Національна академія наук України

Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова

РЕФЕРАТ РОБОТИ

«ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗРОБКИ РОДОВИЩ ВУГЛЕВОДНІВ

НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ КОМПРЕСОРНОГО УСТАТКУВАННЯ

НОВОГО ПОКОЛІННЯ»

висунутої на здобуття Державної премії України

у галузі науки і техніки 2016 року

Автори роботи:

1. **БЛЮСС Борис Олександрович** - доктор технічних наук, професор, завідувач відділу геодинамічних систем і вібраційних технологій Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України.

2. **БОНДАРЕНКО Герман Андрійович** - кандидат технічних наук, професор, професор кафедри технічної теплофізики Сумського державного університету МОН України.

3. **ЖАРКОВ Павло Євгенович** - кандидат технічних наук, голова наглядової ради ПАТ «НВАТ «ВНДІкомпресормаш».

4. **ЛЯХ Михайло Михайлович** - кандидат технічних наук, професор, професор кафедри нафтогазового обладнання Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу МОН України.

5. **КИРИК Григорій Васильович** - доктор технічних наук, доцент, президент концерну «НІКМАС».

6. **ШЕВЧЕНКО Володимир Георгійович** - доктор технічних наук, старший науковий співробітник, учений секретар Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України.

Дніпропетровськ – 2016

**КОРОТКИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

**У першому розділі** виконаноаналіз стану проблеми підвищення ефективності розробки родовищ вуглеводнів, який показав, що розвиток науково-технічних основ підвищення ефективності розробки родовищ вуглеводнів на основі створення енергоефективних компресорних машин нового покоління на базі встановлення закономірностей зміни параметрів робочих процесів теплообмінних апаратів компресорних установок, режимних параметрів їх роботи в умовах шахтних пневмомереж, надійності вузлів і блоків компресорних машин, розробка засобів підвищення їхньої надійності, довговічності та енергоефективності, методів розрахунку режимних та конструктивних параметрів компресорного устаткування і способів його застосування при видобутку нафти, газу, вугілля, шахтного метану, для підвищення ефективності і безпеки процесів, є актуальною науковою проблемою, що має важливе значення для становлення енергетичної незалежності та сталого розвитку України.

Метою роботи є - підвищення ефективності технологій розробки родовищ вуглеводнів на основі наукового обґрунтування, створення та широкого впровадження сучасного надійного, енергозберігаючого та високопродуктивного компресорного устаткування нового покоління.

**У другому розділі** викладено фундаментальні розробки з удосконалення методів розрахунку режимних параметрів компресорних установок, які покладені в основу створення енергозберігаючого компресорного устаткування нового покоління.

Удосконалено методи регулювання компресорів. При зменшенні або збільшенні витрати повітря відповідно збільшується або зменшується тиск нагнітання компресора, значення якого можуть вийти за діапазон припустимих значень. Припустимі межі по тиску встановлюються виходячи з вимог нормальної роботи споживачів і мережі, а також особливостей роботи компресора.

Обґрунтовано перехід від схеми централізованого повітропостачання шахт до локальних компресорних станцій. Вперше встановлено закономірності зміни коефіцієнта недовикористання стисненого повітря, обумовленого співвідношенням механічної роботи чиненої стисненим повітрям при адіабатному розширенні його до кінцевого тиску, при локальному і централізованому повітропостачанні шахт з використанням гвинтових компресорних станцій.

Розроблено систему регулювання холостого ходу шахтних компресорів. Регулювання здійснюється за рахунок дроселювання повітря на усмоктуванні. Із цією метою на вхідному патрубку компресора встановлений затвор дисковий, робочий орган якого повертається за допомогою приєднаного пнемодвигуна. Схема передбачає також перевід компресора в режим холостого ходу вручну.

Визначено особливості регулювання компресорів. Найбільш економічний спосіб регулювання режиму роботи компресора є комбінованим, тобто складається зі сполучення повторно-короткочасного режиму «включення – вимикання» і умовно-безперервного режиму з переходом на холостий хід і назад. Необхідно уникати як надмірно довгих фаз холостого ходу, так і занадто коротких зупинок.

Уперше встановлені закономірності зміни режимних параметрів шахтної компресорної установки: тривалості циклів «нагнітання – холостий хід», частоти спрацьовування регулюючої пневмосистеми від об’єму мереж, характерних для вугільних шахт; закономірності тиску повітря для шахтної мережі середньої і великої довжини від його витрати.

Установлено закономірності зміни енергетичних характеристик регулювання гвинтового компресора в режимі холостого ходу. При зменшенні продуктивності компресора приблизно пропорційно змінюється і споживана потужність аж до режиму «холостого ходу». Електрична потужність із урахуванням зменшення ККД електродвигуна трохи вище споживаної, але в цілому зберігає ту ж закономірність. Для полегшення запуску електродвигуна пуск компресора варто здійснювати при закритому дисковому затворі при мінімальному пусковому струмі, однак пуск повинен бути короткочасним (3-5 сек), щоб не допустити роботу гвинтового компресора на збідненому змащенні.

Уперше розроблено методичні основи розрахунків нестаціонарних режимів течії потоків, що несуть суспензію, у трубопровідних системах на підставі результатів дослідження впливу концентрації і щільності твердої фази на параметри коливальних процесів у гетерогенному газовому середовищі, що дозволило встановити залежності декрементів пульсації швидкості і коливань тиску в технологічних ємностях від властивостей матеріалу, що транспортується, й аеросуміші, акустичних і витратно-напірних характеристик компресорів та елементів аспіраційно-знепилюючих систем гірничих підприємств.

**У третьому розділі** викладено нові фундаментальні та практичні розробки, спрямовані на підвищення працездатності та ефективності компресорного устаткування.

Створено нові композиційні матеріали деталей і вузлів компресорного устаткування. Дослідження властивостей композиційних матеріалів промислового призначення з металевою матрицею показали, що просочення наповнювачів за технічними і технологічними ознаками доцільно виконувати сплавами з температурою плавлення в діапазоні 900-1100 °С. При цьому виробництво композиційних матеріалів можна здійснювати на серійному термічному устаткуванні; таким вимогам відповідають розплави міді та її сплавів на основі Cu-Zn, Cu-Mn, сплави типу колмоной Ni-Cr-Si, Ni-Cr-B, Co-Cr-Si. Легування сплавів зазначених основ дозволяє цілеспрямовано управляти структуроутворенням і забезпечувати весь комплекс механічних властивостей композиційного матеріалу – міцність, пластичність, в'язкість, твердість, корозійну й абразивну зносостійкість.

Розроблено й випробувано металевий порошок для термічного нанесення покриття на основі перехідних металів, при такому співвідношенні компонентів, мас. %: хром – 8–14; кремній – 2,5–3,2; бор – 1,5–2,5; залізо – 4–6; нікель – інше, при цьому фракційний склад порошку перебуває в межах 30–55 мкм. Розроблено виріб із двошаровим покриттям. Розроблено установку для нанесення захисних покриттів на деталі, що дозволяє продовжити експлуатаційні параметри компресорних машин.

Показано, що межа втоми і межа міцності вузлів шахтних компресорних установок лінійно збільшуються в 1,5–2 рази при нанесенні двошарових покриттів з композиційних матеріалів, досягаючи значень відповідно 430 і 1160 МПа.

Виконано фундаментальні розробки щодо створення методів розрахунку і конструювання теплообмінних апаратів компресорних установок. Проведено дослідження особливостей теплообмінної поверхні пластинчасто-ребристих теплообмінників (ПРТ) з металевої сітки. Здійснено вибір матеріалу для ПРТ. Досліджено особливості застосування сталі 20X13 для паяних ПРТ. Проведені дослідження показали, що сталь 20X13 дозволяє за допомогою термічної обробки паяних ПРЕ одержати міцні і корозієстійкі ПРТ.

Розроблено технологію усунення дефектів у ПРТ за допомогою герметиків. Представлена технологія усунення дефектів за допомогою герметиків застосовна і для паяних трубчастих теплообмінників. Проведено випробування теплообмінних апаратів. Розроблено методику зіставлення характеристик теплообмінних апаратів. Проведені тепловізорні дослідження і контроль теплообмінних апаратів. При приймальних випробуваннях компресорної установки фіксується термограма поверхні працюючого охолоджувача. При комп'ютерній обробці на термограмі позначаються температури в характерних точках охолоджувача. Термограма додається до паспорта компресорної установки.

Розроблено методи розрахунку і конструювання теплообмінних апаратів шахтних компресорних установок: коефіцієнта теплопередачі, ефективності площі поверхні теплообміну, ефективності оребрення, еквівалентного діаметра, з урахуванням площі вільного перетину одного каналу, площі повної поверхні теплообміну одного каналу, робочої довжини поверхні теплообміну в каналі та ін.

Проведено дослідження технології й способів пайки з широким паяльним зазором. Розроблено методи підвищення надійності й довговічності паяних робочих коліс відцентрових компресорних машин. Удосконалено конструкції і технології виготовлення коліс. Проведено дослідження паяних таврових з'єднань з великим жолобником. Паяне таврове з'єднання з великим жолобником може бути застосоване для з'єднання лопаток і дисків робочих коліс із забезпеченням втомної міцності на рівні основного металу. При цьому рівноміцність з'єднання з основним металом забезпечується недорогими припоями на мідній основі.

Проведені дослідженні формування комбінованого таврового з'єднання, виконаного пайкою і зварюванням плавленням. Для формування бездефектного з'єднання паз виконують розміром 0,7-0,8 величини товщини стінки тавра і зварювання здійснюють таким чином, щоб кути тавра були повністю проварені. Розроблено технологію автовакуумної пайки закритих робочих коліс.

Розроблено методи підвищення надійності і довговічності теплообмінників. Досліджено та удосконалено конструкції і технології пайки пластинчато-ребристих теплообмінників. Проведені дослідження показали, що сталь 20X13 дозволяє за допомогою термічної обробки паяних пластинчасто-ребристих елементів (ПРЕ) одержати міцні із запасом пластичності, корозієстійкі ПРТ.

Досліджено високотемпературну пайку шлікерним припоєм сталевих ПРЕ. Випробування показали, що шар, що плакує, на основі сплаву системи Ni-Cr-Si-B має жаростійкість у газових середовищах при температурі до 900 °С, високу зносостійкість в середовищі, засміченому абразивними частками, хімічну стійкість в нейтральних (повітря, азот, газоподібні вуглеводні, вода, пара, нафтопродукти) і лужних середовищах, а також у розчинах деяких органічних кислот (оцтова, щавлева), в інших газоподібних і рідких середовищах.

**У четвертому розділі** викладено нові рішення зпідвищення ефективності розробки родовищ вуглеводнів на основі енергозберігаючого компресорного устаткування.

Для генерування інертного газового середовища на основі азоту для забезпечення технологічних процесів у нафтовидобувній, газовій, нафтопереробній, нафтохімічній промисловості розроблено азотну компресорну станцію. Азотна компресорна станція містить лінію стиску повітря, що включає багатоступінчастий повітряний компресор з охолоджувачами між ступенями, блок фільтрів, вологовідділювач, охолоджувач, газороздільній модуль, лінії стиску азоту.

Вдосконалено технологію сайклінг процесу з використаннямкомпресорної станції для генерування інертного газового середовища на основі азоту. Розроблено і затверджене технічне завдання на виготовлення станції блочно-модульного виконання для цілодобового виробництва 50 000 м3/добу газоподібного азоту для сайклінг процесу на Котелевському газоконденсатному родовищі. Комплекс устаткування забезпечує одержання з атмосферного повітря газоподібного азоту концентрацією не менш 99 % з його наступним накачуванням у свердловину під тиском до 250 бар.

Для підвищення тиску від низького, в малодебітних бурових свердловинах, до тиску, необхідного для роботи газотранспортного комплексу, розроблено блокову компресорну станцію, яка містить магістраль подачі стисливого газу з фільтром у ґвинтовий компресорний агрегат, причому ґвинтовий компресорний агрегат виконано у вигляді окремого блоку з приводом.

Вдосконалено технологію відбору газу із низьконапірних газових свердловин із застосуванням розробленої дотискної ґвинтової компресорної станції паливного газу типу СГВ для живлення газотурбінних електростанцій, яка відрізняється тим, що компресорний агрегат, виконаний у вигляді ґвинтового компресора, з'єднаного вихідним трубопроводом з масловіддільником на лінії відводу газу.

Розроблено способи одержання і транспортування попутного нафтового газу за допомогою компресорних станцій СКГ.

Викладено науково-практичні засади підвищення надійності і ефективності буріння та ремонту нафтових і газових свердловин з використанням високоефективних піногенеруючих пристроїв. Розроблено методи визначення оптимальної конструкції піногенеруючого устаткування. Встановлено, що у пристрої із циліндричною приймальною частиною камери змішування температура стрибкоподібно зростає і спадає у вхідній частині камери, потім зростає до температури, яка є вищою температури у пристрої з конічною приймальною частиною камери змішування. Визначено довжину циліндричної частини сопла, відстань між соплом і камерою змішування піногенеруючого пристрою. Розроблений піногенеруючий пристрій випробувано на свердловинах Полтавського ВБР БУ «Укрбургаз», глибина однієї з яких становила 4700 м, показано високу ефективність та адекватність результатів параметрам прогнозу, в т.ч. запропонованої схеми обв’язки циркуляційної системи.

Вдосконалено техонологію термогазового впливу на нафтовий пласт із важковидобуваємими запасами з використанням розробленої компресорної установки високого тиску, що включає повітряні компресори першого і другого щаблів компримування, охолоджувач, вологовідділювач і контрольно-вимірювальну апаратуру.

Викладено засади підвищення ефективності газліфтного видобування нафти компресорним способом, що може бути забезпечено застосуванням компресорного устаткування нового покоління.

Для інтенсифікації геологорозвідувальних робіт і видобутку на газо-нафтоносних родовищах розроблена і випробувана нова пересувна компресорна станція СД 30/120 продуктивністю 30 м3/хв., тиском 12 МПа. Станція, розташована на шасі вантажного повнопривідного автомобіля, складається з двох дизельних двигунів ЯМЗ-7511 і двох компресорів – ґвинтового маслозаповненого CF-180G2 для стиску повітря до 1,5 МПа і поршневого компресора 6ВШ2,5-2,1/14-120 для стиску повітря від 1,5 до 12 МПа. Шестирядний двоступінчастий компресор виконаний на 2W-базі 6ВШ2,5 з номінальним поршневим зусиллям 2,5 т.

Для ремонту і очищення магістральних нафтопроводів застосовані компресорні станції, створені на базі устаткування АГНКС-45, АГНКС-60, АГНКС-75 призначені для подачі природного газу (метану).

Створене устаткування для евакуації газу з магістральних газопроводів МКС-600 з використанням установки компресорні серії ВВ повітряної з ґвинтовим компресором і приводом від електродвигуна, продуктивністю від 23 до 100 м3/хв. і кінцевим абсолютним тиском 8–10 кгс/см.

Для випробування трубопровідних арматур розроблено компресорну станцію високого тиску. Установка блочно-компресорна БКУ-60/32 У1, призначена для виробітку стислого якісного повітря і постачання ним різних пневматичних систем, пристроїв і механізмів у нафтовій, газовій та ін. галузях промисловості.

Вдосконалено спосіб утилізації шахтного газу діючих і закритих шахт шляхом його спалювання в спеціальній камері і запобігання цим його виділення в атмосферу на базі розробленої контейнерної газоутилізаційної установки УКГ-5/8. Вибухозахищеність забезпечується конструктивними рішеннями за рахунок безперервного контролю вмісту метану. При концентрації метану 1 % установка відключається. Технічна продуктивність УКГ-5/8 обмежена 8 МВт теплової енергії, оптимальною тривалою потужністю 5 МВт. Установка здійснює постійний автоматичний аналіз газу на вміст СН4, О2 і СО2.

Розглянуто особливості структури вугілля та запропоновано модель впливу на вугільні пласти газів, що різняться енергією сорбції і схеми інтенсифікації метановіддачі вугільних пластів. Розроблено установку для дегазації підземних пластів, у якій за рахунок застосування нових конструктивних елементів забезпечується підвищення коефіцієнта корисної дії, розширення сфери застосування за рахунок розширення діапазону робочих температур, зміни робочого середовища, зменшення габаритів та підвищення мобільності і спрощення переміщення (транспортування) у шахтних підземних виробках.

Розроблено спосіб видобутку метану, що включає буріння принаймні двох або декількох свердловин, їхню кількість вибирають залежно від потужності пласта і його конфігурації, щоб вони перетинали газоносний пласт, причому хоча б одна з них була нагнітальною.

Розроблено ґвинтову шахтну компресорну установку, яка відрізняється тим, що один з температурних датчиків, установлених на лінії нагнітання після ґвинтового компресора, виконаний у вигляді електричного датчика-реле температури і підключений до системи аварійного відключення компресора, а другий датчик виконаний у вигляді термовимикача з плавким елементом і підключений до пневматичної лінії захисту; датчик контролю газу виконаний у вигляді датчика метану, що розміщений у верхній частині корпуса компресорної установки. На підприємствах вугільної промисловості України впроваджені установки компресорні шахтні УКГШ-7,5/7; УКГШ-10/7: УКГШ-15/7; розробки концерну «НІКМАС» у кількості понад 1148 установок продуктивністю 7,5–15 м3/хв.

**У п’ятому розділі** викладено результативикористання компресорного обладнання нового покоління в системах пожежогасіння при видобуванні та транспортуванні вуглеводнів.

Для одержання газоподібного азоту та інертизації атмосфери, попередження і гасіння пожеж у гірничих виробках шахт розроблено ґвинтові компресорні установки.

Запропоновано модель виділення метану в тупиковому виробітку і визначений час досягнення вибухонебезпечної концентрації. При стаціонарному процесі швидкість надходження газу у виробку збігається зі швидкістю виносу газу з виробки, однак надходить у виробку чистий метан, а виноситься метаноповітряна суміш. Виконано моделювання процесів поділу повітря у порожнистоволоконних модулях, що дозволило оптимізувати конструкцію газороздільних модулів азотних мембранних компресорних станцій. Отримано залежності продуктивності газороздільних мембранних блоків від концентрації та температури.

Розроблено спосіб ліквідації початкової стадії підземних пожеж у діючій або в зупиненій виробці у випадку, коли зводять герметичну перегородку з одночасною подачею інертного газу у вугільну виробку, який відрізняється тим, що у вугільній виробці додатково розміщають устаткування для контролю за індикаторними газами, об'ємним вмістом кисню, азоту, метану і за станом окремих фізичних параметрів атмосфери виробки, таких як тиск, температура, задимленість повітряного середовища виробки, швидкість повітряного потоку у виробці.

Розроблено, затверджено і уведено у дію нормативно-технічний документ **–** Стандарт Мінвуглепрому України. Правила використання газоподібного азоту для попередження і локалізації підземних пожеж (СОУ 10.1.202020852.001:2006). Виготовлена фахівцями ПАТ «НВАТ ВНДІкомпресормаш» станція АМГП -15/0,7 С У1 успішно пройшла заводські випробування на підприємстві – виготовлювачі і приймальні випробування e замовника (державне підприємство «Макіївугілля»). Наприкінці 2003 р. станція АМГП-15/0,7 С У1 була застосована при гасінні пожежі на одній із шахт ДП «Ровенькиантрацит». Оперативно доставлена на місце аварії, станція успішно зарекомендувала себе в реальних умовах пожежогасіння, подавши в гірничу виробку (зону горіння) 62 000 м3 азоту. За допомогою станції АМГП-15/0,7 С У1 пожежа була ліквідована протягом 72 год.

Викладено засади протипожежного захисту об’єктів нафтогазової промисловості, на складах зберігання паливо-мастильних матеріалів із застосуванням високоефективних піноутворюючих пристроїв.

**У шостому розділі** данаоцінка економічної ефективності та безпеки застосування компресорного устаткування нового покоління при розробці родовищ вуглеводнів.

Викладено аспекти комплексного рішення проблем безпеки при розробці родовищ вуглеводнів. Застосування нового компресорного устаткування: станцій азотних мембранних ґвинтових пересувних АМГП у процесах видобутку вугілля для запобігання і гасіння підземних пожеж, установок компресорних газоутилізаційцних УКГ для утилізації шахтного метану і запобігання його вибухів, азотних компресорних станцій при бурінні, освоєнні, інтенсифікації, ремонті газових та нафтових свердловин, розкритті продуктових газо-нафтоносних пластів дозволяє в комплексі вирішувати проблему безпеки при розробці родовищ вуглеводнів. Для підвищення безпеки роботи компресорного устаткування при розробці родовищ вуглеводнів розроблено смарт-системи керування на базі контролерів компаній Siemens установками компресорними газоутилізаційними УКГ-5/8, смарт-системи керування на базі контролерів компаній Siemens, Schneider-Electric станціями типу СГВ, смарт-системи керування на базі контролерів компаній ComAp, Allen-Bradley компресорними установками для стиску вуглеводнів (пар бензину) і скраплення їх у міжступінчастих конденсатовідвідниках, станціями типу ААВН, компресорними установками для стиску коксового газу й інших вибухонебезпечних середовищ, обліку шахтного газу (об'ємна витрата, концентрація метану CH4, вуглекислого газу CO2, кисню O2 та ін. середовищ) і контролю, сигналізації та керування технологічним устаткуванням шахт. Виконано моделювання безаварійної роботи гірників та безпечного керування процесом видобутку при використанні смарт-систем керування і візуального контролю параметрів шахтних компресорних систем.

Проведена оцінка економічної ефективності застосування компресорного устаткування нового покоління при розробці родовищ вуглеводнів.

**НАУКОВА НОВИЗНА**

**Наукова значимість роботи** полягає у розвитку науково-технічних основ підвищення ефективності розробки родовищ вуглеводнів на основі створення енергоефективних компресорних машин нового покоління шляхом встановлення закономірностей зміни параметрів робочих процесів теплообмінних апаратів компресорних установок, режимних параметрів їх роботи в умовах шахтних пневмомереж, надійності вузлів і блоків компресорних машин, розробки методів розрахунку режимних та конструктивних параметрів компресорного устаткування при їх застосуванні для видобутку нафти, газу, вугілля та шахтного метану.

**Наукова новизна основних результатів роботи.**

1. Виконано фундаментальні розробки з удосконалення методів розрахунку режимних параметрів компресорних установок, які працюють на вугільних шахтах, об’єктах нафтової та газової промисловості. Удосконалено методи регулювання компресорів. Обґрунтовано перехід від схеми централізованого повітропостачання шахт до локальних компресорних станцій. Вперше встановлено закономірності зміни коефіцієнта недовикористання стисненого повітря, обумовленого співвідношенням механічної роботи, чиненої стисненим повітрям при адіабатному розширенні його до кінцевого тиску, при локальному і централізованому повітропостачанні шахт з використанням гвинтових компресорних станцій. Вперше встановлено закономірності зміни режимних параметрів шахтної компресорної установки від об’єму мереж, характерних для вугільних шахт; закономірності тиску повітря для шахтної мережі середньої і великої довжини від його витрати. Установлено закономірності зміни енергетичних характеристик регулювання гвинтового компресора в режимі холостого ходу.

2. Виконано моделювання нестаціонарних режимів течії потоків, що несуть суспензію, у трубопровідних системах «компресор – гірниче технологічне устаткування». Отримано диференціальні рівняння, що описують рух аеросуміші в трубопроводі і технологічних ємностях аспіраційно-знепилюючих систем різних видів, з урахуванням властивостей аеросуміші, акустичних властивостей технологічного устаткування, компресорів і трубопроводів.

3. Встановлено закономірності зміни надійності та довговічності деталей та вузлів шахтних компресорних установок при нанесенні двошарових покриттів з композиційних матеріалів. Показано, що межа втоми і межа міцності вузлів шахтних компресорних установок лінійно збільшуються в 1,5–2 рази при нанесенні двошарових покриттів з композиційних матеріалів, досягаючи значень відповідно 430 і 1160 МПа.

4. Виконано фундаментальні розробки щодо створення методів розрахунку і конструювання теплообмінних апаратів компресорних установок, які працюють в складних умовах шахт та на об’єктах нафто та газовидобувної галузі:

- розроблено методи розрахунку і конструювання теплообмінних апаратів шахтних компресорних установок: коефіцієнта теплопередачі, ефективності площі поверхні теплообміну, ефективності оребрення, еквівалентного діаметра, з урахуванням площі вільного перетину одного каналу, площі повної поверхні теплообміну одного каналу, робочої довжини поверхні теплообміну в каналі та ін.

- уперше встановлено закономірності зміни коефіцієнта теплопередачі ПРТ шахтної компресорної установки від втрати тиску, швидкості повітря в каналі; питомих теплових потоків сталевого ПРТ від питомої потужності на прокачування повітря, що дозволило визначити раціональну товщину проставленого листа і припуск по товщині листа на компенсацію корозії ПРТ, що працює у вологій атмосфері вугільної шахти.

5. Розроблено методи підвищення надійності і довговічності паяних робочих коліс відцентрових компресорних машин. Вперше встановлено закономірності зміни характеристики концентрації напруг таврового паяного з'єднання лопатки з диском робочого колеса відцентрового компресора - коефіцієнта напруг від величини внутрішнього напруження, радіуса жолобника і товщини лопатки.

6. Вперше встановлено закономірність зміни довговічності, що характеризується межею міцності, сталі тонкостінного теплообмінника шахтних компресорних установок при високотемпературній пайці після нагрівання і відпуску у вакуумі від товщини стрічки теплообмінника.

7. Викладено науково-практичні засади підвищення надійності і ефективності буріння та ремонту нафтових і газових свердловин з використанням високоефективних піногенеруючих пристроїв. Отримано залежність зміни швидкості звуку у водоповітряній суміші залежно від об’ємної газомісткості. Для пінистого потоку після стрибка ущільнення встановлено співвідношення між в’язкістю, коефіцієнтом тертя і втратами тиску на тертя по відношенню до рідинної фази. Одержано залежності об’ємної газомісткості від ступені аерації при різних значеннях тиску в приймальній камері. Розроблено методи визначення оптимальної конструкції піногенеруючого устаткування. Отримано залежності розподілу швидкості в поздовжньому перерізі пристрою.

8. Запропоновано модель впливу на вугільні пласти газів, що різняться енергією сорбції. Запропоновано модель виділення метану в тупиковому виробітку і визначений час досягнення вибухонебезпечної концентрації. Встановлено, що при стаціонарному процесі швидкість надходження газу у виробку збігається зі швидкістю виносу газу з виробки, однак надходить у виробку чистий метан, а виноситься метаноповітряна суміш.

9. Виконано моделювання процесів поділу повітря у порожнистоволоконних модулях, що дозволило оптимізувати конструкцію газороздільних модулів азотних мембранних компресорних станцій. Вперше отримано залежності продуктивності газороздільних мембранних блоків від концентрації й температури.

10. Викладено аспекти комплексного рішення проблем безпеки при розробці родовищ вуглеводнів; виконано моделювання та встановлено закономірності безаварійної роботи гірників при використанні смарт-систем керування і візуального контролю параметрів шахтних компресорних систем.

**ОСНОВНІ НАУКОВО–ТЕХНІЧНІ РЕЗУЛЬТАТИ,**

**ПРАКТИЧНА ЗНАЧИМІСТЬ І ОБСЯГИ ВПРОВАДЖЕННЯ**

**Практична значимість результатів** полягає у вдосконаленні технологій та способів розробки родовищ вуглеводнів на базі створеного компресорного устаткування нового покоління.

**Обсяги впровадження основних результатів роботи.**

Підвищення ефективності розробки родовищ вуглеводнів на основі використання компресорного устаткування нового покоління було досягнуто за рахунок:

1. На Бєльському газоконденсатному родовищі здійснено додатковий видобуток 12,0 млн. м3 газу за перший рік реалізації проекту ґвинтової газової компресорної установки СГВв 315-20/035-25 У1, що забезпечує відбір газу із семи низьконапірних газових свердловин із залишковим тиском 1,1–2,0 кгс/см2, відбір попутного нафтового газу від наявної на родовищі установки сепарації нафти, газу із танків зберігання і стабілізації газового конденсату, а також смолоскипового газу, наявного на родовищі, з подальшим компримуванням газу в мережу споживача з тиском 17–25 кгс/см2. На нафтогазовому родовищі «Кенлик» у Республіці Казахстан для подачі попутного газу на електростанцію ЕГ-6000 виробництва підприємства «Мотор Січ» введено в експлуатацію дві аналогічні компресорні станції СҐВв 315-20/0,5-24 У1.

2. На Вішанському родовищі РУП «ВО «Білорусьнафта» реалізовано технологію термогазового впливу із застосуванням компресорних установок БКУ20/35. Об'ємна продуктивність установки БКУ-20/35 У1 для термогазового впливу на нафтовий пласт по повітрю, наведена до початкових умов (при роботі 2-х компресорів), становить 20 м3/хв., кінцевий надлишковий тиск повітря - 35 МПа, при цьому потужність, споживана установкою БКУ, не перевищує 400 кВт. При застосуванні методу термогазового впливу на нафтовий пласт коефіцієнт вилучення нафти досягав 75 %, при середньопластовому тиску 26000 кПа.

3. На шахтах «Молодогвардійська», «Самсонівська-Західна» ПАТ «Краснодонвугілля» впроваджено спосіб утилізації метану установками компресорними газоутилізаційними УКГ-5/8 у кількості 3-х установок продуктивністю 1551 м3/годину. Установки експлуатуються з 2008 року. Усього за допомогою установок утилізовано 21 627 079,00 м3 газу метану. Загальний наробіток склав 57160 годин.

4. У воєнізованих гірничорятувальних загонах (1 ВГРЗ м. Горлівка, 3 ВГРЗ м. Макіївка, 4 ВГРЗ м. Луганськ, 5 ВГРЗ м. Красний Луч, 6 ВГРЗ м. Торез, 7 ВГРЗ м. Краснодон, 8 ВГРЗ м. Павлоград, Львівсько-Волинськім ВГРЗ м. Червоноград, ОВГРЗ м. Донецьк) впроваджено спосіб гасіння пожеж азотом з використанням станцій мембранних гвинтових пересувних АМГП-15/0,7 У1 у кількості 9 станцій продуктивністю 15 м3/хв. Спосіб застосовано для гасіння пожеж на шахтах ВП «Шахта ім. М.І. Калініна» ДП «ДУЕК», ПАТ «Шахта ім. О.Ф. Засядька», шахта ім. Ф.Е. Дзержинського ДП «Ровенькиантрацит», ВК «Краснолиманська» Усього станціями вироблено 12 625 325,00 м3 азоту. Станції експлуатуються з 2004 року. Загальний наробіток склав 12536 годин.

За **основними науково-технічними показниками**, досягнутими при розробці родовищ вуглеводнів, а саме: обсягом відбору газу установками СГВв 315-20/035-25 У1, об'ємною продуктивністю установки БКУ-20/35 У1 для термогазового впливу на нафтовий пласт, обсягом утилізованого установками УКГ-5/8 газу метану; обсягом виробленого установками АМГП-15/0,7 У1 азоту та ефективністю ліквідації втрат у видобутку вуглеводнів та збереження устаткування і робочих місць, створені технології та способи використання компресорного устаткування нового покоління перевищують кращі вітчизняні та зарубіжні аналоги.

**ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ**

Фактичний економічний ефект, отриманий за рахунок застосування способу гасіння підземних пожеж азотом, що забезпечило збереження устаткування і ліквідацію втрат у видобутку вугілля, за 10 років експлуатації станцій АМГП-15/0,7 У1 склав близько 2 млрд. грн., при цьому було збережено більше 1000 робочих місць. Фактичний економічний ефект, отриманий за рахунок зниження емісії метану в атмосферу, реалізації положень Кіотського протоколу за 6 років використання способу утилізації метану з використанням установок УКГ-5/8 склав близько 20 млн. грн.

**Кількість публікацій, патентів, в т.ч. міжнародних, захищених дисертацій та інша інформація, яка характеризує роботу.**

За результатами роботи опубліковано 9 монографій, 6 навчальних посібники, більше 250 статей, зокрема більше 40 у міжнародних виданнях, видано 4 нормативних документи, отримано 104 патенти, загальна кількість посилань на публікації авторів (згідно баз даних SCOPUS) складає 113 та  h-індекс складає 5, загальна кількість посилань на публікації авторів (згідно бази даних Google Shcolar) складає 91 та  h-індекс складає 9, захищено 3 докторських та 10 кандидатських дисертацій.

Автори роботи:

Блюсс Б.О.

Бондаренко Г.А.

Жарков П.Є.

Кирик Г.В.

Лях М.М.

Шевченко В.Г.