

10. **Маковеев А.В.** Обоснование параметров карьерных экскаваторов в зависимости от условий эксплуатации. Автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. Наук.- Екатеринбург: ГОУ ВПО «Уральский государственный горный университет», 2008. -19с

11. **Подэрни Р.Ю.** Горные машины и комплексы для открытых горных работ: Учебник для вузов - 2-е изд., перераб. и доп.- м.:Недра, 1985.- 544 с.

12. **Подэрни Р.Ю.** Механическое оборудование карьеров: Учебник для вузов.-6-е изд., перераб. и доп.-М.: Изд-во МГГУ, 2007.-680 с.

13. **Ташкинов А.С., Сысоев А.А., Ташкинов И.А.** Сравнительная оценка производительности и карьерных экскаваторов при разработке взорванных пород // Вестн. КузГТУ. — 2009. — № 4 С.17-20.

14. **Хмызников К.П., Лыков Ю.В.** Механическое оборудование карьеров. Одноковшовые экскаваторы. Учебное пособие. — СПб.: СПГГИ, 2007. — 41с

15. **Шемякин С. А., Лещинский А. В.** Расчет землеройных машин : учеб. пособие. - Хабаровск : Изд-во тихоокеан. гос. ун-та, 2014.- 55 с.

16. **Штейнцайг В.М.** Интенсификация открытых горных работ с применением мощных карьерных одноковшовых экскаваторов. Научное издание. -М.: Наука,1990.-142с

Рукопис подано до редакції 13.05.2020

УДК 628.147.23:622.453

А.О. ГУРІН, д-р техн. наук, проф., В.А. ШАПОВАЛОВ, канд. техн. наук, доц.
Криворізький національний університет

СПОСІБ ОЧИСТКИ ВІДКЛАДЕНЬ НА СТІНКАХ ПОВІТРОПРОВОДІВ

Мета. Метою даної роботи є підвищення надійності та ефективності роботи систем аспірації та вентиляції шляхом очистки відкладень на стінках повітропроводів. Повітропровідні системи є невід'ємною частиною інфраструктури підприємств різних галузей, які мають розвинену мережу трубопроводів систем аспірації і вентиляції. Умови забезпечення надійної та ефективної роботи цих систем визначається, переважно, станом їх внутрішніх поверхонь трубопроводів і устаткування. Процеси корозії і утворення відкладень на внутрішніх поверхнях трубопроводів незворотні і часто призводять до порушення технологічного процесу і параметрів роботи обладнання, а в окремих випадках – до обриву повітропроводу та його падіння на обладнання або людей. Навіть найдосконаліші початкові технічні характеристики обладнання систем аспірації або вентиляції вказують лише на технічні можливості роботи системи. Надійна та ефективна робота систем аспірації і вентиляції може бути забезпечена після впровадження способу очистки відкладень на стінках повітропроводів, за допомогою якого легкого і швидкого очищуються поверхні і усуваються причини порушення параметрів роботи цих систем.

Методи дослідження. Під час вивчення, систематизації та узагальнення способів очистки трубопроводів використано аналіз досліджень і публікацій, аналіз вітчизняного і закордонного досвіду, цільове натурне обстеження повітропроводів систем аспірації та вентиляції, проведені експериментальні дослідження.

Наукова новизна. Експериментально доведена можливість застосування ударних повітряних хвиль, утворених електричними розрядами від джерел високовольтної напруги, для руйнування і відділення іржі та відкладень від стінок повітропроводів.

Практична значимість. Використання запропонованого способу очистки відкладень на стінках повітропроводів підвищує надійність і ефективність роботи систем аспірації та вентиляції в різних промислових галузях, а також збільшує технологічні можливості, оскільки дозволяє проводити очищення трубопроводів складної конфігурації.

Результати. Знайдено рішення поширеної проблеми сучасного промислового виробництва і запропоновано спосіб очистки відкладень на стінках повітропроводів систем аспірації і вентиляції.

Ключові слова: трубопроводи, корозія, відкладення, очистка.

doi: 10.31721/2306-5435-2020-1-107-138-142

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Характерною особливістю технологічних процесів сучасних промислових виробництв є наявність значної кількості апаратів, ємностей, бункерів, трубопроводів та іншого обладнання, працездатність якого визначається станом внутрішніх поверхонь. В процесі експлуатації устаткування і трубопроводів, відбувається неминуче забруднення їх внутрішніх поверхонь відкладеннями.

Більшість промислового устаткування і трубопроводів виготовлені з металу. Основною причиною пошкодження внутрішніх поверхонь, в більшості випадків, є відкладення і корозія (корозійне та ерозійне зношення), стійкість до яких і визначає терміни їх експлуатації.

Збитки, від пошкодження внутрішніх поверхонь, пов'язані не тільки з технологічними втратами, але і виходом з ладу трубопроводів і устаткування, оскільки порушується їх міцність, герметичність, що може призвести до аварій.

Видів корозії безліч, а причини корозії завжди визначаються властивостями корозійно-небезпечного середовища, з яким контактують внутрішні поверхні устаткування і трубопроводів [1, 2]. Корозія внутрішньої поверхні трубопроводів має місце в основному при транспортуванні середовищ, які містять корозійно-небезпечні речовини: солі, кислоти, луги тощо. Особливо агресивні сірчаний і сірчистий ангідриди, хлор, хлористий водень, оксиди азоту, фтористі з'єднання і аерозолі. Дуже активний сірчаний ангідрид, який утворює з парами води аерозоль сірчаної кислоти. Сірководень під впливом кисню окислюється в сірчаний ангідрид. Двоокис азоту з парами води утворює азотну і азотисту кислоти. Хлор взаємодіючи з вологою у повітрі утворює хлорну воду, стимулюючи процеси корозії, а хлористий водень - розбавлену соляну кислоту, інтенсифікує корозійні руйнування.

Корозійний вплив на металеві поверхні здійснюють не тільки волога і гази, що містяться в агресивному середовищі. Значно підвищують корозійну активність забруднення поверхонь у вигляді відкладень [3-5]. Водорозчинні забруднення технологічного характеру збільшують електропровідність плівок води, посилюючи корозійні процеси так само, як і малорозчинні відкладення, у вигляді окалини чи пилу. При корозії на поверхні утворюються нові речовини (продукти корозії), що включають оксиди і солі металу, який піддається корозії. Видимі продукти атмосферної корозії складаються в основному з гідратованих оксидів заліза і називають іржею, продукти газової корозії – окалиною.

Відкладення на поверхні дрібнодисперсного пилу можуть стати центрами конденсації вологи з повітря на поверхні металу. Тверді частки пилу стимулюють на поверхні утворення капілярної вологи. Цей процес сприяє зростанню сил адгезії і кількості осілого пилу у вигляді відкладень. Найбільшу корозійну небезпеку становлять частки, що мають високу гігроскопічність, при розчиненні яких утворюються агресивні рідики середовища (NaCl та ін.).

Корозія і відкладення на внутрішніх поверхнях трубопроводів та устаткування, порушують чистоту стінок, звужують прохідний переріз, змінюють аеродинамічні параметри роботи, ефективність теплопередачі, масообмінні характеристики технологічних процесів тощо. В окремих випадках, відкладення та забруднення на стінках технологічного обладнання і трубопроводів порушують технологічний режим, знижують продуктивність процесу, аж до повної зупинки виробництва. Для небезпечних виробничих об'єктів, де технологічними трубопроводами транспортуються агресивні середовища, безпека технологічних процесів та обслуговуючого персоналу може залежати, в тому числі, від технічного стану трубопроводів, які виявляються непридатними через відкладення та ушкодження внутрішніх поверхонь, спричинених корозією [6].

Вирішення цієї проблеми актуальне для виробництв нафтопереробної, хімічної, будівельної галузі, а також для підприємств харчової промисловості тощо [7]. Слід підкреслити актуальність цієї проблеми для гірничо-збагачувальних виробництв і підприємств металургійної галузі, які мають розвинену мережу трубопроводів систем аспірації і вентиляції [8]. Повітроводи систем аспірації і вентиляції мають широке промислове застосування: їх можна зустріти на зернопереробних підприємствах і елеваторах, на деревообробних комбінатах та інших великих промислових об'єктах. Ефективність роботи цих систем безпосередньо пов'язана з чистотою внутрішніх поверхонь трубопроводів. Майже всі повітропроводи систем аспірації і вентиляції з терміном експлуатації більше 5-10 років мають відкладення на внутрішніх поверхнях трубопроводів.

Видалення пилу від дробильних установок, перевантажувальних вузлів гірничої маси, заборів гірничих виробок тощо, здійснюється по трубопроводам, внутрішня поверхня яких іржавіє і покривається пилом. Упродовж тривалої експлуатації трубопроводів товщина шару налиплого пилу сягає десятків міліметрів, через що зменшується площа перерізу трубопроводів, змінюються аеродинамічні параметри повітряного потоку, трубопроводи деформуються і, навіть, пошкоджуються. Для окремих ділянок систем аспірації (горизонтальні ділянки, відводи, переходи тощо) заповнення поперечного перерізу пилом може сягати 90 % [4, 5, 8], що може призвести до порушення аеродинамічної характеристики системи, збільшення навантаження на вентиляційне обладнання, а в окремих випадках – до обриву повітропроводу та його падіння на обладнання або людей.

Відкладення та забруднення на внутрішніх поверхнях трубопроводів може призвести до поступового порушення технологічного процесу, поступової відмови, погіршення якісних і кількісних показників роботи систем аспірації і вентиляції.

Так як процеси корозії і утворення відкладень на внутрішніх поверхнях трубопроводів незворотні і часто призводять до порушення технологічного процесу і параметрів роботи обладнання, то очистка відкладень на стінках трубопроводів є однією з важливих невирішених проблем сучасного промислового виробництва.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомі хімічні, ультразвукові, механічні способи очистки трубопроводів [9,10], які показують хороші результати очистки відкладень на стінках трубопроводів. Разом з цим, відомі способи очистки дуже витратні, не обходяться без закупівлі коштовних і небезпечних для навколишнього середовища хімічних реагентів, процеси трудомісткі і потребують участі кваліфікованих спеціалістів. Деякі методи відрізняються вибірковістю по відношенню до різних видів відкладень, тобто якийсь шлам видаляється, якийсь залишається. Інші методи очистки здатні механічно пошкоджувати поверхні, особливо у старих трубопроводах систем з тривалим терміном експлуатації, або мають низьку ефективність при видаленні твердих кристалічних відкладень.

Деякі способи хімічної очистки передбачають застосування сильних мінеральних і органічних кислот та інших з'єднань. Їх застосування забезпечує досить ефективну очистку від солевих відкладень, однак нерідко ці методи мають і свої суттєві недоліки: пошкоджується поверхня матеріалів, в результаті чого після декількох хімічних чисток їх доводиться міняти; відпрацьовані технологічні розчини необхідно нейтралізувати або знешкоджувати до кондицій, дозволених до скидання в каналізацію; при впровадженні багатьох хімічних методів очищення, як вітчизняних, так і зарубіжних, доводиться використовувати дуже великий об'єм реагентів (десятки і навіть сотні кілограмів), що призводило до того, що від застосування цих способів відмовлялися навіть на тих підприємствах, де вони застосовувалися протягом тривалого періоду часу.

Відомий спосіб очистки відкладень на стінках трубопроводів, який відрізняється тим, що всередині трубопроводу розташовують змонтовані на рамі співвісні електроди з полу сферичним відбивачем і поплавком. Подачею високої напруги між електродами створюють електричний розряд, який утворює електрогідралічний удар. Відбивач фокусує на поверхню трубопроводу електрогідралічний удар, який переміщає раму всередині трубопроводу [11].

Однак технологічні можливості такого способу для очистки повітропроводів обмежені, оскільки очистка відкладень на стінках, передбачається в заповнених рідким середовищем трубопроводах. Крім того, очищення протяжних повітропроводів системи витяжної вентиляції малоєфективна, через те, що неможливо переміщати раму з електродами і відбивачем у повздовжньому напрямку всередині трубопроводу по поверхні з твердими відкладеннями і нерівностями.

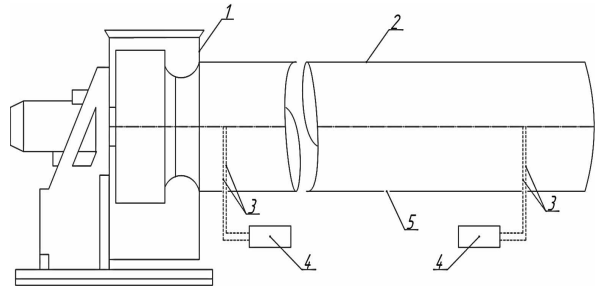
Відомий також спосіб очистки відкладень на стінках трубопроводів за допомогою пневмопушки [10], яка утворює імпульс стисненого повітря (азоту), яким очищає відкладення на стінках трубопроводів. Цей спосіб також проблематичний для очистки повітропроводів значного діаметра і протяжності, через значні витрати стисненого повітря.

Також відомий спосіб очистки відкладень на стінках трубопроводів за допомогою електромагнітного удару по поверхні трубопроводів [12], який спричиняє коливання металевих стінок і відшарування відкладень на них. Однак, застосовувати цей спосіб для очистки відкладень на стінках повітропроводів систем аспірації або вентиляції неможливо, оскільки їх трубопроводи виготовляють з жерсті товщиною близько 1 мм, через що вони швидко руйнуються від удару.

Постановка завдання. Повітропровідні системи є невід'ємною частиною інфраструктури підприємств різних галузей, які мають розвинену мережу трубопроводів систем аспірації і вентиляції. Умови забезпечення надійної та ефективної роботи цих систем визначається, переважно, станом їх внутрішніх поверхонь трубопроводів і устаткування. Навіть найдосконаліші початкові технічні характеристики обладнання систем аспірації або вентиляції вказують лише на технічні можливості роботи системи. Надійна та ефективна робота систем аспірації і вентиляції може бути забезпечена після впровадження способу очистки відкладень на стінках трубопроводів, за допомогою якого легкого і швидко очищуються поверхні і усуваються причини порушення параметрів роботи цих систем.

Викладення матеріалу та результати. Запропонований спосіб очистки відкладень на стінках трубопроводів реалізується наступним чином [13]. Всередині повітропроводу розміщують електроди, на які подається високовольтна напруга для утворення електричного розряду, яким забезпечується руйнування і очистка відкладень, які видаляються потоком повітря. Подачу високовольтної напруги виконують по черзі, починаючи з електродів, встановлених на тому кінці трубопроводу, через який видаляються відкладення (рис. 1).

Рис. 1. Схема очистки відкладень на стінках повітропроводу: 1 – вентилятор; 2 – трубопровід; 3 – електроди; 4 – джерело високовольтної напруги; 5 – отвори



Установка складається з вентилятора 1, приєднаного до трубопроводу 2 системи аспірації або вентиляції, електроди 3, які вставляються через отвори 5 всередину трубопроводу 2, і джерело високовольтної напруги 4, до якого підключаються електроди.

У міру засмічення трубопроводу джерело високовольтної напруги 4 по черзі підключають до електродів 3, подаючи на них високу напругу. Між електродами 3 виникає електричний розряд, який утворює ударну повітряну хвилю, яка поширюється по трубопроводу 2 в протилежних напрямках. Діючи на шар пилу, ударна повітряна хвиля викликає в ньому хвилю напруги і відбиту хвилю, які руйнують зв'язки злежаного пилу, дроблять його й відривають від стінок трубопроводу 2. Повітряний потік, створюваний вентилятором 1, здимає пил у зважений стан і видаляє з трубопроводу 2.

Проміжок між електродами залежить від інтенсивності ударної повітряної хвилі, фізико-механічних властивостей пилу (іржі), діаметра трубопроводу тощо, і може бути встановлений експериментальним шляхом після першого розряду і обстеження стану внутрішньої поверхні трубопроводу.

Експериментальні дослідження запропонованого способу очистки було проведено на трубопроводі діаметром 2 дюйма (≈ 51 мм) і довжиною 2,5 м із шаром іржі у 2-3 мм на стінках трубопроводу. В середині трубопроводу було розташовано електроди. В якості джерела високовольтної напруги було використано дефібрилятор імпульсний ДИ-03. Апарат генерує імпульс струму, який має форму затухаючого коливального розряду. Амплітуда струму при напрузі заряду дефібрилятора 7000 В знаходиться в межах від 30 до 50 А. Елементи розрядного ланцюга мають параметри, зазначені в табл. 1.

Апарат працює від мережі змінного струму частотою ($50 \pm 0,5$) Гц з номінальною напругою 220 В при відхиленні напруги в мережі на $\pm 10\%$ від номінального значення.

Дослідження внутрішньої поверхні після двох розрядів показали, що трубопровід повністю очищено від іржі, яку було винесено з порожнини ударною повітряною хвилею.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Експериментально доведена можливість застосування ударних повітряних хвиль, утворених електричними розрядами від джерел високовольтної напруги, для руйнування і відділення іржі та відкладень від стінок повітропроводів. Знайдено рішення поширеної проблеми сучасного промислового виробництва і запропоновано спосіб очистки відкладень на стінках повітропроводів систем аспірації і вентиляції. Використання запропонованого способу очистки відкладень на стінках повітропроводів підвищує надійність і ефективність роботи систем аспірації та вентиляції в різних промислових галузях, а також збільшує технологічні можливості, оскільки дозволяє проводити очищення трубопроводів складної конфігурації.

Таблиця 1

Параметри елементів розрядного ланцюга

Назва параметру	Величина
Індуктивність котушки	$(0,11 \pm 0,011)$ Гн
Активний опір котушки	$(12 \pm 2,4)$ Ом
Ємність конденсатора	$(16 \pm 1,6)$ мкФ

Список літератури

1. Коррозия и защита металлов. В 2 ч. Ч. 1. Методы исследований коррозионных процессов: [учебно-методическое пособие] / Н.Г. Россина, Н.А. Попов, М.А. Жилиякова, А.В. Корелин. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2019. – 108 с.
2. Исаев М.И. Теория коррозионных процессов / Исаев М.И. – М.: Металлургия, 1997. – 344 с.
3. Karolina Vyhliadalova Dust analyses in ventilation ducts / Karolina Vyhliadalova, Petr Vlček1, Olga Rubinová, Jiří Bernard // Journal of Sustainable Construction Materials and Technologies. – 2016. – 1(1). 29-35.
4. Обстеження систем аспірації та вентиляції ЦВО-1, ЦВО-2 та розробка рекомендацій по підвищенню ефективності їх роботи для зниження викидів забруднюючих речовин в атмосферу та запиленості на робочих місцях: Отчет о НИР / Криворожский технический университет: №ГР 0106U008416. – Кривой Рог, 2006. – 130 с.
5. Деньгуб Т.В. Исследование аэродинамического сопротивления аспирационных воздуховодов при пылевых отложениях / Т.В. Деньгуб, Н.В. Худик // Металлургическая и горнорудная промышленность. – Днепропетровск, 2014. – № 4. – С. 115-117.
6. Основные аспекты оценки технического состояния технологических трубопроводов / Р.А. Шайбаков, Д.Г. Давыдова, А.В. Жуков [и др.] // Нефтегазовое дело: электронный научный журнал. – 2013. – №4. – С. 258 – 270.
7. Гапонюк О.И. Проблемы функционирования аспирационных установок и пути их совершенствования / О.И. Гапонюк, А.А. Гончарук, А.П. Лапин // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. – Одеса: 2014. – Вип. 46. – Том 1. – С.201-204.
8. Обеспечение эффективных рабочих режимов аспирационных систем фабрик окомкования ГОКов в условиях длительной эксплуатации / А.М. Голышев, С.И. Задорожний, А.В. Герасимчук, А.А. Голышев // Разработка рудных месторождений. – Кривий Ріг. – 2007. – Вип. 91. – С. 232-236.
9. СТП 0910.37.409.09 Стандарт ГПО «Белэнерго». Проведение механических и химических очисток теплообменников. – Минск: РУП «БелТЭИ», 2009.
10. Мараховский А.В. Методика очистки внутренних отложений трубопроводов и оборудования с применением пневмоудара. ООО «Астра сервис». / А.В. Мараховский, Е.О. Савельева. – М: Московский педагогический университет, 2015.
11. А. с. 625782 СССР, МКИ В 08 В 7/00, Е 03 F 9/00. Устройство для очистки внутренней поверхности трубопроводов от отложений / В.П. Губина, Н.В. Губина (СССР). – № 2117098/22-02; заявл. 25.03.75; опубл. 30.09.78, Бюл. № 36.
12. Кузьменко Н.В. Применение эффекта электромагнитного удара для стабилизации работы электролизера / Н.В. Кузьменко, М.М. Маловичко // Технические средства и системы управления производственными процессами: межвузовский сборник. – Братск, 1991. – С. 15-18.
13. А. с. 1125074 СССР, МКИ В 08 J 7/00. Способ очистки трубопроводов от невзрывчатых отложений / А.А. Гурин, В.П. Исаев, А.Е. Лапшин, В.И. Базаря (СССР). – № 3547110/28-12; заявл. 21.01.83; опубл. 23.11.84, Бюл. № 43.

Рукопис подано до редакції 13.05.2020

УДК 624.012.45

О.І. ВАЛОВОЙ¹, канд.техн.наук, проф., В.І. АСТАХОВ, В.В. АФАНАСЬЄВ,
М.О. ВАЛОВОЙ, О.Ю. ЄРЕМЕНКО, кандидати техн. наук, доценти
Криворізький національний університет

ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ ГІРНИЧОРУДНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ У ПРОМИСЛОВОМУ, ЦИВІЛЬНОМУ ТА ТРАНСПОРТНОМУ БУДІВНИЦТВІ

Мета. На сьогодні в Україні промисловими відходами відчувається до 5 тис. га земельних ділянок. Це є серйозною небезпекою для екологічного стану регіонів України і особливо Кривбасу. Відходи збагачених залізних руд займають перше місце серед відходів гірничодобувної промисловості і їх обсяг зі збільшенням видобутку корисних копалин буде зростати. У роботі висвітлено інформацію по дослідженню відходів гірничорудної промисловості Кривбасу і подальшому їх використанню в промисловому цивільному та транспортному будівництві.

Методи дослідження. При збагаченні залізистих кварцитів методом мокрої магнітної сепарації виділяється велика кількість дрібнодисперсних відходів. Вони являють собою суспензію твердих частинок у воді і підрозділяються на відходи поточного виходу, які після збагачення руди не викинуті в відстійники, і хвости, що направляються гідротранспортом в сховища, де відбувається осадження твердих частинок. Для більш ефективного використання хвостів збагачення залізної руди їх фракціонують. Технологічна схема збагачення відходів зі хвостосховищ передбачає як перспективне обладнання так і те, що серійно випускається промисловістю.

Наукова новизна. Перспективним є обладнання з ударно-балістичною технологією, що розроблена на будівельному факультеті КНУ.

¹ О. Валовой О.І., Астахов В.І., Афанасьев В.В., Валовой М.О., Єременко О.Ю., 2020