадглядом МНС України; трубчасту технологію спалювання газу у камерах згорання впроваджено на Бердичівській компресорній станції УМГ "Київтрансгаз"; шумоглушники-утилізатори для газотурбінних агрегатів ГПА-Ц-6,3 та ГТК-10-І виготовляються Ухтинським експериментальним механічним заводом; методика визначення залишкового ресурсу трубопроводів впроваджена в УМГ "Прикарпаттрансгаз".

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Монографії

1. Шидловський О.С., Долінський А.А., Стогній Б.С., Говдяк Р.М. та ін. Інноваційні пріоритети паливно-енергетичного комплексу України.- К.: Українські енциклопедичні знання, 2005. – 493 с.
2. Говдяк Р.М., Семчук Я.М., Чабанович Л.Б., Шелковський Б.І., Кривенко Г.М. Енергоекотична безпека нафтогазових об'єктів.- Івано Франківськ: Лілея - НВ, 2007. - 554 с.
3. Говдяк Р.М., Коснірев Ю.М. Кількісний аналіз аварійного ризику газотранспортних об'єктів підвищеної небезпеки. – Львів: Кальварія, 2007. - 160 с.
4. Экономическая безопасность государства и интеграционные формы ее обеспечения // Под.// ред. Г.К. Вороновского, И.В. Недина. – К.: Знання України, 2007. – 392 с.

Статті у наукових фахових виданнях з технічних наук

5. Семчук Я.М., Говдяк Р.М., Кривенко Г.М., Дрогомирецький Я.М. Аналіз сучасного стану досліджень надійності магістральних нафтогазопроводів та причин і умов їх відмови // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ.

- 2001. - №38.- С.159-166.
6. Семчук Я.М., Говдяк Р.М., Кривенко Г.М., Гораль Л.Т. Технічний та екологічний ризик при експлуатації магістральних трубопроводів// Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. - 2001. - №1. - С.68 - 71.
 7. Семчук Я.М., Говдяк Р.М., Тимків Д.Ф. Основні напрямки розвитку концепції надійності магістральних газопроводів // Науковий вісник ІФНТУНГ. - 2002. - №2(3). - С.76-80
 8. Говдяк Р.М., Семчук Я.М. Методичні основи визначення ризику, індексу небезпеки при проектуванні та експлуатації магістральних газопроводів // Науковий вісник ІФНТУНГ. - 2002. - №2(3). - С.80-84
 9. Карп И.Н., Говдяк Р.М., Калапунь И.М., Шелковский Б.И. Эффективное производство энергии на компрессорных станциях магистральных газопроводов // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2002. - № 3. – С. 12-24.
 10. Говдяк Р.М. Исследование и разработка мероприятий и оборудования для снижения уровня шума компрессорных станций // Экотехнологии и ресурсосбережение. - 2003. - №1. - С. 50-57.
 11. Любчик Г.М., Говдяк Р.М., Варламов Г.Б. та др. Создание малотоксичных камер сгорания ГТУ // Экотехнологии и ресурсосбережение. - 2003. - №2. - С. 65-73.
 12. Говдяк Р.М., Шелковский Б.И., Любчик Г.М., Варламов Г.Б. // Актуальные проблемы модернизации газотурбинных и газоперекачивающих агрегатов. Экотехнологии и ресурсосбережение. - 2003. - №5. - С. 66-72.
 13. Говдяк Р.М., Міщенко В.П., Давидов Д.М. Поставки скрапленого природного газу- важливий чинник диверсифікації джерел газопостачання України // Нафтова і газова промисловість. - 2003. - №1.- С. 27-32.
 14. Говдяк Р.М. Стан і шляхи підвищення ефективності та надійності транспортування природного газу газотранспортною системою України// Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ.- 2003. - №2(7). - С. 6-12.
 15. Говдяк Р.М., Бігун В.А., Поляченко Ю.М. Нові технічні рішення щодо електроживлення лінійних споживачів магістральних трубопроводів // Нафтова і газова промисловість. - 2004.- №2.- С. 33-34.
 16. Говдяк Р.М., Демченко Ю.В. Сучасні основи організації технологічного зв'язку на магістральних газопроводах // Нафтова і газова промисловість. - 2004. - №3. - С. 31-33.
 17. Говдяк Р.М., Давыдов Д.М., Мищенко В.Ф. Новые технологии производства и потребления сжиженного природного газа в Украине // Экотехнологии и ресурсосбережение. - 2004. - №4. - С. 63-67
 18. Говдяк Р.М. Оцінка статичної та циклічної довговічності магістральних трубопроводів на стадії проектування// Розвідка та розробка нафтових і

- газових родовищ. - 2004. - №2(11). - С. 101-104. ,
- 19.Говдяк Р.М. Проблемы и пути повышения экологической безопасности компрессорных станций газопроводов // Экотехнологии и ресурсосбережение. - 2004. - №6. - С.44-50
 - 20.Семчук Я.М., Говдяк Р.М. Особливості впливу магістральних нафтогазопроводів на довкілля // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. - 2004. - №5.- С. 14-18.
 - 21.Говдяк Р.М. Деякі проблеми оцінки ризику експлуатації об'єктів газової промисловості України // Науково-просвітницький центр "Екологія" – Київ: Наука, техніка. – 2004. – С.18-22.
 - 22.Говдяк Р.М., Любчик Г.М., Варламов Г.Б., Чабанович Л.Б., Шелковский Б.И. Методология экологического анализа энергетических объектов систем и территорий (ЕОС и Т) // Энергетика и электрификация.- 2005. - №3. - С.50-55.
 - 23.Говдяк Р.М., Угляренко В.П., Чабанович Л.Б., Шелковский Б.И. Стан і основні напрямки підвищення вибухопожежобезпеки на газотранспортних підприємствах України // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ.- 2005. - №4(17). - С. 117- 125.
 - 24.Говдяк Р.М. Производство жидкой углекислоты на объектах газовой промышленности // Экотехнологии и ресурсосбережение. - 2005. - №3. - С. 41-47
 - 25.Говдяк Р.М. Дослідження оптимального режиму роботи газової опалювальної котельні при спільній роботі з вуглекислотною установкою // Науковий вісник ІФНТУНГ. - 2005. - №1(10). - С. 127-131
 - 26.Говдяк Р.М., Чабанович Л.Б., Шелковский Б.И. Використання вторинних ресурсів компресорних станцій газопроводів для виробництва вуглекислоти // Збірник наукових праць інституту електродинаміки НАН України. - Київ: 2005. - С. 38-43
 - 27.Любчик Г.М., Говдяк Р.М., Чабанович Л.Б., Шелковский Б.И. Развитие систем опалования на вихлопі утилізаційних ГТУ // Вестник национального университета «ХПИ». - 2005. - №6. - С. 145-153.
 - 28.Говдяк Р.М., Шелковский Б.И., Чабанович Л.Б., Гриник О.Г., Любчик Г.М., Варламов Г.Б. Перспективы повышения надежности, экологической безопасности и энергетической эффективности ГПА на основе применения трубчатой технологии сжигания газа // Збірник наукових праць інституту електродинаміки НАН України. - Київ: 2006.- С. 54-57.
 - 29.Любчик Г.Н., Говдяк Р.М., Чабанович Л.Б., Шелковский Б.И. Система утилизации энергии на вихлопе газотурбинных установок с дожиганием топлива // Збірник наукових праць інституту електродинаміки НАН України. – Київ: 2005 – С. 44-47.
 - 30.Семчук Я.М., Чабанович Л.Б., Говдяк Р.М. Дослідження процесів

- формування ареалів забруднення атмосфери в районі компресорних станцій магістральних газопроводів // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ – 2005. - № 2 (15) – С. 42-45.
31. Говдяк Р.М., Дикий М.О., Болдін Ю.М., Чабанович Л.Б. Газотурбінна технологія „Водолій” та перспективи її впровадження в енергетичному комплексі України // Збірник наукових праць інституту електродинаміки НАН України. - Київ: 2006. - С. 43-44.
32. Любчик Г.М., Говдяк Р.М., Реграги А. и др. Перспективы повышения энергетической эффективности тепловых установок на базе газовых турбин // Экотехнологии и ресурсосбережение. - 2007. - №3. – С. 57-62.
33. Говдяк Р.М., Любчик Г.М., Чабанович Л.Б. и др. Экологические аспекты модернизации ГПА ГТК-10 на основе применения трубчатой технологии сжигания газа // Збірник наукових праць інституту електродинаміки НАН України – 2007р. - С. 92-94.
34. Любчик Г.Н., Говдяк Р.М., Миколин Г.А., Шелковский Б.И., Зарицкий А.А. Экологический аудит газогорелочных устройств на основе применения метода базовых характеристик эмиссии NO_x и CO // Экотехнологии и ресурсосбережение. - 2007, №4. – С. 64-70.
35. Говдяк Р.М., Любчик Т.М., Чабанович Л.Б., Гриник О.Г., Шелковский Б.И. Резерви енерго - ресурсозбереження і нові технології для використання на компресорних станціях магістральних газопроводів // Нафтогазова енергетика. – Івано-Франківськ. – 112 (3). – 2007. – С. 35-46.
36. Говдяк Р.М., Любчик Г.М., Чабанович Л.Б., Микулин Г.А., Гриник О.Г., Шелковский Б.И. Экологические аспекты модернизации ГПА ГТК-10-4 на основе применения трубчатой технологии сжигания газа // Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України. - 2007. – С.29-34.
37. Говдяк Р.М., Грудз В.Я. Диагностика стану газоперекачувальних агрегатів в умовах компресорних станцій // Нафтогазова енергетика. – Івано-Франківськ. – 2008. - №1(6)– С.47-51.

Патенти

38. Деклараційний патент України на корисну модель №5959 МПК7 C25B1/100, B01D53/14, C25B1/100, B01D53. Установка для одержання вуглекислоти з димових газів. Говдяк Р.М., Чабанович Л.Б., Шелковский Б.И. - Опубл. 15.03.2005, Бюл. №3.
39. Деклараційний патент України на корисну модель №8303, МПК(2006) F04D25/02, F17D1/07 (2006.01), B01D53/14. Газотурбінна установка. Дикий М.О., Говдяк Р.М., Уваричев О.М., Чабанович Л.Б., Шелковский Б.И. - Опубл. 15.07.2005, Бюл. №7.
40. Деклараційний патент України на корисну модель №8304, МПК

7F01K21/04, F02C6/18, Спосіб збільшення кількості робочого тіла в циклі енергоустановки газопаротурбінного приводу газо-перекачувального агрегату при температурах навколишнього середовища, вищих за розрахункові. Дикий М.О., Говдяк Р.М., Уваричев О.М., Чабанович Л.Б., Шелковський Б.І. - Оpubл. 15.07.2005, Бюл. №7.

41. Деклараційний патент на корисну модель № 14877 Газоперекачувальна компресорна станція магістрального газопроводу. Говдяк Р.М., Пужайло А.Ф., Чабанович Л.Б., Шелковський Б.І. опубл. 13.05.2006, Бюл. № 5. 15.05.2006.
42. Деклараційний патент України на корисну модель № 5396 МПК(2006)601 № 3/00. Процес визначення залишкового ресурсу нафтогазопроводів та збільшення нормативного терміну їх експлуатації. Івасів В.М., Говдяк Р.М., Івченко О.Г., Лопушанський А.Я., Кравець О.А., Дрогомирецький М.М., Василюк В.М., Ільницький Р.М., Артем В.І. – Оpubл. 17.05.2006., Бюл. № 6.
43. Патент України на корисну модель №21118. МПК (2007), F23D14/02, F23D14/22 (2007.01) Газовий палиник для трубчастої камери згорання газотурбінної установки / Г.Н.Любчик, Р.М. Говдяк., Г.Б.Варламов та ін. - Оpubл. 15.02.2007, Бюл. №2.
44. Патент України на корисну модель №22994. МПК (2006), F23C7/00 Спосіб спалювання газового палива у камері згорання енергетичної установки/ Р.М.Говдяк., Л.Б.Чабанович, А.Ф.Пужайло та ін. - Оpubл. 25.04.2007, Бюл. №5.
45. Патент України на корисну модель №23592. МПК (2006), F01N5/00, F28F27/00 Шумоглушник-теплоутилізатор вихлопних газів газотурбінної установки/ Р.М.Говдяк., Л.Б.Чабанович, О.Г.Гриник, Б.І.Шелковський. - Оpubл. 25.05.2007, Бюл. №7.
46. Патент України на корисну модель №24041. МПК (2006), F01N5/00, F28F27/00 Шумоглушник-утилізатор для газотурбінної установки/ Р.М.Говдяк., Л.Б.Чабанович, А.І.Терехов, Б.І.Шелковський. - Оpubл. 11.06.2007, Бюл. №8.
47. Патент Росії на полезную модель № 61814 МПК7F04D25/02, F17D1/07, C25B1/100, B01D53/14. Газоперекачивающая компрессорная станция магистрального газопровода/ Говдяк Р.М., Пужайло А.Ф., Чабанович Л.Б., Шелковский Б.И. Оpubл. 10.03.2007, Бюл. №7.
48. Патент Росії на полезную модель № 46753 МПК 7C25B1/00. Установка для получения углекислоты из дымовых газов/ Р.М. Говдяк, Т.Б.Чабанович, Б.И.Шелковский. Оpubл. 27.07.2005, Бюл. №21.

Матеріали конференцій

- 49.Говдяк Р.М., Калалунь І.М., Чабанович Л.Б., Шелковський Б.І. Сучасний досвід створення утилізаційних парогазових установок для виробництва різних видів енергії на компресорних станціях магістральних газопроводів// Матер. міжн. конф. „Нафта і газ України-2002”. Том 2, Київ УНГА, 2002.- С 89-91.
- 50.Говдяк Р.М., Калалунь І.М., Чабанович Л.Б., Шелковський Б.І., Бендяк В.Л., Чабанович Р.Б. Виробництво електроенергії в утилізаційних парогазових установках на компресорних станціях магістральних газопроводів // Матер. міжн. конф. „Нафта і газ України - 2002”. Том 2, Київ УНГА, 2002.- С 92-94.
- 51.Говдяк Р.М., Калалунь І.М., Чабанович Л.Б., Шелковський Б.І., Бендяк В.Л., Чабанович Р.Б. Стан і шляхи підвищення ефективності та надійності транспортування природного газу газотранспортною системою України // Матер. міжн. конф. „Нафта і газ України - 2002”. Том 2, Київ УНГА, 2002.- С 95-96.
- 52.Говдяк Р.М., Дикий М.О., Болдін Ю.М., Чабанович Л.Б., Шелковський Б.І. Підвищення ефективності надійності та екологічної безпеки газотранспортної системи України // Збірник праць VIII міжн. конф. „Енергетична безпека Європи XXI століття. Євразійські енергетичні коридори”, 25-27 травня 2005р. - Київ, С. 75-77
- 53.Говдяк Р.М., Любчик Г.М., Чабанович Л.Б., Шелковський Б.І. Підвищення екологічної безпеки компресорних станцій магістральних газопроводів // Матер. 8-ої Міжнар. наук.-практ. конф. „Нафта і газ України - 2004” (Судак, 29 вересня+1 жовтня 2004р.) у 2-х томах. - Л.: Центр Європи, 2004. - Том 2.- 388с.
- 54.Говдяк Р.М., Любчик Г.М., Варламов Г.Б., Чабанович Л.Б., Шелковський Б.І. Ефективні технології допалювання палива у форсованих системах утилізації теплових енергій на вихлопі ГТУ // Матер. 8-ої Міжнар. наук.-практ. конф. „Нафта і газ України-2004” (Судак, 29 вересня+1 жовтня 2004р.) у 2-х томах.-Л.: Центр Європи, 2004.- Том 2. - 388с.
- 55.Говдяк Р.М., Любчик Г.М., Варламов Г.Б., Шелковський Б.І. Когенерація и утилизация энергии на выхлопе ГТУ. // Программа и тезисы. Первая в Украине Международная конференция «Когенерация промышленности и коммунальной энергетики», 18-20 октября, 2004, Киев.- с 42-43.
- 56.Говдяк Р.М., Чабанович Л.Б., Шелковський Б.І., Любчик Г.М. та інші. Деякі попередні результати виробничих випробувань модернізованої камери згорання ГПА ГТК-10 на основі трубчастих пальників // Інформаційний огляд ДК „Укртансгаз” 2006. №4 (40), – С. 8-9.

57. Любчик Г.Н. Говдяк Р.М., Варламов Г.Б. и др. Повышение энергетической эффективности газотурбинных установок на основе внецикловой утилизации и когенерации энергии // Материали наукового семінару з міжнародною участю „Інтегровані структури паливно-енергетичного комплексу в системі антикризового управління” 12-14 квітня 2007 р. м. Запоріжжя.– с 29-31.

АНОТАЦІЯ

Говдяк Р.М. Підвищення ефективності магістральних газопроводів на пізній стадії експлуатації. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.15.13 – Трубопровідний транспорт, нафтогазосховища. — Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. Івано-Франківськ, 2008.

Для підвищення ефективності експлуатації магістральних газопроводів удосконалено методику прогнозування зниження аварійного ризику. Розглянуті сучасний стан, проблеми і перспективи прогнозування залишкового ресурсу магістральних газопроводів на пізній стадії експлуатації. Запропоновано новий підхід до інтегральної оцінки залишкового ресурсу окремої ділянки трубопроводу та обладнання компресорної станції, що ґрунтується на закономірностях кінетики втомного руйнування.

Проведено огляд напрямків створення малотоксичних камер згорання з урахуванням сучасних тенденцій розвитку газотурбінних технологій з орієнтацією на газотурбінні газоперекачуючі агрегати (ГПА). Обґрунтовано і доведено перспективність реалізації під час створення малотоксичних камер згорання модульного типу на базі використання унікальних конструктивних і аеродинамічних особливостей насадка Борда.

Досліджено можливість використання вторинних енергоресурсів шляхом виробництва рідкої вуглекислоти на компресорних станціях магістральних газопроводів.

Науково обґрунтовано і впроваджено під час проектування компресорних станцій газопроводів комплекс заходів та обладнання щодо зниження їх рівня шуму. З урахуванням результатів лабораторних досліджень розроблені методики розрахунку акустичної ефективності конструкцій шумоглушників-утилізаторів випускних газів газоперекачувальних агрегатів.

Ключові слова: магістральні газопроводи, аварійний ризик, залишковий ресурс, газотурбінна установка, трубчастий модуль, вторинні енергоресурси, акустична ефективність.

АННОТАЦИЯ

Говдяк Р.М. Повышение эффективности магистральных газопроводов на поздней стадии эксплуатации. – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени доктора технических наук по специальности 05.15.13 – Трубопроводный транспорт, нефтегазохранилища. – Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа. Ивано-Франковск, 2008.

Диссертация посвящена решению проблемы повышения эффективности магистральных газопроводов на поздней стадии эксплуатации. Выполнен анализ состояния отечественных магистральных газопроводов. Установлено, что газопроводы и компрессорные станции эксплуатируются от пятнадцати до пятидесяти лет, что приводит к учащению их отказов. Установлены основные причины и последствия отказов. Для повышения эффективности эксплуатации магистральных газопроводов усовершенствована методика прогнозирования снижения технических и экологических рисков. При исследовании аварийного риска при эксплуатации магистральных газопроводов необходимо проводить ранжировку отдельных участков частотным расчетом. Показано, что анализ риска на газотранспортных системах должен включать четыре взаимосвязанных этапа: на первом этапе определяют основные потенциальные опасности; на втором проводят анализ и количественную оценку возможных последствий от аварий, на третьем – проводят частотный анализ возможных аварий, а на четвертом – рассчитываются ожидаемые убытки и потери от отдельных аварий, а также величина прогнозирования риска.

Рассмотрены современное состояние, проблемы и перспективы прогнозирования остаточного ресурса трубопроводов. Предложен новый подход к интегральной оценке остаточного ресурса участка трубопровода, базирующийся на закономерностях накопления усталостного повреждения.

Разработана методика оценки остаточного ресурса газотрубопроводов и приведено прогнозирование ресурса газопровода с учетом пульсаций давления.

Проведено прогнозирование остаточного ресурса оборудования компрессорных станций. Для этого разработан метод построения функций изменения диагностического параметра и выбран коэффициент полезного действия (КПД). Определен остаточный ресурс отдельного газоперекачивающего агрегата компрессорной станции и оценено критическое значение коэффициента полезного действия.

Выполнен обзор направлений создания малотоксичных камер сгорания с учетом современных тенденций развития газотурбинных технологий с ориентацией на газотурбинные газоперекачивающие агрегаты (ГПА). Анализ эмиссионных характеристик NO_x и CO выполнен по результатам промышленных испытаний газотурбинных ГПА, начиная с агрегатов первого поколения до

установок современного типа. Показано, что в практике создания и доводки малотоксичных камер сгорания сложилось три основных направления: разработка малотоксичных горелок с последующей доводкой созданных на их основе камер сгорания (последовательная схема); одновременная доводка рабочего процесса горелочных систем и соответствующих конструкций камер сгорания (параллельная схема); отработка конструкции камеры в целом в соответствии с той или иной концепцией ее реализации (интегральная схема). Обоснована и показана перспективность реализации при создании малотоксичных камер сгорания модульного типа на основе использования уникальных конструктивных и аэродинамических особенностей насадка Борда.

Исследована возможность производства жидкой углекислоты на компрессорных станциях магистральных газопроводов. Приведены существующие технологические схемы получения углекислоты из дымовых газов котельных на углекислотных заводах и на установках различных производств. Даны основные технико-экономические характеристики блочно-комплектной углекислотной установки, создаваемой из импортного оборудования на компрессорных станциях газопроводов.

Научно обоснован и внедрен при проектировании компрессорных станций газопроводов комплекс мероприятий и оборудования по снижению их уровня шума. С учетом результатов лабораторных исследований разработаны методики расчета акустической эффективности конструкций шумоглушителей-утилизаторов выхлопных газов газоперекачивающих агрегатов. Приведены основные энергетические и акустические характеристики шумоглушителей-утилизаторов для ГПА.

Ключевые слова: магистральные газопроводы, аварийный риск, остаточный ресурс, газотурбинная установка, трубчатый модуль, вторичные энергоресурсы, акустическая эффективность.

ANNOTATION

Govdyak R.M. The increase of the efficiency of the main gas- pipelines on the late stage of exploitation. Manuscript.

The dissertation on the scientific degree of the doctor of engineering sciences on specialty 05.15.13 – pipeline transport, oil-gas storage units. – The Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, 2008.

To increase the efficiency of exploitation of the main gas pipelines the method of prognostication the emergency risk is improved. It has been considered the modern state problems and prospects of prognostication the remaining resource of the main gas pipelines on the late stage of exploitation.

The review of directions of creation of low toxic combustion chambers is executed in view of modern tendencies of development of gas turbine know-how basically with orientation to gas turbine and compressor units (GTCU).

A complex of measures and equipment for noise reduction has been scientifically grounded and implemented during designing of gas pipeline compressor stations. Taking into account the results of laboratory research, methods of calculation of acoustic efficiency of the mufflers-utilizators of exhaust of gas-compressor units have been elaborated.

Possibility of liquid carbonic acid production on compressor stations of gas-main pipelines is studied. Existing process diagrams of liquid carbonic acid production from furnace gases of carbonic acid plants and other production units are given.

Keywords: gas pipelines, emergency risk, remaining resource, gas-turbine setting, tubular module, second energetic resources, acoustic efficiency.