

514.16  
Ч-12

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ


**ЧАБАНОВИЧ ЛЮБОМИР БОГДАНОВИЧ**

УДК 504.064.2:622.691.4.05.012

**РОЗРОБКА ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧОГО ТА ЕКОЛОГІЧНО-  
БЕЗПЕЧНОГО ОБЛАДНАННЯ І СИСТЕМ ДЛЯ КОМПРЕ-  
СОРНИХ СТАНЦІЙ МАГІСТРАЛЬНИХ ГАЗОПРОВІДІВ**

Спеціальність 21.06.01 – „Екологічна безпека”

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук



Івано-Франківськ – 2004

Дисертацією є рукопис.

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

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор  
**Семчук Ярослав Михайлович**,  
Івано-Франківський національний технічний  
університет нафти і газу,  
завідувач кафедри безпеки життєдіяльності;

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
**Грудз Володимир Ярославович**,  
Івано-Франківський національний технічний  
університет нафти і газу,  
завідувач кафедри спорудження та ремонту  
газонафтопроводів і газонафтосховищ;  
кандидат технічних наук

**Прищепо Олександр Олексійович**,  
ДК „Укртрансгаз”,  
начальник управління організації  
обліку і нормування  
паливно-енергетичних ресурсів (м. Київ);

Провідна установа: Національний університет



Захист  
спеціалізов  
технічному  
76019,  
3 ди  
національн  
вул. Карпат

Автор  
Вчени  
спеціа  
доктор

(м. Львів)

од. на засіданні  
національному

о-Франківського  
ано-Франківськ,

: О.В.



an774

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність дисертаційної роботи.** Газотранспортна система України включає біля 36,7 тис.км. газопроводів, 13 підземних сховищ газу загальною ємністю понад 30 млрд. м<sup>3</sup>, 1332 газорозподільчі станції та 60 газовимірювальних станцій. До складу магістральних газопроводів входить 71 компресорна станція (КС), що оснащені 700 газоперекачуючими агрегатами (ГПА) вітчизняного та закордонного виробництва і створюють значне техногенне навантаження на довкілля.

В умовах безперервно зростаючої ролі КС магістральних газопроводів, як засобів компримування газу, проблема охорони природного, виробничого та соціального середовищ є дуже актуальною, оскільки вони постійно зазнають хімічного та шумового забруднення. Крім цього, кожна КС створює небезпеку при утворенні вибухопожежних газоповітряних сумішей у закритих приміщеннях.

Підраховано, що щорічно в Україні КС викидається близько 150 тис. тонн шкідливих речовин, причому оксиди вуглецю становлять 51%, оксиди азоту – 24%, природний газ – 23%, інші речовини – 2%.

Вибір і актуальність даної дисертаційної роботи зумовлені ще й тим, як показав аналіз парку ГПА ДК „Укртрансгаз”, що біля 16% агрегатів, які експлуатуються сьогодні на компресорних станціях, виробили свій моторесурс, морально застаріли, фізично зношені, в результаті чого не відповідають вимогам надійності, економічності та екологічної безпеки. А тому, розробка і дослідження ефективного, енергозберігаючого та екологічнобезпечного обладнання і систем для КС, створення методичних основ їх розрахунку та проектування є важливим, актуальним завданням.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота носить науково-прикладний характер і входить в комплекс тематичних планів окреслених програмою “Нафта і газ України до 2010 року”. Власне, дисертація виконана на базі досліджень, проведених за участю автора, Івано-Франківським національним технічним університетом нафти і газу по госпдоговірних тематиках № 542/97, № 63/2001. Крім цього, робота проводилась згідно планів впровадження нової техніки на УНГ „Черкаситрансгаз”, ТзОВ „Сургутгазпром”, ТзОВ „Оренбурггазвидобуток” (Росія), про що свідчить акт впровадження розробок.

**Мета і задачі дослідження.** *Метою дисертаційної роботи* є зменшення впливу компресорних станцій магістральних газопроводів на довкілля шляхом розробки енергозберігаючого та екологічнобезпечного обладнання і систем.

Відповідно до мети програмою досліджень передбачено вирішення наступних задач:

- дослідження процесів формування ареалів забруднення атмосфери в районі КС магістральних газопроводів та кількісна оцінка їх екологічної небезпеки;
- створення нової концепції та методики дослідження, розрахунку і проектування ефективних енергозберігаючих систем повітряного опалення будівель компресорних цехів з електроприводними і газотурбінними ГПА на КС магістральних газопроводів;
- дослідження і розробка простих, малозатратних енергозберігаючих систем повітряного опалення двох приміщень різної категорії по вибухопожежонебезпеці для розміщення нагнітачів газу і їх приводів;
- дослідження і розробка оптимального протипожежного засобу у вигляді простого у конструктивному виконанні, компактного, з невеликим аеродинамічним опором іскрогасника для електроприводного ГПА для використання у системах повітряного опалення будівель компресорних цехів;
- розробка модифікованої математичної моделі утилізаційного теплообмінника газоперекачуючого агрегату, універсальної по виду поверхні нагріву, компоновки труб у пучку, виготовлених з вуглецевої та легованої сталі;
- розробка та дослідження з використанням розробленої моделі технічних характеристик нового, малозатратного, енергетично ефективного утилізаційного теплообмінника до імпорتنних агрегатів ІТК-101, "Кобера-182";
- узагальнення результатів розрахункових досліджень характеристик теплообмінників у вигляді зручних для практичного застосування, простих аналітичних залежностей, що дозволяють визначати теплопродуктивність та аеродинамічний опір теплообмінників з урахуванням умов їх експлуатації.

**Об'єкт дослідження** - компресорні станції магістральних газопроводів.

**Предмет дослідження** - енергозберігаюче та екологічнобезпечне обладнання і системи для компресорних станцій.

**Методи дослідження** представляють комплекс, що містить: аналіз сучасного стану досліджень екологічної небезпеки в районах розташування компресорних станцій і лабораторні експерименти; фізичне та математичне моделювання з використанням програмних продуктів.

**Наукова новизна отриманих результатів** роботи полягає в тому, що в дисертації вперше:

1. Розроблена нова концепція і методика створення систем повітряного опалення приміщень різних категорій вибухопожежонебезпечності від одного джерела теплого повітря.

2. Досліджені та розроблені енергозберігаючі та екологічнобезпечні системи повітряного опалення машинних залів та галерей нагнітачів газу компресорних цехів з електроприводними і газотурбінними газоперекачуючими агрегатами.

3. Створена енергетично високоефективна з оптимальними масогабаритними характеристиками теплоутилізаційна установка для імпорتنих агрегатів типу ГТК-101, “Кобера-182”.

4. Для дослідження основних технічних характеристик теплоутилізаційної установки для імпорتنих агрегатів розроблена і реалізована у вигляді програми для ЕОМ модифікована математична модель, що дозволяє проводити проектно-перевірочні розрахунки теплообмінників як з гладкотрубними, так і оребреними поверхнями нагріву.

5. Розроблений та досліджений простий у конструктивному виконанні компактний іскрогасник, як протипожежний засіб при використанні теплового повітря розімкненого циклу охолодження електродвигунів СТД-12500 у системах повітряного опалення компресорних цехів.

**Практичне значення одержаних результатів.** Результати розробки систем повітряного опалення приміщень компресорних цехів з електроприводними і газотурбінними ГПА схвалені Головним управлінням пожежної охорони Міністерства внутрішніх справ і рекомендовані до впровадження.

Розроблений робочий проект системи повітряного опалення компресорного цеху КС Ільїніцьська газопроводу “Прогрес” теплим повітрям розімкненого циклу охолодження електродвигунів СТД-12500. Нині ця система повітряного опалення знаходиться на стадії монтажу.

На цей час проекти розроблених систем повітряного опалення галереї нагнітачів теплим повітрям, що перепускається з машинного залу, впроваджені на КС магістрального газопроводу Комсомольск-Сургут-Челябінськ (Росія): на КС Приобська, Самсонівська з агрегатами ГТК-10, на КС Південно-Баликська з електродвигунами СТД-12500.

Розроблені робочі проекти теплоутилізаційних установок для імпорتنих агрегатів ГТК-101 фірм “АЕГ КАНІС”, “Нуово Пиньоне”, ГПА “Кобера-182”.

ЗАТ “Ухтинський експериментально-механічний завод” виготовив 30 шт. тепло-утилізаційних установок для ГТК-101 фірми “Нуово Пиньоне”.

Нині вони змонтовані на компресорних станціях ТЗОВ “Оренбурггазвидобуток” і ТЗОВ “Оренбурггазпром” і використовуються для теплопостачання станцій і зовнішніх споживачів.

Дослідним заводом ДІАП виготовлені і впроваджені на КС Ільїніцьська іскрогасник і повітряні заслінки.

На окремих етапах згаданих робіт, результати яких були використані у дисертації, брали участь співавтори Макар Р.М., Горленко В.О., Шелковський Б.І. та інші, разом з якими були опубліковані наукові праці та одержаний патент.

**Особистий внесок здобувача.** Особистий внесок автора полягає у безпосередній його участі на всіх етапах виконання – від формування завдань до експериментальних досліджень і розробки проєктів та їх впровадження [1-3,13,15,20].

Автором розроблена методика розрахунку і проєктування систем повітряного опалення приміщень від одного джерела теплого повітря, в якій використані, на підставі експериментальних досліджень, аналітичні залежності розподілу температур повітря від висоти цеху, кількості встановлених і працюючих агрегатів у компресорних цехах з газотурбінними ГТК-10 і електроприводними агрегатами з електродвигунами СТД-12500 [4-7,13,19].

При участі автора створена енергетично високоефективна теплоутилізаційна установка для імпортованих агрегатів типу ГТК-101, “Кобера-182”, а особисто дисертантом розроблена модифікована математична модель водяного утилізаційного теплообмінника для визначення основних технічних характеристик [8-10,11,12,14-18].

При активній участі дисертанта розроблений та впроваджений у лабораторних умовах протипожежний іскрогасник. Автором особисто в результаті досліджень іскрогасника отримана залежність його аеродинамічного опору від витрати повітря та його експлуатаційні характеристики [5,14].

**Апробація результатів роботи.** Основні результати дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на семінарах та науково-технічних конференціях (“Стан, проблеми і перспективи розвитку нафтогазового комплексу Західного регіону України” (Львів, 1995р.)), “Нафта і газ України” (Харків, 1996р.), “Енергозабезпечення та зберігання доквілля України” (Київ, 1996р.), X Всеросійській міжвузівській науково-технічній конференції “Газотурбинные и комбинированные установки и двигатели” (Москва, 1996г.), 1-й міжнародній конференції по управлінню енерговикористанням (Київ, 1995р.), 2-й міжнародній конференції по управлінню енерговикористанням (Львів, 1997р.), міжнароднім семінарі з перспективних енерготехнологій в енергетиці та промисловості, “Теплотехника-98” (Київ, 1998р.), 1-й міжнародній науково-практичній конференції “Проблеми економії енергії” (Львів, 1998р.), 5-й міжнародній конференції “Нафта-газ України-98” (Полтава, 1998р.), 6-й міжнародній науково-практичній конференції “Нафта і газ України-2000” (Івано-Франківськ, 2000р.) та наукових семінарах кафедри безпеки життєдіяльності Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (2000, 2002, 2003, Івано-Франківськ).

**Публікації.** За темою дисертаційної роботи опубліковано 20 статей в науково-технічних журналах, збірниках, матеріалах доповідей, з них 10 у фахових виданнях України, а також отриманий один патент.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертаційна робота складається із вступу, п'яти розділів, висновків, викладених на 166 аркушах машинописного тексту, в тому числі із 35 рисунків, 15 таблиць, списку використаних джерел із 116 найменувань та додатків.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано доцільність і актуальність дослідженої проблеми, сформульовано мету роботи та суть виконаних досліджень.

У першому розділі роботи приведений стан досліджень екологічної безпеки у районах розташування компресорних станцій (КС) магістральних газопроводів, результати досліджень процесів формування ареалів забруднення атмосфери, основні напрямки зменшення їх впливу на навколишнє середовище.

Дослідженню впливу КС на довкілля присвячені роботи К.С.Борисенка, П.В.Кущина, Г.С.Панова, А.Л.Терехова, В.Маршалла, Г.М.Любчика, Б.І.Шелковського, І.М.Карпа, Я.М.Семчука та інших.

Основними небезпечними чинниками в зоні дії КС, що впливають на природне, виробниче та соціальне середовище, є: хімічне забруднення атмосферного повітря внаслідок викидів шкідливих речовин технологічним обладнанням станцій; хімічне забруднення виробничого середовища (робочої зони) внаслідок неорганізованих витоків шкідливих речовин при пошкодженні технологічного обладнання; шумове забруднення навколишнього середовища, джерелом якого є газоперекачуючі агрегати різних типів; наявність вибухо- і пожежонебезпечних речовин, що можуть створити техногенну небезпеку при утворенні вибухопожежних газоповітряних сумішей.

Щорічно КС України викидається біля 150 тис. тонн шкідливих речовин, найбільшу частку у викидах займають такі шкідливі речовини, як метан, оксиди вуглецю, азоту. Характеристика основних джерел викидів шкідливих речовин в атмосферу типовою КС приведено у табл. 1.

Для зменшення впливу КС на довкілля є розробка та впровадження нових енергозберігаючих систем та обладнання. Для вирішення цієї проблеми автором проведений аналіз сучасного вітчизняного і зарубіжного досвіду створення систем повітряного опалення компресорних цехів та теплоутилізаційного обладнання для газоперекачуючих агрегатів.

Встановлено, що існуючі теплоутилізаційні системи повітряного опалення цехів з газотурбінними агрегатами ГТК-10, ГПА-10 мають недоліки: значну металомісткість у зв'язку з наявністю кількох проміжних теплообмінників, громіздких повітропроводів, великі витрати електроенергії на привід вентиляторів і димососів, а також невисоку теплову ефективність. Це пояснюється тим, що тепле

повітря у приміщення двигунів і нагнітачів подається окремо, від двох незалежних джерел і при цьому використовується проміжний теплоносій – повітря.

Таблиця 1

Характеристика основних джерел викидів шкідливих речовин в атмосферу типовою компресорною станцією магістральних газопроводів

Об'єкт	Джерела виділення шкідливих речовин	Джерела викиду	Найменування шкідливої речовини
Компресорний цех	Газоперекачуючі агрегати	Вихлопні труби, шахти	Диоксид азоту, оксид азоту, оксид вуглецю
		Свічки	Метан
Установка підготовки паливного, пускового та імпульсного газу	Підігрівач газу (ПГ-10)	Димова труба	Диоксид азоту, оксид азоту, оксид вуглецю
	Підігрівач газу (ПГ-987-07)	Димова труба	Диоксид азоту, оксид азоту, оксид вуглецю
	Блок очистки газу	Свічка	Метан
Установка очистки газу	Пиловлловлювач	Свічка	Метан
Установка охолодження газу	Апарати повітряного охолодження газу	Свічка	Метан
Котельня	Котли	Димова труба	Диоксид азоту, оксид азоту, оксид вуглецю
Дизельна	Дизель	Вихлопна труба	Диоксид азоту, оксид азоту, оксид вуглецю, сажа, сірчаний ангідрид, вуглеводень акролеїн
Вузол підключення компресорної станції	Усмоктувальний шлейф	Свічка	Метан
	Нагнітаючий шлейф	Свічка	Метан
	Камера запуску	Свічка	Метан
	Камера прийому	Свічка	Метан

Нині біля 80% власних теплофікаційних потреб КС газопроводів забезпечується теплотою вихлопних газів, що утилізується на вітчизняних газотурбінних газоперекачуючих агрегатах із застосуванням сучасного теплоутилізаційного обладнання. Разом з тим, окремі магістральні газопроводи, головним чином, з імпортними ГПА, практично не оснащені теплоутилізаційним



обладнанням. До них належить і газопровід "Союз" з 22 КС оснащені агрегатами ГТК-101, що були закуплені без фірмового теплоутилізаційного обладнання. ККД цих агрегатів становить 25,7% і вони мають підвищену температуру викидних газів, біля 531°C. Втрати теплоти однієї КС, що має сім агрегатів ГТК-101, які працюють за технологічною схемою "5+2", еквівалентні втраті 15000 м<sup>3</sup> природного газу за годину.

Зараз в експлуатації на КС газопроводів України і країн СНД знаходиться близько 280 імпорتنих ГПА: ГТК-101, фірм "АЕГ КАНІС", "Нуово Піньоне"; "Кобера-182" фірми "Купер Бессемер Ролс/Ройс", що не оснащені теплоутилізаційним обладнанням, але в той же час є значним потенційним джерелом теплових ВЕР. Проведений аналіз конструкцій утилізаційних теплообмінників показав, що практично всі вітчизняні ГПА мають достатньо ефективне теплоутилізаційне обладнання. А імпорتنі агрегати, що експлуатуються на КС газопроводів України і країн СНД, в основному, типу ГТК-101, "Кобера-182" практично не мають теплоутилізаційного обладнання. Існуючі, переважною більшістю, для ГТК-101 імпорتنі утилізаційні теплообмінники мають низьку теплову ефективність, більшу вартість внаслідок застосування оребрених труб з більшим кроком ребер з нержавіючої сталі.

У другому розділі приведені результати дослідження процесів формування ареалів забруднення атмосфери в районі розташування КС магістральних газопроводів.

Автором досліджено, що в ареалі забруднення атмосфери КС можна виділити 3 зони: зона „нерозведених” концентрацій або своєрідна „інтрузія”, що формується безпосередньо над джерелом викиду, перехідна зона та дисперсійна зона, яка формується під дією фізико-хімічних процесів: конвективний перенос; молекулярна дифузія; повздовжня та поперечна дисперсія. Формування зони дисперсії підпорядковується розподілу Гауса:

$$C(x, y, z, \tau) = \frac{M \left( \tau - \frac{x}{U_a} \right)}{2\pi U_a \sigma_y (x + x_{vy}) \sigma_z (x + x_{vz})} \cdot e^{-\left\{ \frac{y^2}{2\sigma_y^2 (x + x_{vy})} \right\}} \cdot e^{-\left\{ \frac{(z - h_0)^2}{2\sigma_z^2 (x + x_{vz})} \right\}} \quad (1)$$

де  $C$  - концентрація, мг/м<sup>3</sup>;

$x, y, z$  - координати;

$\tau$  - час, с;

$M$  - маса шкідливої речовини, що викидається в атмосферу, г/с;

$U_a$  - швидкість вітру, м/с;

$\sigma_z$  - коефіцієнт поперечної дисперсії, м<sup>2</sup>/с;

$\sigma_y$  - коефіцієнт поздовжньої дисперсії, м<sup>2</sup>/с;

$x_{vy}, x_{vz}$  - відстань від джерела викиду, м.

Розв'язок рівняння (1) проведений при початкових і граничних умовах  $C(\tau=\tau^*, x=x_0, y=0, z=h_0)$ .

Маємо

$$C = \frac{M \left( \tau^* - \frac{x_0}{U_a} \right)}{2\pi U_a \sigma_z (x_0 + x_{vz}) \cdot \sigma_y (x_0 + x_{vy})}, \quad (2)$$

тобто за даною формулою можна визначити у певний момент часу ( $\tau^*$ ) концентрації шкідливих речовин у зоні, що відповідає висоті джерела викиду ( $h_0$ ).

Розраховані максимальні значення приземної концентрації шкідливих речовин оксидів азоту та вуглецю  $C_m$  ( $\text{мг/м}^3$ ) при викиді їх джерелами КС „Ільїнцівська” після впровадження енергозберігаючого та екологічнобезпечного обладнання програмою ЕОЛ.

Встановлено, що найвищі концентрації шкідливих речовин на межі санітарно-захисної зони (СЗЗ для КС 1000 м) при постійних викидах диоксиду азоту складають 0,8 ГДК, а оксидів вуглецю – 0,2.

Основним природоохоронним заходом, що зменшує екологічну небезпеку КС є впровадження енергозберігаючих систем та обладнання, які зменшують кількість викидів в атмосферу шкідливих речовин. Для кількісної оцінки ступеню впливу КС на довкілля запропонований коефіцієнт екологічної небезпеки експлуатації компресорної станції.

$$k_e = \frac{Q - Q_1}{Q}, \quad (3)$$

де  $Q$ ;  $Q_1$  – сумарна величина шкідливих речовин, що генеруються технологічним обладнанням КС відповідно до і після впровадження енергозберігаючих систем та обладнання, т/рік.

Очевидно, що на КС, де не впроваджуються природоохоронні заходи,  $Q_1 \rightarrow 0$ , а  $k_e \rightarrow 1$ .

$$Q_1 = q_o + q, \quad (4)$$

де  $q_o$  і  $q$  – відповідно величини організованих і неорганізованих викидів шкідливих речовин, т/рік

Враховуючи кількість джерел викидів  $n$  та кількість пошкоджень  $m$  та технологічних операцій, що призводять до неорганізованих викидів, формулу (4) можна виразити так:

$$Q_1 = q_o \cdot n + q \cdot m, \quad (5)$$

$$k_e = \frac{Q - (q_o \cdot n + q \cdot m)}{Q} = 1 - \frac{(q_o \cdot n + q \cdot m)}{Q}, \quad (6)$$

Отже, вплив КС на навколишнє середовище можна оцінити кількісно за допомогою коефіцієнта екологічної небезпеки її експлуатації, причому цей вплив тим менший, чим менше його значення.

**Третій розділ** присвячено розробці методичних основ проектування та створенню ефективних, енергозберігаючих, екологічнобезпечних систем повітряного опалення будівель компресорних цехів, індивідуальних укриттів газотурбінних і електроприводних ГПА.

У основу розробки цих систем покладена нова концепція повітряного опалення приміщень різної категорії по вибухопожежонебезпечності від одного джерела теплого повітря.

Джерелом теплого повітря на КС з електроприводними агрегатами (ЕГПА) є контур повітряного охолодження електродвигуна, а на станціях з газотурбінними ГПА – повітряний утилізаційний теплообмінник або самий машинний зал (вибухобезпечне приміщення).

Вибухопожежонебезпечне приміщення – галерея нагнітачів газу, з'єднується з джерелом теплого повітря через універсальний, зворотний, вогнезатримуючий клапан.

На основі концепції запропоновані і розроблені з використанням результатів експериментальних досліджень нові, прості у конструктивному виконанні, енергозберігаючі, екологічнобезпечні системи повітряного опалення компресорних цехів та індивідуальних укриттів газотурбінних і електроприводних ГПА. Запропонована також система повітряного опалення будівлі компресорного цеху або індивідуального укриття ЕГПА з рециркуляцією теплого повітря розімкнутого циклу охолодження на вхід електродвигуна, яка дає можливість автоматично підтримувати заданий режим його охолодження, а частину теплого повітря використовувати для опалення.

Знаючи теплові втрати машинного залу та галереї нагнітачів, температуру повітря в них, температуру теплого повітря на виході з системи охолодження електродвигуна або з утилізаційного теплообмінника (для систем опалення будівель з газотурбінними ГПА) по рівнянню теплового балансу визначаються витрати теплого повітря  $L$ :

$$L = \frac{Q_v}{\gamma_n c_p (t_n^{np} - t_n)}, \text{ м}^3/\text{год} \quad (7)$$

де  $Q_v$  – теплові втрати, ГДж/год;

$\gamma_n$  – густина повітря, кг/м<sup>3</sup>;

$t_n^{np}$  – температура теплого повітря, що подається у систему опалювання, °С; Для

СТД-12500  $t_n^{np} = 28^\circ\text{С}$ ;

$t_n$  – нормована внутрішня температура повітря в приміщенні, °С; Звичайно для приміщень КС газопроводів вона дорівнює  $10^\circ\text{С}$ ;

$c_p$  – ізобарна теплоємність повітря, кДж/кг град.

По отриманому значенню  $L$ , знаючи будівельний об'єм, визначають кратність повітрообміну у приміщенні і зрівнюють її з нормативною. Наприклад, для компресорних станцій газопроводів, які транспортують природний газ без наявності сірчаних сполук, кратність повітрообміну повинна бути не менше 8 год<sup>-1</sup>.

Для проектування нових енергозберігаючих, екологічнобезпечних систем повітряного опалення споруд компресорних цехів і індивідуальних укриттів ГПА створені методичні основи їх розробки.

Особливістю методики розрахунку систем повітряного опалення теплим повітрям шляхом перепускання з машинного залу до галереї нагнітачів електроприводних або газотурбінних ГПА, є визначення за величиною тепловитрат приміщення галереї нагнітачів газу необхідної температури припливного повітря.

Для компресорних цехів з ГТК-10 залежність температури повітря від висоти машинного залу для певної кількості встановлених та працюючих агрегатів мають лінійний характер:

$$t_n^n = t_n^o + K_a^o \cdot K_a^n \cdot H, \quad ^\circ\text{C}, \quad (8)$$

де:  $t_n^n$  – поточне значення температури повітря в машинному залі в залежності від висоти відбору,  $^\circ\text{C}$ ;

$t_n^o$  – температура повітря на нульовій позначці машинного залу,  $^\circ\text{C}$ ;

$K_a^o$  – кількість встановлених ГПА;

$K_a^n$  – кількість працюючих ГПА;

$H$  – висота точки відбору повітря, м.

Для уніфікованого компресорного цеху із восьми ЕГПА з електродвигунами СТД-12500 експериментальні значення температур можуть бути в загальному вигляді представлені як поліном:

$$t_n^{np} = 14,86 - 12,11 \cdot H + 1,26 \cdot K_a^o + 3,3 \cdot H^2 - 0,2193 \cdot H^3 + \\ + 3,55 \cdot K_a^n \cdot H - 0,7453 \cdot K_a^n \cdot H^2 - 0,0445 \cdot K_a^n \cdot H^3, \quad (9)$$

По запропонованій методиці, згідно розрахункової температури припливного повітря за таким рівнянням в залежності від типу ГПА та їх кількості, визначається висота точки відбору теплого повітря з машинного залу до галереї нагнітачів.

З використанням цієї методики запроєктовані системи повітряного опалення компресорних цехів Приобська, Самсонівська з ГПА ГТК-10, Південно-Баликська, Ільїнцівська з СТД-12500 ТзОВ “Сургутгазпрому”.

У четвертому розділі приведені результати досліджень протипожежних та противибухових засобів при повітряному опаленні машинних залів та галереї нагнітачів КС газопроводів.

Небезпечними факторами пожежі і вибуху на КС є відкритий вогонь і іскри; підвищена температура повітря, предметів; знижена концентрація кисню;

пошкодження приміщень, установок, блоків тощо. Основним пожежо- і вибухонебезпечним об'єктом КС є компресорний цех.

Розроблена система опалення компресорного цеху теплим повітрям розімкненого циклу охолодження електродвигунів ГПА Головним управлінням пожежної охорони колишнього СРСР була дозволена до застосування на КС газопроводів при умові встановлення на виході системи охолодження електродвигуна іскрогасника. Іскрогасник повинен перешкоджати поширенню іскор по потоку теплового повітря з електродвигуна в опалюване приміщення. В зв'язку з тим, що прості, компактні, з невеликим аеродинамічним опором іскрогасники серійно не виготовляються, ВАТ “Укргазпроект” і Державним інститутом азотної промисловості (ДІАП) був розроблений, випробуваний та рекомендований до застосування іскрогасник виконаний у вигляді касети, яка складається з корпусу, тришарового пакета металевих сіток з розміром вічка 0,7 мм (діаметр дроту 0,22 мм) та двох металевих сіток з розміром вічка 1,4 мм (діаметр дроту 0,36 мм).

На лабораторній установці ДІАП'а було проведено випробування іскрогасника на іскрозатримування. У всіх експериментах відбувалося гасіння іскор, в наслідок чого виключалась можливість їх проникнення до простору, що захищався. За результатами дослідів отримана також залежність аеродинамічного опору іскрозатримувача від витрати повітря. Аеродинамічний опір іскрозатримувача при розрахунковому режимі роботи системи повітряного охолодження СТД-12500, складає близько 80 Па.

Перший промисловий зразок іскрогасника був виготовлений та відправлений дослідним заводом ДІАП для монтажу у системі повітряного опалення компресорного цеху КС Ільїнцівська газопроводу “Прогрес”.

**П'ятий розділ** присвячено розробці та дослідженню ефективної теплоутилізаційної установки для імпорتنних агрегатів методом математичного моделювання.

Основою створення сучасного теплоутилізаційного обладнання, у тому числі і для КС газопроводів, є математичне моделювання і розрахунок його характеристик на ЕОМ.

Розроблена модифікована математична модель утилізаційного теплообмінника ГПА, що складається з трьох частин, які призначені для: розрахунку його геометричних характеристик; визначення втрати вихлопних газів агрегату, їх температури при різній відносній потужності ГПА і температурі зовнішнього повітря, а також термодинамічних та теплофізичних властивостей цих газів; визначення його теплових, аеродинамічних, гідравлічних характеристик теплообмінника. Істотною особливістю моделі є: визначення теплофізичних властивостей вихлопних газів агрегатів – питомої ізобарної теплоємності, теплопровідності, кінематичної вязкості, молекулярної маси, густини по їх

температурі і коефіцієнту надлишку повітря в камері згорання з використанням отриманих формул; можливість проведення розрахунків теплообмінників, що виготовлені з вуглецевих і нержавіючих сталей, для коридорної і шахової компоновки оребрених і гладких труб в пучку.

На ЕОМ розраховані рівновагові термодинамічні та теплофізичні властивості продуктів згорання метану з повітрям у межах коефіцієнтів надлишку повітря  $\alpha \approx 1 \div 10$  і температур  $0 \div 700^\circ\text{C}$ .

Отримані значення питомої ізобарної теплоємності продуктів згорання метану  $C_p$ , їх теплопровідності  $\lambda$ , динамічної в'язкості  $\mu$ , молекулярної маси  $M$  для зручності їх подальшого використання на ЕОМ були апроксимовані за методом найменших квадратів за допомогою програмного комплексу GRAPHER та надані у вигляді поліномів:

$$C_p = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 - a_3 t^3, \quad \text{кДж/кг.град}, \quad (10)$$

$$\lambda = b_0 + b_1 t, \quad \text{Вт/м.град}, \quad (11)$$

$$\mu = c_0 + c_1 t - c_2 t^2, \quad \text{н.сек/м}^2, \quad (12)$$

$$M = d_0 + d_1 \alpha - d_2 \alpha^2 + d_3 \alpha^3, \quad (13)$$

де  $a_0, a_3; b_0, b_1; c_0, c_2; d_0, d_3$ ; – постійні коефіцієнти поліномів.

Підвищена температура вихлопних газів на виході з імпортованих агрегатів типу ГТК-101, вимагає при створенні утилізаційного теплообмінника застосування легваної сталі або спеціальних заходів по захисту конструкції теплообмінника, якщо він виготовлений з вуглецевої сталі.

Запропоновано і досліджено теплоутилізаційну установку до ГПА з підвищеною температурою (понад  $500^\circ\text{C}$ ) викидних газів, яка має поверхні нагріву з вуглецевої сталі. Установка складається з опорної конструкції і теплообмінника.

Враховуючи, що повний тиск на зрізі вихлопної шахти агрегатів ГТК-101 складає всього лише 500 Па, дисертантом був визначений оптимальний, тобто з мінімальним аеродинамічним опором, кут клину, який складає близько  $30^\circ$ .

Теплообмінник складається з шести уніфікованих модулів розмірами  $1,78 \times 0,997 \times 0,410 \text{ м}$  кожний, з шаховим розташуванням вуглецевих оребрених труб в пучку. Оребрення труб  $\varnothing 22 \times 2 \text{ мм}$  приварне, спіраль-стрічкове: висота ребер – 9 мм, крок – 3,2 мм, товщина – 0,8 мм. Використання труб з таким спіраль-стрічковим оребренням забезпечує високу теплопродуктивність, невеликий аеродинамічний опір, компактність теплообмінників, а також знижує рівень шуму викидного тракту газотурбінних ГПА.

З використанням математичної моделі утилізаційного теплообмінника ГПА дисертантом на ЕОМ досліджено основні технічні характеристики утилізаційних теплообмінників до агрегатів ГТК-101 і “Кобера-182”.

Результати проведених досліджень характеристик теплообмінників узагальнені у вигляді зручних для практичного застосування простих аналітичних виразів, що

дозволяють визначити теплопродуктивність і аеродинамічний опір теплообмінників імпортованих та вітчизняних ГПА з урахуванням впливу відносної потужності агрегатів, температури зовнішнього повітря, температури води на виході з теплообмінників, тобто умов їх експлуатації на КС:

$$Q = Q_i + \Delta Q_{\bar{N}_T} \cdot (\bar{N}_T - \bar{N}_3) + \Delta Q_{t_{3,n}} \cdot (t_{3,n}^T - t_{3,n}^3) + \Delta Q_{t_w} \cdot (t_w^3 - t_w^T) \text{ МВт} \quad (14)$$

де:  $Q_i$  – задана теплопродуктивність теплообмінника при заданих відносній потужності ГПА і температурі зовнішнього повітря, МВт;

$\Delta Q_{\bar{N}_T}$  – коефіцієнт впливу на теплопродуктивність теплообмінника поточної відносній потужності агрегату, МВт;

$\bar{N}_T$  – поточна відносна потужність ГПА;

$\bar{N}_3$  – задана відносна потужність ГПА. Звичайно  $\bar{N} = 1$ ;

$\Delta Q_{t_{3,n}}$  – коефіцієнт впливу на теплопродуктивність теплообмінника поточної температури зовнішнього повітря, МВт/град;

$t_{3,n}^T$  – поточна температура зовнішнього повітря, °С;

$t_{3,n}^3$  – задана температура зовнішнього повітря, °С. Звичайно  $t_{3,n}^3 = (-)40$  °С;

$\Delta Q_{t_w}$  – коефіцієнт впливу на теплопродуктивність теплообмінника поточної температури води на виході з нього, МВт/град;

$t_w^T$  – поточна температура води на виході з теплообмінника, °С;

$t_w^3$  – задана температура води на виході з теплообмінника, °С;

$$\Delta P = \Delta P_i + \Delta P_{\bar{N}_T} \cdot (\bar{N}_T - \bar{N}_3) \pm \Delta P_{t_{3,n}} \cdot (t_{3,n}^3 - t_{3,n}^T) \text{ Па} \quad (15)$$

де  $\Delta P_i$  – заданий аеродинамічний опір теплообмінника при заданих відносній потужності ГПА і температурі зовнішнього повітря, Па;

$\Delta P_{\bar{N}_T}$  – коефіцієнт впливу на аеродинамічний опір теплообмінника поточної відносній потужності агрегату, Па;

$\Delta P_{t_{3,n}}$  – коефіцієнт впливу на аеродинамічний опір теплообмінника температури зовнішнього повітря, Па/град; (+) – теплообмінники до вітчизняних ГПА і “Кобера-182”; (–) – теплообмінники до ГТК-101.

Для утилізаційних теплообмінників більшості ГПА, в залежності від типу компоновки оребрених труб в пучку, визначені коефіцієнти впливу відносній потужності ГПА, температур зовнішнього повітря і води на виході з теплообмінників на їх теплопродуктивність і аеродинамічний опір.

## ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ І ПІДСУМКОВІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі наведено теоретичне узагальнення і вирішення наукової задачі по зменшенню впливу компресорних станцій магістральних трубопроводів на навколишнє середовище, шляхом розробки і впровадження екологічнобезпечних та енергозберігаючих систем і обладнання.

Наукові і практичні результати дисертаційної роботи наступні:

1. Основними небезпечними чинниками у зоні дії компресорних станцій, що впливають на природне, виробниче та соціальне середовище є: хімічне забруднення атмосферного повітря шкідливими речовинами; шумове забруднення навколишнього середовища; наявність на КС вибухо- і пожежонебезпечних речовин.

За даними ВАТ „Укргазпроект”, щорічно КС в Україні викидається біля 150 тис. тонн шкідливих речовин, причому 76,5 тис. тонн – оксидів вуглецю, 36 тис. тонн – диоксидів і оксидів азоту, 34,5 тис. тонн – природного газу і 3 тис. тонн інших забруднюючих речовин.

2. Вперше запропонована екологічнобезпечна та енергозберігаюча система повітряного опалення компресорного цеху з електроприводними газоперекачуючими агрегатами теплим повітрям розімкненого циклу охолодження електродвигунів, та опалення компресорного цеху газотурбінних ГПА або індивідуального укриття газотурбінного агрегату від одного джерела теплого повітря – утилізаційного теплообмінника, встановленого у вихлопному тракті ГПА.

3. Для забезпечення пожежної безпеки систем повітряного опалення компресорних цехів з СТД-12500 розроблено та досліджено у лабораторних умовах простий у конструктивному виконанні, надійний у експлуатації сітчастий іскрогасник. Випробування показали повне гасіння іскор після іскрогасника, а його аеродинамічний опір склав не більш ніж 80 Па.

4. Для дослідження технічних характеристик теплообмінників розроблена модифікована математична модель водяного утилізаційного теплообмінника ГПА, універсальна за видом поверхонь нагріву та компоновки труб\* у пучку з використанням як визначальної величини умовного геометричного параметру, узагальнених формул тепловіддачі, залежностей коефіцієнтів теплопровідності вуглецевих та нержавіючих сталей від температури. Для створення моделі досліджені та узагальнені у вигляді поліномів залежності термодинамічних, теплофізичних властивостей (питомої ізобарної теплоємності, теплопровідності, динамічної в'язкості, молекулярної маси) продуктів згорання метану з повітрям від коефіцієнту надлишку повітря, їх температури у межах  $1\pm 10$  та  $0\text{--}700^\circ\text{C}$  відповідно.

5. Для імпортичних агрегатів ГТК-101, “Кобера-182”, що експлуатуються на КС України та країн СНД без теплоутилізаційного обладнання, запропонована, розроблена і досліджена з використанням розробленої математичної моделі оптимальна конструкція меншвитратного вискоефективного теплообмінника з невеликим аеродинамічним опором до 500 Па з вуглецевої сталі із застосуванням ефективних заходів, що забезпечують його тривалу та надійну експлуатацію.

6. З використанням наукових результатів роботи виконані за завданням виробничих об'єднань робочі проекти: систем повітряного опалення будівель компресорного цеху – з електродвигунами СТД-12500 на КС Ільїнцівська УМГ



“Черкаситрансгаз”, КС Південно-Баликська, з газотурбінними агрегатами ГТК-10 на КС Приобська, Самсонівська ТзОВ “Сургутгазпром”; теплоутилізаційних установок – до ГПА ГТК-10І фірми “АЕГ КАНІС” для впровадження на КС газопроводу “Союз”, до агрегату ГТК-10І фірми “Нуово Піньоне” для впровадження на дожимних КС ТзОВ “Оренбурггазвидобуток”, до ГПА “Кобера-182” фірми Купер Бессемер Роле/Ройс” для впровадження на КС ТзОВ “Сургутгазпром”.

### СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Макар Р.М., Клюкач І.І., Лінчевський М.П., Чабанович Л.Б., Шелковський Б.І., Дикий Н.О., Романов В.І. Энергозбереження – основа перспективного розвитку нафтогазового комплексу України // Нафтова і газова промисловість. – 1995. – №4. – С.3-6.

2. Макар Р.М., Клюкач И.И., Линчевский М.П., Чабанович Л.Б., Шелковский Б.И., Романов В.И., Дикий Н.А. Состояние и проблемы энергосбережения на объектах транспорта газа Украины // Газовая промышленность. – 1995. – №9. – С.24-27.

3. Семчук Я.М., Чабанович Л.Б. Оцінка впливу компресорних станцій магістральних газопроводів на навколишнє середовище // Державний міжвідомчий науково-технічний збірник «Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ». Серія: Розробка та експлуатація нафтових і газових родовищ. – Випуск 33. – Івано-Франківськ, 1996. – С. 141-145.

4. Семчук Я.М., Чабанович Л.Б. Пожежо-вибухова небезпека при експлуатації компресорних станцій магістральних газопроводів // Державний міжвідомчий науково-технічний збірник „Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – Випуск 33 – Івано-Франківськ, 1996. – С. 145-149.

5. Макар Р.М., Шелковский Б.И., Чабанович Л.Б., Дикий Н.А., Романов В.И. Повышение эффективности работы газотурбинных ГПА // Газовая промышленность – 1997. – №6. – С.40-43.

6. Макар Р.М., Шелковський Б.І., Лінчевський М.П., Чабанович Л.Б., Горленко В.О. Ефективне повітряне опалення промислових будівель компресорних станцій газопроводів // Нафтова і газова промисловість. – 1997. – №3. – С.32-35.

7. Чабанович Л.Б., Шелковский Б.И. Энергосберегающие системы воздушного отопления компрессорных цехов и индивидуальных укрытий электроприводных и газотурбинных ГПА // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 1998. – №3. – С.12-17.

8. Чабанович Л.Б. Эффективная теплоутилизационная установка для импортных газоперекачивающих агрегатов // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 1998. – №4. – С.9-16.

9. Чабанович Л., Шелковський Б. Енергозбереження у газовій промисловості // Проблеми економії енергії: Вісник Державного університету "Львівська політехніка". – Спец. випуск. – Львів: Вид. Держ. ун-ту "Львівська політехніка". – 1998. – С.10-13.
10. Патент 23332А України. МКИ 6F02С6/18, F02В43/02. Установа когенерації енергії і води /Р.М.Макар, І.М.Калапунь, М.О.Дикий, Л.Б.Чабанович, Б.І.Шелковський, Б.Д.Сезоненко, В.І.Занюк. (Україна). Заявл 12.05.96; Опубл. 31.08.98, Бюл.№4. – 2с.
11. Макар Р.М., Калапунь І.М., Шелковський Б.І., Дикий М.О., Чабанович Л.Б. Шляхи удосконалення газозабезпечення України // Матеріали 1-й Міжнарод. конф. по управленню использованием энергии. – Киев. – 1995. – С.37-40.
12. Макар Р.М., Чабанович Л.Б., Шелковський Б.І., Дикий М.О. Повышение эффективности работы газоперекачивающих агрегатов // Тезисы докладов X Всероссийской межвузовской научно-технической конференции „Газотурбинные и комбинированные установки и двигатели”. – М.: ГПНТБ. – 1996. – С.12-13.
13. Ключач І.Т., Лінчевський М., Чабанович Л.Б., Горленко В.О., Шелковський Б.І., Шерехора С.Т. Енергозберігаючі системи повітряного опалення будівель та укриттів газоперекачуючих агрегатів // Матеріали науково-практичної конференції. Том третій – Харків, 1996. – С. 145-146.
14. Говдяк Р.М., Калапунь І.М., Чабанович Л.Б., Шелковський Б.І. Сучасний метод створення утилізаційних парогазових установок для виробництва різних видів енергій на компресорних станціях магістральних газопроводів // Матеріали 7-ї Міжнародної науково-практичної конференції „Нафта і газ України 2002”, том 2. – К: 2002. – С.170-173.
15. Говдяк Р.М., Калапунь І.М., Чабанович Л.Б., Шелковський Б.І., Бендяк В.І., Чабанович Р.Б. Виробництво електроенергії в утилізаційних парогазових установках на компресорних станціях магістральних газопроводів України // Матеріали 7-ї Міжнародної науково-практичної конференції „Нафта і газ України 2002”, том 2. – К: 2002. – С.173-176.
16. Макар Р., Шелковський Б., Говдяк Р., Лінчевський М., Чабанович Л. Енергозбереження на об'єктах транспорту газу України. // Матеріали 2-й міжнарод. конф. по управленню использованием энергии. – Киев: Изд. ин-та энергосбережения и энергоменеджмента НТУУ “КПИ”. – 1997. – С.2-5.
17. Макар Р., Шелковський Б., Чабанович Л., Сезоненко Б., Нікітін В. Ефективна установка когенерації енергії і води // Матеріали 2-й міжнарод. конф. по управленню использованием энергии. – Киев: Изд. ин-та энергосбережения и энергоменеджмента НТУУ “КПИ”. – 1997. – С.3-39.

18. Чабанович Л.Б., Шелковський Б.І. Енергозбереження у газовій промисловості // Збірник наукових праць. Матеріали 5-ої Міжнар. Конф. “Нафта-Газ України – 98”. – Том.І.- Полтава: УНГА. – 1998. – С.306.

19. Говдяк Р.М., Калапунь І.М., Чабанович Л.Б., Шелковський Б.І., Сезоненко Б.Д., Сизоненко А.Б. Ефективне використання природного газу в теплоенергетичних установках з контактним тепло масообміном // Збірник наукових праць. Матеріали 6-ї Міжнародної науково-практичної конференції „Нафта і газ України 2000”, том 3. – Івано-Франківськ: Факел – 2000. – С.9-10.

20. Говдяк Р.М., Калапунь І.М., Чабанович Л.Б., Шелковський Б.І. Енергозбереження в трубопровідному транспорті природного газу України // Збірник матеріалів III Міжнародної науково-практичної конференції. – Львів: Вид. Держ. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2001. – С.40-42.

### АНОТАЦІЯ

Чабанович Л.Б. Розробка енергозберігаючого та екологічнобезпечного обладнання і систем для компресорних станцій магістральних газопроводів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеню кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – Екологічна безпека. – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, 2004.

Дисертацію присвячено екологічній проблемі зменшення впливу компресорних станцій магістральних газопроводів на навколишнє середовище шляхом розробки енергозберігаючого та екологічнобезпечного обладнання і систем.

Проведений аналіз досліджень екологічної небезпеки компресорних станцій та результатів вивчення процесів формування ареалів забруднення атмосфери.

Запропонована і обґрунтована нова концепція повітряного опалення приміщень різної категорії по вибухопожежобезпечності від одного джерела теплого повітря. Створено методику розрахунку та проектування енергозберігаючих, екологічнобезпечних систем повітряного опалення будівель компресорних цехів, індивідуальних укриттів для електроприводних або газотурбінних газоперекачуючих агрегатів.

Розроблено та досліджено у лабораторних умовах простий, надійний іскрогасник для електродвигуна.

Запропоновані, досліджені за допомогою математичної моделі, що розроблена, ефективні утилізаційні теплообмінники для імпорتنних газоперекачуючих агрегатів.

Результати досліджень основних характеристик теплообмінників для імпорتنних та вітчизняних агрегатів узагальнені у вигляді аналітичних залежностей, що дозволяють врахувати умови експлуатації обладнання.

**Ключові слова:** компресорна станція, навколишнє середовище, енергозбереження, екологічна безпека, газоперекачуючий агрегат, теплообмінник, газопровід

## АННОТАЦИЯ

Чабанович Л.Б. Разработка энергосберегающего и экологически безопасного оборудования и систем для компрессорных станций магистральных газопроводов. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 21.06.01 – Экологическая безопасность. – Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Ивано-Франковск, 2004.

Диссертация посвящена экологической проблеме уменьшения влияния компрессорных станций магистральных газопроводов на окружающую среду, путём разработки методических основ проектирования, создания энергосберегающего, экологически безопасного оборудования и систем.

Проведен анализ отечественного теплоутилизационного оборудования, систем воздушного и водяного отопления зданий, индивидуальных укрытий электроприводных и газотурбинных газоперекачивающих агрегатов.

Приведены характеристики энергоёмких и экологически опасных объектов – компрессорных станций магистральных газопроводов.

Предложена и обоснована новая концепция воздушного отопления помещений разной категории по взрывопожароопасности от одного источника теплого воздуха. На ее основе созданы и внедрены энергосберегающие, экологически безопасные системы воздушного отопления зданий компрессорных цехов, индивидуальных укрытий с использованием теплого воздуха из контура охлаждения электродвигателя – для электроприводных, из утилизационного теплообменника или машинного зала – для газотурбинных агрегатов.

Впервые с использованием результатов экспериментальных исследований разработаны простые в конструктивном исполнении, малозатратные схемы воздушного отопления галерей магнететелей газа теплым воздухом, перепускаемым из машинных залов электроприводных или газотурбинных агрегатов.

Разработана методика расчета энергосберегающих, экологически безопасных теплоутилизационных систем воздушного отопления компрессорных цехов, индивидуальных укрытий агрегатов.

В методике использованы результаты экспериментальных исследований, обобщенных в виде аналитических зависимостей температуры теплого воздуха в машинном зале от его высоты, количества установленных и работающих агрегатов.

Разработан и исследован в лабораторных условиях простой, надежный искрогаситель для электродвигателя. Получена зависимость аэродинамического сопротивления искрогасителя от расхода проходящего через него воздуха.

Разработана модификация математической модели утилизационного теплообменника для газоперекачивающих агрегатов.

Предложен, исследован с помощью разработанной математической модели эффективный утилизационный теплообменник для импортных

газоперекачивающих агрегатов с высокой температурой выхлопных газов, изготавливаемый из простой углеродистой стали с применением специальных конструктивных решений, обеспечивающих его длительную и надежную эксплуатацию. Определены теплопроизводительность, аэродинамическое сопротивление теплообменника для импортных агрегатов при их различной мощности, температурах наружного воздуха, воды в системе отопления.

Результаты исследований основных характеристик теплообменников для импортных и отечественных агрегатов обобщены в виде удобных для практического использования аналитических зависимостей, позволяющих учитывать условия эксплуатации оборудования на компрессорных станциях газопроводов.

**Ключевые слова:** компрессорная станция, окружающая среда, энергосбережение, экологическая безопасность, газоперекачивающий агрегат, теплообменник, газопровод.

## ABSTRACT

Tchabanovitch L.B. Development of energy saving and ecologically safe equipment and systems for compressor stations of trunk gas pipelines. Manuscript.

Dissertation for submitting a scientific degree of candidate of technical sciences inspeciality. 21.06.01 – Ecological bezopasnosti. – Ivano-Frankovskiy national Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, 2004.

The dissertation is devoted to development of methodical basis of design, creation and research energy saving, ecologically safe equipment and systems for compressor stations of trunk gas pipelines.

There offered and grounded new conception of air heating for premises of different categories of fire-explosion dangerousity from single source of warm air. There created the method of calculation and energy saving, ecologically safe systems of air heating for buildings of compressor workshops, individual shelters of gas turbine and electric gas pumping plants.

There was designed and researched in lab-conditions a simple and reliable spark-suppression device for electrical engine.

There, offered, researched with the help of designed mathematical model and inculcated the efficient utilizing heat exchanger for foreign gas-pumping plants. The research results of main characteristics of heat exchanges for foreign and home-produced plants were generalized and submitted as useful for practical exploitation analytical equations. Which allow considering the conditions of equipment exploitation.

**Key words:** energy saving, ecological safety, gas-pumping plant, compressor station, heating, heat exchanger, gas pipeline.