

© Л.Н. Ширін<sup>1</sup>, С.Є. Барташевський<sup>1</sup>, Р.Р. Єгорченко<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

## ОСОБЛИВОСТІ МОНІТОРИНГУ ТА ПІДТРИМКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ШАХТНИХ ДЕГАЗАЦІЙНИХ ГАЗОПРОВІДІВ В УМОВАХ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ГІРНИЧИХ РОБІТ

© L. Shyrin<sup>1</sup>, S. Bartashevsky<sup>1</sup>, R. Yehorchenko<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

### SPECIFIC FEATURES OF MONITORING AND MAINTAINING OF TECHNICAL CONDITIONS OF MINE DEGASSING PIPELINES IN TERMS OF MINING INTENSIFICATION

**Мета.** Удосконалення методів контролю та підтримки технічного стану шахтних дегазаційних газопроводів для оперативної боротьби з утворенням в них механічних відкладень та підвищення ефективності процесу транспортування метаноповітряної суміші у складних гірничо-технічних умовах експлуатації.

**Методика дослідження.** Розглянуто умови функціонування шахтної газотранспортної системи та оперативний контроль її експлуатаційних показників, а також методичний супровід та керування технічним станом об'єкта в реальних умовах шахтного середовища. Визначено підходи до оцінки, контролю та управління технічним станом газотранспортних систем в умовах впливу специфічних факторів шахтного середовища та розроблено інноваційні технічні рішення для підвищення експлуатаційних показників дегазаційної системи.

**Результати дослідження.** За результатами оцінки сучасних тенденцій у галузі моніторингу надійності високонавантажених конструкцій встановлено, що в зарубіжній практиці впроваджується принципово новий підхід до забезпечення безаварійної експлуатації трубопровідного транспорту, що дозволяє визначити локальну втрату металу, точкову корозію та придатність системи для подальшого використання. Розроблено технічні рішення для підвищення експлуатаційних показників ШДС, а саме спосіб визначення місць розгерметизації системи та спосіб герметизації фланцевих з'єднань.

**Наукова новизна.** Обґрунтовано нові підходи щодо моніторингу та підтримки технічного стану шахтного дегазаційного газопроводу (ШДС) в складних гірничо-геологічних умовах розробки газоносних вугільних пластів та запропоновано інноваційні технічні рішення щодо їх модернізації.

**Практичне значення.** Розроблено програму і методику проведення моніторингу та діагностики шахтних дегазаційних газопроводів з використанням інноваційних технічних рішень для оперативного визначення місць розгерметизації їх стикових з'єднань та підвищення пропускної спроможності при поточній експлуатації.

**Ключові слова:** дегазація, підземний вакуумний газопровід, метаноповітряна суміш, моніторинг, пропускна спроможність, вакуум насосна станція.

**Актуальність.** При інтенсивній розробці газоносних вугільних пластів у складних гірничо-геологічних умовах актуальним питанням залишається вдосконалення методів технічного обслуговування шахтних дегазаційних систем та

безпосередньо вплив деформацій гірничого масиву на газопроводи. З метою підвищення надійності технологічних процесів вилучення та транспортування шахтного метану (ШМ) у підземних виробках складної конфігурації та забезпечення безпечних умов праці необхідними елементами експлуатованих шахтних дегазаційних систем (ШДС) є оперативний контроль технічного стану системи, а також методичний супровід та управління станом об'єкта у реальних умовах шахтного середовища

Відомо [1], що ефективність функціонування шахтної дегазаційної системи залежить від експлуатаційних показників і технічного стану трубопроводу, що постійно піддається впливу деформацій гірничого масиву, а також кваліфікації працівників, які здійснюють їх обслуговування та ремонт.

Традиційно моніторинг технічного стану дегазаційного трубопроводу виконуються спеціальною службою, яка входить до складу дільниці вентиляції та техніки безпеки (ВТБ), або самостійною службою, створеною з ініціативи керівництва шахт [2]. Слід зазначити, що у діючих інструкціях з експлуатації та контролю технічного стану ШДС відсутній перелік обов'язкових робіт з моніторингу та рекомендації щодо їх проведення. У зв'язку з цим для виконання моніторингу транспортно-технологічних процесів та операцій з обслуговування, діагностики та контролю ШДС використано традиційні методи та інноваційні технічні рішення, що рекомендуються в нафтогазовій галузі для проведення досліджень параметрів лінійних газопроводів та їх компонентів при поточній експлуатації.

Каптування метаноповітряної суміші по вакуумним дегазаційним трубопроводам суттєво відрізняється від традиційних засобів транспортування природного газу по магістральним газопроводам. Основні особливості полягають у тому, що шахтні дегазаційні газопроводи, споруджені в підземних виробках, постійно змінюють просторове положення у профілі та плані під впливом деформацій гірничого масиву. Непрогнозовані зміни просторового положення дегазаційних газопроводів (ДГ) провокують механічні пошкодження металевих труб, порушення герметичності їх стикових з'єднань та механічні відкладення вугільного і породного пилу.

Експериментально підтверджено [3], що в пошкоджених ділянках вакуумного газопроводу спостерігаються зони потрапляння шахтного повітря і пилу, які знижують концентрацію метаноповітряної суміші та її якість. Процес всмоктування шахтного повітря з атмосфери гірничих виробок через нещільності стикових з'єднань підземних трубопроводів кардинально відрізняється від вивільнення природного газу під тиском в атмосферу через свищі в магістральних газопроводах.

З урахуванням вищевикладеного метою дослідження є вдосконалення методів контролю технічного стану шахтних дегазаційних газопроводів для оперативного прогнозування зон утворення механічних відкладень в дегазаційних газопроводах та підвищення ефективності процесу транспортування метаноповітряної суміші в складних гірничотехнічних умовах експлуатації.

**Аналіз сучасних досліджень і публікацій.** Аналіз нормативної документації України щодо організації моніторингу та оцінки технічного стану шахтних

дегазаційних трубопроводів показав, що на даний момент у гірничій галузі відсутні технічні, методичні та нормативно-правові документи за даним напрямом.

В умовах сьогодення сталеві труби, що поставляються на шахти для дегазації, виготовлені з простої вуглецевої сталі без спеціального покриття. При експлуатації дегазаційних газопроводів в підземних виробках металеві труби піддаються не тільки деформаціям гірничого масиву але й негативному впливу агресивного шахтного середовища. Як наслідок просторові вигини газопроводів і відкладення в них механічних домішок, а також внутрішня та поверхнева корозія металевих труб (рис.1) і витончення товщини їх стінок.



Рис. 1. Корозія внутрішньої стінки шахтного газопроводу

За результатами оцінки сучасних тенденцій у сфері моніторингу надійності високонавантажених конструкцій встановлено, що у зарубіжній практиці впроваджується принципово новий підхід [4] до забезпечення безаварійної експлуатації трубопровідного транспорту. Методологія, покладена в його основу, отримала назву «Система управління безпекою» (FFS) і дозволяє визначити придатність приладів для подальшого використання і дозволяє оцінити загальну втрату металу в дегазаційній системі, локальну втрату металу і точкову корозію.

Оцінка придатності до експлуатації FFS підтверджується кількома стандартами [5, 6], розробленими Американським інститутом нафти (API).

Дані стандарти містять рекомендації щодо методології перевірок, які необхідно регулярно проводити з метою визначення безпеки використання як матеріалу, так і частин обладнання.

Ідентичні положення про технічний стан пошкоджених корозією дегазаційних газопроводів розглянуто в роботах [6, 7]. Автори відзначають, що за динамікою витончення товщини стінки трубопроводу можна встановити швидкість корозії стінок трубопроводу. Розрахунковий залишковий ресурс у разі визначається залежністю

$$T = \frac{S_{\phi} - S_p}{a_{cp}}, \quad (1)$$

де:  $S_{\phi}$  – фактична товщина стінки елемента, мм;  $S_p$  – розрахункова мінімально допустима товщина стінки за умовою міцності або стійкості, мм;  $a_{cp}$  – середня швидкість поверхневої корозії (ерозії чи зносу), мм/г.

Відповідно цих рекомендацій, залишковий ресурс металу газо-нафтопроводів та облік корозійного його зносу розраховується за результатами аналізу регулярних вимірів товщини стінок труб, а також оцінки технічного стану ділянки дефектів (елемента).

У роботах [2, 8] детально розглянуті методи евакуації газу з магістрального газопроводу, що підлягає плановим чи аварійним ремонтним роботам. Однак методичні рекомендації авторів застосовні лише для магістральних газопроводів природного газу та не можуть бути використані при спорудженні підземних дегазаційних систем.

Порівняльний аналіз специфіки видобутку природного газу та метану вугільних пластів показав, що транспортно-технологічні схеми вилучення та утилізації метану, що застосовуються на шахтах, істотно відрізняються від традиційних схем доставки природного газу. У зв'язку з цим, методи оцінки, контролю та управління технічним станом шахтних дегазаційних газопроводів, раніше запозичені з нафтогазової галузі, здебільшого виявилися малоефективними та вимагають виконання спеціальних досліджень та розробки інноваційних технічних рішень щодо їх удосконалення.

**Постановка задачі і методи дослідження.** Керуючись міжнародними стандартами та сучасними вимогами щодо технічного моніторингу магістральних трубопроводів [5], метою цього дослідження є вдосконалення методів обслуговування та підтримки технічного стану шахтного дегазаційного трубопроводу в умовах інтенсифікації гірничих робіт.

У відповідність до структурно-логічної схеми дослідження для реальних умов шахтного середовища були розглянуті методи та підходи щодо оцінки технічного стану трубопровідних систем, які діють у суміжних галузях і дозволяють проводити оперативне оцінювання безпечної роботи системи, виявляти дефекти обладнання та виконувати ремонт або заміну ділянок траси трубопроводу.

Діючі галузеві та міжнародні методи моніторингу технічного стану магістральних газо-нафтопроводів послужили базою для формування системи заходів для детального оцінювання особливостей функціонування дегазаційних газотранспортних систем в реальних умовах шахтного середовища та розробки інноваційних технічних рішень щодо їх удосконалення.

**Завдання досліджень:**

- встановлення особливостей моніторингу експлуатаційних показників та ефективності роботи ШДС в складних гірничотехнічних умовах експлуатації;
- розробка інноваційних технічних рішень щодо підвищення експлуатаційних показників шахтних дегазаційних газопроводів.

**Основний матеріал.** На діючих шахтах вугільної галузі приділяється особлива увага безпечному вилученню та транспортуванню метаноповітряної суміші в підземних виробках до вакуумних насосних станцій (ВНС).

У той же час відсутні рекомендації щодо моніторингу технічного стану дегазаційного трубопроводу, ефективного пошуку його дефектів та їх усунення. Розробка спеціальної системи моніторингу технічного стану шахтних газотран-

спортних систем є важливим завданням, що дозволяє визначити рівень зношеності дегазаційного обладнання, ефективність роботи ШДС та прогноз терміну служби системи в складних гірничотехнічних умовах експлуатації.

Система моніторингу шахтних дегазаційних газопроводів є сукупністю різних методів та засобів контролю їх технічного стану, рекомендованих галузевими нормативними документами для всіх стадій експлуатації дегазаційної системи.

Моніторинг технічного стану газопроводу виконується для перевірки працездатності дегазаційної системи, виявлення змін режимів експлуатації та умов взаємодії з елементами гірничих виробок. Експериментально доведено, що плановий контроль та діагностика в сукупності з моніторингом і застосуванням технічних засобів, надають можливість прогнозувати залишковий ресурс газопроводу, оцінювати небезпеку (ризик) його подальшої експлуатації, робити висновки щодо необхідності ремонту або реконструкції, визначати типи та обсяги відновлювальних робіт, а також вносити пропозиції щодо зміни технологічного режиму експлуатації (рис. 2).

Експериментально встановлено, що забезпечити герметичність і ефективну роботу вакуумного дегазаційного газопроводу в складних умовах експлуатації можливо шляхом постійного моніторингу технічного стану складових транспортно-технологічної системи «шахтний газопровід – гірничча виробка» [1]. Доведено також, що необхідність проведення постійного моніторингу технічного стану підземних газопроводів особливо актуальна для шахт, що розробляють пласти з інтенсивними притоками агресивних вод та підшоною, схильною до здимання.

Останнє підтверджено результатами досліджень технічного стану дегазаційних систем ШУ «Покровське», де були зафіксовані вигини трубопроводу та численні нарости продуктів корозії на рамах кріплення підземних виробок і прокладених в них трубопроводах. Детальні обстеження пошкоджених корозією ділянок трубопроводу дозволили виявити часткове зменшення товщини стінок металевих труб, наявність каверн та раковин, які провокують утворення тріщин, а також підсмоктування шахтного повітря та механічних домішок з атмосфери гірничих виробок.

Слід зазначити, що проблема негативного впливу корозії на технічний стан шахтного дегазаційного газопроводу маловивчена.

В інструкції [3] розрахунок швидкості корозії стінок судин і трубопроводів проводиться на базі принаймні двох вимірювань товщини стінок за формулою

$$P_e = \frac{365 \sum_i^n (\Delta S_1 + \Delta S_2 + \dots + \Delta S_n)}{n \cdot T_e}, \quad (2)$$

де:  $P_e$  – швидкість корозії в контрольованій частині судини або трубопроводу в умовах експлуатації, мм/рік;  $\Delta S$  – різниця товщин стінок у точках за період контрольних вимірювань, мм, індекси 1, 2, ..., n означають номери контрольних точок;  $T_e$  – час експлуатації між контрольними вимірами, доба; n – кількість контрольних точок виміру (щонайменше трьох) з кожного елемента дегазаційного трубопроводу (труба, відведення, перехідник).

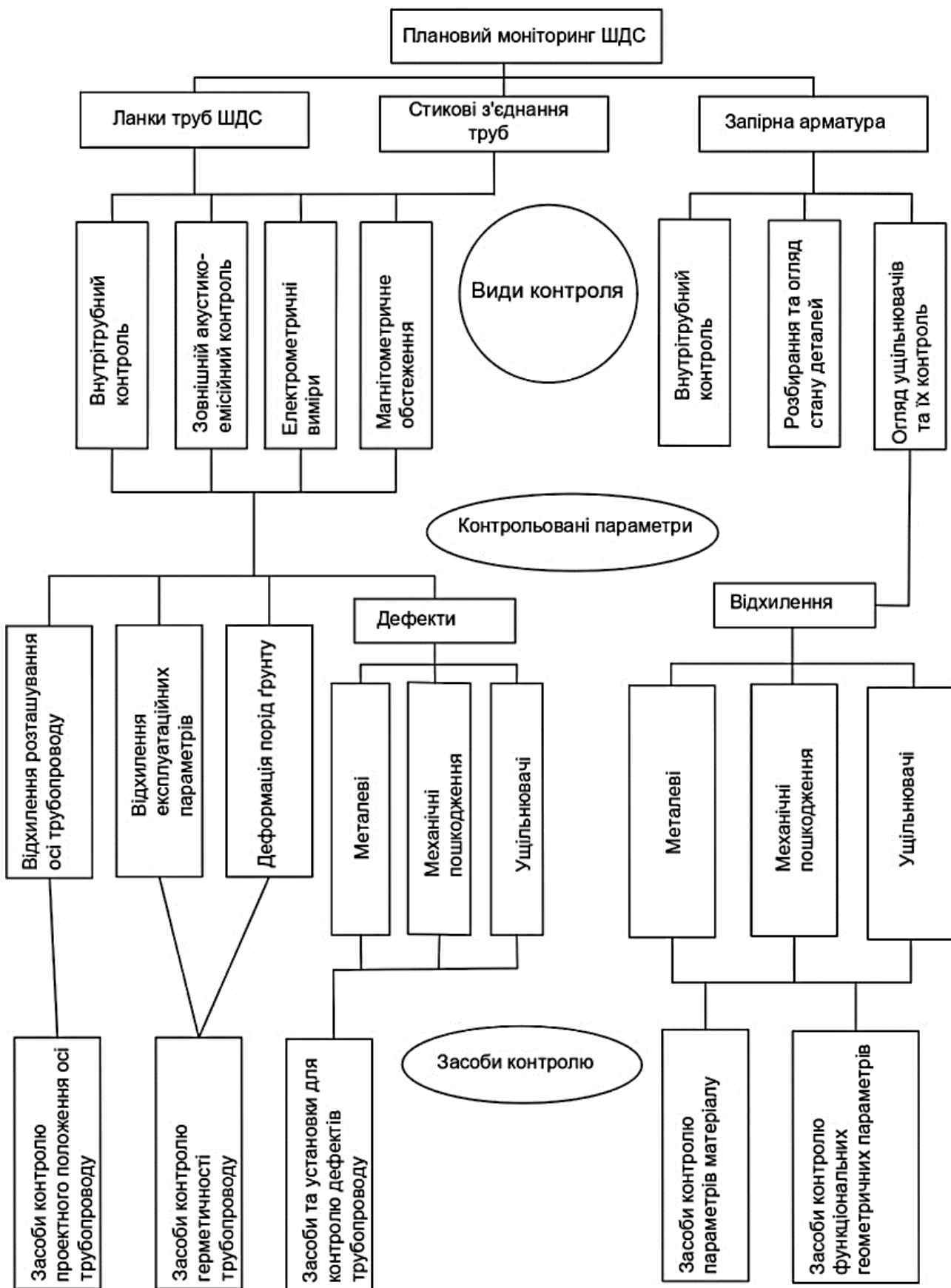


Рис. 2. Класифікація видів і засобів контролю та діагностики технічного стану шахтного дегазаційного газопроводу

У реальних умовах шахтного середовища оперативно встановити швидкість розвитку корозії труб, зони утворення тріщин та підсмоктування через них шахтного повітря дуже складно. Місця потрапляння метаноповітряної суміші в шахтний ДГ переважно визначаються шляхом моніторингу герметичності фланцевих з'єднань ланок трубопроводу, а якісні показники метаноповітряної суміші, за результатами контролю концентрації метану, в місцях її виходу з свердловини та на вході до вакуум-насосної станції.

Відповідно до [4] допустиме підсмоктування шахтного повітря в вакуумний дегазаційний газопровід визначається показником негерметичності, який дорівнює  $1 \text{ м}^3/\text{км}$ , що у більшості випадків не відповідає дійсності в результаті негерметичності стикових з'єднань труб. Параметр, що характеризує реальну негерметичність вакуумного газопроводу, рекомендовано визначати залежністю:

$$B_p = \frac{\left(Q_2 - \frac{a_{M2} \cdot Q_2}{a_{M1}}\right) \rho_B}{(p_1 - p_2) a_{M1}}, \quad (3)$$

де:  $B_p$  – показник, що характеризує реальну негерметичність газопроводу, що припадає на одиницю довжини ділянки, при зміні в ньому вакууму на один Паскаль;  $\rho_B$  – густина навколишнього повітря на ділянці,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $a_{M1}$ ,  $a_{M2}$  – об'ємний вміст метану в метаноповітряної суміші, що транспортується відповідно на початку і кінці ділянки, дол. од.;  $p_1$ ,  $p_2$  – тиск у газопроводі відповідно на початку та наприкінці ділянки, Па;  $Q_2$  – об'ємна витрата метаноповітряної суміші наприкінці ділянки.

Для реалізації методики визначення показника негерметичності вакуумних дегазаційних газопроводів необхідно вести постійний контроль за втратами тиску по довжині газопроводу, що в умовах інтенсивної розробки газоносних вугільних пластів технічно складно.

Слід зазначити, що на діючих шахтах вугледобувної галузі оцінкою технічного стану газопроводів займається персонал ділянки ВТБ, в обов'язках якого виміри профілю траси не передбачені. З цієї причини зміни показників профілю траси газопроводу діагностуються візуально, а технічне обслуговування та ремонт виконуються без застосування спеціального обладнання.

Ліквідація наслідків здирання порід ґрунту виконується робітниками ділянки РГВ, які не несуть відповідальності за технічний стан трубопроводів, укладених у протяжних гірничих виробках. Тому сталеві трубопроводи, укладені в підземних виробках зазвичай піддаються вирівнюванню з використанням механічних засобів, що призводить в більшості випадків до їх механічних пошкоджень.

Практика підтверджує [10], що ефективність експлуатації сталевих трубопроводів можна значно підвищити, знижуючи потрапляння шахтного повітря і коефіцієнт гідравлічного опору, тобто. шляхом герметизації стикових з'єднань труб, виключення викривлень траси газопроводу та механічних відкладень у місцях його вигину.

У реальних умовах шахтного середовища оперативне фіксування місця підсмоктування метаноповітряної суміші без застосування спеціальних методів та

обладнання практично неможливо. За кордоном відомий спосіб пошуку витоків газу на трубопроводах та їх з'єднаннях, шляхом нанесення на стикові з'єднання індикаторних речовин – мильних або інших піноутворюючих розчинів, та візуальне визначення локацій бульбашок у місцях розгерметизації [11].

До недоліків зазначеного способу слід віднести можливість пошуку місць витoku тільки на трубопроводах з внутрішнім тиском, вище за атмосферний, що не відповідає умовам експлуатації трубопроводів шахтних дегазаційних свердловин, де завжди є розрідження метаноповітряної суміші в трубопроводі, в результаті цього замість витoku газу, спостерігається приплив рудникового повітря у трубопровід, що робить неможливим візуальний контроль з використанням піноутворюючих розчинів.

Враховуючи технічні та експлуатаційні особливості ШДГ було розроблено спосіб визначення місць розгерметизації системи. Даний спосіб включає визначення зон розгерметизації за показником зміни тиску (рис.3) шляхом попереднього нанесення зрідженого азоту на поверхню трубопроводу, в процесі якого визначають зони розгерметизації за всмоктуванням парів азоту [12]. Для моніторингу герметичності ДГ оператор проводить розпилення зрідженого азоту як індикаційну речовину. При температурі  $-200^{\circ}$  скраплений азот випаровується, утворюючи навколо фланцевого з'єднання туман. При порушенні герметичності фланцевого з'єднання пари рідкого азоту за рахунок перепаду між атмосферним тиском у виробці та тиском у трубопроводі починають всмоктуватись у місці розгерметизації, дозволяючи проводити технічний моніторинг безперервно.

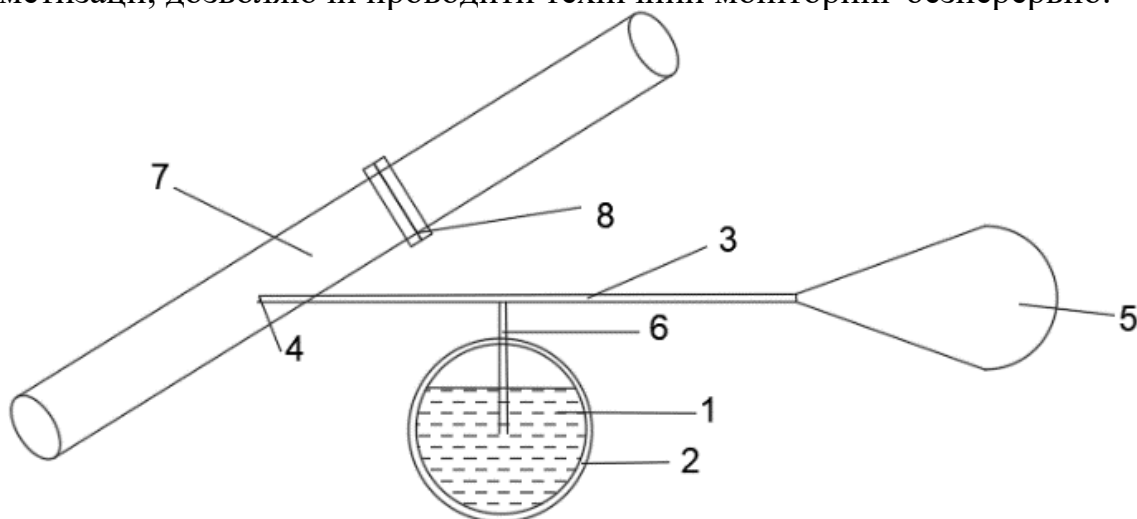


Рис. 3. Визначення місць розгерметизації системи:

- 1 – зріджений азот; 2 – посудина Дьюара; 3 – трубка; 4 – кран; 5 – груша;  
6 – трубка; 7 – трубопровід; 8 – фланець

Перевагою розробленого способу є можливість оперативного визначення місць розгерметизації трубопроводів зі зниженим внутрішнім тиском. Рекомендований спосіб дозволяє в процесі моніторингу наносити на поверхню газопроводу індикаційну речовину, за всмоктуванням якої можливо визначати не тільки місця розгерметизації газопроводу, але й своєчасно контролювати зміни якісних показників, каптованої метаноповітряної суміші в процесі її транспортування.



Відповідно до програми досліджень для обґрунтування оперативних способів ліквідації потрапляння рудникового повітря в систему ШДГ було проведено аналіз наукових праць та технічних рішень у даному напрямку.

Результати оцінки інноваційних технічних рішень дозволили встановити аналоги у суміжних галузях промисловості. В автомобільній галузі діє спосіб герметизації пошкоджених камер шин транспортних засобів шляхом заливання полімерних сумішей з дрібними волокнами, які при русі колеса рівномірно розподіляються по внутрішній поверхні, а у разі його пошкодження зтягуються повітрям у пробоїну та полімеризуються [13].

До недоліків зазначеного способу слід віднести розподіл полімеру тільки по внутрішній поверхні катання шини, тоді як борти залишаються незахищеними. Крім того, таким чином можна герметизувати об'єкти з внутрішнім тиском, вищим за атмосферний, що не відповідає умовам експлуатації вакуумних трубопроводів ШДС.

Відомий також спосіб герметизації фланцевих з'єднань труб магістральних газопроводів, який включає механічне з'єднання фланців за допомогою болтових з'єднань і нанесення на них синтетичних твердуючих сумішей [14]. До недоліків такого способу слід віднести складність пошуку місць порушення герметичності трубопроводу, високу трудомісткість ручних операцій, значну витрату дорогих і шкідливих для здоров'я персоналу сумішей та неможливість їх використання в шахтних умовах.

З урахуванням вищевикладеного для специфічних умов шахтного середовища розроблено безпечний спосіб герметизації порушених фланцевих з'єднань дегазаційних трубопроводів [15], який дозволяє оперативно проводити технічний моніторинг стикових з'єднань і у разі встановлення підсмоктування рудникового повітря усунути їх розгерметизацію (рис.4).

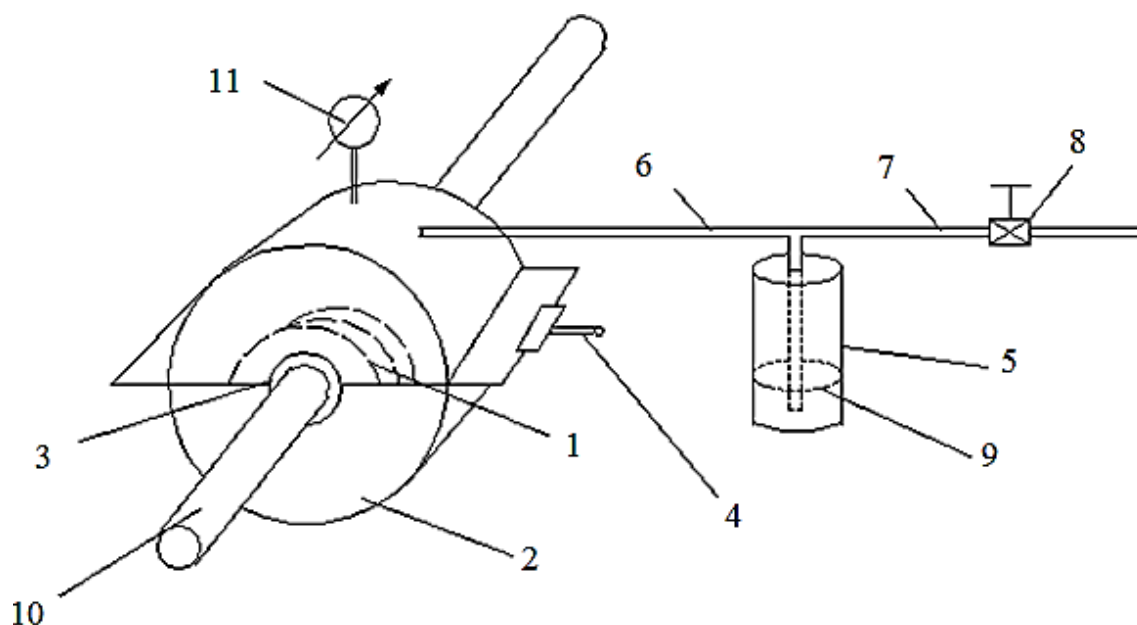


Рис. 4. Спосіб герметизації фланцевих з'єднань дегазаційних трубопроводів:  
 1 – фланець; 2 – захисний кожух; 3 – ущільнювач; 4 – фіксатор;  
 5 – пульверизатор; 6,7 – трубки; 8 – кран; 9 – полімерна суміш

Для реновації порушених стикових з'єднань на дегазаційному трубопроводі 10 фіксатором 4 закріплюється захисний кожух 2, в порожнину якого за допомогою пульверизатора 5 подається полімерна суміш 9, яка, під дією вакууму, всмоктується в газопровід і полімеризує місця розгерметизації.

Застосування захисного кожуху дозволяє ізолювати пошкоджені стикові з'єднання від атмосфери шахтових виробок, прискорити процес герметизації та уникнути контакту з полімерною сумішшю. Після затвердіння суміші проводиться контрольний моніторинг стикових з'єднань дегазаційного газопроводу і реєстрація його технічного стану.

**Висновки.** При інтенсивній розробці газоносних вугільних пластів зазначені підходи щодо оцінки, контролю та управління експлуатаційними та якісними показниками шахтних дегазаційних газопроводів складають основу системи моніторингу їх технічного стану і формують базу вихідних даних для подальшого визначення особливостей функціонування газотранспортних систем в реальних умовах шахтного середовища.

По результатам оцінки технічного стану діючих дегазаційних газопроводів встановлені особливості їх функціонування в реальних умовах шахтного середовища, що дозволило сформулювати вимоги до їх моніторингу та підтримки експлуатаційних показників.

Для підвищення експлуатаційних показників діючих шахтних дегазаційних систем розроблені інноваційні технічні рішення щодо визначення місць розгерметизації газопроводу та спосіб реновації порушених стикових з'єднань.

#### Перелік посилань

1. Ширін, Л.Н., Єгорченко, Р.Р., & Сергієнко, М.І.(2021). Особливості діагностики технічного стану транспортно – технологічної системи «шахтний газопровід – гірнична виробка. *Науково-технічний журнал «ГЕОІНЖЕНЕРІЯ»*,.6, 28-37. <https://doi.org/10.20535/2707-2096.6.2021.241823>
2. Бунько Т.В., Сафонов В.В., & Мацук З.М. (2018). Спосіб евакуації природного газу з ділянки магістрального газопроводу, яка підлягає ремонту. *Геотехнічна механіка; міжвід. зб. наук. праць*, 140, 143-157. <http://dspace.nbu.gov.ua/handle/123456789/174411>
3. Авдеєнко, А. П., Поляков, О. Є., & Холмовой, Ю. П. (2008). *Корозія та захист металів. навч.-метод. посіб.* Краматорськ: ДДМА.
4. Система управління безпекою (n.d.). <https://www.corrosionpedia.com/performing-a-fitness-for-service-assessment-of-pressure-vessels/2/7279>
5. API RP 579-1 (n.d.). [https://www.techstreet.com/standards/api-rp-579-1-asme-ffs-1?product\\_id=1924300](https://www.techstreet.com/standards/api-rp-579-1-asme-ffs-1?product_id=1924300)
6. BS 12/30210113 DC (n.d.). <https://www.techstreet.com/searches/33201653>
7. Гриб, В.В. (2002). *Диагностика технического состояния оборудования нефтегазо-химических производств.* Изд-во ЦНИИТЭнефтехим.
8. Митрофанов, А. В., & Киченко, С. Б. (2001). Расчет остаточного ресурса трубопроводов, эксплуатирующихся на объекте предприятия «Оренбурггазпрома». *Безопасность труда в промышленности*, 3, 30-32.
9. Малашкина, В.А. (2020). Мониторинг эффективности системы дегазации угольной шахты – основа безопасного труда горнорабочих. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, 6-1, 38-45. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2020-61-0-38-45>
10. Бунько, Т.В., Сафонов, В.В., Стрежекуров, Е.Є., & Мацук, З.М. (2018). Безпека дальнього транспорту газу. *Геотехнічна механіка; міжвід. зб. наук. праць*, 139, 106-115.

11. Овчинников, В.В. (2017). *Дефектация сварных швов и контроль сварных соединений: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования*. Издательский центр «Академия» изд.
12. Денищенко, О.В., Барташевський, С.Є., & Ширін, Л.Н. (2019). *Спосіб визначення місця розгерметизації шахтних дегазацийних трубопроводів*. (пат. 131999 на корисну модель Україна).
13. Роговцев, В.Л. (1989). *Устройство и эксплуатация автотранспортных средств*. Транспорт.
14. Бойка, В.С., Кондрата, Р.М., & Яремійчука, Р.С. (1996). *Довідник з нафтогазової справи*. Львів.
15. Денищенко, О.В., Барташевський, С.Є., Посунько, Л.М. (2018). *Спосіб герметизації дегазацийних шахтних трубопроводів* (пат. на винахід Україна № а201705693).

### АННОТАЦИЯ

**Цель.** Совершенствование методов контроля и поддержания технического состояния шахтных дегазационных газопроводов для оперативной борьбы с образованием в них механических отложений и повышения эффективности процесса транспортировки метановоздушной смеси в сложных горнотехнических условиях эксплуатации.

**Методика исследования.** Рассмотрены условия функционирования шахтной газотранспортной системы и оперативный контроль ее эксплуатационных показателей, методическое сопровождение и управление техническим состоянием объекта в реальных условиях шахтной среды. Определены подходы к оценке, контролю и управлению техническим состоянием газотранспортных систем в условиях воздействия специфических факторов шахтной среды и разработаны инновационные технические решения для повышения эксплуатационных показателей дегазационной системы (ШДС).

**Результаты исследования.** По результатам оценки современных тенденций в области мониторинга надежности высоконагруженных конструкций установлено, что в зарубежной практике внедряется принципиально новый подход к обеспечению безаварийной эксплуатации трубопроводного транспорта, что позволяет определить локальную потерю металла, точечную коррозию и пригодность системы для дальнейшего использования. Разработаны технические решения для повышения эксплуатационных показателей ШДС, а именно способ определения мест разгерметизации системы и способ герметизации фланцевых соединений.

**Научная новизна.** Обоснованы новые подходы мониторинга и поддержания технического состояния шахтного дегазационного газопровода в сложных горно-геологических условиях разработки газоносных угольных пластов и предложены инновационные технические решения по их модернизации.

**Практическое значение.** Разработаны программа и методика проведения мониторинга и диагностики шахтных дегазационных газопроводов с использованием инновационных технических решений для оперативного определения мест разгерметизации их стыковых соединений и повышения пропускной способности при текущей эксплуатации.

**Ключевые слова:** дегазация, вакуумный подземный газопровод, метановоздушная смесь, мониторинг, пропускная способность, вакуум насосная станция.

### ABSTRACT

**Purpose** is to improve methods to monitor and maintain technical state of mine degassing pipelines for expeditious dealing with formation of mechanical deposition within them, and improving the efficiency of methane-air transportation in the context of the complicated mining conditions.

**Research methods.** Operating conditions of a mine gas transmission system have been considered as well as operational control of its performance in addition to methodological support and monitoring

of technical state of an object under actual mine conditions. Approaches to assess, control, and monitor technical state of such gas transmission systems have been determined depending upon influence of specific factors. Innovative engineering solutions have been developed to improve performance of a mine degassing system (MDS).

**Findings.** Evaluation of the current tendencies in the field of monitoring of reliability of highly loaded structures has made it possible to identify the innovative approach introduced globally to provide safe operation of pipelines helping define local metal losses; pitting corrosion; and the system suitability for its further use. Engineering solutions have been developed to improve MDS performance; namely, methods to determine depressurization areas of the system, and techniques to seal flange connections.

**Originality.** New approaches to monitoring and maintaining the technical condition of the mine degassing gas pipeline in difficult mining and geological conditions of development of gas-bearing coal seams are substantiated and innovative technical solutions for their modernization are proposed.

**Practical implications.** Program has been developed to monitor and detect mine degassing pipelines using innovative engineering solutions for operative determination of depressurization areas of their connections, and capacity improvement in terms of the current operation.

**Keywords:** *degassing, underground vacuum gas line, methane-air mixture, monitoring, capacity, vacuum pumping station.*