

12. Benyoucef, L. (Eds.). (2020). Reconfigurable Manufacturing Systems: From Design to Implementation. *Springer Series in Advanced Manufacturing*. Springer Cham.
13. Zhang, Z. X. (2016). *Rock fracture and blasting. Theory and applications*. Butterworth-Heinemann.
14. Pavlychenko, A.V., Koroviaka, Ye.A., Ihnatov, A.O. & Davydenko, A.N. (2021). *Hidrohadodynamichni protsesy pry sporudzhenni ta ekspluatatsii sverdlovin: monograph [Hydro-gas-dynamic processes during the construction and operation of wells]*. Dnipro: Dnipro University of Technology [in Ukrainian].
15. Ihnatov, A., Ratov, B., Tkachenko, Ya., et al. (2022). Rozrobka metodychnykh ta konstruktyvnykh osnov burinnia sverdlovin iz zastosuvanniam novykh typiv dolit [Development of methodological and constructive foundations for drilling wells using new types of bits]. *Collection of research papers of the NMU*, 2(69), 218–230 [in Ukrainian].
16. Ihnatov, A.O. (2015). Patent of Ukraine 109273 [in Ukrainian].
17. Modi, P.N., & Seth, S.M. (2019). *Hydraulics and Fluid Mechanics Including Hydraulics Machines*. Standard Book House.
18. Ihnatov, A.O., Koroviaka, Ye.A., Haddad, J., et al. (2022). Experimental and theoretical studies on the operating parameters of hydromechanical drilling. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu – Scientific Bulletin of the National Mining University*, 1, 20–27.
19. Koroviaka, Ye.A. & Ihnatov, A.O. (2020). *Prohresyvni tekhnolohii sporudzhennia sverdlovin: monograph [Advanced well construction technologies]*. Dnipro: Dnipro University of Technology [in Ukrainian].
20. Sharma, K.K., & Sharma L.K. (2016). *A Textbook of Physical Chemistry*. Vikas Publishing House.
21. Yasmin, A., & Yasin, S.M. (2020). *Advanced Practical Physical Chemistry*. Noor Publisher.
22. Hagi, A.K (Eds.). (2021). *Physical Chemistry and Its Interdisciplinary Applications*. Nova Science Publishers.

УДК 622.648: 621.643.412

DOI: 10.33839/2708-731X-25-1-65-74

Л.Н. Ширін, д-р. техн. наук; **Р.Р. Єгорченко**, асп.

*Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»,
пр. Д. Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, e-mail: yehorchenko.r.r@ntu.one*

ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕНОВАЦІЇ ШАХТНИХ ДЕГАЗАЦІЙНИХ ГАЗОПРОВІДІВ

Діючі дегазацийні газопроводи, укладені в дільничних пластових виробках, постійно змінюють своє просторове положення, що призводить до порушень герметичності системи та руйнування стикових з'єднань труб. Геомеханічні процеси, що відбуваються в масиві гірських порід, та активне здимання порід ґрунту виробки провокують втотно-корозійне руйнування елементів дегазацийних газопроводів.

У статті розглядаються існуючі методи технічного обслуговування та реновації дегазацийних газопроводів для розробки інноваційних технічних рішень щодо підвищення експлуатаційних показників шахтних дегазацийних систем.

Основні напрямки проведення досліджень полягають в аналізі існуючих методів обслуговування та ремонту дегазацийних газопроводів з метою розробки оперативних методів оцінки їх технічного стану та розробки інноваційних технічних рішень для підвищення надійності в реальних умовах шахтного середовища.

Запропонований технологічний комплекс здатний забезпечити підвищення безпечності та якості обслуговування і реновації шахтних дегазаційних газопроводів, пошкоджених в процесі експлуатації.

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

Вступ

При інтенсивній розробці газоносних вугільних пластів актуальним питанням сьогодення є вдосконалення методів технічного обслуговування шахтних дегазаційних систем з метою підвищення їх надійності та забезпечення безпечних умов експлуатації. Ефективність функціонування шахтної дегазаційної системи (ШДС) залежить від технічного стану газопроводу, умов його експлуатації та кваліфікації обслуговуючого персоналу.

Аналіз [1] 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.

Дослідженнями [2] встановлено, що в реальних умовах шахтного середовища в процесі деформацій гірничого масиву і інтенсивних притоків агресивних вод постійно відбуваються неконтрольовані зміни просторового положення траси газопроводу, порушення герметичності фланцевих з'єднань, механічні пошкодження сталевих труб та їх корозія. Оцінкою експлуатаційних показників ШДС на всіх етапах її функціонування традиційно займається персонал ділянки вентиляції та техніки безпеки (ВТБ), в обов'язках якого діагностування технічного стану газопроводу не передбачено.

Життєвий цикл ШДС включає стадії: проектування; спорудження мережі дільничних та магістральних газопроводів в підземних гірничих виробках; експлуатації та реновації (реконструкція, ремонт) в складних умовах шахтного середовища.

До основних факторів, що впливають на рівень надійності шахтних дегазаційних газопроводів і ініціюють порушення їх технічного стану, відносяться:

- негативний вплив навантажень від деформацій масиву гірських порід;
- наявність агресивних шахтних вод;
- деградація металу в процесі експлуатації.

Означені пошкодження дегазаційних газопроводів виникають спонтанно на всіх стадіях життєвого циклу ШДС і в специфічних умовах експлуатації практично не піддаються прогнозуванню.

Ліквідація негативних наслідків деформацій гірничих виробок виконується робітниками ділянки РГВ, які не несуть відповідальності за технічний стан газопроводів, укладених у протяжних гірничих виробках.

В той же час, відповідно до рекомендацій [3], обстеження шахтних дегазаційних газопроводів повинно виконуватись один раз на тиждень, а виявлені нещільності стикових з'єднань та вигини трубопроводу, де можливі скупчення води та підсмоктування повітря, повинні негайно усуватися. Слід відзначити, що трудомісткі ремонтні роботи з підтримки технічного стану дегазаційних газопроводів виконуються в складних умовах гірничого виробництва. За відсутності спеціальних технічних пристроїв (гідравлічні механізми для натяжки, гідравлічні динамометричні ключі, пневмогайковерти та пневматичні домкрати) фланцеві з'єднання та сталеві трубопроводи зазвичай піддаються ремонту з використанням морально застарілих механічних засобів, що провокує в більшості випадків негативні наслідки.

Наявність комплексу трудомістких ремонтних робіт і відсутність методик і рекомендацій щодо подовження експлуатаційного ресурсу шахтних дегазаційних газопроводів обумовили необхідність розробки інноваційних технічних рішень по їх обслуговуванню та реновації в специфічних умовах гірничого виробництва.

Аналіз сучасних досліджень і публікацій

Експериментальними дослідженнями [2] встановлено, що інтенсивні деформації масиву гірських порід та притоки агресивної води негативно впливають на технічний стан ШДС і знижують її експлуатаційні показники. Відповідно до [3] огляд газопроводів виконується один раз на тиждень. Виявлені нещільності та вигини трубопроводу, де можливі скупчення води та підсмоктування повітря, повинні негайно усуватися. Але за відсутності підрозділів з технічного обслуговування ШДС і спеціальних пристроїв сталеві трубопроводи, укладені в підземних виробках, зазвичай піддаються вирівнюванню з використанням механічних засобів, що призводить в більшості випадків до їх механічних пошкоджень.

За результатами оцінки сучасних тенденцій у сфері ремонту та обслуговування магістральних газопроводів встановлено [1], що в зарубіжній практиці використовують ряд спеціальних пристроїв для ремонту свищевих ушкоджень, поверхневих дефектів металу та корозії труб газопровідної системи без зупинки процесу перекачування газу.

В роботі [4,5] розглянутий аналіз методів та засобів ліквідації свищевих ушкоджень магістральних газопроводів, що включає виявлення та перспективні технології проведення ремонтних робіт при ліквідації дефектів.

Американською фірмою «Plidco» розроблені пристрої, що дозволяють зробити надійну герметизацію локальних свищевих ушкоджень для їх подальшого ремонту на діючих газопроводах. До них належать:

- розбірна ремонтна муфта (рис. 1), призначена для постійного ремонтного з'єднання, що працює під тиском. Після припинення виходу газу для підвищення надійності можливе приварювання муфти;
- ремонтна трубна муфта, яка дозволяє зупинити витік газу через отвори, спричинені піттинговою корозією. Характерною особливістю цієї муфти є патентований центруючий штифт, який спрямовує вершину конуса з каучуку в отвір нориці. Притискним гвинтом



Рис. 1. Ремонтна муфта фірми «Plidco»

створюється зусилля, що притискає конус до місця свищу.

В роботі [2] відзначається, що технічний стан шахтних дегазаційних газопроводів і параметри шахтного середовища слід розглядати як взаємодіючу транспортно-технологічну систему «шахтний газопровід – гірнична виробка» («ШГ–ГВ»).

Зумовлено це тим, що в реальних умовах експлуатації шахтного газопроводу в результаті геомеханічних процесів, що протікають в масиві гірських порід, відбуваються просторові зміни профілю траси газопроводу та подальша його деформація в стикових з'єднаннях труб.

Встановлено також, що на даний період в галузі відсутній системний підхід щодо прийняття обґрунтованих рішень для оперативного виконання ремонтно-відновлювальних робіт по подовженню експлуатаційного ресурсу шахтних дегазаційних газопроводів. У зв'язку з цим структурно-логічною схемою дослідження технічного стану ШДС пропонується механізм обґрунтованого вибору методу реновації шахтного газопроводу, який базується на основі урахування його конструктивних характеристик та особливостей експлуатації в специфічних умовах гірничого виробництва.

Постановка задачі і методи дослідження

У відповідності з міжнародними стандартами та сучасними вимогами щодо обслуговування та ремонту дегазаційних газопроводів [6], метою дослідження є

вдосконалення методів реновації та розробка інноваційних технічних рішень для підвищення технічного стану ШДС в умовах шахтного середовища.

Базою для формування системи заходів щодо детального оцінювання особливостей функціонування ШДС в реальних умовах шахтного середовища та розробки інноваційних технічних рішень щодо їх удосконалення послужили діючі галузеві та міжнародні методи оперативного контролю та підвищення технічного стану магістральних газо-нафтопроводів.

При інтенсивній розробці газоносних вугільних пластів моніторинг експлуатаційних параметрів дегазаційних газопроводів, що знаходяться в зоні впливу очисних робіт, є складним завданням, яке потребує обґрунтування відповідних методів оцінки їх технічного стану та спеціального обладнання для реновації пошкоджених елементів в процесі експлуатації.

З метою поліпшення якості робіт з обслуговування і ремонту обладнання ШДС розроблено програму і методику оперативного контролю технічного стану дегазаційних газопроводів і проведення мінімальних обсягів ремонтних робіт по відновленню пошкоджень. В основу програми покладено ідею збору і обробки інформації про технічний стан вузлів ШДС для експертної оцінки ресурсних показників по частоті виходу їх із ладу.

Отриманий банк даних дає можливість накопичувати та обробляти інформацію про можливі зміни стану дегазаційного та визначати рівні його експлуатації для своєчасного попередження появи відмов.

Метою роботи є оцінка технічного стану дегазаційних газопроводів і методів технічного обслуговування та ремонту в умовах шахтного середовища та розробка інноваційних технічних рішень щодо підвищення експлуатаційних показників шахтних дегазаційних газопроводів.

Результати та їх обговорення

На діючих вугільних шахтах оцінкою технічного стану газопроводу та його подальшим ремонтом займається персонал ділянки ВТБ. Слід відзначити, що технічне обслуговування та ремонт дегазаційного газопроводу виконується без застосування спеціального обладнання і, як наслідок, призводить до деформацій ущільнювачів та ланок трубопроводу.

В результаті деформації порід підшови виробки газопровід схильний до зміни просторового положення в місцях стикових з'єднань, руйнування ущільнювачів і попадання рудникового повітря всередину системи (рис. 2).

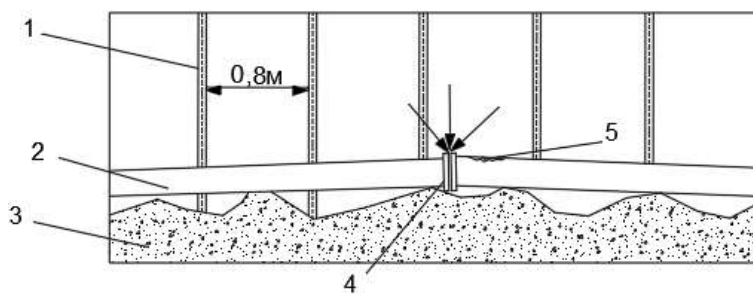



Рис. 2. Деформовані стикові з'єднання ланок шахтного

газопроводу:  – зона потрапляння рудникового повітря в деформований газопровід; 1 – аркове кріплення виробки; 2 – дегазаційний газопровід; 3 – деформовані породи підшови гірничої виробки; 4 – стикове з'єднання труб; 5 – внутрішня корозія

Для підвищення ефективності запропонованої системи технічного обслуговування ШДС, типові пошкодження дегазаційних газопроводів були класифіковані за категоріями складності їх усунення на легкі (L), середні (M) і важкі (V). Критеріями оцінювання складності було прийнято час усунення кожної відмови і кількість залучених до цього працівників.

Накопичений банк вихідних даних про види і категорії пошкоджень газопроводів надає змогу в подальшому визначати, на якому саме рівні експлуатації

дегазаційної системи доцільно проводити технічне обслуговування чи реновацію в нетипових або екстремальних умовах експлуатації.

В таблиці наведені характерні пошкодження дегазаційних газопроводів в процесі їх експлуатації в нетипових та екстремальних умовах експлуатації.

Характерні пошкодження дегазаційних газопроводів в процесі їх експлуатації

№ з/п	Вид пошкодження	Тип пошкодження	Категорія складності	Ініціюючі чинники
1		Кутове зміщення траси дегазаційного газопроводу	L	Зміна профілю траси газопроводу внаслідок деформації гірських порід підземних виробок
2		Дефекти фланцевих прокладок	M	Пошкодження фланцевих з'єднань дегазаційних труб
3		Утворення знакозмінного профілю траси	V	Прогини та вигини траси газопроводу при здиманні порід підшви підземних виробок
4		Механічні відкладення породного і вугільного пилу	V	Деформація ланок дегазаційного газопроводу в місцях стикових з'єднань сталевих труб
5		Утворення гідратних пробок	V	Вміст вологи в газі та коливання температури і тиску
6		Внутрішня та зовнішня корозія сталевих труб	V	Агресивне шахтне середовище

В реальних умовах шахтного середовища найбільш поширеними пошкодженнями вважаються порушення герметичності фланцевих з'єднань сталевих труб та непрогнозовані зміни профілю траси газопроводу (прогини та вигини) в результаті деформацій гірського масиву. Як наслідок, в підземних виробках з активним здиманням порід підосви спостерігаються поздовжні зміни довжини газопроводу відносно його проектної величини.

На магістральних газопроводах нафтогазової галузі для попередження порушень поздовжнього профілю газопроводів, прокладених в нестійких ґрунтах, застосовують спеціалізовані пристрої (компенсатори) для компенсації змін довжини труб [7]. За результатами аналізу технічних характеристик і конструктивних особливостей існуючих компенсаторів для регулювання змін довжини траси дегазаційного газопроводу в специфічних умовах шахтного середовища рекомендовано використовувати сильфонні компенсатори (рис. 3).

Доведено, що при інтенсивних деформаціях гірничого масиву пружна асиметрична гофрована металева оболонка сильфону дозволить компенсатору під дією поздовжніх, поперечних і кутових моментів розтягуватися, стискатися, деформуватися в поперечному напрямку та згинатися зі значними переміщеннями, зберігаючи при цьому герметичність [2].



Рис. 3. Конструктивні особливості компенсаторів: а – сильфонний компенсатор; б – гумовий компенсатор

Аналогічні властивості мають гумові компенсатори, армовані тканинним кордом, які відносяться до групи гнучких пристроїв, що встановлюються на трубопроводах з метою їхнього захисту від впливу негативних факторів (стрибків тиску, вібрацій та ін.) в процесі експлуатації.

Застосування означених компенсаторів в дегазаційних газопроводах дозволить вирішити накопичені проблеми підтримки технічного їх стану в специфічних умовах шахтного середовища, а саме:

- координувати непрогнозовані зміни довжини газопроводу в процесі деформацій гірських порід, що вміщують пластові дільничні виробки;
- підвищити герметичність стикових з'єднань за рахунок гнучких пристроїв.

До насущних проблем підтримки технічного стану шахтних дегазаційних газопроводів слід також віднести відсутність у галузі спеціального обладнання для вирівнювання викривлених трас сталевих газопроводів без механічних їх пошкоджень.

Зазначені недоліки обумовили необхідність пошуку і розробки нових технічних рішень щодо забезпечення щадних способів і засобів вирівнювання викривлених у просторі дегазаційних газопроводів.

В якості перспективного напрямку рішення проблеми вирівнювання викривлених в просторі дегазаційних газопроводів прийняті до розгляду наукові напрацювання НТУ «Дніпровська політехніка» [8, 9] в галузі обґрунтування, розробки та впровадження в гірничій галузі пневмобалонів – пневматичних конструкцій з м'яких оболонок.

Пневмобалон являє собою замкнуту герметичну ємність з матеріалів, що легко піддаються багатоцикловим вигинам без втрати своїх адаптаційних властивостей і міцності. При обґрунтуванні конструктивних і силових параметрів пневмобалонів для кріплення гірничих виробок автори враховували їх основні експлуатаційні показники, такі як вантажопідйомність, максимальна розсувність (висота підйому) та максимально допустимий робочий тиск.

Враховуючі високі контактну спроможність і щадні властивості пневматичних конструкцій з м'яких оболонок, були рекомендовані пневмобалонний домкрат і технологія вирівнювання викривлених дегазаційних газопроводів в шахті.

Для обґрунтування принципів дії, параметрів і конструкції пневмобалонного домкрата процес реновації деформованого дегазаційного газопроводу в специфічних умовах гірничих виробок розглядався як взаємодіюча система «гірничий масив – пневмодомкрат – трубопровід».

Умови взаємодії елементів означеної системи визначались шляхом моделювання їх конструктивних і силових параметрів. В якості найбільш вразливого елемента шахтного дегазаційного газопроводу прийнято фланцеве стикове з'єднання сталевих труб, порушення цілісності і герметичності якого при деформації порід гірничого масиву призводить до негативних наслідків у роботі ШДС.

На рис. 4 наведена схема (ідеальна) взаємодії подушкоподібної м'якої оболонки пневмобалонного домкрата з трубопроводом в зоні фланцевого з'єднання сталевих труб.

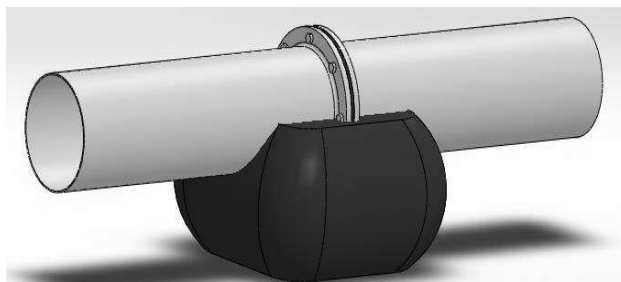


Рис. 4. Схема взаємодії пневмобалонного домкрата з трубопроводом

Основними параметрами пневмодомкрата є початковий розпір і робоче зусилля розпору.

Початковий розпір, створюваний подушкоподібною оболонкою, розраховується за виразом:

$$R_0 = p_i \omega_0,$$

де R_0 – початковий розпір, кН; p_i – надлишковий тиск стисненого повітря, МПа; ω_0 – початкова площа контакту оболонки з трубопроводом, м².

При відомому тиску стисненого повітря в шахтній пневмомережі для визначення початкового розпору оболонки достатньо встановити площу контакту з трубопроводом.

Площа контакту м'якої оболонки з трубопроводом залежить від її розмірів, форми та еластичності матеріалу, і від закономірностей їх зміни при максимальній розсувності.

При подачі стисненого повітря в порожнину подушкоподібною оболонки відбувається її розсовування та зменшення площі контакту у порівнянні з базовими. Відповідно до розрахункової схеми (рис. 5)

$$\omega_0 = b_0 l_0 - 4r^2 c \left(1 - \frac{\pi}{4}\right),$$

де b_0 , l_0 – розміри зіткнення оболонки з трубопроводом у поперечному та поздовжньому перерізах у початковий момент, м; r_c – радіус заокруглення оболонки в місці перетину поздовжніх і поперечних ліній зіткнення з трубопроводом, мм.

$$b_0 = b_r - \pi(r_0 - r_r);$$

$$l_0 = l_r - \pi(r_0 - r_r),$$

де b_r , l_r – базові геометричні розміри оболонки, м; r_r – внутрішній радіус заокруглення бічних поверхонь оболонки за відсутності в ній повітря, м.

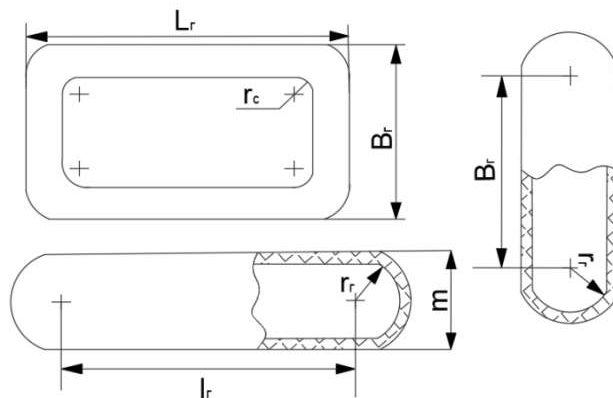


Рис. 5. Розрахункова схема еластичної оболонки пневмодомкрата

Вихідні розміри оболонки повинні бути такими, щоб вона могла розміститися між рядами аркового кріплення (рис. 2).

На рис. 6 наведено схематичне розташування пневмодократа під стиковими з'єднаннями ланок викривленого трубопроводу.

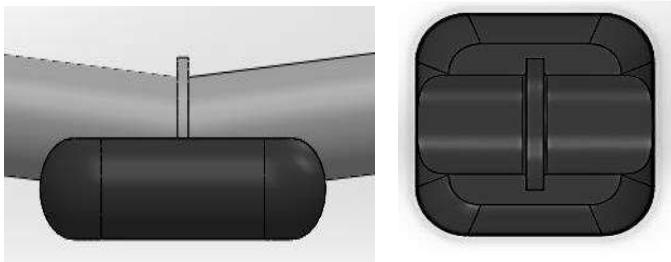


Рис. 6. Розташування пневмодократа для реновації кутових зміщень дегазаційного газопроводу

Під дією стисненого повітря м'яка оболонка розсувається, поверхні її притискаються до бічних порід і стін трубопроводу.

Початковий розпір на 1 м² площі опори залежить від надлишкового тиску стисненого повітря в порожнині оболонки, що становить $p = 0,3$ МПа.

Висновки

Встановлені характерні пошкодження дегазаційних газопроводів в процесі їх експлуатації в реальних умовах шахтного середовища дозволили сформувати банк даних для прийняття рішень щодо підтримки їх технічного стану.

Типові пошкодження дегазаційних газопроводів були класифіковані за категоріями складності їх усунення на легкі (L), середні (M) і важкі (V). Критеріями оцінювання складності було прийнято час усунення кожної відмови і кількість залучених до цього працівників.

Класифікація типових пошкоджень дегазаційних газопроводів за категоріями складності їх усунення дозволила запропонувати систему технічного обслуговування ШДС та відновлювання пошкоджень в шахтних умовах.

У порівнянні з традиційними методами ремонту деформованих дегазаційних газопроводів, використання пневмобалонних домкратів при їх реновації має ряд переваг, основними з яких є контрольований підйом трубопроводу на необхідну висоту, невелика маса, відносно невисока вартість, менша трудомісткість монтажних-демонтажних робіт та безпечні умови праці.

За результатами впровадження означених інноваційних технічних рішень планується розробити вихідні вимоги щодо застосування їх як невід'ємного функціонального елемента шахтних дегазаційних систем для підтримки, контролю та реновації викривлених і деформованих ділянок газопроводу.

L. Shyrin, R. Yehorchenko

Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

IMPROVEMENT OF THE TECHNIQUES OF MAINTENANCE AND RENOVATION OF THE MINE DEGASSING PIPELINE

The existing gas degassing pipelines laid in the formation section workings are constantly changing their spatial position, which leads to violations of the system tightness and destruction of pipe butt joints. The geomechanical processes occurring in the rock mass and the active heaving of the soil of the mine working provoke tedious and corrosive destruction of the elements of degassing gas pipelines.

The article discusses the existing methods of maintenance and repair of gas pipelines for the development of innovative technical solutions to improve the performance of mine degassing gas pipelines.

The main areas of research were to analyze the existing methods of maintenance and repair of gas pipelines in order to develop innovative technical solutions to improve the reliability of degassing gas pipelines in real conditions of the mine environment.

The proposed technological complex is able to increase the safety and speed of maintenance and repair of mine degassing gas pipelines.

Key words: *degassing, underground vacuum gas pipeline, methane-air mixture, monitoring, capacity.*

Література

1. Бунько Т.В., Сафонов В.В., Мацук З.М. Спосіб евакуації природного газу з ділянки магістрального газопроводу, яка підлягає ремонту // Геотехнічна механіка. Зб. наук. праць – Випуск 140. – Дніпро, 2018. – С. 143–157.
2. Ширін Л.Н., Єгорченко Р.Р., Сергієнко М.І Особливості діагностики технічного стану транспортно – технологічної системи «шахтний газопровід – гірнична виробка // Геоінженерія. – 2021. – Вип. 6. – С. 28–37.
3. Правила проекта дегазации вугільних шахт та експлуатації дегазацийних систем: СУ-П. (2020). Міністерство енергетики України [Електронний ресурс]. – Режим доступу – http://sop.zp.ua/norm_praop_10_0-1_01-10_01_ru.php.
4. Будзуляк Б.В., Салюков В.В., Губанок І.І. та ін. Концепція ремонту лінійної частини магістральних газопроводів // Газова промисловість. – 2003. – № 8. – С. – 62–65.
5. Салюков В.В., Алексахин С.П., Парфьонов А.І. Система контролю цілісності газопроводів ЕСГ ВАТ «Газпром» – запорука її надійності та довговічної роботи // Газова промисловість. – 2007. – № 1. – С. 48–50.
6. API 579-1 / ASME FFS-1, Fitness-For-Service standard by American Petroleum Institute, 12/01/2021 [Електронний ресурс]. – Режим доступу – <https://s1.c-pdf.best/standards/API-RP-579-1-ASME-FFS-1/>.
7. Деклараційний патент на корисну модель 6940 Україна, F16L 51/00. Компенсатор для газопроводов низкого и среднего давления / В. І. Шелудченко, М. С. Масс, Г. І. Пшеничний, В. В.Клявлін. – Опубл. 16.05. 05, Бюл. № 5/2005.
8. Ширин Л.Н., Федоренко Є.А. Методика определения эффективной площади контакта мягких оболочек с боковыми породами / Состояние и перспективы применения пневматических конструкций из мягких оболочек в горном деле: материалы I Всесоюз. науч.-техн. конф. – Днепропетровск, 1983. – С. 53–54.
9. Рахутин В.С. Научно-технические основы создания и технологии применения мягких оболочек на подземных горных работах. Днепропетровск. – 1985. –195 с.

Надійшла 07.08.22

References

1. Bunko, T.V., Safonov, V.V., & Matsuk, Z.M. (2018). Sposib evakuatsii pryrodnoho hazu z dilianky mahistralnoho hazoprovodu, yaka pidliahaie remontu. [The method of evacuation of natural gas from the section of the main gas pipeline that is subject to repair]. *Heotekhnichna mekhanika – Geotechnical mechanics, 140*, 143–157. Dnipro [in Ukrainian].
2. Shirin, L.N., Egorchenko, R.R., & Sergienko, M.I. (2021). Osoblyvosti diahnostyky tekhnichnoho stanu transportno – tekhnolohichnoi systemy «shakhtnyi hazoprovod – hirnycha vyrobka. [Peculiarities of diagnosis of the technical condition of the transport and technological system «mining gas pipeline – mining»]. *Heoinzheneriia – Geoengineering, 6*, 28–37 [in Ukrainian].
3. Pravyly proekta de hazatsii vuhilnykh shakht ta ekspluatatsii de hazatsiinykh system: SU-P [Rules of the degassing project of coal mines and operation of degassing systems: SU-P]. (2020). Ministry of Energy of Ukraine. (n.d.). *sop.zp.ua*. Retrieved from http://sop.zp.ua/norm_praop_10_0-1_01-10_01_ru.php [in Ukrainian].

4. Budzulyak, B.V., Salyukov, V.V., Gubanok, I.I., et al. (2003). Kontsepsiia remontu liniinoi chastyny mahistralnykh hazoprovodiv [The concept of repairing the linear part of main gas pipelines]. *Hazova promyslovist – Gas Industry*, 8, 62–65 [in Ukrainian].
5. Salyukov V.V., Aleksashyn S.P., & Parfyonov A.I. (2007). Systema kontroliu tsilisnosti hazoprovodiv ESH VAT «Hazprom» – zaporuka yii nadiinosti ta dovhovichnoi roboty [The system for monitoring the integrity of gas pipelines of Gazprom OJSC ESG is a guarantee of its reliability and long-term operation]. *Hazova promyslovist – Gas Industry*, 1, 48–50 [in Ukrainian].
6. API 579-1 / ASME FFS-1, Fitness-For-Service standard by American Petroleum Institute, 12/01/2021. (n.d.). *s1.c-pdf.best*. Retrieved from <https://s1.c-pdf.best/standards/API-RP-579-1-ASME-FFS-1/>.
7. Sheludchenko V.I., Mass M.S., Pshenichnyi H.I., Kliavlin V.V. (2005). Declaratory patent for the utility model of Ukraine 6940 [in Ukrainian].
8. Shirin, L.N., & Fedorenko, E.A. (1983). Metodika opredeleniia efektyvnoi ploshchadi kontakta miahkikh obolochek s bokovymi porodamy [Method for determining the effective contact area of soft shells with side rocks]. Proceedings from Status and prospects for the use of pneumatic structures from soft shells in mining'83: *I Vsesoiuznaia nauchno-tekhnicheskaiia konferentsiia – 1nd All-Union Scientific and Technical Conference*. (pp. 53–54). Dnepropetrovsk [in Russian].
9. Rakhutyn, V.S. (1985). *Nauchno-tekhnicheskie osnovy sozdaniia i tekhnologii prymereniia miahkikh obolochek na podzemnykh hornykh rabotakh [Scientific and technical basis of creation and technology of application of soft shells in underground mining operations]*. Dnipropetrovsk [in Russian].

УДК 622.24.051

DOI: 10.33839/2708-731X-25-1-74-82

В.Л. Хоменко, О.А. Пашенко, кандидати технічних наук; **Т.М. Калюжна**, канд. пед. наук;
А.А. Слауга, студ.

*Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»,
пр. Д. Яворницького, 19, 49005, Дніпро, Україна, e-mail: intelldriller@gmail.com*

БУРОВІ ДОЛОТА, АРМОВАНІ PDC РІЗЦЯМИ, ЩО ОБЕРТАЮТЬСЯ В ПРОЦЕСІ БУРІННЯ

Мета роботи, результати якої відображено в цій статті, полягала в аналізі найсучасніших конструкцій доліт з полікристалічними алмазними різцями (PDC). Для цього були проаналізовані літературні і патентні джерела з даної тематики, проспекти провідних виробників бурових доліт. Показано, що сучасна розробка компанії Smith Bits різці ONYX 360 і Enduro 360 підтвердила перспективність і працездатність більш ранньої розробки фахівців НТУ «Дніпровська політехніка» і фахівців Інституту надтвердих матеріалів імені В. М. Бакуля Національної академії наук України. Виявлено, що перевагою конструкції доліт з різцями, що обертаються фірми Smith Bits є більш проста конструкція, яка враховує специфіку виконання сучасних різців PDC.

Ключові слова: долота PDC; планетарні долота; різці, що обертаються.

Вступ

Довгий час основним породоруйнівним інструментом для буріння свердловин на нафту і газ були шарошкові долота. Протягом тривалого часу ними велось близько 90% загального