

СТЕПАНОВ М.С., ПОЛОНСЬКИЙ Л.Г., ЛІТОВЧЕНКО П.І., ІВАНОВА М.С., КОРНІЄНКО В.О.

ВИЗНАЧЕННЯ ЗАБРУДНЕНОСТІ МОР МЕХАНІЧНИМИ ДОМІШКАМИ ПРИ ШЛІФУВАННІ ВАЛКІВ ПРОКАТНИХ СТАНІВ

Виконано аналітичні дослідження та запропоновано технологію і засоби очистки МОР, в яких використовуються різні фізичні принципи. Розроблено структуру і побудовано математичну модель установки з декількома очисниками при їх послідовно-паралельному з'єднанні. На основі математичної моделі створено аналітичні залежності для розрахунку основних параметрів очистки. Результати дослідження дозволяють прогнозувати потрібні значення параметрів якості шліфуваних поверхонь і приймати оптимальні рішення щодо призначення раціональних параметрів режимів різання, заміни або правки шліфувального круга, очистки або заміни МОР.

Ключові слова: концентрація механічних домішок, коефіцієнт ступені очистки МОР, критерії очистки, дрібнозернисті фракції, швидкість накоплення, гравітаційний очисник, шламовий резервуар.

STEPANOV M.S., POLONSKIY L. G., LITOVCHENKO P.I., IVANOVA M.S., KORNIENKO V.A.
DETERMINATION OF CONTAMINATION OF COOLANT WITH MECHANICAL IMPURITIES DURING GRINDING OF ROLLS OF ROLLING MILLS

Analytical studies have been carried out and a technology and means of coolant cleaning using various physical principles have been proposed. The structure has been developed and a mathematical model of an installation with several cleaners in series-parallel connection has been developed. Based on the mathematical model, analytical dependencies were created to calculate all the main cleaning characteristics. The results of the study make it possible to predict the required values of the quality parameters of ground surfaces and make optimal decisions on the appointment of rational parameters for cutting modes, replacement or dressing of the grinding wheel, cleaning or replacement of coolant.

Keywords: concentration of mechanical impurities, coolant purification degree coefficient, purification criteria, fine-grained fractions, accumulation rate, gravity cleaner, sludge reservoir.

1. Вступ. Найбільшою мірою експлуатаційні властивості валків прокатних станів залежать від якості поверхонь, які визначаються сукупністю геометричних параметрів (шорсткістю і хвилястістю), фізико-хімічними і фізико-механічними властивостями металу поверхневого шару. Формування названих вище характеристик здійснюється на етапі шліфування із застосуванням МОР, котра у процесі обробки забруднюється механічними домішками – відходами матеріалу валка і абразиву шліфувального круга. Актуальність розглядуваної проблеми підтверджується значним об'ємом відновлювальних робіт – наприклад, протягом одного року експлуатації стану холодної прокатки виходять з ладу з різних причин до 400 робочих і до 15 опорних валків, відновлення яких здійснюється шліфуванням.

2. Аналіз останніх досліджень та публікацій. Негативний вплив механічних домішок, що містяться у МОР, на геометричні характеристики деталей, що обробляються, широко відомий [1]. Особливо сильно тверді частки, що вміщуються у МОР, впливають на параметр шорсткості R_{max} [2]. Діапазон зміни шорсткості досить значний. Наприклад, шорсткість поверхонь валків 4-х клітинного стану змінюється від $Ra\ 3,2$ (1-ша кліть) до $Ra\ 0,32$ (3-я кліть).

Наприклад, для забезпечення шорсткості обробленої поверхні $Ra\ 0,32$ слід мати на увазі, що концентрація механічних домішок у МОР (з врахуванням їх розмірів) повинна відповідати даним, приведеним на рис. 1 [1]. Дані отримані при швидкості шліфувального круга $V_K = 35\ м/с$.

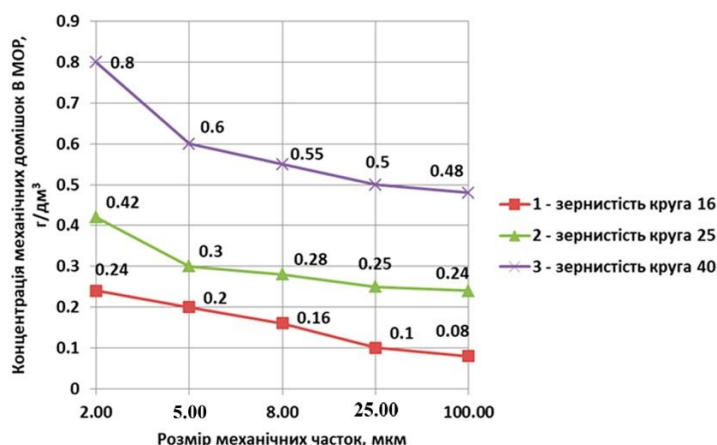


Рис. 1 – Параметри забрудненості МОР для забезпечення шорсткості шліфованої поверхні $Ra\ 0,2$

Встановлено [3], що механічні домішки, які містяться в МОР, що застосовується при шліфуванні, негативно впливають на якість поверхневого шару деталей і його фізико-механічні властивості. Це можна пояснити тим, що структура поверхневого шару, яка утворюється, є дефектною, має підвищену крихкість і високу концентрацію напружень й нижчу міцність у порівнянні з вихідним матеріалом після загартування.

При неухильному зростанні вимог до якості прокатних валків це наполегливо диктує необхідність ретельної очистки МОР, що застосовується на операції шліфування, для забезпечення необхідних функціональних і експлуатаційних якостей рідини [4].

© М.С. Степанов, Л.Г. Полонський, П.І. Літовченко, М.С. Іванова, В.О. Корнієнко, 2023

Проведені дослідження [5] дозволили виявити і вивчити закономірності забруднення і очистки МОР через пористі середовища.

В деяких джерелах [6] стверджується, що можливість технологічного забезпечення якості поверхонь деталей з покриттями може бути реалізовано не тільки шляхом управління геометричними параметрами і фізико-механічними властивостями матеріалу, а й очисткою МОР від механічних домішок.

3. Мета дослідження. Побудова і дослідження математичних моделей систем очистки МОР при шліфуванні валків прокатних станів і прогнозування на цій основі параметрів якості шліфованих поверхонь.

4. Викладення основного матеріалу. Ефективність очистки МОР в певній установці, яку використовують як індивідуальну для вальцешліфувального верстата, за один прохід через установку можна оцінити наступними критеріями.

Коефіцієнт ступеня очистки МОР визначається за залежністю

$$\xi = \frac{C_{ex} - C_{вих}}{C_{ex}}, \quad (1)$$

де C_{ex} і $C_{вих}$ – масові концентрації механічних домішок на вході в установку і на виході з неї.

Сумарний (загальний) коефіцієнт ступеня очистки МОР установки, що складається з n послідовно з'єднаних очисників, визначається за формулою:

$$\xi_{\Sigma} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - m_i \xi_i), \quad (2)$$

де ξ_i – коефіцієнт ступеня очистки i -того очисника установки; m_i – відносна кількість (доля) МОР, що проходить через i -й очисник за одиницю часу від загальної кількості рідини, що очищається установкою.

При паралельному з'єднанні n очисників загальний коефіцієнт очистки складає

$$\xi_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n m_i \xi_i. \quad (3)$$

Сумарний коефіцієнт ступеня очистки МОР установки, що складається з n послідовно з'єднаних очисників і після них k паралельно ввімкнутих очисників, визначається за формулою:

$$\xi_{\Sigma} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - m_i \xi_i) + \prod_{i=1}^n (1 - m_i \xi_i) \sum_{j=1}^k m_j \xi_j. \quad (4)$$

Сумарний коефіцієнт ступеня очистки МОР установки, що складається з n паралельно ввімкнутих на відгалуженні і після них k послідовно ввімкнутих очисників

$$\xi_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n m_i \xi_i + 1 - \prod_{j=1}^k (1 - m_j \xi_j). \quad (5)$$

При проектуванні техніки очистки МОР слід враховувати також критерії очистки:

– d_{\min} мінімальну тонкість очистки (мінімальний розмір часток, що видаляються); – d_{50} – тонкість очистки (діаметр часток, 50% яких видаляються із МОР). Механічні домішки, що містяться у МОР є наслідками наступних процесів: – зйому металу з поверхні валка; – зносу шліфувального круга; – руйнування зв'язки і абразиву при відновленні робочої поверхні круга при його правці [7].

Враховуючи, що ці процеси здійснюються на різних етапах операції шліфування, вираз для визначення сумарної концентрації домішок можна записати у вигляді:

$$C_{ex}^{\Sigma} = \begin{cases} C_{ex}^M + C_{ex}^{a1}, & \text{нпу } t = t_{ув} \\ C_{ex}^a, & \text{нпу } t = t_{пр} \end{cases} \quad (6)$$

де C_{ex}^M – концентрація металевих домішок на вході в установку на етапі шліфування; C_{ex}^{a1} – концентрація абразивних домішок на вході в установку на етапі шліфування; C_{ex}^a – концентрація абразивних домішок на вході в установку на етапі правки круга.

Масову концентрацію металевих домішок в МОР можна визначити за формулою

$$C_{ex}^M = \frac{2D_e^2 t_{np} S_{ne}^{np} \rho_a}{Q_{MOP}^{np}}, \quad (7)$$

де D_e – діаметр валка, мм; t_{np} – глибина правки, мм; S_{ne}^{np} – швидкість повздовжнього переміщенняправлячого алмазного олівця, мм/с; ρ_a – густина абразиву, г/мм³; Q_{MOP}^{np} – витрата МОР при правці, мм³/с.

Експерименти по вивченню впливу матеріалу зерна круга на його знос при шліфуванні валків зі сталі 9Х2, 9ХМФ2 підтвердили співвідношення $C_{ex}^M = (30 \dots 50) \cdot C_{ex}^{a1}$ [10]. Звідки можна оцінити параметр C_{ex}^{a1} .

Масову концентрацію абразивних домішок в МОР при правці можна визначити по формулі

$$C_{ex}^a = \frac{2D_k^2 t_{np} S_{ne}^{np} \rho_a}{Q_{MOP}^{np}}, \quad (8)$$

де D_k – діаметр шліфувального круга, мм; t_{np} – глибина правки, мм; S_{ne}^{np} – швидкість повздовжнього переміщення при правці, мм/с; ρ_a – густина абразиву, г/мм³; Q_{MOP}^{np} – витрата МОР при правці, мм³/с.

Очистка МОР при шліфуванні валків прокатних станів має свою специфіку. В результаті великих зйомів (припуск, що знімається за одну перешліфовку досягає до 0,5 мм) концентрація механічних домішок різко зростає. Наприклад, бак з чотирма відсіками, розташований біля верстата для попередньої очистки МОР, що поступає після цього в централізовану систему, може бути заповнений за 1...1,5 робочих зміни на операціях обдирки валків. Об'єм МОР, що використовується в індивідуальній системі, складає 2...4 м³, а витрата – 200...250 м³.

Велику кількість абразивних часток в МОР пов'язано з тим, що правку шліфувального круга виконують до чотирьох разів за робочу зміну, а іноді – в інтервалі 30 хв.

Для очистки МОР використовують установки, що забезпечують різну її якість і які використовують очисники, в основу роботи яких покладені різні принципи (табл. 1).

Таблиця 1 – Варіанти схем індивідуальних установок для очистки МОР вальцешліфувальних верстатів

№№ з/п	Гідравлічна схема	Напрямок руху потоків	№№ з/п	Гідравлічна схема	Напрямок руху потоків
1		$B \rightarrow \text{ФТ} \rightarrow$ $\rightarrow B_1 \rightarrow B_2 \rightarrow$ $\rightarrow H \rightarrow B$	2		$B \rightarrow \text{МС} \rightarrow$ $\rightarrow \text{ШМ} \rightarrow B_1 \rightarrow B_2 \rightarrow$ $\rightarrow H \rightarrow B$
3		$B \rightarrow \text{Ц} \rightarrow$ $\rightarrow B_1 \rightarrow B_2 \rightarrow$ $\rightarrow H \rightarrow B$	4		$B \rightarrow B_1 \rightarrow H_1 \rightarrow$ $\rightarrow \text{ГЦ} \rightarrow$ $\rightarrow \left \begin{matrix} B_2 \rightarrow \\ \text{Ш} \rightarrow \end{matrix} \right \rightarrow H_2 \rightarrow B$
5		$B \rightarrow \text{МС} \rightarrow B_1 \rightarrow$ $\rightarrow B_2 \rightarrow \text{ГЦ} \rightarrow$ $\rightarrow \left \begin{matrix} B_2 \rightarrow \\ \text{Ш} \rightarrow \end{matrix} \right \rightarrow B_2 \rightarrow$ $\rightarrow H_2 \rightarrow B$	6		$B \rightarrow \text{МС} \rightarrow B_1 \rightarrow$ $\rightarrow H \rightarrow \text{НПФ} \rightarrow$ $\rightarrow \left \begin{matrix} \text{ШФ} \\ K \rightarrow B \\ B_2 \end{matrix} \right $

Скорочення і позначення, використані в таблиці і далі по тексту: В – верстат; ФТ – фільтр-транспортер; В₁, В₂, В₃, В₄, В₅ – відсіки відстійника; Н, Н₁, Н₂ – насоси; Ц – центрифуга; ГЦ – гідроциклон; НПФ – наливний патронний фільтр; ШМ, ШГ, ШФ – шламові баки магнітного сепаратора, гідроциклону і наливного фільтра, відповідно.

Раніш вже проводилося моделювання чистоти МОР, що використовується в процесі листової прокатки з ціллю забезпечення стабільності очистки МОР [8].

Ефективним засобом стабілізації чистоти МОР в процесі довготривалої експлуатації є застосування фільтрів тонкої очистки, наприклад, наливних патронних фільтрів, які забезпечують високу якість очистки для часток з розмірами 3...5 мкм і сприяють різкому зниженню інтенсивності накоплення часток тонкої

фракції [9].

Як об'єкт моделювання розглянуто систему очистки (рис. 2), яка складається з відстійника (гравітаційний очисник горизонтального типу) з перегородками, що утворюють п'ять гравітаційних очисників B_1, B_2, B_3, B_4, B_5 зі ступенями очистки $\xi_{01}, \xi_{02}, \xi_{03}, \xi_{04}, \xi_{05}$. МОР з верстата з початковою концентрацією домішок C_{ex} попадає в магнітний сепаратор, який забезпечує ступінь очистки ξ_M , і концентрацією механічних домішок на виході C_1 . Надалі МОР насосом H_1 подається в гідроциклон, в якому МОР очищується зі ступенем очистки ξ_G , розділяючись на два потоки: очищений з концентрацією домішок C_3 і забруднений з концентрацією домішок C_4 .

Забруднений потік попадає в шламовий резервуар зі ступенем очистки ξ_{III} і забезпечує концентрацію домішок на виході C_5 рухається в гравітаційний очисник B_2 і очищується до концентрації домішок C_6 . Очищений потік спрямовується в резервуар гравітаційної очистки B_4 зі ступенем очистки ξ_{04} .

Потік МОР зі шламового резервуара з концентрацією домішок C_5 рухається в гравітаційний очисник B_2 і після очистки до концентрації домішок C_6 попадає в гравітаційний очисник B_3 .

Із очисника B_3 МОР з концентрацією домішок C_7 переміщується в очисник B_4 . В цьому очиснику може бути передбачено розташування других очисників, в тому числі, для видалення дрібнодисперсних фракцій.

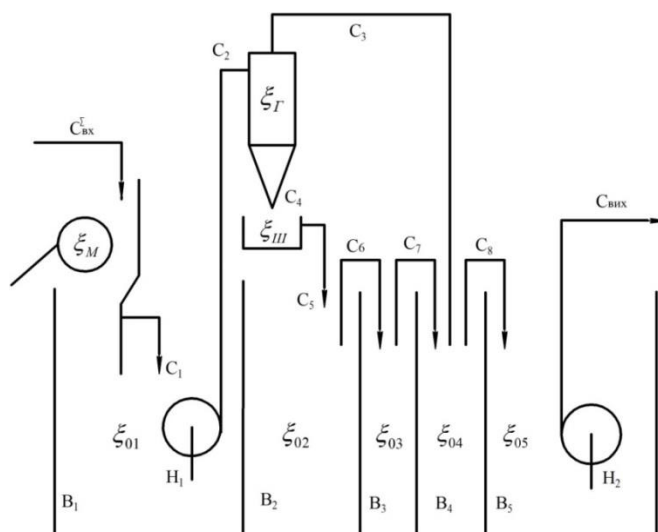


Рис. 2 – Розрахункова схема до визначення механічних домішок в МОР

Із очисника B_4 МОР з концентрацією домішок C_8 переміщується в очисник B_5 , звідки після відстоювання насосом H_2 подається в зону шліфування верстата з концентрацією домішок $C_{вих}$.

В схемі, що розглядається, МОР проходить декілька етапів очистки.

1-й етап – очищення у магнітному сепараторі. Для цього етапу ступінь очистки і концентрація механічних домішок на виході визначається за формулами:

$$\xi_M = \frac{C_{ex}^\Sigma - C_1}{C_{ex}^\Sigma}; \quad C_1 = C_{ex}^\Sigma (1 - \xi_M). \quad (9)$$

2-й етап – гравітаційне осадження у відсіку B_1 . Параметри очистки на цьому етапі:

$$\xi_{01} = \frac{C_1 - C_2}{C_1}; \quad C_2 = C_1 (1 - \xi_{01}) = (1 - \xi_M) C_{ex}^\Sigma = C_{ex}^\Sigma (1 - \xi_{01}) (1 - \xi_M). \quad (10)$$

3-й етап – відцентрова очистка в гідроциклоні. Параметри очистки на цьому етапі:

$$\xi_G = \frac{C_2 - C_3}{C_2}; \quad C_3 = C_2 (1 - \xi_G) = C_{ex}^\Sigma (1 - \xi_{01}) (1 - \xi_M) (1 - \xi_G). \quad (11)$$

4-й етап – згущення механічних домішок у гідроциклоні. Параметри очистки на цьому етапі:

$$C_4 = \xi_{\Gamma} C_2 = C_{\Sigma}^{\Sigma} (1 - \xi_{01}) (1 - \xi_M) (1 - \xi_{\Gamma}) \xi_M. \quad (12)$$

5-й етап – гравітаційне осадження продуктів очистки гідроциклоном у шламовому резервуарі. Параметри очистки на цьому етапі:

$$\xi_{II} = \frac{C_4 - C_5}{C_4}; \quad C_5 = C_4 (1 - \xi_{\Gamma}) = C_{\Sigma}^{\Sigma} (1 - \xi_{III}) = C_{\Sigma}^{\Sigma} (1 - \xi_{01}) (1 - \xi_M) (1 - \xi_{III}) \xi_{\Gamma}. \quad (13)$$

6-й етап – гравітаційне осадження у відсіку B_2 . Параметри очистки:

$$\xi_{02} = \frac{C_5 - C_6}{C_5}; \quad C_6 = C_5 (1 - \xi_{02}) = C_{\Sigma}^{\Sigma} (1 - \xi_{01}) = C_{\Sigma}^{\Sigma} (1 - \xi_{01}) (1 - \xi_M) (1 - \xi_{III}) \xi_{\Gamma} (1 - \xi_{02}) \quad (14)$$

7-й етап – гравітаційне осадження у відсіку B_3 . Параметри очистки:

$$\xi_{03} = \frac{C_6 - C_7}{C_6}; \quad C_7 = C_6 (1 - \xi_{03}) = C_{\Sigma}^{\Sigma} (1 - \xi_{01}) = C_{\Sigma}^{\Sigma} (1 - \xi_{01}) (1 - \xi_M) (1 - \xi_{III}) \xi_{\Gamma} (1 - \xi_{02}) (1 - \xi_{03}). \quad (15)$$

8-й етап – гравітаційне осадження у відсіку B_4 (два вхідних потоки забрудненої МОР). Параметри очистки:

$$\xi_{04} = \frac{0,5(C_7 + C_3) - C_8}{0,5(C_7 + C_3)};$$

$$C_8 = 0,5(C_7 + C_3)(1 - \xi_{04}) = 0,5C_{\Sigma}^{\Sigma} (1 - \xi_{01}) (1 - \xi_M) (1 - \xi_{04}) [\xi_{\Gamma} (1 - \xi_{III}) (1 - \xi_{02}) (1 - \xi_{03}) + (1 - \xi_{\Gamma})]. \quad (16)$$

9-й етап – гравітаційне осадження у відсіку B_5 . Параметри очистки:

$$\xi_{05} = \frac{C_8 - C_{\text{вих}}}{C_8};$$

$$C_{\text{вих}} = C_8 (1 - \xi_{05}) = 0,5C_{\Sigma}^{\Sigma} (1 - \xi_{01}) (1 - \xi_{04}) (1 - \xi_{05}) (1 - \xi_M) [\xi_{\Gamma} (1 - \xi_{III}) (1 - \xi_{02}) (1 - \xi_{03}) + (1 - \xi_{\Gamma})]. \quad (17)$$

Загальний коефіцієнт ступеня очистки всієї установки визначається за формулою:

$$\xi_{\Sigma} = 1 - \frac{C_{\text{вих}}}{C_{\Sigma}^{\Sigma}} = \left\{ 1 - \frac{0,5}{C_{\Sigma}^{\Sigma}} (1 - \xi_{01}) (1 - \xi_{04}) (1 - \xi_{05}) (1 - \xi_M) [\xi_{\Gamma} (1 - \xi_{III}) (1 - \xi_{02}) (1 - \xi_{03}) + (1 - \xi_{\Gamma})] \right\}. \quad (18)$$

На рис. 3 наведено результати виконаних перевірочних розрахунків, що показують порівняльні значення концентрації домішок у МОР після її очистки різними очисними пристроями.

Наведена діаграма ілюструє структуру і послідовність зміни концентрації механічних домішок в процесі послідовної очистки МОР при її проходженні через очисну установку.

При визначенні параметрів очистки з використанням математичної моделі процесу і сукупності наданих залежностей рекомендується використовувати дані, що наведено в табл. 2.

Аналіз діаграми дає можливість визначити долю дрібнозернистих часток, швидкість накоплення яких в МОР найбільш велика. Можна визначити також, на якому етапі необхідно встановлювати очисники дрібнодисперсних фракцій (намивний фільтр, центрифугу, вакуумний флотатор) для ефективного використання пристроїв.

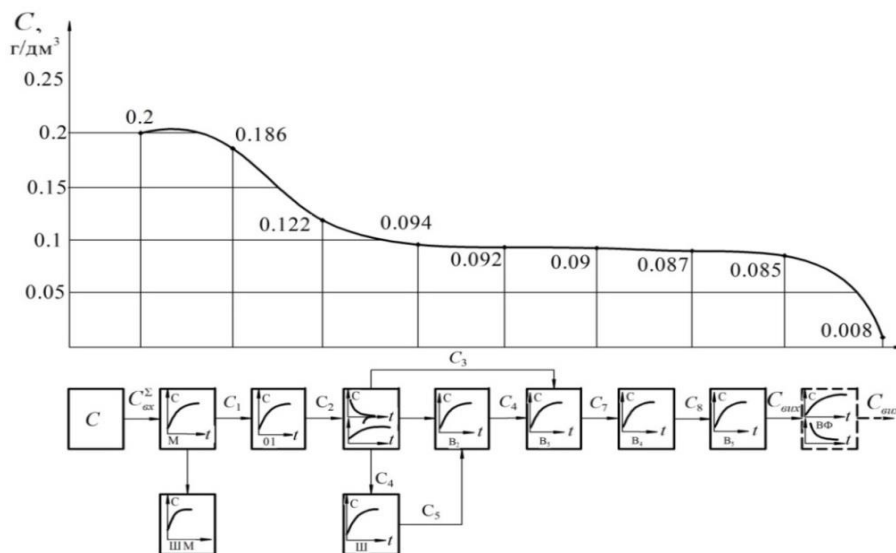


Рис. 3 – Діаграма зміни масової концентрації в МОР часток 5 мкм і менше в очисній установці

В даному випадку, очисник дрібнодисперсних фракцій тонкої очистки розташовано на останньому етапі очистки.

Таблиця 2 – Основні технічні характеристики пристроїв для очистки МОР у вальцешліфувальних верстатах

№ з/п	Вид очисника	Продуктивність, $\text{дм}^3/\text{хв}$	Ступінь очистки, %	Тонкість очистки, d_{50} , мкм	Концентрація домішок на вході, г/м^3
1.	Відстійник	5-300	70-90	20-75	будь-яка
2.	Магнітний сепаратор барабанний	5-300	70-90	20-75	будь-яка
3.	Фільтр-транспортёр	20-200*	75-98*	25	0,5
4.	Гідроциклон	20-100	80-92	5-15	0,5-5
5.	Центрифуга	до 150	98	3	<1
6.	Фільтр наливний	150 і більше	97-99	2-5	0,5
7.	Флотатор вакуумний	Залежить від площі	65-95**	2-5	0,2-0,3

* – залежить від фільтруючого полотна; ** – з використанням поверхнево активних речовин

Для більш детального аналізу ефективності очистки в установці слід визначити коефіцієнт ступеня очистки, що отримується в результаті вагового аналізу. Крім того, необхідно мати дані по коефіцієнту ступеня очистки для окремих діапазонів механічних часток (1...5 мкм; 5...10 мкм; 10...15 мкм; 15...25 мкм 25...50 мкм і так далі). Це дозволяє визначити динаміку накоплення домішок в процесі експлуатації МОР. Особливо важливим при цьому є діапазон дрібнозернистих домішок розмірами 1...5 мкм, оскільки швидкість накоплення їх в МОР особливо висока внаслідок недостатньо ефективної очистки більшості очисників від цих часток.

Висновки.

1. Розроблено структуру і побудовано математичну модель установки з декількома очисниками при їх послідовно-паралельному з'єднанні. На основі математичної моделі надано аналітичні залежності для розрахунку основних параметрів очистки. Розроблена модель є справедливою при одноразовому проходженні через елементи очисної установки.

2. Результати досліджень показують, що збільшення кількості гравітаційних очисників практично не впливає на коефіцієнт ступеня очистки дрібнодисперсних (розміром менше 5 мкм) домішок у МОР. При моделюванні слід враховувати, що коефіцієнт ступеня очистки залежить від концентрації забруднень, котра змінюється в часі.

3. Результати дослідження дозволяють прогнозувати потрібні значення параметрів якості шліфованих поверхонь і приймати оптимальні рішення щодо призначення раціональних параметрів режимів різання, заміни або правки шліфувального круга, очистки або заміни МОР.

4. Приведені результати рекомендуються для використання при проектуванні технологічних процесів виготовлення і відновлення валків прокатних станів, а також на спеціалізованих підприємствах по виробництву і регенерації МОР.

5. Перспективою розвитку даного напрямку дослідження є більш детальний аналіз ефективності

очистки для діапазонів механічних часток 1...5 мкм; 5...10 мкм; 10...15 мкм, що дозволить визначати і прогнозувати динаміку накоплення домішок в процесі експлуатації МОР.

Список літератури:

1. Худобин Л.В., Гульнов В.П. Влияние твердых примесей, содержащихся в СОЖ, на качество шлифованных деталей // Вестник машиностроения. – 1976. – №9. – С. 70-73.
2. Лавриненко В.И. и др. Влияние твердых частиц шлама на шероховатость поверхностей при шлифовании и оценка вероятности возникновения царапин на обработанной поверхности / Современные вопросы производства и ремонта в промышленности и на транспорте. Материалы 18-го Международного научно-технического семинара-2018. Брно-Киев // АТМ України. – 2018. – с. 140-146.
3. Худобин Л.В., Степанов М.С. Влияние загрязнения СОЖ на качество поверхностного слоя шлифованных деталей // Вестник машиностроения. – 1990. – №4. – С. 51-54.
4. Л.И. Соколов. Очистка эмульсионных сточных вод в машиностроении / Инфра-Инженерия: Москва-Вологда. – 2017. – 78 с.
5. Молчанов В.Д. Постановка и решение нестационарной граничной задачи фильтрации жидкостей в пористой среде / Машинобудовання. Механіка. – 2018. – С.53-58.
6. В.В. Бураш, Ю.С. Рыжов, Л.Г. Полонский. Смазочно-охлаждающие технологические среды при финишной обработке деталей с покрытиями / Міжвуз. збірн. «Наукові нотатки». Луцьк, 2022. – №73. – С. 15-20.
7. Stepanov M., Ivanova L., Litovchenko P., Ivanova M., Basova Y. (2020) Determination of Parameters of Cylindrical Grinding with Additional Intermediate Dressing. In: Ivanov V. et al. (eds) Advances in Design, Simulation and Manufacturing II. DSMIE 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. – pp. 330-340.
8. Е.М. Булыжев, Л.В. Худобин. Ресурсосберегающее применение смазочно-охлаждающих жидкостей при металлообработке / Москва: Машиностроение. – 2004. – 352 с.
9. Е.М. Булыжев, Л.А. Штраус, В.В. Богданов. Повышение стабильности работы системы очистки СОЖ / Смазочно-охлаждающие жидкости в процессах абразивной обработки. Сб. науч. тр. // Ульяновск. – 1988. – С. 84-90.
10. Агасарян Г.Г. Абразивная обработка закаленных сталей тип 9Х (на примере обработки рабочих валков холодной покатки). – Ереван : Анастан. – 1971. – 128 с.

References (transliterated)

1. Khudobin L.V., Gul'nov V.P. Vliyaniye tverdykh primesey, sodержashchikhsya v SOZH, na kachestvo shlifovannykh detaley // Vestnik mashinostroyeniya. – 1976. – №9. – S. 70-73.
2. Lavrinenko V.I. i dr. Vliyaniye tverdykh chastits shlama na sherokhovatos' poverkhnostey pri shlifovanii i otsenka veroyatnosti vozniknoveniya tsarapin na obrabotannoy poverkhnosti / Sovremennyye voprosy proizvodstva i remonta v promyshlennosti i na transporte. Materialy 18-go Mezhduнародnogo nauchno-tekhnicheskogo seminar-2018. Brno-Kiyev // АТМ України. – 2018. – с. 140-146.
3. Khudobin L.V., Stepanov M.S. Vliyaniye zagryazneniya SOZH na kachestvo poverkhnostnogo sloya shlifovannykh detaley // Vestnik mashinostroyeniya. – 1990. – №4. – S. 51-54.
4. L.I. Sokolov. Ochistka emul'sionnykh stochnykh vod v mashinostroyenii / Infra-Inzheneriya: Moskva-Vologda. – 2017. – 78 s.
5. Molchanov V.D. Postanovka i resheniye nestatsionarnoy granichnoy zadachi fil'tratsii zhidkostey v poristoy srede / Mashinobudovannya. Mekhanika. – 2018. – S.53-58.
6. V.V. Burnash, YU.É. Ryzhov, L.G. Polonskiy. Smazochno-okhlazhdayushchiye tekhnologicheskkiye sredy pri finishnoy obrabotke detaley s pokrytyiyami / Міжвуз. збірн. «Наукові нотатки». Luts'k, 2022. – №73. – S. 15-20.
7. Stepanov M., Ivanova L., Litovchenko P., Ivanova M., Basova Y. (2020) Determination of Parameters of Cylindrical Grinding with Additional Intermediate Dressing. In: Ivanov V. et al. (eds) Advances in Design, Simulation and Manufacturing II. DSMIE 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. – pp. 330-340.
8. Ye.M. Bulyzhev, L.V. Khudobin. Resursosberegayushcheye primeneniye smazochno-okhlazhdayushchikh gidkostey pri metallobrabotke / Moskva: Mashinostroyeniye. – 2004. – 352 s.
9. Ye.M. Bulyzhev, L.A. Shtraus, V.V. Bogdanov. Povysheniye stabil'nosti raboty sistemy ochistki SOZH / Smazochno-okhlazhdayushchiye zhidkosti v prtsessakh abrazivnoy obrabotki. Sb. nauch. tr. // Ul'yankovsk. – 1988. – S. 84-90.
10. Agasaryan G.G. Abrazivnaya obrabotka zakalennikh staley tip 9KH (na primere obrabotki robochikh valkov kholodnoy pokatki). – Yerevan: Anastan. – 1971. – 128 s.

Поступила (received) 20.02.2023

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Степанов Михайло Сергійович (Mykhailo Stepanov) – доктор технічних наук, професор, професор кафедри технології машинобудування та металорізальних верстатів Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2224-6509>; тел.: (057) 707-66-25. e-mail: mykhaylo.stepanov@khp.edu.ua.

Полонський Леонід Григорович, (Leonid Polonsky) доктор технічних наук, професор, професор кафедри механічної інженерії Державного університету "Житомирська політехніка", М. Житомир, Україна, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4347-9088>; тел.: 979273246; e-mail: polonskiy1952@gmail.com.

Літовченко Петро Іванович (Petro Litovchenko) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інженерної механіки Національної академії Національної гвардії України, м. Харків, Україна, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4483-597X>, тел. 063-141-65-97, e-mail: pilovchenko1950@gmail.com.

Іванова Марина Сергіївна (Maryna Ivanova) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технології машинобудування та металорізальних верстатів Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0848-6805>; тел.: (057) 707-66-25; e-mail: maryna.ivanova@khp.edu.ua.

Корнієнко Володимир Олександрович (Volodymyr Korniienko) – студент гр. МІТ-М222в Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-4141-2972>; тел.: (057) 707-66-25; e-mail: korney130893@gmail.com.