Список літератури

1. Статистика пожеж у 2018 році. Звіт Український науково-дослідний інститут цивільного захисту (УкрНДІЦЗ). http://undicz.dsns.gov.ua/ua/STATISTIKA-POZHEZH.html

2. Прогнозирование опасных факторов пожара. Практикум: методические указания к выполнению практических работ/**Тимофеева С.С, Рожков Д.М., Малов В.В**.– Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2013.–37с.

3. Правила пожежної безпеки України: НАПБ А.01.001-2014 – [Чинний від 2016-09-30]. – К.: Міністерство внутрішніх справ України, 2014. – 91 с. – (Нормативний акт з пожежної безпеки).

4. **Корольченко А. Я**.,**Корольченко Д. А**. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. Справочник: в 2-х ч. — М.: Асе. «Пожнаука», 2004. — Ч. I. с. 110.

5. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения: ГОСТ12.1.044-89 ССБТ – Изд. официальное. – М.: ИПК Из-во стандартов, 1989.– 100 с. – (Система стандартов безопасности труда).

6. **Будыкина Т.А**, **Будыкина К.Ю**. Прогрессивные технологии и средства тушения пожаров на нефтебазах/Вестник РУДН, Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2017, т.25, №1, с.132-144.

7. Пожарная безопасность. Общие требования: ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ – Издание официальное. – М.: ИПК Изво стандартов, 1996.– 79 с. – (Система стандартов безопасности труда).

8. Трофимов В.О., Булгаков Ю. Ф., Кавєра О. Л., Харьковий М.В. Аерологія шахтних вентиляційних мереж. Норд-Прес, 2009.

9. **Мельников Н.И**. Проведение и крепление горных выработок - М., Недра, 1988, 336с.

10. Устав ВГСЧ Глава 8. Тушение подземных пожаров. miningwiki.

11. ГОСТ Р 57052-2016. Оборудование горно-шахтное. Автоматические установки пожаротушения (для подземных выработок). Общие технические требования и методы испытаний.

Рукопис подано до редакції 02.04.2019

УДК 621.791.927.55

В.П. НЕЧАЄВ, А.О. РЯЗАНЦЕВ, кандидати техн. наук, доценти
Криворізький національний університет

ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ПОВЕРХНЕВОГО ПЛАЗМОВОГО ЗМІЦНЕННЯ ВЕЛИКОМОДУЛЬНИХ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС

Мета. Метою даної роботи є вдосконалення технології виробництва гірничих машин, а саме – розробка й оптимізація параметрів процесу поверхневого зміцнення великомодульних зубчастих коліс для підвищення зносостійкості, довговічності передач приводів рудорозмельних млинів.

Методи дослідження. Дослідження властивостей сталей після поверхневої плазмової обробки забезпечено розробленою методикою розрахунків оптимальних режимів плазмової обробки зразків, що заснована на врахуванні теплофізичних параметрів плазмового струменя. Для оптимізації параметрів поверхневого плазмового зміцнення за економічним критерієм застосовувалось математичне моделювання, організовано активний експеримент шляхом використання послідовного симплекс-методу, для вивчення області оптимуму поверхні відгуку була використана нелінійна стохастична модель.

Наукова новизна. Встановлено аналітичний зв’язок та виявлено вплив параметрів режиму поверхневого плазмового зміцнення на відносний термін експлуатації великомодульних зубчастих коліс. Це дозволило отримати оптимальні співвідношення параметрів процесу, які забезпечують найкращі показники, щодо зносостійкості робочих поверхонь великомодульних зубчастих передач.

Практична значимість. В умовах поверхневого плазмового зміцнення ефективність плазмової дуги, як джерела нагрівання, суттєво залежить від співвідношення розмірів теплового джерела, його швидкості й теплової потужності; раціональним слід уважати таке їх співвідношення, при якому температура поверхні, що нагрівається, на задній границі плями нагрівання досягає, але не перевищує температури плавлення для даного матеріалу. Розроблено основні вимоги і принципи вибору оптимальних технологічних параметрів поверхневого плазмовоого зміцнення для підвищення зносостійкості великомо-дульних зубчатих коліс у залежності від умов їх експлуатації.

Результати. В результаті математичного моделювання виявлено вплив параметрів режиму поверхневого плазмового зміцнення на відносний термін експлуатації великомодульних зубчастих коліс x. Проведено оптимізацію параметрів процесу підвищення зносостійкості зубчастих передач, шляхом математичного моделювання процесів поверхневого плазмового зміцнення зубчастих коліс. Отримано оптимальні співвідношення величини швидкості руху джерела нагрівання й сили струму плазмової дуги (V_{opt} = 350 мм/хв, I_{opt} = 245 А), що дозволило встановити збільшення строку експлуатації зубчастих коліс.

Ключові слова: поверхневе плазмове зміцнення, швидкорухоме джерело нагрівання, зносостійкість, оптимізація процесу, математичне моделювання.

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-48-132-137

© Нечаєв В.П., Рязанцев А.О., 2019

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними задачами. У сучасному гірничозбагачувальному виробництві широко використовуються рудорозмельні млини, для подрібнення гірничої маси. Великомодульні зубчасті передачі є одними із найбільш навантажених і відповідальних елементів млина, це визначає надійність і довговічність обладнання в цілому. Ремонт і заміна великомодульних зубчастих передач гірничих машин вимагає виведення з експлуатації основного виробничого обладнання й зупинки технологічної лінії, що веде до значних втрат. Аналіз пошкоджуваності зубчастих коліс показує, що їх передчасний вихід з ладу обумовлений головним чином процесами руйнування в поверхневих шарах зубів.

Одним із найбільш перспективних напрямків розвитку сучасного виробництва є впровадження інтенсивних технологій поверхневого зміцнення великомодульних зубчастих передач з використанням концентрованих джерел енергії. Особливі переваги стосовно масивних деталей має поверхневе плазмове зміцнення (ППЗ), завдяки високій тепловій потужності та можливості одержання зміцнених шарів значної товщини (до 5 мм). Проте, властивості зміцнених шарів після поверхневого плазмово-дугового зміцнення досліджені недостатньо, а також не запропоновані раціональні шляхи зручного регулювання питомої потужності в плямі нагріву плазмової дуги, як наслідок, немає можливості використати велику електричну потужність, необхідну для підвищення ефективності нагрівання. Відсутні науково обґрунтовані принципи вибору режимів і технологій зміцнення великомодульних зубчастих шестірень з урахуванням умов їх навантаження. Тому підвищення зносостійкості відкритих великомодульних зубчастих передач рудорозмельних млинів, шляхом поверхневого плазмово-дугового зміцнення, має важливе практичне значення і є актуальним науковим завданням.

Аналіз досліджень та публікацій. Перспективним напрямком підвищення зносостійкості робочих поверхонь зубів великомодульних зубчастих коліс є зміцнювальна термічна обробка робочої поверхні концентрованим потоком енергії, а саме плазмовим струменем. Питання досліджень та розробок технологій плазмового зміцнення висвітлені в роботах Лещинського Л.К., Токмакова В.П., Григорьянца А.Г., Крапошина В.С., Анякіна М.І., Бердникова А.А., Самотугіна С.С., Рахімянова Х.М. та ін. [1-9]. Однак тут необхідно враховувати, що технології поверхневого зміцнення мають свої специфічні особливості і їх результативність залежить від врахування різноманітних факторів, що відображують як саму деталь, її хімічний склад, габарити, геометричну форму, вихідний стан поверхні, так і умови експлуатації. Проведений аналіз показує перспективи плазмового нагрівання, але немає відомостей і розробок, які можна застосувати до великомодульних зубчастих передач.

Широке промислове застосування більшості відомих способів зміцнювальної обробки концентрованим потоком енергії стримується високою вартістю й складністю обладнання, його недостатньою надійністю й продуктивністю, необхідністю використання вакууму, спеціальних приміщень із особливими вимогами, потребою у кваліфікованому обслуговуванні, високими експлуатаційними витратами. У цих умовах, для збільшення експлуатаційного ресурсу швидкозношуваних деталей раціональним за параметрами універсальності, доступності, екологічності й економічної ефективності представляється спосіб поверхневої термообробки плазмовою дугою [10, 11]. Не змінюючи параметрів шорсткості поверхні, така термообробка легко вбудовується в технологічний процес підготовки й ремонту деталей, будучи фінішною операцією, маловитратна, досить продуктивна й дозволяє ефективно збільшити їх експлуатаційну стійкість. Внаслідок чого авторами пропонується застосовувати поверхневе плазмове зміцнення профілю зубчастого колеса для підвищення контактної міцності робочих поверхонь зубів.

Постановка задачі. Оскільки процес ППЗ по суті дослідженню взагалі не піддавалась, то немає й технологічних основ зміцнення з нагріванням цим тепловим джерелом. Не створено рекомендацій зі стратегії пошуку технологічних режимів обробки плазмовою дугою для одержання заданих результатів зміцнення.

Таким чином, метою даної роботи є вдосконалення технології виробництва гірничих машин, а саме – розробка й оптимізація параметрів процесу поверхневого зміцнення великомодульних зубчастих коліс для підвищення зносостійкості, довговічності передач приводів рудорозмельних млинів. Сформульована мета роботи обумовила необхідність розв'язання такої задачі, як оптимізація технологічних параметрів режиму поверхневого плазмово-дугового зміцнення

шляхом математичного моделювання з метою виявлення їх впливу на відносний термін експлуатації великомодульних зубчастих

Викладення матеріалу та результати. Оптимізація технологічних параметрів процесу ППЗ зубчастих коліс пов'язана, насамперед, з визначенням оптимального терміну служби відкритих зубчастих передач за економічними показниками. У якості критерію оптимізації виступають сумарні середні річні втрати, пов'язані з експлуатацією, ремонтом і урахуванням вартості зубчастих коліс

Проведено оптимізацію параметрів плазмового зміцнення для досягнення оптимального строку терміну зубчастої передачі за економічними показниками.

У якості критерію оптимізації виступають сумарні середні річні втрати, пов'язані з експлуатацією, ремонтом і урахуванням вартості зубчастих коліс

$$\hat{C} = \frac{k}{x}\hat{C}_0 + x^{n-1}; \qquad (x = \frac{T}{T_0}), \tag{1}$$

де $\hat{C} = \frac{C}{C_Б}$; $\hat{C}_0 = \frac{C_0}{C_Б}$; C_0 – середні річні втрати внаслідок ремонтних простоїв і оплатою на відновлення функціонування, грн; $C_Б$ – вартість зубчастого колеса, виготовленого з базового матеріалу, грн; k – середня кількість відмов у роботі зубчастих коліс, рік$^{-1}$; T_0 – середній строк експлуатації зубчастого колеса, виготовленого з базового матеріалу, рік; T – середній строк експлуатації зубчастого колеса, що пройшов ППЗ, рік; n – показник, що характеризує збільшення вартості зубчастого колеса, що пройшов ППЗ (n >1).

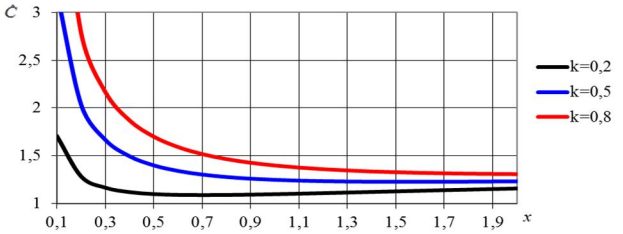

Рис. 1. Залежність відносних сумарних річних втрат від відносного строку експлуатації зубчастих коліс, що пройшли ППЗ ($\hat{C}_0 = 0{,}5$, $n = 1{,}15$)

Розв'язок завдання оптимізації параметрів процесу ППЗ зубчастих коліс зводиться до мінімізації функції (1)

$$x_0 = \sqrt[n]{\frac{k\hat{C}_0}{n-1}}. \tag{2}$$

Стаціонарна точка (2) є точкою мінімуму функції (1). Мінімальне значення функції (1) знаходиться шляхом підстановки значення (2), отримуємо

$$\hat{C}_{\min} = k \cdot n \cdot \left(\frac{\hat{C}_0}{n-1}\right)^{\frac{n-1}{n}}. \tag{3}$$

Аналіз графіків розрахованих за виразом 5, наведених на рис. 1, показує, що існує оптимальний час експлуатації зубчастого колеса, що пройшов ППЗ. Крім того, при збільшенні відносного числа відмов у роботі зубчастого колеса зростають, як відносні сумарні річні втрати, так і оптимальний строк експлуатації зубчастих коліс, що пройшли ППЗ. А аналіз графіків, розрахованих за формулою (3) та наведених на рис. 2, показує, що залежність мінімальних відносних середніх річних втрат від показника, що характеризує ріст вартості зубчастого колеса, що пройшов ППЗ, носить екстремальний характер.

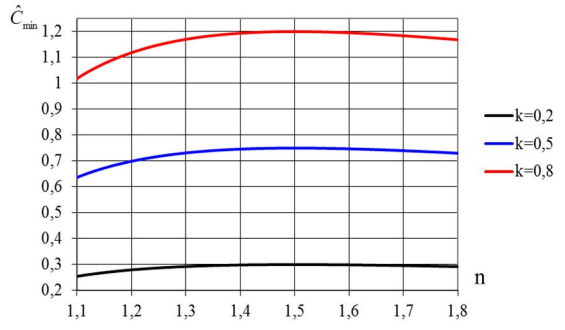

Рис. 2. Залежність мінімальних відносних середніх річних втрат від показника, що характеризує ріст вартості зубчастого колеса, що пройшов ППЗ ($\hat{C}_0 = 0{,}5$)

При розв'язку поставленого завдання оптимізації проводився експериментальний пошук [12, 13, 16] області оптимуму шляхом варіювання двома факторами – V і I. Для пошуку області оптимуму шляхом мінімізації нев'язки рівняння $\sqrt[n]{\frac{k\hat{C}_0}{n-1}} = \varphi(V;I)$ застосувався симплекс-

метод. При розв'язку завдання на площині симплексом є трикутник. Для розв'язку завдання були обрані параметри $n = 1{,}15$, $k = 0{,}5$, $\hat{C}_0 = 0{,}5$. Тоді

$$x_{opt} = \sqrt[1{,}15]{\frac{0{,}5 \cdot 0{,}5}{1{,}15 - 1}} = 1{,}56. \quad (4)$$

За допомогою симплекс-трикутника було визначено в межах обраних інтервалів варіювання оптимальну область, яка відповідає режиму обробки з V= 393 мм/хв, і I = 250 А.

Для вивчення області оптимуму поверхні відгуку була використана нелінійна стохастична модель, описувана поліномом другого порядку. Застосування композиційного ротатабельного планування експерименту дало можливість синтезувати математичну модель [14].

Попередні дослідження показали, що для побудови математичної моделі з метою знаходження оптимуму розв'язуваного завдання доцільно застосувати центральне композиційне рототабельне планування другого порядку [15]. У цьому випадку математична модель має вигляд:

$$\hat{x} = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + a_3 X_1^2 + a_4 X_2^{\,2} + a_5 X_1 X_2, \quad (5)$$

де a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5 – коефіцієнти рівняння регресії.

Наступний статистичний аналіз результатів моделювання дозволив на основі критерію Стьюдента відсіяти незначущі коефіцієнти математичної моделі, а також установити її адекватність шляхом застосування критерію Фішера. Після чого рівняння регресії отримало наступний вигляд:

$$\hat{x} = 1{,}103 - 0{,}065 X_1 + 0{,}39 X_2 + 0{,}036 X_2^2. \quad (6)$$

Згідно з рівнянням регресії (10), ізолінії задаються рівняннями

$$0{,}036 X_2^2 - 0{,}065 X_1 + 0{,}39 X_2 = C_k - 1{,}103;\ (k = 1;2;...), \quad (7)$$

де C_k – параметр, який визначає розташування ізоліній.

Беручи до уваги, що в рівняння (7) тільки один фактор входить у другій ступені, можна зробити висновок, що ізолінія є параболою. Вершина параболи перебуває в точці M_0 (0,723 – 15,385·$C_к$; -5,417).

Аналіз ізоліній, наведених на рис.3, показує, що ці ізолінії є параболами. При збільшенні параметра x (рівного $C_к$) відбувається зсув вершини параболи вліво вздовж осі X_1. Необхідно підкреслити, що через область, у якій будувалась математична модель, проходить тільки верхня гілка параболи.

Аналіз розв'язку, представленого у вигляді точок, розташованих на оптимальній ізолінії, між точками M_0 (-1; 0,925) й M_1 (0,468; 1), дозволяє зробити висновок про існування безлічі оптимальних розв'язків. Безліч розв'язків може бути записано у вигляді лінійної комбінації координат кінців цього відрізка прямої, тобто

$$\begin{cases} X_1 = -1 + 1{,}468 \cdot t \\ X_2 = 0{,}925 + 0{,}075 \cdot t \end{cases}, \qquad (0 \le t \le 1). \quad (8)$$

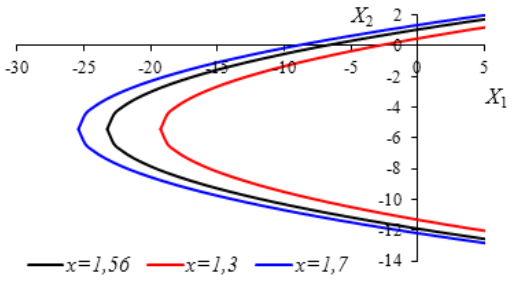

Рис. 3. Ізолінії поверхні відгуку

Зроблено перехід та знайдено оптимальні розв'язки в дійсних одиницях

$$\begin{cases} V = 350 + 73{,}4 \cdot t \\ I = 246{,}25 + 3{,}75 \cdot t \end{cases}; \qquad (0 \le t \le 1). \quad (9)$$

Для знаходження єдиного оптимального розв'язку був запропонований економічний критерій, що визначає сумарні витрати, пов'язані з величинами швидкості руху джерела нагрівання й сили струму плазмової дуги. Мінімізація цього критерію в границях оптимальної ізолінії дала можливість визначити найкращі величини швидкості руху джерела нагрівання й сили струму плазмової дуги для забезпечення оптимального строку експлуатації зубчастого колеса, поверхня якого піддана ППЗ. Оптимальне завдання

$$L = c_1 \cdot V + c_2 \cdot I \to \min_{V,I}, \quad (10)$$

де c, c_1 – питомі витрати, пов'язані зі застосуванням для реалізації процесу ППЗ переміщення джерела нагрівання й струму плазмової дуги, відповідно

$$t=0,\begin{cases} V_0=350 \\ I_0=246{,}25 \end{cases};\ \underline{\hat{L}_0=\hat{c}_1\cdot 350+246{,}25};\ t=1;\ \begin{cases} V_1=423{,}4 \\ I_1=250 \end{cases};\ \underline{\hat{L}_1=\hat{c}_1\cdot 423{,}4+250}. \qquad (11)$$

Аналіз графіків, наведених на рис. 4, показує, що мінімальні економічні втрати мають місце при $t = 0$, тобто на лівому кінці оптимальної ізолінії (9).

Таким чином, оптимальними значеннями факторів при проведенні процесу ППЗ є V_{opt} = 350 мм/хв, I_{opt} = 245 А.

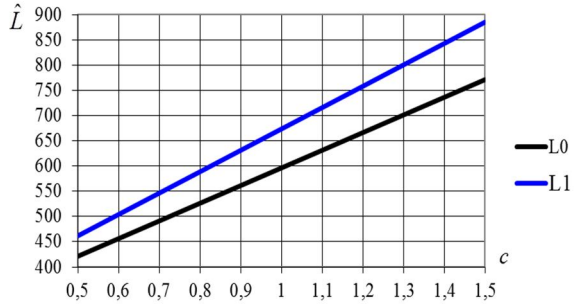

Рис. 4. Залежність мінімальних економічних втрат від відношення питомих вартостей

Отримані значення факторів визначають оптимальні величини швидкості переміщення джерела нагрівання й струму плазмової дуги, які забезпечують оптимальний строк експлуатації зубчастих коліс, підданих ППЗ.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Досліджено вплив технологічних параметрів даного процесу на зносостійкість і механізми зношування поверхневого шару, а саме сила струму (I) та швидкість руху (V) джерела нагрівання. В умовах ППЗ ефективність плазмової дуги, як джерела нагрівання, суттєво залежить від співвідношення розмірів теплового джерела, його швидкості й теплової потужності; раціональним слід уважати таке їх співвідношення, при якому температура поверхні, що нагрівається, на задній границі плями нагрівання досягає, але не перевищує температури плавлення для даного матеріалу.

Аналіз особливостей експлуатації відкритих зубчастих передач дозволив зробити висновок про доцільність використання економічних показників для визначення оптимального строку їх служби.

Мінімізація економічного критерію, пов'язаного з питомими витратами на технічне обслуговування й ремонт із урахуванням вартості виготовлення зубчастих коліс при використанні ППЗ, дало можливість оцінити оптимальний час експлуатації відкритих зубчастих передач.

З метою дослідження впливу на процес ППЗ зубчастих коліс швидкості руху джерела нагрівання й сили струму плазмової дуги був організований активний експеримент шляхом використання послідовного симплекс-методу, який дав можливість виділити область оптимуму поверхні відгуку.

Для вивчення області оптимуму поверхні відгуку була використана нелінійна стохастична модель, описувана поліномом другого порядку. Застосування композиційного рототабельного планування експерименту дало можливість синтезувати математичну модель. Наступний статистичний аналіз результатів моделювання дозволив на основі критерію Стьюдента відсіяти незначущі коефіцієнти математичної моделі, а також установити її адекватність шляхом застосування критерію Фішера.

Детальне дослідження знайденої області оптимуму шляхом побудови ізоліній указало на наявність безлічі розв'язків, розташованих на оптимальній ізолінії. Для знаходження єдиного оптимального розв'язку був запропонований економічний критерій, що визначає сумарні витрати, пов'язані з величинами швидкості руху джерела нагрівання й сили струму плазмової дуги. Мінімізація цього критерію в границях оптимальної ізолінії дала можливість визначити найкращі величини швидкості руху джерела нагрівання й сили струму плазмової дуги для забезпечення оптимального строку експлуатації зубчастого колеса, поверхня якого піддана ППЗ.

В результаті математичного моделювання виявлено вплив параметрів режиму поверхневого плазмово-дугового зміцнення на відносний термін експлуатації великомодульних зубчастих коліс х. Це дозволило отримати оптимальні співвідношення параметрів процесу, які забезпечують найкращі показники, щодо зносостійкості робочих поверхонь великомодульних зубчастих передач (V_{opt} = 350 мм/хв, I_{opt} = 245 А).

Список литературы

1. **Самотугин С.С., Кавальчук А.В., Новохацкая О.П.** и др. Упрочнение инструмента из быстрорежущих сталей обработкой плазменной струей //Металловедение и термическая обработка металлов. - 1994. - №2. - С. 5-8.

2. Лещинский Л.К., Самотугин С.С, Пирч И.И., и др. Плазменное поверхностное упрочнение. - Киев: Техника, 1990, -109 с.

3. **Лещинский Л.К., Самотугин С.С., Пирч И.И.** и др. Влияние поверхностного упрочнения плазменной струей на характер разрушения углеродистых сталей // Физика и химия обработки металлов. - 1985. - ЖЗ. - С. 100 -106.

4. Гречнева М.В., Токмаков В.П. Плазменное упрочнение металлов в жидких средах // Сварочное производство. – 1992. – №7. – С. 8–10.

5. **Самотугин С.С., Пуйко А.В., Соляник Н.Х.** и др. Эксплуатационные свойства инструментальных сталей после комплексного объемно- поверхностного упрочнения //Металловедение и термическая обработка металлов. - 1997. - №5. - С. 2-6.

6. **Домбровский Ю.М., Бровер А.В.** Экспериментальная установка для плазменного поверхностного упрочнения деталей машин. - М., 1996. -5 с. - Деп. в ВИНИТИ, 22.11.96, №3387-В96.

7. **Короткое В.А, Трошин О.В., Бердников А.А.** Плазменная закалка сканируемой дугой без оплавления поверхности //Физика и химия обработки материалов. - 1995. - №2. - С. 101-106.

8. Transformation hardening of steel using high-energy electron beams / **Elmer J. W., Newton M.A., Smith A.C.** // Weld. J. – 1994. – 73, №12. – P. 291–299.

9. **Rolf Roggen** Durcissement Super ficial par Plasma des aciers au carbone des fontes// Rev. Metallurgie. - 1979,- У.16. №7. - P. 532-537.

10. **Шатерин М.А., Коротких М.Т., Нечаев В.П.** Плазмотрон для плазменно-механической обработки. – «Сварочное производство», 1986, №8, - с.27, 28.

11. **Нечаев В.П., Рязанцев А.А.** Особенности тепловых процессов при обработке заготовок с плазменным нагревом. – Вісник Криворізького технічного університету. Збірник наукових праць. – Вип.26. Кривий Ріг, 2010. – с.157-160.

12. **Попов Ю.П.** Вычислительный эксперимент / Ю.П. Попов, А.А. Самарский. – М.: Знание, 1983.– 64с.

13. Статистические методы в инженерных исследованиях (лабораторный практикум).Учебн. пособие / **Бородюк В.П., Вощинин А.П.** и др.; под ред. Круга Г.К. – М.: Высш. школа, 1983. – 216с.

14. **Адлер Ю.П.** Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий./ Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский . – М. : Наука, 1976.– 275с.

15. **Головина Л.И.** Линейная алгебра и некоторые её приложения / Л.И.Головина. - М.: Наука, 1979. – 392 с.

16. **Сидняев Н.И.** Теория планирования эксперимента и анализ статистических данных. / Н.И. Сидняев.– М.: Юрайт, 2012.–400с.

Рукопис подано до редакції 03.04.2019

УДК 622.807

О.Є. ЛАПШИН*, О.О. ЛАПШИН, доктори техн. наук
Криворізький національний університет

ОХОРОНА РУДНИКОВОЇ АТМОСФЕРИ ВІД ЗАБРУДНЕННЯ В ГІРНИЧИХ ВИРОБКАХ ШАХТ

Мета. Метою даної роботи э розробка способу охорони рудникової атмосфери від забруднення в гірничих виробках шахт

Методи. Застосовувався комплексний метод дослідження, який передбачав теоретичні дослідження процесів очищення повітря в гірничих виробках, експериментальні дослідженні параметрів гідравлічної завіси за різних значень тиску води в підвідній магістралі та промислові випробування ефективності очищення вентиляційних викидів.

Наукова новизна. Розроблено спосіб охорони рудникової атмосфери від забруднення шляхом очищення вентиляційних викидів за допомогою гідравлічних завіс високого тиску, який дозволяє знизити вміст шкідливих домішок в атмосфері шахт і кар'єрів до санітарних норм під час ведіння технологічних процесів при відкрито-підземному способі видобування залізної руди.

Практична значимість. На підставі проведених випробувань в підземних виробках надані практичні рекомендації щодо охорони рудникової атмосфери від забруднення шляхом очищення вентиляційних викидів за допомогою гідравлічних завіс та застосовувати головні вентиляторні установки для провітрювання кар'єрів і шахт, що забезпечує поліпшення умов праці та підвищення безпеки при видобуванні залізної руди.

Результати. Видобування залізної руди в кар'єрах і глибоких шахтах супроводжується забрудненням рудникової атмосфери пилом і шкідливими газами. Перебування працюючих у забрудненій атмосфері призводить до професійних захворювань на пиловий бронхіт. Незважаючи на заходи, що впроваджуються, рівень професійних захворювань досі залишається високим. Існуючі засоби пилогазоподавлення не забезпечують уловлення найбільш небезпечних дрібнодисперсних часток пилу (менше 10 мкм) і зниження концентрацій шкідливих газів. Охорона руднико-

* © Лапшин О.Є., Лапшин О.О., 2019