

Національна академія наук України
Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова

СТАСЕВИЧ РІШАРД КАЗИМИРОВИЧ



УДК [622.324.004.8:622.817.4] (043.5)

РОЗВИТОК НАУКОВО-ТЕХНІЧНИХ ОСНОВ КЕРУВАННЯ БЕЗПЕКОЮ
ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИЛУЧЕННЯ ТА УТИЛІЗАЦІЇ
ВУГЛЕВОДНЕВИХ ГАЗІВ

05.26.01 – «Охорона праці»

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Дніпро - 2018

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано в Інституті геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України (ІГТМ НАН України) (м. Дніпро).

Науковий консультант:

доктор технічних наук, професор,
Софійський Костянтин Костянтинович,
ІГТМ НАН України, завідувач відділу проблем технологій підземної розробки вугільних родовищ (м. Дніпро)

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Грядущий Борис Абрамович,
Державний Макіївський науково-дослідний інститут з безпеки робіт в гірничій промисловості Міненерговугілля України, в.о. директора (м. Київ)

доктор технічних наук, професор
Скрипніков Веніамін Борисович,
Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» Міністерства освіти і науки України, професор кафедри опалення, вентиляції та охорони навколишнього середовища (м. Дніпро)

доктор технічних наук, доцент
Лапшин Олександр Олександрович,
Державний вищий навчальний заклад «Криворізький національний університет» Міністерства освіти і науки України, доцент кафедри рудникової аерології та охорони праці (м. Кривий Ріг).

Захист відбудеться «27» грудня 2018 р. о 13³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.188.01 при ІГТМ НАН України за адресою: 49005, м. Дніпро, вул. Сімферопольська, 2а, факс (0562) 46-24-26.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці ІГТМ НАН України за адресою: 49005, м. Дніпро, вул. Сімферопольська, 2а.

Автореферат розіслано «23» листопада 2018 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
доктор технічних наук, професор



В.Г. Шевченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Для досягнення енергетичної незалежності Україна освоює видобуток і когенерацію газів вугільних родовищ (шахтного метану).

На теперішній час розроблено науково-технічні основи видобутку, транспортування та утилізації газів вугільних родовищ за допомогою шахтних когенераційних, енергетичних комплексів. Застосування таких комплексів забезпечить надійність електро- і теплопостачання вугільних шахт, а також житлових масивів і підприємств, що прилягають до них. За такої умови істотно зменшиться витрата імпортного природного газу за рахунок заміни його шахтним метаном в опалювальних газових котельнях і за необхідності потреби закупівлі шахтою електроенергії.

Оскільки вуглеводневі гази вибухонебезпечні, а при їх когенерації утворюються отруйні оксиди азоту та вуглецю, то технологічні процеси їх вилучення та когенерація вимагають забезпечення належного рівня вибухобезпеки, а також дотримання вимог охорони праці. Однак, в нормативних документах з безпеки систем дегазації відсутня вимога, яка регламентує необхідність вимірювання концентрацій кисню і визначення його гранично допустимих концентрацій в МПС не встановлено закономірності критерію вибухобезпеки від діапазонів концентрації метану, що стримує подальший розвиток теорії та практики безпеки видобутку та утилізації шахтного метану.

Дослідження і аналіз роботи газопоршневої когенераційної станції ПАТ «Шахта ім. О.Ф. Засядька» засвідчив, що змішування шахтного метану низької концентрації з метаном вугільних родовищ поверхневих дегазаційних свердловин проводиться без належного контролю обґрунтованих параметрів вибухобезпеки суміші, що подається в газопоршневі генератори, і обґрунтованого критерію енергоефективного використання енергії утилізованих газів у період неопалювального сезону.

Для станції паротурбінної когенерації не розроблені математичні моделі керування співвідношенням повітря-газ, що призводить до аварійних зупинок котлоагрегатів. За таких умов, у разі зміни витрати пара не підтримується співвідношення повітря-газ, яке має забезпечити високий коефіцієнт корисної дії і не встановлено закономірності критерію охорони праці людини на робочих місцях. Керування величиною розрідження в топці здійснюється вручну, що призводить до загазованості приміщень ТЕЦ отруйними газами, концентрація яких перевищує ГДК, або згасання полум'я на пальниках і аварійної зупинки котлоагрегату в наслідок відсутності залежності критерію безпеки від розрідження в топці. Тому науково-технічні основи вибухобезпеки, охорони праці та ефективності цих процесів потребують значного вдосконалення.

Для вирішення вищенаведених актуальних проблем необхідно подальший розвиток наукових і технічних основ вибухобезпеки та охорони праці єдиної інформаційної технології підземного і поверхневого вилучення газів вугільної шахти та їх утилізації в реальному режимі часу.

Таким чином, встановлення закономірностей, що визначають критерій вибухобезпеки за співвідношенням концентрації кисню і метану при видобутку газів з ізольованих об'ємів шахт і дегазаційних свердловин та при підготовці їх до утилізації на газозмішувальних регуляторних пунктах, критеріїв охорони праці людини на робочому місці і енергоефективності котлоагрегатів від концентрації кисню в димових газах та їх критерія вибухобезпеки від розрідження в топці є актуальною науковою проблемою вирішення якої дозволить розвиток науково-технічних засад керування безпекою технологічних процесів вилучення та утилізації вуглеводневих газів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана відповідно до «Стратегії розвитку паливно-енергетичного комплексу України до 2030 року» (Вугільна промисловість), що затверджена постановою кабінету Міністрів України № 1205 від 19 вересня 2001 року, і планів держбюджетних тем ІГТМ НАН України № III-64-15 «Удосконалення технологій та обладнання для підвищення ефективності ведення гірничих робіт за рахунок обґрунтування раціональних параметрів нових технічних рішень», розділ: «Обґрунтування параметрів видобутку метану вугільних родовищ із застосуванням ударно-розвантажувальної дії через свердловину на газонасичений вуглепородний масив» (ДР № 0115U002145), де автор був виконавцем та № III-71-18 «Розробка ефективних технологічних рішень, засобів реалізації і методів розрахунку основних параметрів для підвищення показників видобутку і переробки гірської маси», розділ «Обґрунтування параметрів дегазаційних систем шахт для підвищення їх безпеки та енергоефективності» (ДР № 0117U003056), де автор є відповідальним виконавцем.

Ідея роботи полягає у використанні встановлених закономірностей та обґрунтованих критеріїв вибухобезпеки метаноповітряних сумішей та котлоагрегатів, критерія охорони праці людини на робочому місці і енергоефективності когенерації вуглеводневих газів для розробки параметрів та структурно-функціональних схем станцій керування безпекою технологічних процесів вилучення та утилізації вуглеводневих газів.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є розвиток науково-технічних основ керування безпекою, зниження аварійності та підвищення енергоефективності технологічних процесів вилучення і утилізації вуглеводневих газів та охороною праці на всіх стадіях.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішено такі основні задачі:

- встановити закономірності вибухобезпеки процесу видобутку і утилізації газів вугільної шахти і розробити схему єдиної інформаційної ресурсоенергозберігаючої технології їх утилізації;
- розробити математичні моделі динамічних процесів трактів котлоагрегату, встановити алгоритм безаварійного керування ним;
- обґрунтувати критерії охорони праці людини на робочих місцях когенераційних станцій, критерії їх вибухобезпеки та енергоефективності і розробити станцію безпечного керування котлоагрегатами, провести

експериментальні дослідження в промислових умовах та встановити її працездатність;

- розробити та впровадити загальносистемні рішення та інформаційне забезпечення безпеки і охорони праці при утилізації доменного і коксового газів та перспективну структурно-технологічну схему видобутку і паротурбінної тригенерації газів вугільних родовищ на гірничих відводах і шахтах.

Об'єкт досліджень – процеси керування безпекою та енергоефективністю при видобутку і утилізації вуглеводневих газів.

Предмет досліджень – закономірності та критерії безпечної, безаварійної і ефективної роботи устаткування та інформаційної, ресурсозберігаючої технології вилучення та утилізації вуглеводневих газів.

Методи досліджень. Для вирішення поставлених задач використовували комплексні методи, що включають: метод сигнатурної математики для розв'язання крайових задач в інформаційно-керуючих системах; метод розв'язання диференціальних рівнянь із застосуванням теорії комплексної змінної; метод математичного моделювання динамічних процесів у геотехнічних і промислових системах; метод аналітичної та експертної оцінки результатів наукових досліджень вибухонебезпечності метаноповітряної суміші; метод евристичного і конструкторського пошуку нових рішень; метод експериментальних досліджень у промислових умовах.

Наукові положення, які захищаються в дисертації.

1. Критерій вибухобезпеки вуглеводневих газів у процесі вилучення їх з ізольованих об'ємів шахт та підготовки до утилізації, визначається відповідно до концентрації кисню у суміші газів, що обернено пропорційна концентрації метану у діапазоні від 0 до 5 % і прямо пропорційна концентрації метану в діапазоні від 20 до 25%, а при концентрації кисню до 7% суміш є вибухобезпечною при будь-яких концентраціях метану.

2. Концентрація оксиду азоту в топці зростає, а концентрація оксиду вуглецю зменшується за параболічною залежністю при збільшенні коефіцієнта надлишку повітря, що дозволило встановити критерій охорони праці людини на робочих місцях когенераційних станцій для керування співвідношенням повітря-газ α в діапазоні від 1,04 до 1,15 по концентрації кисню в димових газах котлоагрегатів, які утилізують вуглеводневі гази.

3. Критерій енергоефективності керування коефіцієнтом співвідношення повітря-газ α котлоагрегатів, які утилізують вуглеводневі гази прямо пропорційній тиску повітря на повітрянагрівачах, та обернено пропорційний концентрації кисню в димових газах, що дозволило встановити параметр енергоефективного управління співвідношенням α в діапазоні від 1,04 до 1,15 котлоагрегатами по концентрації кисню в димових газах за пароперегрівачем при змінах парового навантаження.

4. Значення критерію охорони праці та безпеки котлоагрегату зростає зі збільшенням тиску в топці й знижується зі збільшенням розрідження за лінійними залежностями, при цьому діапазон безпечної роботи котлоагрегату в топці знаходиться в межах від -100 до +100 Па.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

- вперше встановлено закономірність та критерій, які визначають вибухобезпечну межу співвідношення концентрації кисню і метану при видобутку вуглеводневих газів з ізольованих об'ємів шахт, включаючи їх загазування і розгазування, та при підготовці газів до утилізації у газозмішувальних регуляторних пунктах;

- вперше встановлено закономірність та критерій охорони праці людини на робочих місцях когенераційної станції для керування співвідношенням паливо-повітря за концентрації кисню в димових газах котлоагрегатів, які утилізують вуглеводневі гази;

- вперше встановлено закономірність між загазуванням приміщень ТЕЦ отруйними газами і згасанням факела на пальниках та охорони праці та безпеки котлоагрегату для безпечного управління розрідженням в топці;

- вперше встановлено закономірність і критерій енергоефективності для управління співвідношенням повітря-паливо у встановленому діапазоні концентрації кисню в димових газах;

- вперше розроблено структурні схеми математичних моделей динамічних процесів, що відбуваються у трактах когенераційних котлоагрегатів, на основі комплексних частотних характеристик їх ланок.

Наукове значення роботи полягає у встановленні закономірностей, критерія вибухобезпеки, що характеризується концентрацією кисню в залежності від концентрації метану у метаноповітряних сумішах, критерія охорони праці людини на робочих місцях когенераційних станцій та критерій енергоефективності котлоагрегатів в залежності від концентрації кисню у димових газах та критерія вибухобезпеки котлоагрегатів в залежності від розрідження в топці.

Практичне значення отриманих результатів полягає у розробці:

- алгоритму видачі попереджувальних дій одночасно за всіма взаємопов'язаними інформаційними каналами, що усуває небезпеку виникнення аварійних ситуацій у котлоагрегаті при виникненні збурень, що перевищують регламентні значення витрати пари, який застосовано в інформаційному і програмно-технічному забезпеченні станції керування «ДІЯ»;

- методики експериментальних досліджень в промислових умовах станції керування і протиаварійного захисту котлоагрегату «ДІЯ» в умовах ТЕЦ АТ «ДніпроАзот»;

- методики підвищення точності автоматизованого комерційного обліку вуглеводневих газів;

- методики промислових випробувань станції вимірювання, контролю, сигналізації, керування і протиаварійного захисту котлоагрегатів «ДІЯ» в умовах шахт ДП «Торецьквугілля»;

- структурно-функціональної схеми інформаційного керування з видачею одночасних попереджувальних дій, що забезпечують динамічну стійкість, безпеку керування і протиаварійний захист котлоагрегатів, які працюють на газовому паливі та на її основі створення дослідно-промислового зразка станції керування «ДІЯ»;

- структурно-функціональної схеми адаптивного безпечного керування і протиаварійного захисту та створення на її основі технічного завдання на АСУ ТП багатопаливним котлоагрегатом №9 для утилізації доменного і коксового газу ТЕЦ ПАТ «Дніпровський меткомбінат»;

- структурно-функціональної схеми самоналаштувальної системи безпечного керування, протиаварійного захисту і керівництва по експлуатації багатопаливного котлоагрегату для утилізації газів шахт і гірничих відводів;

- структурно-функціональних схем інформаційних ресурсозберігаючих технологій підземного вилучення і утилізації шахтного метану з ізольованих об'ємів шахт і безпечного керування вентиляцією шахти при спільній роботі двох вентиляторів головного провітрювання.

Реалізація результатів роботи.

1. Впроваджено структурно-функціональну схему інформаційного керування з видачею попереджувальних дій одночасно за всіма взаємопов'язаними інформаційними каналами в автоматизованій системі керування подачею природного газу трьох котлоагрегатів цеху № 1 ТЕЦ ДПО «Азот» на котлоагрегаті № 2, на основі якої розроблено, виготовлено та поставлено на промислові випробування дослідно-промисловий зразок станції керування «ДІА» у складі АСКО ТП ТЕЦ АТ «ДніпроАзот» (акт від 11.12.2018р.);

2. На основі методики підвищення точності автоматизованого комерційного обліку вуглеводневих газів, впроваджено автоматизовану систему комерційного обліку і контролю споживання природного газу у вузлі ГРП ТЕЦ АТ «ДніпроАзот» та впроваджено і атестовано УкрЦСМ автоматизовану систему комерційного обліку і контролю природного газу, який споживається АТ «ДніпроАзот» на газорозподільній станції ГРС-2 м. Кам'янське; (акт від 26.12.1995р.);

3. На базі структурно-функціональної схеми і запатентованого способу керування контролем, сигналізації, керування і протиаварійного захисту розроблено технічне завдання на створення АСУ ТП котлоагрегату № 9, що узгоджено і затверджено ПАТ «Дніпровський меткомбінат» (дійсний від 01.08.2006р.);

4. Розроблено СОУ-П «Правила безпеки керування станцією «ДІА », котлоагрегатами для утилізації газів вугільних шахт ДП «Торецьквугілля»;

5. На основі дослідно-промислового зразка станції керування «ДІА», поставленого на промислові випробування у складі АСУ ТП двох котлоагрегатів ТЕЦ АТ «Дніпроазот», за період 2015-2017 рр. отримано фактичний економічний ефект у розмірі 20,7 млн. грн. (розрахунок фактичного економічного ефекту від 14.06.2018р.).

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій підтверджується використанням апробованих аналітичних і експериментальних методів досліджень, експертною оцінкою достовірності встановлення закономірностей розроблених моделей і методик, достатніх для проведення інженерних розрахунків, збіжністю між теоретичними і

експериментальними результатами (відносна похибка не перевищує 20%) позитивними результатами впровадження розробок у виробництво.

Особистий внесок здобувача. Автором самостійно сформульовано мету, ідею і задачі досліджень, шляхи їх вирішення, наукові положення, новизна та практичне значення роботи, висновки та рекомендації. Автором встановлено закономірності вибухобезпеки процесу видобутку і утилізації газів вугільної шахти, розроблені математичні моделі динамічних процесів трактив котлоагрегату, обґрунтовано критерії охорони праці людини на робочих місцях котлогенераційних станцій, критерії їх вибухобезпеки та енергоефективності, розроблена перспективна структурно-технологічна схема видобутку і паротурбінної тригенерації газів вугільних родовищ на гірничих відводах і шахтах. Текст дисертації викладено автором особисто.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і окремі результати дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на XI науково-практичній міжнародній конференції «Школа підземної розробки», (м. Бердянськ, 4-8 вересня 2017 р.); на II міжнародній науково-технічній інтернет-конференції «Інноваційний розвиток гірничодобувної галузі» (м. Кривий Ріг – 2017 р.); на міжнародному симпозиумі «Якість мінерального сировини» (м. Кривий Ріг - 7 червня 2017 р.); на Всеукраїнській науково-методичній конференції: «Проблеми математичного моделювання» (м. Кам'янське, 23-25 травня 2018р.).

Публікації. Основні результати дисертації опубліковані в 45 друкованих працях, з яких 1 монографія, 29 статей у спеціалізованих виданнях, серед яких 4 у закордонних виданнях, 7 патентів, 8 тез доповідей на міжнародних наукових конференціях.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, переліку умовних позначень, символів, одиниць скорочень і термінів, 6 розділів та висновків. Робота містить 275 сторінок основного машинописного тексту, 52 малюнки, 16 таблиць, 13 додатків, загальний обсяг роботи 343 сторінки.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У першому розділі наведено аналіз стану проблеми, який свідчить, що у роботах академіка НАН України А.Ф. Булата, член-кореспондента НАН України Ф.О. Абрамова, докторів технічних наук Б.А. Грядущого, О.С. Пригунова, К.К. Софійського, Є.Л. Звягільського, Б.В. Бокія, Е.І. Єфремова, В.Г. Перепелиці, П.Є. Филімонова, Г.А. Шевельова та інших вчених, наведено розроблені науково-технічні основи безпечного спільного видобутку, транспортування та утилізації вугілля і газу у кількості, що здатна забезпечити енергонезалежність України за рахунок власних розвіданих запасів вугілля і газу вугільних родовищ. ІГТМ НАН України спільно з ПАТ «Шахта ім. О.Ф. Засядька» довели доцільність будівництва шахтних когенераційних комплексів, завдяки яким забезпечується надійність електро- і теплопостачання шахт, а також прилеглих до них житлових масивів і підприємств.

Створенню засобів автоматизації та інформатизації взаємопов'язаних технологічних процесів видобутку вугілля, провітрювання виїмкових ділянок і шахт, дегазації, протипожежного захисту та когенерації вуглеводневих газів присвячені роботи докторів технічних наук Б.А. Грядущого, В.О. Бойка, Р.Б. Тяна, В.І. Голинька, І.М. Местера, О.С. Ключова, О.В. Садового, кандидатів технічних наук М.О. Фролова, В.Є. Фрундіна, В.Я. Потьомкіна, К.К. Бусигіна, В.І. Романенка, А.А. Литвиненка, Ю.Р. Іконнікова, М.А. Дудлі, інженерів-проектувальників, програмістів і наладчиків Н.Т. Тищенко, Є.А. Даніліна, М.В. Касіянчука, В.О. Пузя, Р.О. Савченка, Г.О. Вів'єра, Ю.Г. Кода, енергетиків В.М. Бахтіна, О.О. Науменка та інших висококваліфікованих фахівців. В їх роботах закладено науково-технічні основи забезпечення безпеки та енергоефективності експлуатації єдиного технологічного процесу видобутку і когенерації вугілля і газу.

Також виконано аналіз вуглеводневих газів шахт і металургійних виробництв, що утилізуються, який свідчить, що всі вони вибухонебезпечні, отже потребують дотримання спеціальних заходів при їх видобутку та утилізації. Вибухонебезпечні хімічні, нафтогазовидобувні і нафтопереробні виробництва неможливі без автоматичного вимірювання параметрів керування і протиаварійного захисту. При вибуху у гірничих виробках, де робочий простір обмежений, гірник не може уникнути смертельної небезпеки через великий тиск ударної хвилі. Інститут геотехнічної механіки НАН України, Публічне акціонерне товариство «Науково-дослідний інститут гірничої механіки імені М.М.Федорова», Макіївський державний науково-дослідний інститут з безпеки робіт у гірничій промисловості та інститут гірничої справи ім. Скоринського розробили і впровадили автоматизовану систему «АТМОС», що може послужити основою подальшої автоматизації та інформатизації шахтних видобувних і когенераційних комплексів.

При спалюванні вуглеводневих газів утворюються отруйні гази, тому має приділятися особлива увага заходам, що сприяють зменшенню їх утворення. За теплою згоряння спостерігається ідентичність між вугільним газом і природним, між шахтним метаном попередньої дегазації і коксівним газом, а також між шахтним метаном попутної дегазації і доменним газом, що свідчить про можливість використання надійної конструкції багатопаливних котлоагрегатів, що апробована десятиліттями в металургії, для утилізації доменних, коксових та шахтних газів.

Дослідження і аналіз роботи котлоагрегатів на багатьох ТЕЦ показав, що керування подачею газоподібного палива, загального повітря і величиною розрідження в топці здійснюється, як правило, вручну. При цьому, в разі зміни витрати пари, не підтримується оптимальне співвідношення повітря-газ, що знижує енергоефективне згоряння газів і в атмосферу викидається зайве тепло, а також у топці утворюється понад гранично допустимі концентрації отруйних газів - оксиди і діоксиди азоту і вуглецю. Потрапляючи в організм людини, NO_2 при контакті з вологою утворює азотисту і азотну кислоти, які роз'їдають стінки альвеол легенів і виникає їх набряк, який часто веде до летального результату. В Україні встановлено такі екологічні стандарти на вміст оксидів азоту в

атмосферному повітрі приміщень і населених місць: для NO_2 максимальна разова гранично допустима концентрація становить $0,085 \text{ мг/м}^3$, а для NO – $0,4 \text{ мг/м}^3$. Оксид вуглецю також небезпечний, оскільки не має запаху і викликає отруєння і смерть. Гранично допустима концентрація CO в закритих приміщеннях – 29 мг/м^3 . Концентрація в повітрі закритих приміщень більше $0,1\%$ призводить до смерті протягом однієї години.

Таким чином, науково-технічне забезпечення безпеки і охорони праці на основі інформатизації єдиної ресурсоенергозберігаючої технології вилучення, транспортування та утилізації газоподібних палив вугільних родовищ, шахт доменного і коксового газів потребує значного вдосконалення.

На основі аналітичних досліджень наукових і літературних джерел, звітів і патентів, сформульовано мету і основні задачі дослідження, вирішення яких необхідне для її досягнення.

У другому розділі наведено обґрунтування критеріїв вибухобезпеки і охорони праці інформаційної ресурсозберігаючої технології видобутку і утилізації газоподібних палив вугільних родовищ і шахт. Параметри цієї технології взаємопов'язані у просторі і часі, на відміну від технології видобутку і спалювання вугілля. На узагальненій структурно – технологічній схемі, що наведено на рис.1, представлено основні стадії і нові параметри, які забезпечують науково-технічні основи вирішення проблеми вибухобезпеки, охорони праці, ефективності видобутку і утилізації вуглеводневих газів.

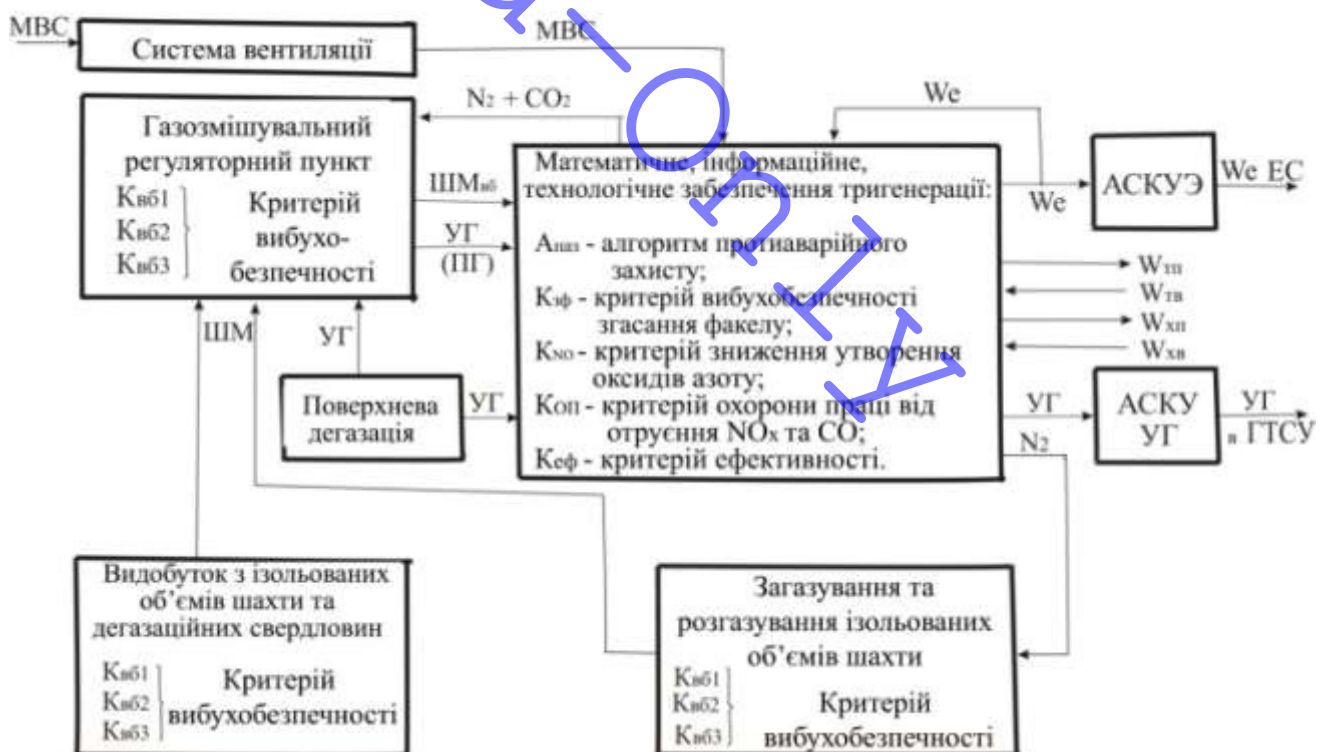


Рисунок 1 – Узагальнена структурно-технологічна схема

Основні результати аналізу досліджень вибуховості метаноповітряної суміші полягають у наступному. Якщо концентрація метану у МПС досягне

нижньої його межі вибуховості (НМВ) 5% об., будь-яка іскра викличе вибух. Межі вибухонебезпечної концентрації метану (рис.2) змінюються від 5 до 15% об. суміш з вмістом метану до 5% об. згорає без вибуху при постійній присутності полум'я. Якщо концентрація метану понад 15% об., суміш не вибухає, а горить стійким полум'ям. Така суміш називається горючою.

Реакція займання метану має вигляд $CH_4 + 2O_2 \Rightarrow CO_2 + 2H_2O$.

Іншими словами, для окислення (вибуху) однієї молекули метану необхідно дві молекули кисню. Тому для кисню ГКК дорівнює НМВ метану, збільшений у два рази. НМВ і ГКК наочно представлено на діаграмі вибухобезпеки

метаноповітряної суміші (рис.2). З цієї діаграми випливає, що практично всі суміші метану з повітрям представлено площиною нижче лінії AL . Точка B відповідає нижній концентраційній межі вибуховості метану в повітрі (5% метану і 95% повітря), а точка C - верхній (ВМВ, 15% метану і 85% повітря). Точка D відповідає нижній концентраційній межі вибуховості суміші по кисню ГКК (НМВ 6% за метаном і ГКК- 12% по кисню) Точки B , C і D утворюють контур, що називається трикутником вибуховості, у межах якого метаноповітряна суміш вибухонебезпечна. Лінія BD є лінією нижніх концентраційних меж вибуховості, а лінія CD - верхніх. Трикутник AGO представляє зону невибухової метаноповітряної суміші, а область праворуч від лінії CD , що обмежена контуром $DHMC$ - зону невибухових сумішей, але які можуть стати вибуховими при концентрації кисню понад 12%. На підставі аналізу діаграми (рис. 2) зроблено висновок про можливість підвищення ресурсозбереження шахтного метану з концентраціями нижче 25% шляхом регламентування викиду в атмосферу обсягів його видобутку і з урахуванням меж вибухобезпеки, що визначаються співвідношенням одночасно концентрацій кисню і метану, які вимірюються і, при цьому, частина суміші області $ABDCLNO$, не викидається в атмосферу. Утворена вибухобезпечна площа $AIKLSO$, що відокремлена від вибухонебезпечного трикутника BCD . З права - межа LK (більш ніж 10% лінії CD), знизу - межа IK (на 5% менше нижньої межі займистості (вибуховості) по кисню) і з ліва межа AI .

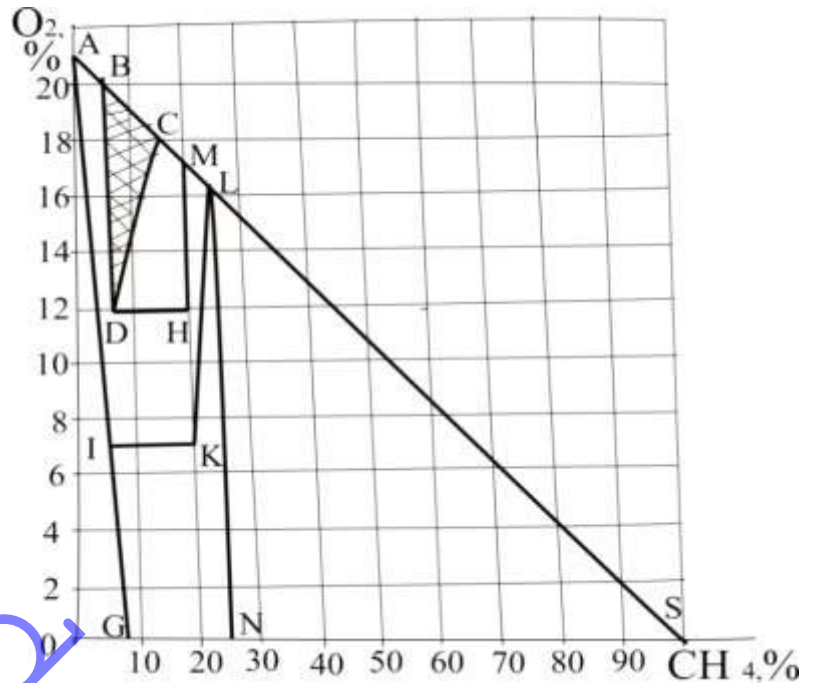


Рисунок 2 – Діаграма вибухобезпеки метаноповітряної суміші

метаноповітряної суміші (рис.2). З цієї діаграми випливає, що практично всі суміші метану з повітрям представлено площиною нижче лінії AL . Точка B відповідає нижній концентраційній межі вибуховості метану в повітрі (5% метану і 95% повітря), а точка C - верхній (ВМВ, 15% метану і 85% повітря). Точка D відповідає нижній концентраційній межі вибуховості суміші по кисню ГКК (НМВ 6% за метаном і ГКК- 12% по кисню) Точки B , C і D утворюють контур, що називається трикутником вибуховості, у межах якого метаноповітряна суміш вибухонебезпечна. Лінія BD є лінією нижніх концентраційних меж вибуховості, а лінія CD - верхніх. Трикутник AGO представляє зону невибухової метаноповітряної суміші, а область праворуч від лінії CD , що обмежена контуром $DHMC$ - зону невибухових сумішей, але які можуть стати вибуховими при концентрації кисню понад 12%. На підставі аналізу діаграми (рис. 2) зроблено висновок про можливість підвищення ресурсозбереження шахтного метану з концентраціями нижче 25% шляхом регламентування викиду в атмосферу обсягів його видобутку і з урахуванням меж вибухобезпеки, що визначаються співвідношенням одночасно концентрацій кисню і метану, які вимірюються і, при цьому, частина суміші області $ABDCLNO$, не викидається в атмосферу. Утворена вибухобезпечна площа $AIKLSO$, що відокремлена від вибухонебезпечного трикутника BCD . З права - межа LK (більш ніж 10% лінії CD), знизу - межа IK (на 5% менше нижньої межі займистості (вибуховості) по кисню) і з ліва межа AI .

На підставі аналізу діаграми (рис.2), з урахуванням дотримання вимог «Правил безпеки вугільних шахт України» (НПАОП 10.0-1.01-10) і СОУ 10.1

00174088.001 – 2004, що нормують неприпустиму об'ємну концентрацію метану у суміші шахтного метану, що утилізується 3,5-25%, зроблено висновок, що значення граничної концентрації кисню має дорівнювати 7%, тобто нормованому значенню НМВ метану, рівному 3,5%, збільшеному в 2 рази, а ВМВ має дорівнювати нормованому значенню метану, рівному 25%, при одночасному вимірі концентрацій кисню і метану. На цій підставі нами рекомендовано метаноповітряну суміш області *AIKLSO* з параметрами нижче меж *AIKLS* визначати як вибухобезпечну і використовувати її при видобутку та утилізації шахтного метану.

При цьому виявлені закономірності дають підставу для встановлення критеріїв безпеки для трьох діапазонів концентрацій метану при загазуванні і розгазуванні ізольованих об'ємів шахт, при видобутку шахтного метану з ізольованих об'ємів шахт і при підготовці його до утилізації в газозмішувальних пунктах у вигляді рівнянь (1), (2) і (3):

межа (*AI*) від 0 до 5% CH_4

$$K_{\delta 1} = \frac{7 + |K_{CH_4} - 5| \cdot 2,6 - K_{O_2}}{7 + |K_{CH_4} - 5| \cdot 2,6} \cdot 20^{0,5 | \text{Sign}(7 + |K_{CH_4} - 5| \cdot 2,6 - K_{O_2}) |}, \quad (1)$$

межа (*IK*) від 5 до 20% CH_4

$$K_{\delta 2} = \frac{7 - K_{O_2}}{7} \cdot 20^{0,5 | \text{Sign}(7 - K_{O_2}) |}, \quad (2)$$

межа (*KL*) від 20 до 25% CH_4

$$K_{\delta 3} = \frac{20 + (K_{CH_4} - 20) \cdot 1,6 - K_{O_2}}{20 + (K_{CH_4} - 20) \cdot 1,6} \cdot 20^{0,5 | \text{Sign}(20 + (K_{CH_4} - 20) \cdot 1,6 - K_{O_2}) |}, \quad (3)$$

де, $K_{\delta 1}$ – коефіцієнт вибухобезпеки для межі *AI*; $K_{\delta 2}$ – коефіцієнт вибухобезпеки для межі *IK*; $K_{\delta 3}$ – коефіцієнт вибухобезпеки для межі *KL*; K_{CH_4} – виміряна концентрація метану, %; K_{O_2} – виміряна концентрація кисню, %.

Рівняння (1, 2, 3) отримано методами сигнатурної математики для розв'язання крайових задач в інформаційно-керованих просторах технологічних процесів.

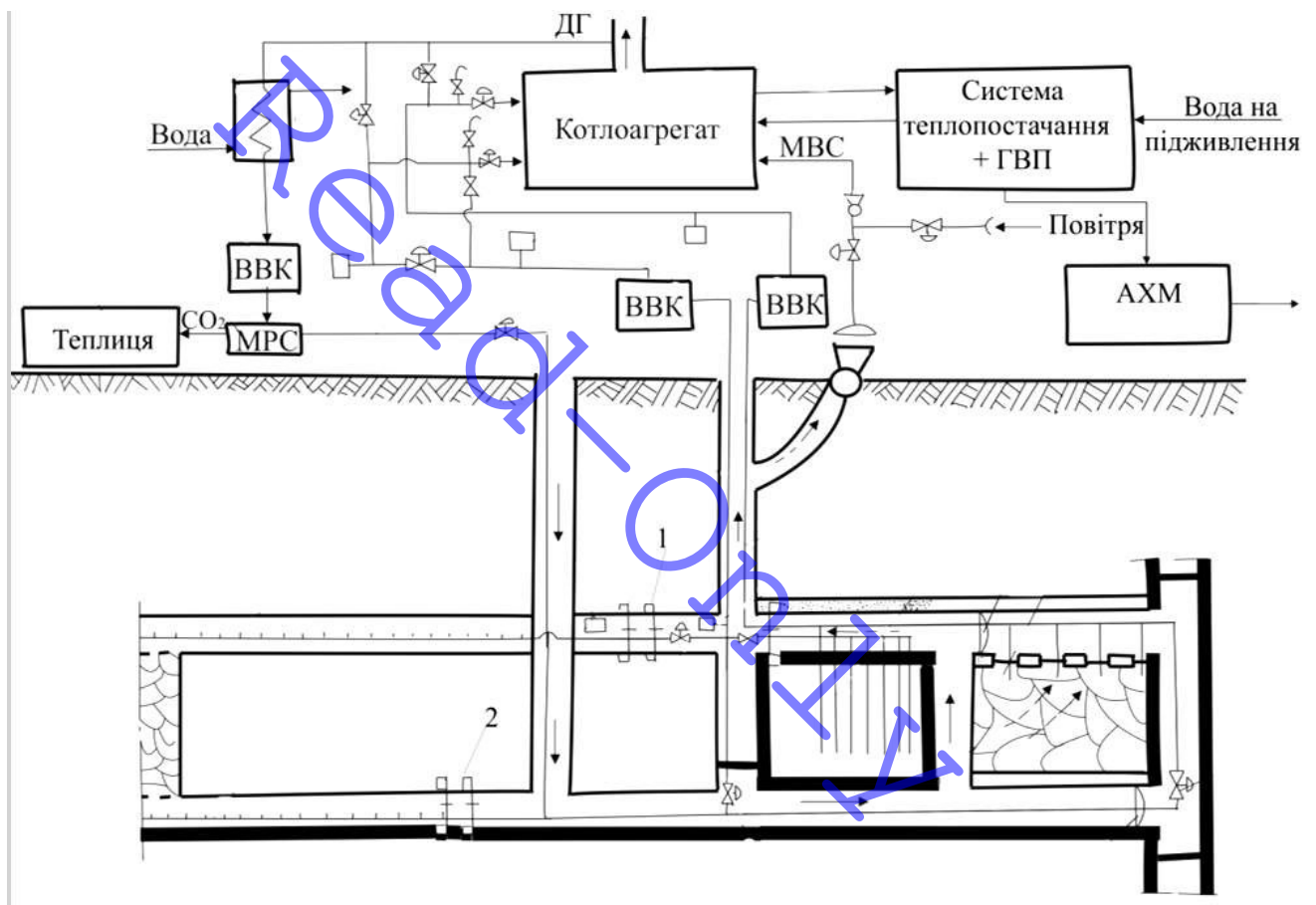
Встановлення критеріїв безпеки при загазуванні, розгазуванні та видобутку газів з ізольованих об'ємів шахт і дегазаційних свердловин дозволило розробити структурно-технологічну схему дегазації і утилізації шахтного метану (ШМ), вугільного газу (ВГ), що видобувається поверхневими дегазаційними свердловинами і метану вентиляційних струменів (МВС), яка представлена на рис. 3.

Додатковий видобуток шахтного метану готується і здійснюється за допомогою двох шлюзів, обладнаних запатентованими нами дистанційно-

керуваними регуляторами шахтних повітряних потоків 1 і 2, які ізолюють всі виробки одного крила шахти. Регулювання витрати повітря здійснюють шляхом зміни кутів встановлення створок вентиляційного вікна. Відносна витрата повітря $K_{pi} = Q_{max}/Q_i$ описується виразом

$$K_p = 2,25\alpha_1^2 - 1,98 \cdot 10^{-2}\alpha_1 + 0,23,$$

де, K_{pi} – відносна витрата повітря в i -му положенні стулок; Q_{max} – максимальна витрата повітря у виробці, m^3/c ; Q_i – витрата повітря через регулятор в i -му положенні стулок, m^3/c ; α_1 – кут встановлення стулок регулятора, град. Концентрацію кисню пропонується вимірювати розробленими і запатентованими нами термокаталітичними газоаналізаторами.



АХМ – абсорбційна холодильна машина; ВВК – вихровий вакуум-компресор; ГВП – гаряче водопостачання; МРС – мембранний розділювач сумішей; МВС – метан вентиляційних струменів; ДГ – димові гази;

1,2 - регулятори шахтних повітряних потоків

Рисунок 3 – Перспективна схема вилучення шахтного метану з ізольованого об'єму, дегазаційних свердловин і утилізації шахтного метану

Для досягнення вибухобезпечності єдиного технологічного процесу вилучення та транспортування шахтного метану за допомогою розроблених критеріїв безпеки пропонується подача у метаноповітряні суміші інертного газу

(азоту) за допомогою генераторів інертних газів, розроблених і освоєних під безпосереднім керівництвом Б.А. Грядущого.

При ізолюванні об'ємів шахти істотно зменшиться витрата повітря на провітрювання. Для економії електроенергії на провітрювання застосовано метод планування промислових експериментів при пошуку оптимальних умов. За такої умови вентиляційну систему шахти представляють у вигляді кібернетичної системи з вхідними параметрами (кількість оборотів робочого колеса вентиляторів) і вихідними параметрами (подача повітря кожного вентиляторів та потужність, що споживається на провітрювання).

Після обчислення значень вихідних параметрів розраховують значення критерію оптимізації Φ вентиляційного режиму шахти за виразом:

$$\Phi = \left| \frac{Q_1 - Q_{1P}}{Q_{1P}} \right| + \left| \frac{Q_2 - Q_{2P}}{Q_{2P}} \right| + \left| \frac{N_1 - N_{1P}}{N_{1P}} \right| + \left| \frac{N_2 - N_{2P}}{N_{2P}} \right|$$

За результатами експерименту із застосуванням методу найменших квадратів визначають аналітичну залежність критерію оптимізації Φ від вхідних параметрів у вигляді многочлену

$$\Phi = b_0 + b_1 n_1 + b_2 n_2 + b_{12} n_1 n_2.$$

Для визначення значень вхідних параметрів вентиляційної системи, при яких забезпечується необхідна (розрахункова) подача повітря при мінімальному споживанні електроенергії на провітрювання, застосований метод крутого спуску, сутність якого наведена на рис. 4.

Навколо значень вхідних параметрів системи існуючого режиму провітрювання проводимо чотири досліді в невеликому діапазоні (до 10%) їх зміни. У кожному досліді вимірюємо вихідні параметри системи та обчислюємо критерій оптимізації Φ у вигляді:

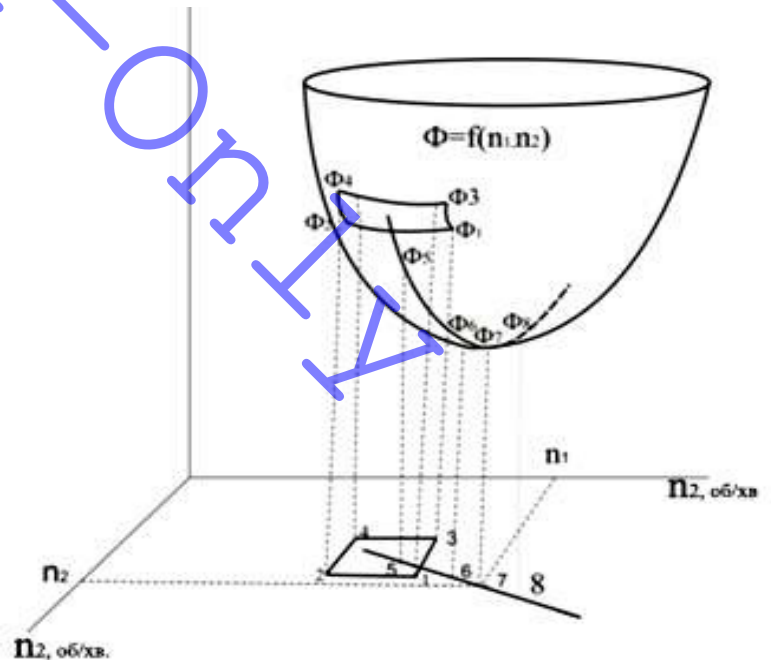


Рисунок 4 – Визначення оптимального режиму роботи приводу вентилятору методом крутого спуску

$$\Phi = b_0 + b_1 n_1 + b_2 n_2.$$

Як видно з рис. 4, збільшення критерію оптимізації починається з восьмого досліду, що дозволяє зробити висновок про досягнення мінімуму функції, що досліджується у сьомому досліді. Встановлені таким чином значення вхідних параметрів вентиляційної системи забезпечують режим роботи вентиляторів головного провітрювання, при якому фактична їх подача буде мінімально відрізнятися від розрахункових значень при мінімальному споживанні електроенергії на провітрювання.

За таких умов усі дослідження виконуються на математичній моделі керування

вентиляційними режимами шахти без зупинки вентиляторів головного провітрювання та проведення проміжних натуральних дослідів.

Для інформаційного контролю та керування єдиним технологічним процесом вилучення, транспортування та утилізації шахтного метану пропонується програмно-технічний комплекс (рис.5). Він надає оператору зручний інтерфейс контролю і керування, повністю відкритий для розвитку фахівцями Замовника, надійний, безпечний і фінансово доступний.

У третьому розділі викладено теоретичні основи математичного забезпечення безаварійної роботи інформаційної технології паротурбінної когенерації газоподібних палив.

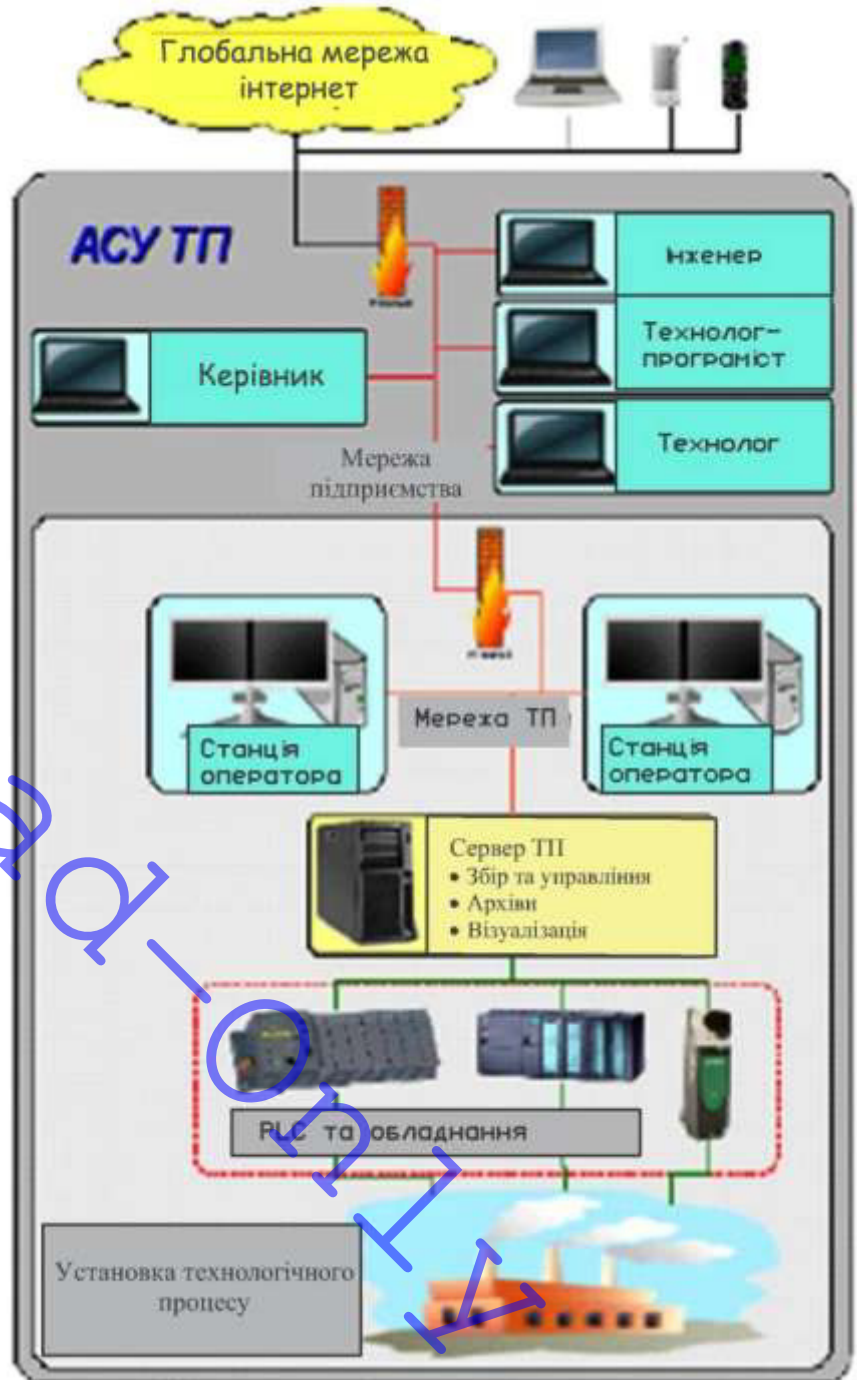


Рисунок 5 – Програмно-технічний комплекс

Описані результати аналітичних досліджень динаміки повітряного тракту котлоагрегату представлені на рис. 6 у вигляді відомої структурної схеми і передавальних функцій в операційній формі.

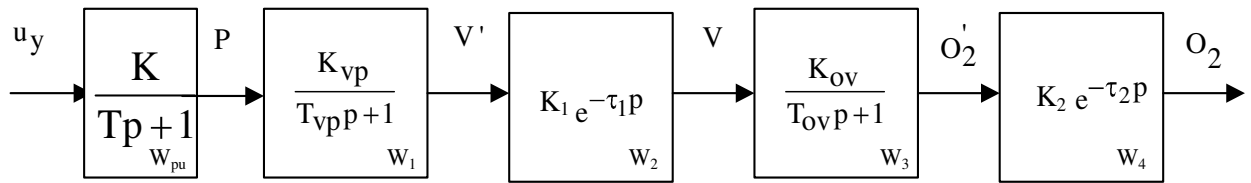


Рисунок 6 – Загальновідома структурна схема динаміки повітряного тракту в операційній формі

Складнощі, які виникають в процесі визначення їх параметрів, пов'язані з тим, що методика їх визначення базується на розмірах елементів конструкції і на номінальних параметрах води, газу, пари, повітря і димових газів. Вони змінюються в ході капітальних ремонтів і отримані нами параметри за кресленнями котлоагрегатів виявилися далекими від дійсних при перевірці їх у процесі моделювання. Тому нами зроблена заміна оператора Лапласа (p) у вигляді уявної комплексної складової ($j\omega$), що дозволило перейти від тимчасових методів конструювання керуючих контурів в операційній формі до частотних методів. Основна перевага розроблених при цьому комплексних частотних характеристик полягає в тому, що параметри ланок можна отримати шляхом стрибкоподібного імпульсного впливу на вхід ланки згідно її перехідної характеристики. При цьому автоматично враховується вплив інших ланок, що взаємопов'язані з дослідженими.

Методика визначення комплексних частотних характеристик у показовій формі ланки частотного приводу та ланки вентилятора $W_1(j\omega)$ представлена в наступному вигляді:

$$W_{pu}(j\omega) = \frac{K_\epsilon}{T_\epsilon(j\omega) + 1}; \quad Q_1(\omega) = -\frac{\omega T_{vp} K_{vp}}{1 + \omega^2 T_{vp}^2}; \quad \phi_{pu}(\omega) = -\arctg \omega T_\epsilon;$$

$$W_1(j\omega) = \frac{K_{vp}}{T_{vp}(j\omega) + 1}; \quad Q_{pu}(\omega) = -\frac{\omega T_\epsilon K_\epsilon}{1 + \omega^2 T_\epsilon^2}; \quad \phi_1(\omega) = -\arctg \omega T_{vp};$$

$$P_{pu}(\omega) = \frac{K_u}{1 + \omega^2 T_\epsilon^2}; \quad A_1(\omega) = \frac{K_{vp}}{\sqrt{1 + \omega^2 T_{vp}^2}}; \quad A_{pu}(\omega) = \frac{K_\epsilon}{\sqrt{1 + \omega^2 T_\epsilon^2}};$$

$$P_1(\omega) = \frac{K_{vp}}{1 + \omega^2 T_{vp}^2}; \quad W_{pu}(j\omega) = \frac{K_\epsilon}{\sqrt{1 + \omega^2 T_\epsilon^2}} e^{-j \arctg \omega T_\epsilon}; \quad W_1(j\omega) = \frac{K_{vp}}{\sqrt{1 + \omega^2 T_{vp}^2}} e^{-j \arctg \omega T_{vp}}.$$

Комплексну частотну передавальну функцію розкладаємо на речову та уявну складові $P_{pu}(\omega)$ і $Q_{pu}(\omega)$, $P_1(\omega)$ і $Q_1(\omega)$. За теоремою Піфагора, використовуючи речові і уявні складові, визначаємо амплітуди частоти

характеристик $A_{pi}(\omega)$ і $A_1(\omega)$. Початкові фази φ_i - визначаємо як $arctg$ відношення уявної складової до речової складової.

В результаті отримуємо комплексні частотні характеристики в показовій формі, в якій зручно проводити перетворення послідовного з'єднання ланок. Нижче наведено результати визначення комплексної частотної характеристики газопроводу від точки вимірювання перепаду тиску на повітрепідігрівачі до вимірювання концентрації кисню і комплексні частотні характеристики (КЧХ) ланок чистого запізнювання $W_2(j\omega)$ від вентилятора до точки вимірювання перепаду тиску на повітрянагрівачах і $W_n(j\omega)$ в газоаналізаторі кисню:

$$W_3(j\omega) = \frac{K_{ov}}{T_{ov}(j\omega) + 1}; \quad A_2(\omega) = K_1; \quad A_3(u) = \frac{K_{ov}}{\sqrt{1 + \omega^2 T_{ov}^2}}; \quad A_4(\omega) = K_2;$$

$$P_3(\omega) = \frac{K_{ov}}{1 + \omega^2 T_{ov}^2}; \quad \varphi_2(\omega) = -\omega\tau_1; \quad \varphi_3(\omega) = -arctg \omega T_{ov}; \quad \varphi_4(\omega) = -\omega\tau_2;$$

$$Q_3(\omega) = -\frac{\omega T_{ov} K_{ov}}{1 + \omega^2 T_{ov}^2}.$$

Комплексно-частотні характеристики:

$$W_2(j\omega) = K_1 e^{-\tau_1(j\omega)};$$

$$W_4(j\omega) = K_2 e^{-\tau_2(j\omega)};$$

$$W_3(j\omega) = \frac{-arctg \omega T_{ov}}{\sqrt{1 + \omega^2 T_{ov}^2}} e^{-jarctg \omega T_{ov}}.$$

Розробка математичної моделі динаміки розрідження в топці в операційній формі представлено на рисунку 7.

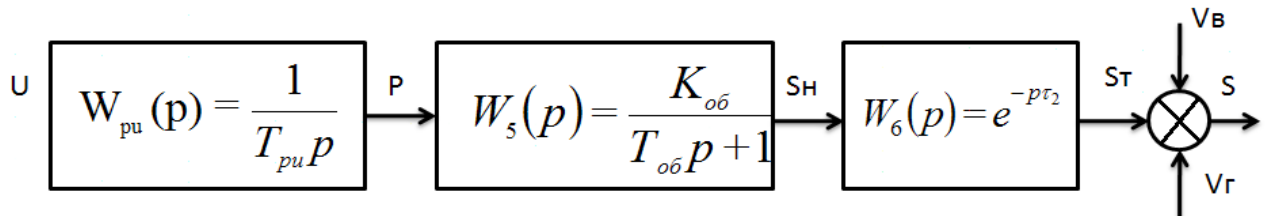
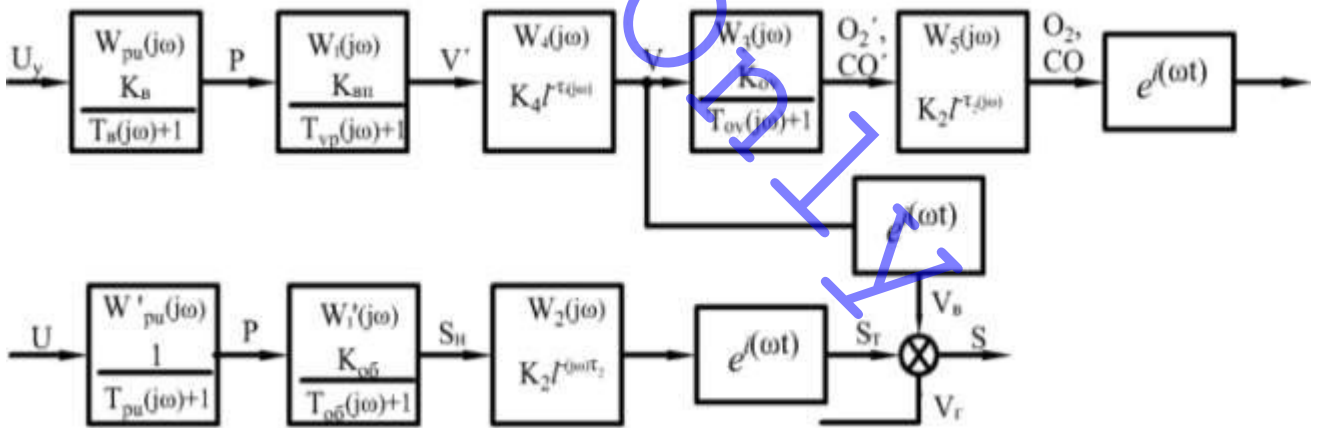


Рисунок 7 – Загальновідома структурна схема динаміки розрідження в операційній формі

Математичне забезпечення динаміки розрідження в топці у вигляді комплексних частотних характеристик:

$$\begin{aligned}
 W_5(j\omega) &= \frac{K_{об}}{T_{об}(j\omega)+1}; & W_6(j\omega) &= K_2 e^{-(j\omega)\tau_2}; & W'_{pu}(j\omega) &= \frac{1}{T_{pu}(j\omega)+1}; \\
 P_5(\omega) &= \frac{K_{об}}{1+\omega^2 T_{об}^2}; & A_6(\omega) &= K_2; & P'_{pu}(\omega) &= \frac{1}{1+\omega^2 T_{pu}^2}; \\
 Q_5(\omega) &= -\frac{\omega T_{об} K_{об}}{1+\omega^2 T_{об}^2}; & \varphi_6(\omega) &= -\omega\tau_2; & Q_{pu}(\omega) &= -\frac{\omega T_{pu}}{1+\omega^2 T_{pu}^2}; \\
 A_5(\omega) &= \frac{K_{об}}{\sqrt{1+\omega^2 T_{об}^2}}; & W_6(j\omega) &= K_2 e^{-j\omega\tau_2}; & \varphi'_{pu}(\omega) &= -\arctg \omega T_{pu}; \\
 \varphi_5(\omega) &= -\arctg \omega T_{об}; & & & A'_{pu}(\omega) &= \frac{1}{\sqrt{1+\omega^2 T_{pu}^2}}; \\
 W_5(j\omega) &= \frac{K_{об}}{\sqrt{1+\omega^2 T_{об}^2}} e^{-j\arctg \omega T_{об}}; & W'_{pu}(j\omega) &= \frac{1}{\sqrt{1+\omega^2 T_{pu}^2}} e^{-j\arctg \omega T_{pu}}; & & ;
 \end{aligned}$$

де, $W_{pu}(j\omega)$ – КЧХ частотного приводу димососа;
 $W_5(j\omega)$ – КЧХ димососа;
 $W_6(j\omega)$ – КЧХ ланки чистого запізнювання від димососа до точки.



$W_{pu}(j\omega)$ – КЧХ приводи вентилятора з частотним керуванням;
 $W_1(j\omega)$ – КЧХ вентилятора; $W_2(j\omega)$ – КЧХ тракту від димососа до топки;
 $W_3(j\omega)$ – КЧХ тракту від вимірювання V до вимірювання O_2' ;
 $W_4(j\omega)$ – КЧХ тракту від вентилятора до вимірювання V' ;
 $W_5(j\omega)$ – КЧХ кисневимірювача;
 $W_{pu}(j\omega)$ – КЧХ приводу димососа з частотним керуванням;
 $W_1(j\omega)$ – КЧХ димососа

Рисунок 8 – Структурна схема математичної моделі газоповітряного тракту

Узагальнена математична модель динаміки газоповітряного тракту представлена на рис. 8. З якої видно, що розрідження в топці залежить не тільки від розрідження, що створює димосос, але й взаємопов'язано з подачею повітря і газу в топці.

Математичне забезпечення динаміки парового тракту представлені у вигляді відомої структурної схеми і передавальних функцій в операційній формі (рис. 9). На їх основі заміною оператора Лапласа (p) комплексної уявної складової одержано комплексні часткові характеристики випарного контуру, що включає пропарений контур, барабан котла, пароперегрівача і економайзер.

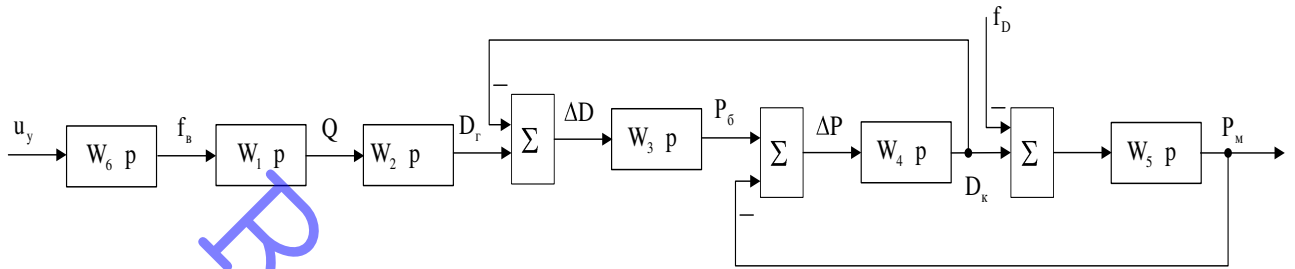


Рисунок 9 – Структурна схема динаміки парового тракту і передатні функції в операційній формі

$$W_1 p = \frac{k_1}{T_1 p + 1}; \quad W_2 p = \frac{k_2}{T_2 p + 1}; \quad W_3 p = \frac{1}{T_3 p}; \quad W_4 p = k_4; \quad W_5 p = \frac{T_p + 1}{k_5 T_p}.$$

$$W_u(j\omega) = \frac{1}{T(j\omega) + 1}; \quad \varphi_u(\omega) = \arctg \frac{Q_u(\omega)}{P_u(\omega)} = -\arctg \omega T_u;$$

$$P_u(\omega) = \frac{1}{T_u^2(\omega)^2 + 1}; \quad Q_u(\omega) = \frac{\omega T_u}{1 + \omega^2 T_u^2}; \quad W_u(j\omega) = \frac{1}{T_u^2(\omega)^2 + 1} + j \frac{\omega T_u}{1 + \omega^2 T_u^2};$$

$$A_u(\omega) = \sqrt{P_u^2(\omega) + Q_u^2(\omega)} = \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2 T_u^2}}; \quad W_u(j\omega) = A_u(\omega) e^{-i\varphi_u} = \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2 T_u^2}} l^{-i \arctg \omega T}.$$

Виділивши речову і уявну складові, отримано комплексну частотну характеристику випарного контуру в алгебраїчній формі, яка застосовується при перетворенні паралельно з'єднаних ланок, а також ланок зі зворотними зв'язками.

Визначивши амплітуду і початкову форму, отримано КЧХ випарного контуру у показовій формі.

Нижче представлено КЧХ ланки регулюючого органу та ланки спалювання газу в топці, а також КЧХ тиску в барабані котла у вигляді інтегральної ланки, при постійному навантаженні по пару та КЧХ ланки від пароперегрівача до споживача при різних збуреннях паровим навантаженням:

$$W_n(j\omega) = \frac{K_n}{T_n(j\omega) + 1}; \quad A_n(\omega) = \frac{K_n}{\sqrt{1 + \omega^2 T_n^2}}; \quad P_n(\omega) = \frac{K_n}{1 + \omega^2 T_n^2}; \quad Q_n(\omega) = -\frac{\omega T_n K_n}{1 + \omega^2 T_n^2};$$

$$W_n(j\omega) = \frac{K_n}{\sqrt{1 + \omega^2 T_n^2}} e^{j \arctg \omega T_n}; \quad \varphi_n = -\arctg \omega T_n;$$

$$W_T(j\omega) = e^{-\tau(j\omega)} \frac{K_T}{T_T(j\omega) + 1}; \quad W_T(p) = e^{-\tau p} \frac{K_T}{T_T p + 1}; \quad W_T(j\omega) = 1 \frac{K_T}{\sqrt{1 + \omega^2 T_T^2}} e^{-j \arctg \omega T_T - \omega \tau}$$

$$W_{p\bar{o}}(j\omega) = \frac{1}{T_{p\bar{o}}(j\omega)} P_{p\bar{o}}(\omega) = \frac{1}{T_{p\bar{o}}(\omega)}; \quad A_{p\bar{o}}(\omega) = \frac{1}{\omega}; \quad \varphi_{p\bar{o}} = -90^\circ$$

$$W_{n\bar{o}}(j\omega) = \frac{1}{k_{n\bar{o}}} + \frac{1}{k_{n\bar{o}} \cdot T_{n\bar{o}}(j\omega)}; \quad P_{n\bar{o}}(\omega) = \frac{1}{k_{n\bar{o}}}; \quad Q_{n\bar{o}}(\omega) = \frac{1}{T_{n\bar{o}}(\omega)};$$

$$W_e(j\omega) = \frac{1}{T_e(j\omega) + 1} = \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2 T_e^2}} e^{-j \arctg \omega T_e}; \quad W_{n\bar{o}}(j\omega) = \sqrt{\frac{T_{n\bar{o}} \omega^2 + k_{n\bar{o}}^2}{k_{n\bar{o}}^2 T_{n\bar{o}} \omega^2}} e^{-j \arctg \frac{k_{n\bar{o}}}{T_{n\bar{o}} \omega}}.$$

Комплексні частотні характеристики динамічних ланок керування температурою пари представлені нижче у вигляді: КЧХ - сухопарнику - представляє собою аперіодичну ланку другого порядку, КХЧ ланки від сухопарнику до пароперегрівача (аперіодичне першого порядку), КХЧ регулюючого органу подачі води до сухопарнику (аперіодичне першого порядку):

$$W_1 = K_{\text{енп}} \frac{T_2(j\omega) + 1}{T_1(j\omega) + 1}; \quad P_1(\omega) = \frac{K_{\text{енп}}(1 + T_1 T_2)}{1 + \omega^2 T_1^2}; \quad Q_1(\omega) = \frac{K_{\text{енп}} \omega (T_2 - T_1)}{1 + \omega^2 T_1^2};$$

$$\varphi_1(\omega) = \arctg \frac{\omega (T_2 - T_1)}{(1 + T_1 T_2)}; \quad A_1(\omega) = \sqrt{\left(\frac{K_{\text{енп}}(1 + T_1 T_2)}{1 + \omega^2 T_1^2} \right)^2 + \left(\frac{K_{\text{енп}} \omega (T_2 - T_1)}{1 + \omega^2 T_1^2} \right)^2};$$

$$W_1(j\omega) = \sqrt{\left(\frac{K_{\text{енп}}(1 + T_1 T_2)}{1 + \omega^2 T_1^2} \right)^2 + \left(\frac{K_{\text{енп}} \omega (T_2 - T_1)}{1 + \omega^2 T_1^2} \right)^2} e^{j \arctg \left(\frac{\omega (T_2 - T_1)}{(1 + T_1 T_2)} \right)};$$

$$W_2(j\omega) = \frac{K_1}{T_3(j\omega) + 1}; \quad P_2(\omega) = \frac{K_1}{1 + \omega^2 T_3^2}; \quad Q_2(\omega) = -\frac{\omega T_3 K_1}{1 + \omega^2 T_3^2};$$

$$W_2(j\omega) = \frac{K_1}{\sqrt{1 + \omega^2 T_3^2}} e^{-\arctg \omega T_3}; \quad A_2(\omega) = \frac{K_1}{\sqrt{1 + \omega^2 T_3^2}}; \quad \varphi_2 = -\arctg \omega T_3;$$

$$W_3(j\omega) = \frac{1}{T_n(j\omega) + 1} = \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2 T_n^2}} e^{-j \arctg \omega T_n}.$$

$$W_{dk}(j\omega) = \frac{1}{T_1(j\omega)} + \frac{K_2}{T_2(j\omega)+1};$$

$$W_T(j\omega) = \frac{1}{T_8(j\omega)+1} + \frac{K_3}{T_T(j\omega)+1}$$

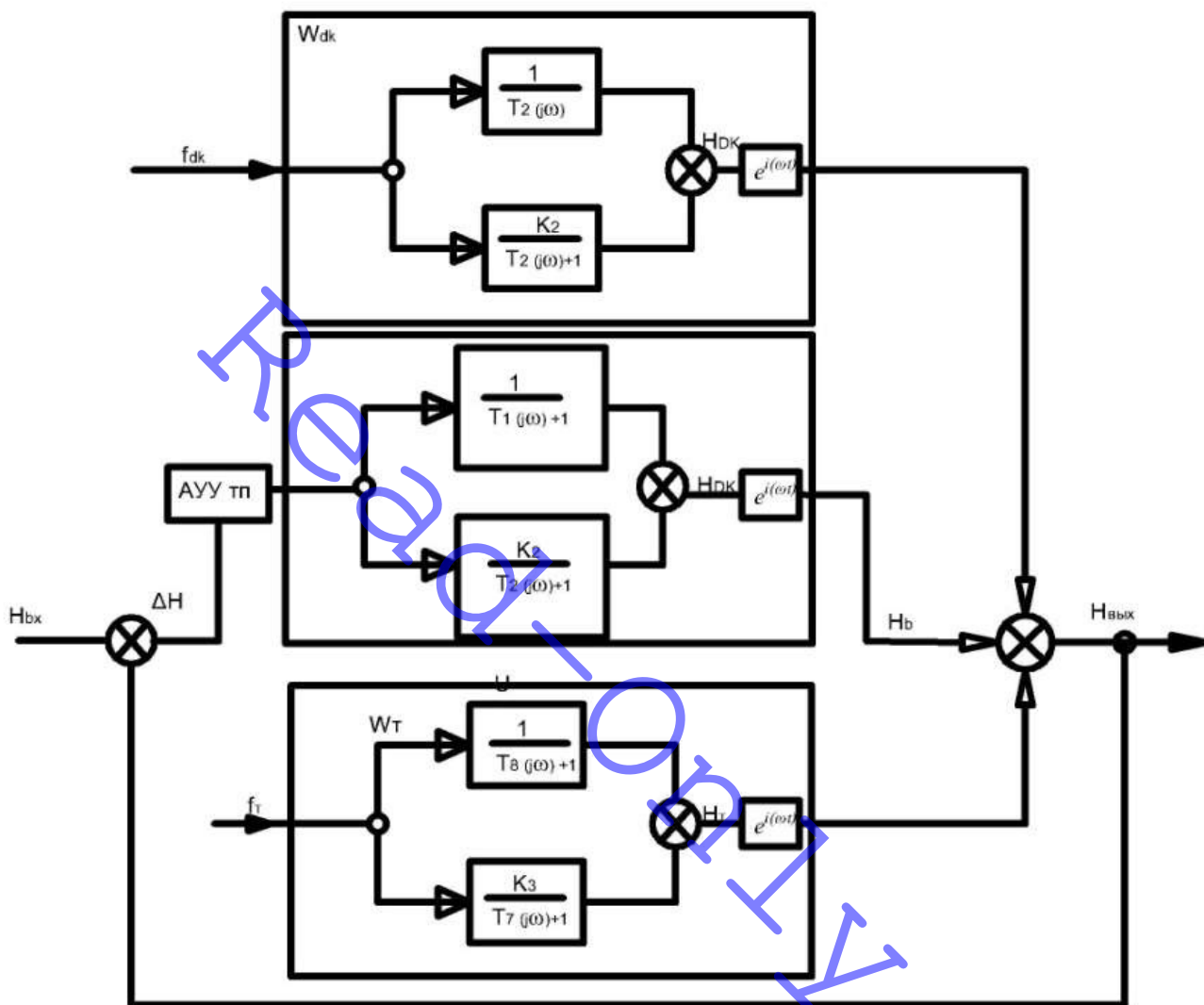


Рисунок 11 – Структурна схема математичної моделі динаміки тракту живлення

У четвертому розділі для перевірки достовірності розроблених математичних моделей та структурно-функціональної схеми на діючому котлоагрегаті БКЗ- 220-100Ф №2 ТЕЦ розроблено загальносистемні, програмно-технічні рішення, інформаційне забезпечення та розроблено дослідно-промисловий зразок станції керування «ДІЯ» (рис. 12). Нижче наведено комплекс технічних засобів станції.

Станція призначена для керування і контролю котлоагрегатом №2, а саме:

- регулювання тиску пари в парозбірнику за рахунок змінної подачі природного газу;
- регулювання співвідношення повітря ліворуч-газ і праворуч-газ з корекцією по O_2 ;
- регулювання розрідження в топці зліва та справа з корекцією по витраті повітря;
- регулювання рівня в барабані котла подачею води з живленням;
- регулювання вмісту солі у котельній воді;
- контролю технологічних параметрів;
- контролю спрацьовування параметрів захисту;
- забезпечення роботи технологічного обладнання без постійної присутності експлуатаційного персоналу в зоні розміщення обладнання;
- передачі інформації про техніко-економічні показники роботи котлоагрегату, а також її передачу в інформаційну мережу.

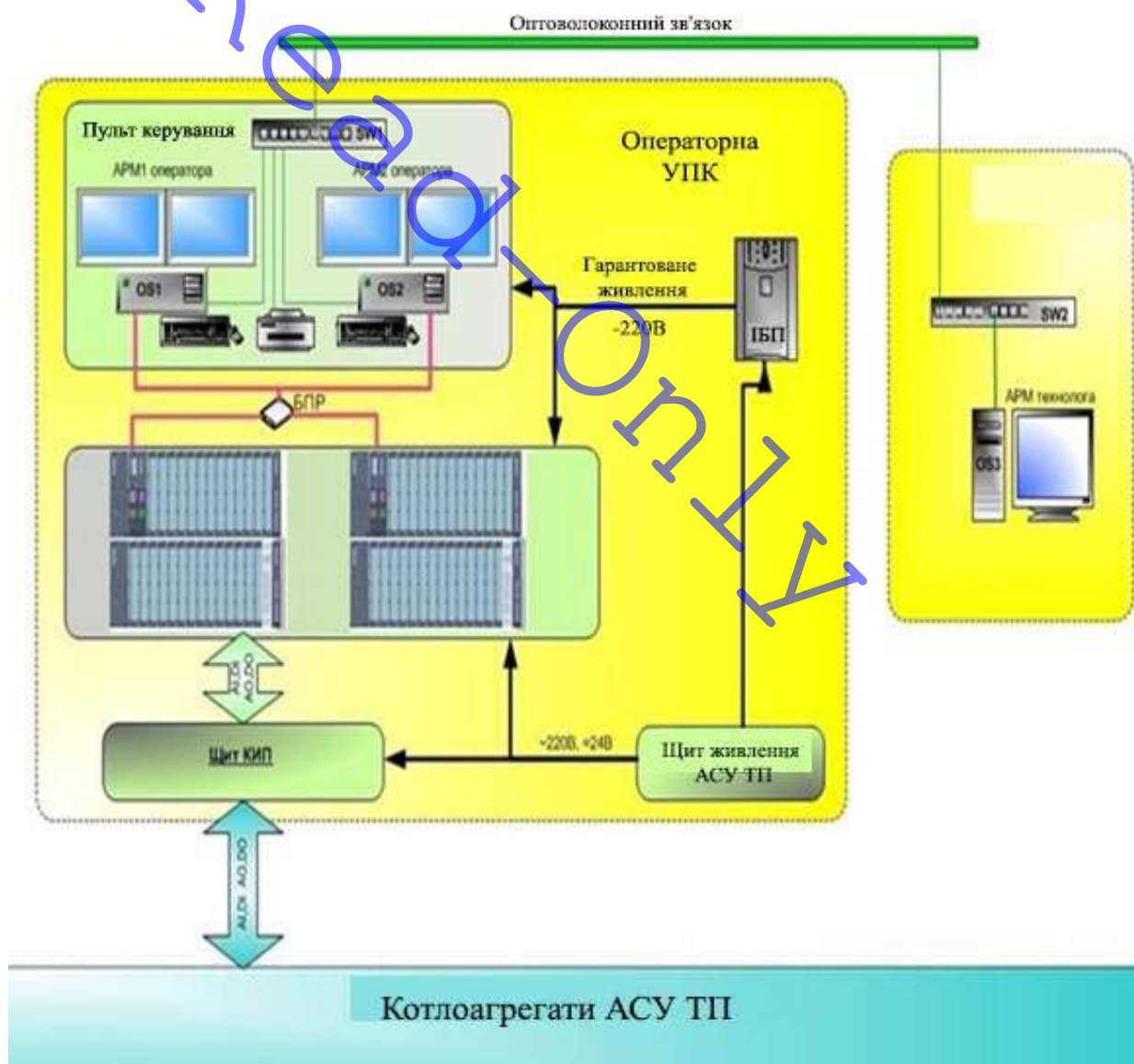


Рисунок 12 - Структурна схема комплексу технічних засобів станції «ДІА»

Вирішено також завдання забезпечення вимог охорони праці при утилізації газоподібних палив. При їх спалюванні утворюються отруйні гази, найнебезпечнішим з них є оксид азоту (NO). Основними факторами, що впливають на вихід термічних оксидів азоту, є: температура в зоні генерації NO_x , концентрація атомарного кисню і час перебування продуктів згоряння в цій зоні. Залежності утворення оксидів азоту і вуглецю від коефіцієнта надлишку повітря представлено на рисунку 13.

Вплив коефіцієнта надлишку повітря (α) на утворення NO в топці котлоагрегату представлено графіком $NO_{рк}$ на рис. 13, який отримано у результаті режимних налагоджувальних випробувань котлоагрегату №2 типу БКЗ-220-100. Залежність концентрації викидів оксидів азоту $NO_{рк}$ (mg/m^3) від парового завантаження котлоагрегату $F_{п}$ (т/год.) згідно режимної карти налагоджувальних випробувань представлена графіком $NO_{рк}$ на рис. 14.

Для зменшення утворення NO_x при спалюванні газоподібного

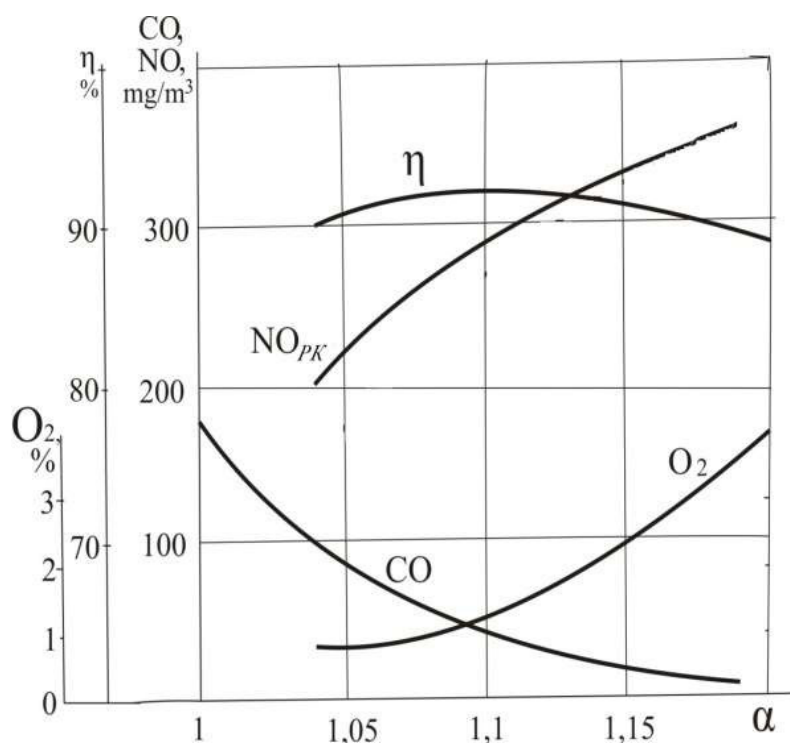


Рисунок 13 – Залежність вмісту O_2 , NO , CO , від коефіцієнта надлишку повітря α

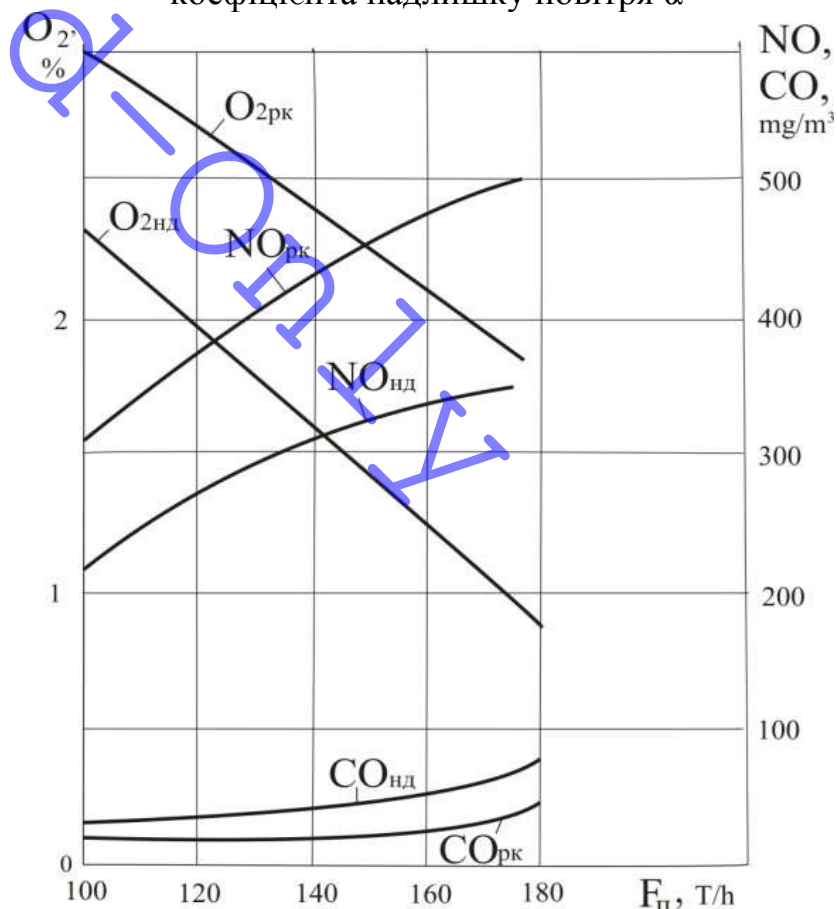


Рисунок 14 - Залежність вмісту NO , CO , O_2 від парового навантаження котлоагрегату БКЗ 220/100 (40)

палива в котлоагрегатах пропонується вмикати режим контрольованого, помірною неповного спалювання палива в діапазоні коефіцієнту надлишку повітря від 1,04 до 1,1.

Результати експериментальних досліджень цього режиму в промислових умовах на котлоагрегаті №2 типу БКЗ-220-100 (40) ТЕЦ АТ «ДніпроАзот» представлено на графіку (рис. 14). Режим помірною неповного спалювання палива забезпечувався підтриманням значень концентрації кисню, що вимірювали в режимному перетині димоходу за пароперегрівом. Його результати представлені графіком $O_{2\text{нд}}$ на рис. 14.

Порівняння значень концентрацій викидів оксидів азоту $NO_{\text{рк}}$, згідно режимної карти, показує, що в режимі помірною неповного спалювання палива викиди оксидів азоту $NO_{\text{нд}}$ зменшуються на 30-40%. При зменшенні α позначки 1,04 відбувається підвищення викидів концентрації оксиду вуглецю, що порівняне зі зменшенням концентрацій викидів оксидів азоту NO .

В результаті режимної наладки котлоагрегату №2 типу БКЗ-220-100 ТЕЦ АТ «ДніпроАзот» отримано експериментальні залежності (рис.15) концентрації кисню вимірною в димовому тракті за пароперегрівом і перепаду тиску на повітряпідігрівачі.

Результати вищенаведених досліджень дозволили отримати (4), (5).

$$K_{E61} = \frac{K_{O_2} - 2,3 - (F_{\text{п}} - 100) \cdot 0,017}{2,33 - (F_{\text{п}} - 100) \cdot 0,017} \cdot 20^{0,5 \cdot \text{Sign}(K_{O_2} - 2,3 - (F_{\text{п}} - 100) \cdot 0,017)}; \quad (4)$$

$$K_{E62} = \frac{3,0 - (F_{\text{п}} - 100) \cdot 0,015 - K_{O_2}}{2,5 - (F_{\text{п}} - 100) \cdot 0,015} \cdot 20^{0,5 \cdot \text{Sign}(2,5 - (F_{\text{п}} - 100) \cdot 0,015 - K_{O_2})}; \quad (5)$$

де, K_{E61} -критерій енергоефективності; K_{E62} - критерій охорони праці; $F_{\text{п}}$ - витрата пара, т/год; K_{O_2} - концентрація кисню заміряна, %.

Рівняння (4) і (5) формують керуючу дію для станції керування котлоагрегатами, яка підтримує інформаційно-керований процес співвідношення «повітря-паливо» в межах між графіками $O_{2\text{нд}}$ і $O_{2\text{рк}}$ (рис. 14).

Відповідно до акту і протоколу результатів експериментальних досліджень в промислових умовах станції керування і протиаварійного захисту котлоагрегату №2 БКЗ-220-100Ф («ДІА») зводяться до наступного. Протягом 72 годин безперервної, безаварійної роботи станції керування та протиаварійного захисту котлоагрегату №2 БКЗ-220-100Ф виконувала всі функції, зазначені в Технічному завданні на розробку АСК ТП на котлоагрегат БКЗ-220-100Ф №2 ТЕЦ.

Встановлено, що спрацьовування попереджувальної сигналізації, аварійної та нормальної зупинок котлоагрегату відбувається при досягненні заданих значень установок з правильним відображенням на кадрах мнемосхем, графіках та в архіві подій.

Визначено закономірності, на основі яких встановлено критерії охорони праці та безпеки щодо запобігання аварійної зупинки котлоагрегату через згасання факела та проникнення отруйних газів в приміщення ТЕЦ. Відхилення тиску в топці котлоагрегату має бути в діапазоні від -100 до 100 Па, критерії охорони праці та безпеки визначаються відповідно формулам:

$$K_{on} = \frac{100 - P_m}{100} 20^{0,5 | -\text{sign}(100 - P_m) |};$$

$$K_6 = \frac{100 - |P_m|}{100} 20^{0,5 | -\text{sign}(100 - |P_m|) |};$$

Для запобігання утворенню в топці отруйних газів співвідношення паливо-повітря має бути таким, щоб значення концентрації кисню за пароперегрівачем підтримувалося в діапазоні певних критеріїв екологічної безпеки та енергоефективності, що визначаються за формулами (4) та (5).

За результатами експериментальних досліджень станція керування «ДІЯ» знаходиться на промислових випробуваннях у складі обладнання АСК ТП котлоагрегатів ТЕЦ АТ «ДніпроАзот». Економічний ефект за період роботи АСК ТП 2015-2017 рр. склав 20,718 млн. грн. (двадцять мільйонів сімсот вісімнадцять тисяч гривень).

У п'ятому розділі представлено інформаційно-технічні основи безпечного керування та протиаварійного захисту багатопаливного котлоагрегату для утилізації доменного та коксового газів. Його відмінність від однотопливного котлоагрегату полягає в тому, що в топці є нижній ярус пальників, на які подається природний та коксовий газ з високою та середньою теплотою згоряння. Після того, як буде встановлено стабільний режим пальників нижнього ярусу, подається доменний газ з низькою теплотою згоряння на верхній ярус паяльників.

Розроблено інформаційне забезпечення, в якому на додаток до гнучких, випереджувальних дій на всі контури, що забезпечують стійкість динаміки котлоагрегату, є блок самоналаштування керуючих дій. Завдяки якому при зміні витрати пари вирішується завдання компенсації зміни його енергії за рахунок дешевого доменного газу з максимальною економією природного газу.

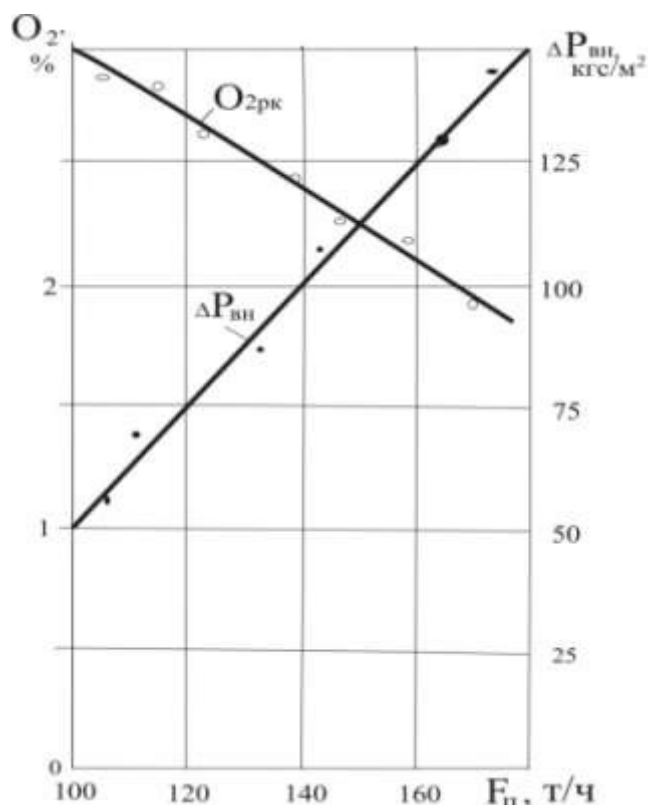


Рисунок 15 - Залежності перепаду тиску на повітрянагрівачах і концентрації кисню за пароперегрівом від парового завантаження

На основі цієї схеми розроблено технічне завдання на створення АСК ТП котлоагрегату № 9 ТЕЦ, яке затверджене керівництвом ПАТ «Дніпровський меткомбінат». На основі цього завдання розроблено посібник з безпечного керування котлоагрегатом для утилізації доменного та коксового газів у процесі запуску, нормальної експлуатації, планових та аварійних зупинок з наданням машиністу оперативної інформації на моніторах операторської станції, приклад якої представлений на пусковій мнемосхемі (рис.16).

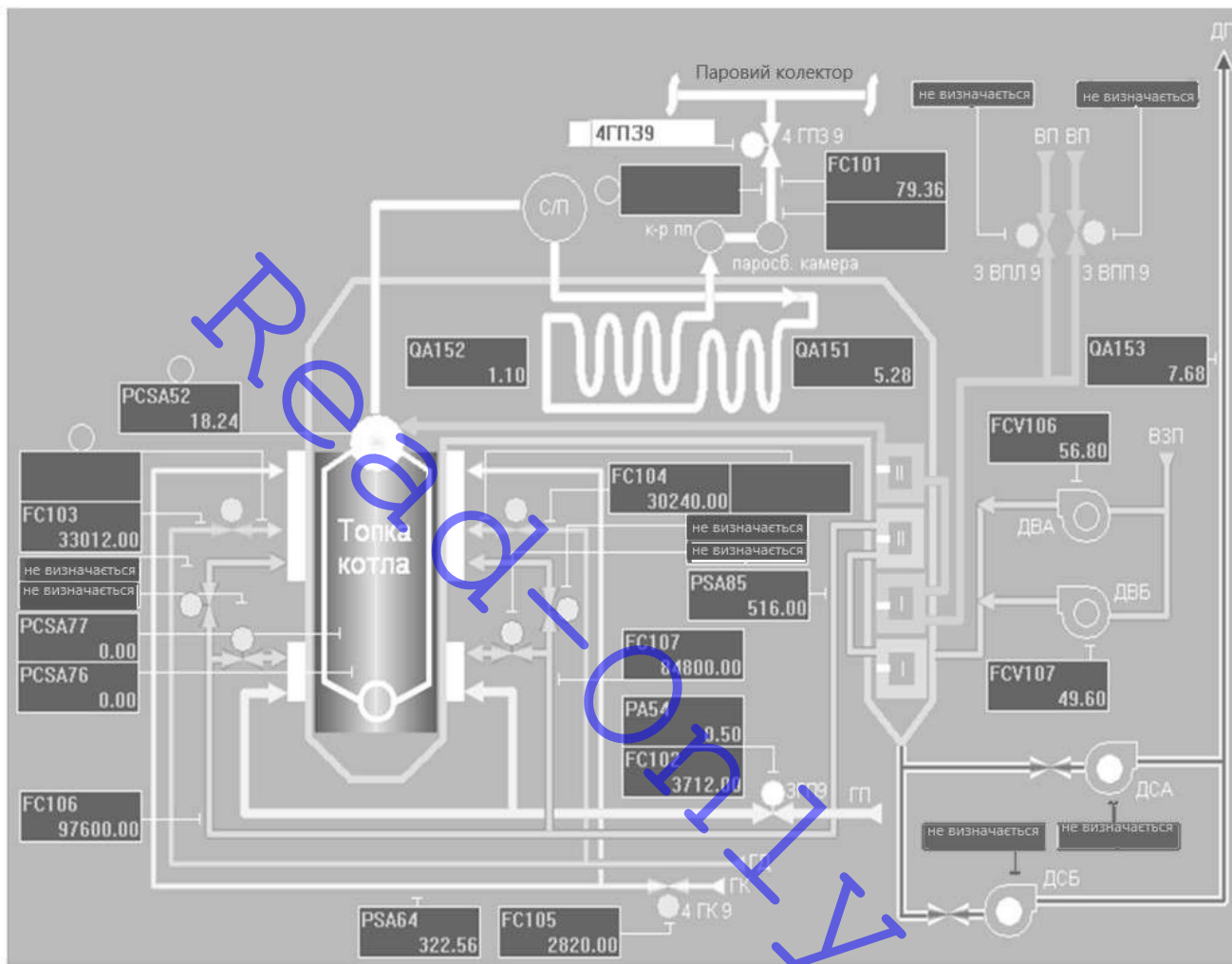


Рисунок 16 – Пускова мнемосхема багатопаливного котлоагрегату

Розрахунок очікуваного економічного ефекту за рахунок першочергового спалювання доменного газу та економії при цьому природного газу показав, що термін окупності витрат на впровадження проекту АСК ТП не перевищить 7 місяців.

Шостий розділ присвячений розробці та обґрунтуванню перспективних структурно-функціональних і технічних рішень по інформаційній безпечній технології видобутку та утилізації газу вугільних родовищ на гірничих відводах та шахтах. Розроблена структурно-технологічна схема тригенераційної станції підготовки газу вугільного родовища на гірничому відводі до постачання в газотранспортну систему України та його паротурбінної когенерації.

Розроблено СОУ-П «Правила безпеки керування станцією «ДІЯ», котлоагрегатами для утилізації газів вугільних шахт ДП «Горецьквугілля», в яких для інформаційного безпечного керування ресурсоенергозберігаючою технологією видобутку та утилізації газів вугільних родовищ на гірничих відводах і шахтах передбачено новий нормативний параметр - «Гранична концентрація кисню (ГКК) дорівнює 7% об.». На основі ГКК встановлено критерії безпеки керування інертизаційною технологією утилізації метаноповітряної суміші, включаючи - вибухонебезпечні.

Розрахунок фактичного економічного ефекту, отриманого в процесі промислових випробувань станції «ДІЯ» в складі АСК ТП котлоагрегатами ТЕЦ АТ «ДніпроАзот», наведено в табл. 1

Таблиця 1 – Розрахунок фактичного економічного ефекту

Показники	Позначення	Одиниця виміру	Базовий спосіб	Новий спосіб
Заходи щодо підвищення енергоефективності	–	–	Без застосування заходів	АСУ ТП виробництва пара котлоагрегатами ТЕЦ
Котлоагрегати	–	–	Котлоагрегати №1, №2, №3	Котлоагрегати №1, №2, №3, під керуванням АСК ТП
Середньорічне виробництво пари	A_2	тис. т	2784,8	2784,8
Собівартість 1 т пари за витратами газу та електроенергії	C_1	грн.	51,5	–
	C_2	– –	–	49
Питомі капітальні вкладення в виробничі фонди на 1м ³ газу	K_1	грн.	0,1	–
	K_2	– –	–	0,2

Застосування у станції управління «Дія» алгоритму безаварійного керування котлоагрегатом, критерію енергоефективності частотних методів керування електродвигунами дозволило підвищити ККД ТЕЦ з 76% до 90%, що дозволило знизити витрату газу на 2 – 3 % та електроенергії на 40 – 60 %.

$$E = (B_1 - B_2) A_2 = [(C_1 + E_n K) - (C_2 + E_n K_2)] \cdot A_2 =$$

$$= [(51,5 + 0,15 \cdot 0,1) - (49 + 0,15 \cdot 0,2)] \cdot 2784,8 = 6,906 \text{ млн. грн/год}$$

Фактичний економічний ефект за період роботи станції «ДІЯ» у 2015-2017 рр. склав 20 млн. 718 тис. грн.

ВИСНОВКИ

Дисертація є закінченою науково-дослідною роботою в галузі охорони праці, в якій вирішено актуальну наукову проблему, що полягає у встановленні закономірностей та критеріїв, що визначають вибухобезпечні межі співвідношення концентрації кисню і метану при видобутку газу з ізольованих об'ємів шахт, дегазаційних свердловин і при підготовці до утилізації на газозмішувальних регуляторних пунктах, згасання факела від розрідження в топці, попадання отруйних газів в приміщення ТЕЦ від тиску та утворення отруйних газів в топці від концентрації кисню, вимірної за пароперегрівачем, що дозволило розробити структурно-функціональні схеми, інформаційне забезпечення та загальносистемні рішення станцій інформаційного контролю, керування і захисту «ДІА» для утилізаційних котлоагрегатів, СОУ- П «Правила безпеки керування станцією «ДІА», котлоагрегатами для утилізації газів вугільних шахт ДП «Горецьквугілля», а також отримати фактичний економічний ефект в розмірі 20,7 млн. грн, і забезпечити виконання вимог охорони праці на всіх стадіях технологічного процесу.

1. Виконано аналіз стану безпеки та охорони праці при видобутку, транспортуванні і утилізації газів вугільних родовищ і шахт, який вказав на необхідність встановлення закономірностей вибухобезпеки співвідношення концентрації кисню і метану при видобутку та утилізації вуглеводневих газів, критеріїв охорони праці людини на робочому місці, енергоефективності та безаварійності роботи котлоагрегатів для утилізації вуглеводневих газів.

2. Вперше встановлено закономірність та критерій, які визначають вибухобезпечну межу співвідношення концентрації кисню і метану при видобутку вуглецевих газів з ізольованих об'ємів шахт. Критерій вибухобезпеки вуглеводневих газів у процесі вилучення їх з ізольованих об'ємів шахт та підготовки до утилізації, визначається відповідно до концентрації кисню у суміші газів, що обернено пропорційна концентрації метану у діапазоні від 0 до 5 % і прямо пропорційна концентрації метану в діапазоні від 20 до 25%, а при концентрації кисню до 7% суміш є вибухобезпечною при будь-яких концентраціях метану. Достовірність підтверджується результатами теоретичних експериментальних досліджень вибухонебезпечності метановопітряної суміші.

3. Вперше розроблено узагальнену математичну модель трактів котлоагрегату на основі комплексних частотних характеристик його динамічних ланок. За допомогою якої розроблено метод математичного моделювання та впроваджено алгоритм видачі випереджувальних дій, які пропорційні першій похідній збурених дій парового навантаження одночасно взаємопов'язаних за всіма інформаційними каналами. Алгоритм сприяє усуненню небезпеки виникнення аварійних зупинок котлоагрегатів і

забезпеченню безпеки їх експлуатації при виникненні збурень, що перевищують регламентні значення.

4. Вперше встановлено закономірність та критерій охорони праці людини на робочих місцях когенераційних станцій для керування співвідношенням паливо-повітря по концентрації кисню в димових газах котлоагрегатів, які утилізують вуглеводневі гази. Концентрація оксиду азоту в топці зростає, а концентрація оксиду вуглецю зменшується за параболічною залежністю при збільшенні коефіцієнта надлишку повітря, що дозволило встановити критерій охорони праці людини на робочих місцях когенераційних станцій для керування співвідношенням повітря-газ α в діапазоні від 1,04 до 1,15 по концентрації кисню в димових газах котлоагрегатів, які утилізують вуглеводневі гази. Достовірність базується на тривалій промисловій експлуатації станцією управління «ДІА», яка працює на базі встановленого критерію енергоефективності керування котлоагрегатами.

5. Вперше встановлено закономірність і критерій енергоефективності для управління співвідношенням повітря-газ в діапазоні від 1,04 до 1,15 за концентрацією кисню в димових газах. Критерій енергоефективності керування коефіцієнтом співвідношення повітря-газ α котлоагрегатів, які утилізують вуглеводневі гази прямо пропорційній тиску повітря на повітрянагрівачах, та обернено пропорційній концентрації кисню в димових газах, що дозволило встановити параметр енергоефективного управління співвідношенням α в діапазоні від 1,04 до 1,15 котлоагрегатами по концентрації кисню в димових газах за пароперегрівачем при змінах парового навантаження. Достовірність ґрунтується на результатах експериментальних досліджень в промислових умовах ТЕС АТ «ДніпроАзот» на котлоагрегаті №2 типу БКЗ-220-100.

6. Вперше встановлено закономірність між загазуванням приміщень ТЕЦ отруйними газами і згасанням факела на пальниках та критерій вибухобезпеки котлоагрегату для безпечного управління розрідження в топці. Значення критерію охорони праці та безпеки котлоагрегату зростає зі збільшенням тиску в топці й знижується зі збільшенням розрідження за лінійними залежностями, що дозволило встановити діапазон безпечного управління розрідження в топці в межах від -100 до +100 Па. Достовірність підтверджується тривалими промисловими випробуваннями станцією управління «ДІА», яка працює на базі встановленого критерію вибухобезпеки керування котлоагрегатами.

7. Вперше встановлено закономірності між загазуванням приміщень ТЕЦ отруйними газами, аварійними зупинками котлоагрегату, надлишковим тиском і розрідженням в топці. Попадання в приміщення ТЕЦ отруйних газів лінійно зростає зі збільшенням тиску в топці, а згасання факела лінійно зменшується зі зменшенням розрідження в ній. Достовірність підтверджується графічними та табличними результатами експериментальних досліджень в промислових умовах ТЕЦ АТ «ДніпроАзот». Встановлено критерій охорони праці та умов безпеки, які формують управлінський вплив для зменшення або збільшення частоти електроживлення приводу димососа.

8. Обґрунтовано параметри вибухобезпеки при підготовці газів до спалювання, охорони праці по запобіганню розповсюдження отруйних газів та безаварійної роботи котлоагрегата, розроблено перспективну структурно-функціональну схему та запатентовані технічні засоби інформаційної технології, що забезпечують належний рівень безпеки і охорони праці при видобутку шахтного метану з ізольованих об'ємів шахт і його утилізацію.

9. Розроблено структурно-функціональну схему інформаційного керування, що забезпечує видачу попереджувальних дій одночасно на всі інформаційні вхідні канали, при збуренні процесу зміною парового навантаження, на основі якої розроблено інформаційне забезпечення, загальносистемні та технічні рішення і виготовлено дослідно-промисловий зразок станції керування котлоагрегатом «ДІЯ».

10. Розроблено методику та проведено експериментальні дослідження в промислових умовах на котлоагрегаті №2 ТЕЦ АТ «ДніпроАзот» станції керування «ДІЯ». В результаті встановлено працездатність станції при вимірюванні з необхідною точністю параметрів котлоагрегату, при видачі світлової, звукової сигналізації, захистів, блокувань і мовного оповіщення при імітації передаварійних і аварійних ситуацій, а також збереження історії перехідних процесів на 5-ти хвилинному, часовому, добовому і місячному інтервалах часу.

11. Розроблено структурно-функціональну схему, загальносистемні рішення та інформаційне забезпечення безпечного керування і протиаварійного захисту котлоагрегатів, що утилізують доменний і коксовий газ. На їх основі розроблено і затверджено Технічне завдання на створення АСК ТП котлоагрегатом №9 ТЕЦ-ПВС АТ «Дніпровський меткомбінат».

12. Розроблено перспективні структурно-технологічна і структурно-функціональна схеми видобутку і утилізації газів шахт і гірничих відводів, а також робочі проекти автоматизованих систем комерційного і технологічного обліку газу вугільних родовищ, що поставляється в газотранспортну систему.

13. Розроблено СОУ-П «Правила безпеки керування станцією «ДІЯ», котлоагрегатами для утилізації газів вугільних шахт ДП «Торецьквугілля», в яких для інформаційного безпечного керування ресурсоенергозберігаючою технологією видобутку і утилізації газів вугільних родовищ на гірничих відводах і шахтах передбачено новий нормативний параметр - «Гранична концентрація кисню (ГКК) рівна 7% об.». На основі ГКК встановлені критерії безпеки керування інертизаційною технологією утилізації метаноповітряної суміші, включаючи – вибухонебезпечні.

14. За рахунок впровадження алгоритму попереджувальних впливів на всі тракти котлоагрегату, забезпечена його безаварійна робота із застосуванням критерію енергоефективності та отримано фактичний економічний ефект 20,7 млн. грн. за 3 роки промислових випробувань станції «ДІЯ» в умовах АТ «ДніпроАзот».

ОСНОВНИ ПОЛОЖЕНИЯ ДИСЕРТАЦІЇ ВИКЛАДЕНО В НАСТУПНИХ ПУБЛІКАЦІЯХ

Монографія

1. Безопасность и энергоэффективность метаноугольных шахт. К.К. Софийский, Р.К. Стасевич, Б.В. Бокий, А.В. Шейко, В.И. Гаврилов, О.В. Московский, Е.Е. Дудля. Монография. Донецк: ФЛП Халиков Р.Х., 2017. 308 с.

Статті у наукових виданнях

2. Бойко В.А., Стасевич Р.К., Петречук А.А., Христин Н.С., Выбор структурной схемы и определение параметров системы автоматического регулирования проветривания выемочного участка / Сборник «Горная электромеханика и автоматика». Харьков: «Вища школа», 1974. Вып. 24. С. 145-150.

3. Бойко В.А., Петречук А.А., Шибка Н.В., Григорьев И.А., Литвиненко А.А., Стасевич Р.К. Результаты шахтных испытаний дистанционно управляемого регулятора шахтных воздушных потоков / Республиканский межвузовский научно-технический сборник «Разработка месторождений полезных ископаемых». 1975. Вып. 39. С.7-10.

4. Бойко В.А., Петречук А.А., Белокопытов В.Ф., Христин Н.С., Стасевич Р.К. Синтез оптимального управления проветриванием выемочного участка газовой шахты / Известие ВУЗов СССР «Радиоэлектроника». 1975. № 6. С. 24-28.

5. Бойко В.А., Петречук А.А., Христин Н.С., Гавва А.А., Стасевич Р.К. Испытание регулятора расхода воздуха выемочных участков газовой шахты / Техника безопасности и горноспасательное дело. ЦНИЭИ Уголь. 1975. №3, С. 28-32.

6. Бойко В.А., Литвиненко А.А., Иконников Ю.Р., Стасевич Р.К. Математическая модель процесса управления распределения шахтной вентиляционной сети / Горная электромеханика и автоматика. 1975. Вып. 27. С. 125-127.

7. Ващенко В.С., Бойко В.А., Паршин Я.Д., Аксентьев А.Д., Безуглый В.Б., Колесник В.Е., Стасевич Р.К. Разработка и создание системы диспетчерского контроля и управления воздушными потоками / Охрана труда и техника безопасности горнорудной промышленности. 1975. Вып.1. С. 36 - 41.

8. Бойко В.А., Иконников Ю.Р., Стасевич Р.К., Колядин К.М. К вопросу о средствах дистанционного и автоматического управления проветривания шахт / Сб. научных трудов «Управление вентиляцией и газодинамическими явлениями в шахтах». Новосибирск. 1977. С.44-46.

9. Мережко Ю.Н., Иконников Ю.Р., Стасевич Р.К., Литвиненко А.А. Прогнозирование всплесков концентрации метана при диспетчерском управлении проветриванием выемочного участка газовой шахты / Разработка месторождений полезных ископаемых. Киев: Техніка, 1977. Вып. 46. С. 62-65.

10. Иконников Ю.Р., Фрундин В.Е. Стасевич Р.К. Дистанционный регулятор / Уголь. М.: «Недра». 1978. Вып. №3. С. 59-60.
11. Стасевич Р.К., Литвиненко А.А. Резервы экономии электроэнергии, расходуемой на проветривание шахт и рудников / Промышленная энергетика. 1981. №2. С. 10-12.
12. Бойко В.А., Литвиненко А.А., Стасевич Р.К. Измеритель скорости движения воздуха ИСВ-1 с расширенным диапазоном измерения / Безопасность труда в промышленности. 1981. №10. С. 22-23.
13. Бойко В.А., Иконников Ю.Р., Стасевич Р.К. Оборудование пунктов расхода воздуха в горных выработках / Уголь Украины. 1983. №4. С. 34-35.
14. Садовой А.В., Романенко В.И., Стасевич Р.К., Тищенко Н.Т. Адаптивная автоматизированная система энергоэффективного управления технологическими процессами (АСУ ТП) ТЭЦ-ПВС / Metallurgical and mining industry. 2009. №3. С.52-54.
15. Романенко В. И., Янчик П. А., Дудков А. Ю., Садовой А. В., Стасевич Р.К., Волянский Р.С. Обоснование рациональной структурной схемы САР расхода общего воздуха АСУТП котлоагрегатов ТЭЦ КГГМК для реализации на контроллерах фирмы "Trey" // Энергетика и электрификация. 2004. № 4. С. 35-38.
16. Софийский К.К., Стасевич Р.К., Припула Д.А., Дудля Е.Е. Повышение безопасности транспортирования, извлечения и утилизации метана поверхностными дегазационными скважинами / Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць; ІГТМ НАНУ. Дніпро: ІГТМ, 2016. Вип. 128. С. 215-225.
17. Стасевич Р.К., Стасевич Д.О., Литвиненко А.А., Юрченко А.А. Исследования совместной работы вентиляторов главного проветривания действующей шахты / Сборник научных трудов Днепропетровского государственного технического университета (технические науки). Кам'янське: ДДТУ. 2017. № 1 (30). С. 129-136.
18. Стасевич Р.К. Математическая модель парового тракта многотопливного котлоагрегата для утилизации метана угольной шахты / Математичне моделювання: Науковий журнал ДДТУ. Кам'янське: ДДТУ. 2016. № 2 (35). С. 96-101.
19. Стасевич Р. К. Методика повышения точности учета и функции защиты информации автоматизированной системы коммерческого учета природного газа угольных месторождений (АСУ ПГ) / Математичне моделювання: Науковий журнал ДДТУ. Кам'янське: ДДТУ. 2017. № 1(36). С. 16-22.
20. Information resource-saving technology of extraction, transportation and utilization gases of coal mine, 2018, Stasevich R.K., Litvinenko A.A., Jurchenko A.A. Development of scientific foundations of resource-saving technologies of mineral mining and processing: Multi-authored monograph. - Sofia: Publishing House "St.Ivan Rilski", 151-170 pp.
21. Ensuring safety and protection of resource-saving trigeneration of coal deposits gases of mine and metallurgical production, 2018, Sofiysky K.K., Stasevich R.K., Tyshchenko A.V. Topical issues of resource-saving technologies in mineral

mining and processing: Multi-authored monograph. - Petrosani, Romania: UNIVERSITAS Publishing, 212-228 pp.

22. Софийский К.К., Стасевич Р.К., Власенко В.В., Агаев Р.А., Дудля Е.Е. Техничко-экономические аспекты когенерации углеводородных газов / International journal of innovative technologier in economy. Scientific edition. Warsaw: RS Global Sp.z. O.O. 2018. №6. Vol. 2. 23-26 pp.

23. Софийский К.К., Стасевич Р.К., Власенко В.В., Агаев Р.А., Дудля Е.Е. Математическое обеспечение безаварийной работы паротурбинной когенерации / World science. Warsaw: RS Global Sp.z. O.O. 2018. №7(35), Vol. 5. 13-20 pp.

24. Бойко В.А., Стасевич Р.К., Петречук А.А., Христич Н.С. Оптимальное управление проветриванием выемочного участка газовой шахты / Реферативная информация. Деп. в ЦНИЭИ Уголь, 27 февраля 1974, № 202. С. 14.

25. Бойко В.А., Стасевич Р.К., Шибка Н.В., Христич Н.С. Основные положения разработки средств управления и регистрации параметров рудничной атмосферы / Реферативная информация о законченных научно-исследовательских работах в ВУЗах УССР. Киев: «Вища школа», 1974. Вып.8. С. 33.

26. Бойко В.А., Петречук А.А., Христич Н.С., Литвиненко А.А., Иконников Ю.Р., Стасевич Р.К., Григорьев И.А. Аппаратура диспетчерского управления исполнительными устройствами регуляторов в горных выработках газовых шахт / Реферативная информация о законченных научно-исследовательских работах в ВУЗах УССР. Киев: «Вища школа». 1975. Вып. 9. С. 30.

27. Бойко В.А., Петречук А.А., Христич Н.С., Стасевич Р.К. Переносной совмещенный прибор контроля содержания метана и скорости движения воздуха для газовых шахт / Реферативная информация о законченных научно-исследовательских работах в ВУЗах УССР. Киев: «Вища школа». 1976. Вып.10. С.17.

28. Бойко В.А., Петречук А.А., Христич Н.С., Стасевич Р.К. Иконников Ю.Р., Гавва А.А. Система автоматического регулирования проветриванием выемочного участка газовой шахты / Реферативная информация о законченных научно-исследовательских работах в ВУЗах УССР. Киев: «Вища школа». 1976. Вып.10. С. 17-18.

29. Кухарев В.Н., Бойко В.А., Парчевский Л.Я., Стасевич Р.К., Иконников Ю.Р. Исследование и разработка основных параметров шахты с высокими технико-экономическими показателями в условиях шахты №8 «В-М» ПО «Укрзападуголь» / Реферативная информация о законченных научно-исследовательских работах в ВУЗах УССР. Киев: «Вища школа». 1977. Вып.11. С. 29.

30. Бойко В.А., Стасевич Р.К., Шибка Н.В., Литвиненко А.А. Результаты шахтных испытаний дистанционного регулятора в горных выработках / Реферативная информация о законченных научно-

исследовательских работах в ВУЗах УССР. Киев: «Вища школа», 1974. Вып.8. С. 32.

Авторські свідоцтва та патенти

31. А.С. 581302, СССР, МПК E21/F1/10 Шахтная вентиляционная дверь / В.А. Бойко, Р.К. Стасевич, С.Н. Равва. – заявл. 10.02.1975; опубл.1977. Бюл. № 43. – С. 88.

32. А.С. 680306, СССР, МПК E21/F1/10 Вентиляционная дверь для регулирования воздушных потоков / В.А. Бойко, А.А. Литвиненко, Р.К. Стасевич. – заявл. 11.10.1977 ; опубл. 1978. Бюл. № 12. – С. 72.

33. А.С. 939781 СССР, МПК E21/F1/10 Вентиляционная дверь для регулирования воздушных потоков / Ю.Р. Иконников, В.А. Бойко, Н.В. Шибка, Р.К. Стасевич. – заявл. 03.07.1981 ; опубл. 1982. Бюл. №47. – С. 13.

34. А.С. 1494113 СССР, МПК H02H3/06 Устройство для автоматического переключения потребителей с основного источника на переменного тока на резервный / В.А. Джунов, М.И. Козлов, К.Ю. Сиянович, Р.К. Стасевич. – заявл. 30.11.1987; опубл. 1989. Бюл. №26. – С. 245.

35. Декларацийний патент на винахід № 58700А Україна, МПК G01N25/22 Спосіб термокаталітичного аналізу газів і пристрій для його реалізації / В.І. Гольнко, В.І. Романенко, В.Ю. Фрундін, Р.К. Стасевич. – заявл. 22.07.2002 ; опубл. 15.08.2003. Бюл. № 8.

36. Декларацийний патент на винахід № 58701А Україна, МПК G01N25/22 Термокаталітичний дифузійний газоаналізатор кисню / В.І. Гольнко, В.І. Романенко, В.Ю. Фрундін, Р.К. Стасевич. – заявл. 22.07.2002 ; опубл. 15.08.2003. Бюл. № 8.

37. Патент № 36015 Україна, МПК F23N1/02 Спосіб автоматичного керування, контролю, захисту та сигналізації котлоагрегату / О.В. Дубина, В.І. Романенко, О.В Садовой , М.Т. Тищенко, Р.К. Стасевич. – заявл 12.05.2008; опубл. 10.10.2008. Бюл. № 19.

Доповіді на конференціях, симпозіумах та ін.

38. Обоснование требований к проектированию и устройству поверхностных дегазационных газотранспортных систем / Р.К. Стасевич, К.Є. Дудля // Матеріали XI науково-практичної конференції «Школа підземної розробки», 4-8 вересня 2017 р. - Бердянськ, 2017. – С. 127-129.

39. Многофакторный динамический критерий безопасности и противоаварийной защиты агрегатно-автоматизированной выемки угля и метана длинными лавами при столбовой системе разработки обратным ходом / Р.К. Стасевич // Матеріали XI науково-практичної конференції «Школа підземної розробки», 4-8 вересня 2017 р. - Бердянськ, 2017. – С. 115-117.

40. Программное обеспечение микропроцессорных контроллеров для управления и противоаварийной защиты агрегатно-автоматизированной выемкой угля и метана / Р.К. Стасевич, А.Л. Ширин, В.П. Козлов // Матеріали XI науково-практичної конференції «Школа підземної розробки», 4-8 вересня 2017 р. - Бердянськ, 2017. – С. 137-139.

41. Критерії вибухобезпечності метаноповітряної суміші при загазуванні та розгазуванні ізольованих гірничих виробок / Р.К. Стасевич, М.Ю. Іконнікова // Матеріали другої міжнародної науково-технічної конференції «Інноваційний розвиток гірничодобувної галузі», 14 грудня 2017 р. – Кривий Ріг, 2017. С. 132-133.

42. Информационная технология безопасного извлечения и утилизации шахтного метана / Р.К. Стасевич, В.В. Власенко, А.А.Литвиненко, С.А. Малыхин // Матеріали Всеукраїнської науково-методичної конференції: «Проблеми математичного моделювання», 23-25 травня 2018 р. – Кам'янське: ДДТУ, 2018. –С.153-158.

43. Софийский К.К., Стасевич Р.К., Шейко А.В., Литвиненко А.А., Стасевич Д.О. Повышение эффективности совместной агрегатной добычи угля и метана на шахтах опасных по газу и пыли / Качество минерального сырья: сб. науч. тр. Т. 1. Академия горных наук Украины, ГВУЗ “КНУ” [редкол.: Ю.Г. Вилкул и др.]. Кривой Рог: ФЛП Чернявский Д.А. 2017. С. 505-514.

44. Софийский К.К., Стасевич Р.К., Притула Д.А., Дудля Е.Е. Обеспечение взрывобезопасности и энергоэффективности утилизации и транспортирования шахтного метана / Качество минерального сырья: сб. науч. тр. Т. 1. Академия горных наук Украины, ГВУЗ “КНУ” [редкол.: Ю.Г. Вилкул и др.]. Кривой Рог: ФЛП Чернявский Д.А. 2017. С.497-504.

45. Стасевич Р.К., Литвиненко А.А., Юрченко А.А. Двухфакторный критерий энергоэффективности совместной работы вентиляторов главного проветривания рудника или шахты / Качество минерального сырья: сб. науч. тр. Т. 1. Академия горных наук Украины, ГВУЗ “КНУ” [редкол.: Ю.Г. Вилкул и др.]. Кривой Рог: ФЛП Чернявский Д.А. 2018. С.404-413.

Анотація

Стасевич Р.К. Розвиток науково-технічних основ управління безпекою технологічних процесів вилучення та утилізації вуглеводневих газів - На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.26.01 – «Охорона праці». ІГТМ НАН України, Дніпро, 2018.

Дисертацію присвячено розробці науково-технічних основ безпечного та ефективного видобутку і утилізації вуглеводневих газів.

Отримано закономірності, що визначають вибухобезпечні межі співвідношення концентрації кисню і метану в діапазонах концентрацій метану від 0 до 5%, від 5 до 20% і від 20 до 100%, що дозволило встановити критерії вибухобезпечного інформаційного керування технологічним процесом інертизації шахтного метану при видобутку його з ізольованих об'ємів шахт, включаючи їх загазування і розгазування і в газозмішувальних регуляторних пунктах при підготовці його до утилізації.

Розроблено узагальнену математичну модель котлоагрегату на основі комплексних частотних характеристик його динамічних ланок, за допомогою якої вперше розроблено алгоритм видачі попереджувальних дій одночасно за всіма взаємопов'язаними інформаційними каналами, що усуває небезпеку

виникнення аварійних ситуацій в котлоагрегаті при виникненні збурень, що перевищують регламентні значення. Дослідно-промисловий зразок станції керування «ДІЯ» поставлений на промислові випробування в складі АСК ТП котлоагрегатів ТЕЦ АТ «ДніпроАзот».

Отримано закономірності зниження утворення отруйних газів в топці котлоагрегату від концентрації кисню в димових газах, виміряної за пароперегрівом і потрапляння отруйних газів в приміщення когенераційної станції від надлишкового тиску в топці. Це дозволило встановити критерії охорони праці щодо зниження утворення отруйного оксиду азоту при інформаційному управлінні співвідношенням паливо-повітря по концентрації кисню в димових газах і надлишковим тиском в топці.

Розроблено структурно-функціональні схеми адаптивного безпечного керування і протиаварійного захисту, що стало основою технічного завдання на створення АСК ТП багатопаливного котлоагрегату №9 для утилізації доменного та коксового газу ТЕЦ ПАТ «Дніпровський меткомбінат».

Обґрунтовано параметри вибухобезпеки при підготовці газів до спалювання, охорони праці по запобіганню розповсюдження отруйних газів та безаварійної роботи котлоагрегата, розроблена структурно-функціональна схема системи безпечного керування і керівництво по експлуатації багатопаливного котлоагрегату для утилізації газів шахт і гірничих відводів. Розроблено СОУ-П «Правила безпеки керування станцією «ДІЯ», котлоагрегатами для утилізації газів вугільних шахт ДП «Торецьквугілля», в яких на додаток до вимог Правил безпеки вугільних шахт України (НПАОП 10.0-1.01-10) і СОУ 10.1 00174088.001 - 2004, що нормують неприпустиму об'ємну концентрацію метану в утилізаційній суміші шахтного метану 3,5-25%, включена гранична концентрація кисню (ГКК), при якій утилізована суміш вибухобезпечна при будь-якій концентрації метану, значення якої повинно бути менше або дорівнює 7%. На основі ГКК встановлено критерії безпеки керування інертизаційної технологією утилізації метаноповітряної суміші.

Ключові слова: безпека технологічних процесів, вуглеводневі гази, інформатизація, когенерація, параметри метаноповітряної суміші, структурно технологічні і функціональні схеми.

Анотація

Стасевич Р.К. «Развитие научно-технических основ управления безопасности технологических процессов добычи и утилизации углеводородных газов» - На правах рукописи.

Диссертация на соискание научной степени доктора технических наук по специальности 05.26.01 «Охрана труда» - ИГТМ НАН Украины, Днепр, 2018 г.

Диссертационная работа посвящена разработке научно-технических основ безопасной и эффективной добычи и утилизации углеводородных газов.

Получены закономерности, определяющие взрывобезопасные границы соотношения концентрации кислорода и метана в диапазонах концентраций метана от 0 до 5%, от 5 до 20% и от 20 до 100% , что позволило установить критерии взрывобезопасного информационного управления технологическим

процессом инертизации шахтного метана при извлечении его из изолированных объемов шахт, включая их загазирование и разгазирование и в газосмесительных регуляторных пунктах при подготовке его к утилизации.

Разработана обобщенная математическая модель котлоагрегата на основе комплексных частотных характеристик его динамических звеньев с помощью, которой впервые разработан алгоритм выдачи упреждающих воздействий одновременно по всем взаимосвязанным информационным каналам, устраняющий опасность возникновения аварийных ситуаций в котлоагрегате при возникновении возмущений, превышающих регламентные значения. Опытный - промышленный образец станции управления «ДЛЯ» поставлен на промышленные испытания в составе АСУ ТП котлоагрегатов ТЭЦ АО «ДніпроАзот».

Получены закономерности снижения образования ядовитых газов в топке котлоагрегата от концентрации кислорода в дымовых газах, измеренной за пароперегревателем и попадания ядовитых газов в помещения когенерационной станции от избыточного давления в топке, что позволило установить критерии охраны труда по снижению образования ядовитого оксида азота при информационном управлении соотношением топливо/воздух по концентрации кислорода в дымовых газах и избыточным давлением в топке.

Разработаны структурно-функциональные схемы адаптивного безопасного управления и противоаварийной защиты, которые послужили основой для технического задания на создание АСУ ТП многотопливного котлоагрегата №9 для утилизации доменного и коксового газа ТЭЦ ПАО «Днепропетровский меткомбинат».

Обоснованы параметры взрывобезопасности при подготовке газов к сжиганию, охраны труда по предотвращению распространения ядовитых газов и безаварийной работы котлоагрегата, разработана структурно-функциональная схема системы безопасного управления и руководство по эксплуатации многотопливного котлоагрегата для утилизации газов шахт и горных отводов. Разработан СОУ-П-«Правила безопасности управления станцией «ДЛЯ», котлоагрегатами для утилизации газов угольных шахт ТП «Горецкуголь», в которых в дополнение к требованиям «Правил безопасности угольных шахт Украины» (НПАОП 10.0–1.01–10) и СОУ 10.1 00174088.001 – 2004, нормирующих недопустимую объемную концентрацию метана в утилизируемой смеси шахтного метана 3,5–25%, включена предельная концентрация кислорода (ПКК), при которой утилизируемая смесь взрывобезопасна при любой концентрации метана, значение которой должно быть меньше или равно 7%. На основе ПКК установлены критерии безопасности управления инертизационной технологией утилизации метановоздушных смесей.

Ключевые слова: безопасность технологических процессов, углеводородные газы, информатизация, когенерация, параметры метановоздушной смеси, структурно технологические и функциональные схемы.

Abstract

Stasevich R.K. "Development of scientific and technical bases for safety management of technological processes of sequestration and utilization of hydrocarbon gases" - Manuscript work.

Thesis for a of Doctor of technical sciences degree in specialty 05.26.01 - Labor Protection. Institute of Geotechnical Mechanics named by M.S. Polyakov of National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipro, 2018.

The dissertation is devoted to the development of scientific and technical foundations for the safe and efficient production and utilization of hydrocarbon gases.

The regularities determining the explosion-proof boundaries of the ratio of the concentration of oxygen and methane in the ranges of methane concentrations from 0 to 5%, from 5 to 20% and from 20 to 100% have been obtained, which made it possible to establish the criteria for explosion-proof information control by the process of coal mine methane inertithation in extracting it from isolated the volumes of mines, including their gasification and degassing and in gas-mixing regulating points in preparation for its utilization.

A generalized mathematical model of a boiler unit was developed on the basis of complex frequency characteristics of its dynamic links with the help of which a algorithm was developed for the first time for issuing preemptive influences simultaneously across all interconnected information channels, eliminating the risk of emergency situations in the boiler when disturbances exceeding the target values occur. Experimental industrial design of the "DIYA" control station has been put on industrial tests as part of an automated process control system for boiler units of the ASU TP of boiler unit of joint-stock company of "DniproAzot".

Regularities in reducing the formation of poisonous gases in the boiler furnace from the oxygen concentration in the flue gases measured behind the superheater and the poisonous gases entering the premises of the cogeneration plant from overpressure in the furnace are obtained, which made it possible to establish labor protection criteria for reducing the formation of poisonous nitric oxide during information management of the fuel ratio/air according to the oxygen concentration in the flue gases and overpressure in the furnace.

Structural and functional schemes of adaptive safe control and emergency protection were developed, which served as the basis for the technical assignment for the creation of an ASU TP boiler unit №9 for utilization of blast furnace gas and coke oven gas at the joint-stock company of "Dniprovsky Metcombinat"

The explosion-proof parameters for the preparation of gases for combustion, labor protection to prevent the spread of poisonous gases and trouble-free operation of the boiler unit, the structural-functional scheme of the safe management system and operating instructions for the multi-fuel boiler unit for utilization of gases from mines and mining alloys have been justified. The SOC-E "Safety Rules for the control of the "DIIA" station, the boiler units for the utilization of coal mines gas from the State Enterprise "Toretskvugillya" was developed, in which, in addition to the requirements of the Safety Regulations for Coal Mines of Ukraine and SOC 10.1 00174088.001–2004, normalizing the unacceptable volume concentration of methane in the utilized mixture of mine methane 3.5–25%, the limiting oxygen concentration

is included permissible concentration), in which the recyclable mixture is explosion-proof at any concentration of methane, the value of which must be less than or equal to 7%. On the basis of the permissible concentration, safety criteria have been established for managing the inertization technology for the utilization of methane-air mixtures.

Keywords: safety of technological processes, hydrocarbon gases, informatization, cogeneration, parameters of methane-air mixture, structural technological and functional schemes.

Read-Only