

УДК 621.771.23: 628.16.06

DOI <https://doi.org/10.32782/3041-2080/2024-2-3>

## УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ОЧИЩЕННЯ ПРОКАТНОЇ ЕМУЛЬСІЇ У ПРОЦЕСІ ХОЛОДНОЇ ПРОКАТКИ З ТЕХНОЛОГІЧНИМИ МАСТИЛАМИ

**Спічак Олександр Юрійович,**

начальник відділу холодної прокатки дирекції з технології та якості

ПАТ «Запоріжсталь»

ORCID ID: 0009-0004-9653-437X

**Шестопалов Олександр Володимирович,**

провідний інженер-технолог цеху холодного прокату

ПАТ «Запоріжсталь»

**Кухар Володимир Валентинович,**

доктор технічних наук, професор,

проректор з науково-дослідної роботи,

професор кафедри металургії, матеріалознавства і організації виробництва

ТОВ «Технічний університет «Метінвест політехніка»»

ORCID ID: 0000-0002-4863-7233

**Малій Христина Василівна,**

кандидат технічних наук, начальник науково-дослідного департаменту,

доцент кафедри металургії, матеріалознавства і організації виробництва

ТОВ «Технічний університет «Метінвест політехніка»»

ORCID ID: 0000-0002-9046-4268

У роботі досліджено нову конструкцію обладнання для очищення стічної емульсії, яка використовується в цехах холодного прокату, що містить П-подібні пластини для підвищення ефективності процесу очищення. Показано, що для повторного застосування емульсолів за холодної прокатки потрібно забезпечити ефективне охолодження та змащування поверхонь валкового інструменту та штаби, щоби зменшити знос валків і підвищити якість обробленої поверхні металу. Регулярне очищення емульсії необхідне для підтримання її ефективності та тривалого терміну служби, оскільки під час роботи вона забруднюється металевими частинками, продуктами зносу та домішками. Установлено, що нова конструкція пристрою очищення стічної емульсії з використанням П-подібних пластин забезпечує ефективне видалення гідравлічних мастил і забруднень з поверхні емульсії, що значно покращує якість холодного прокату та зменшує витрати на купівлю скімера. Запропоновано прохідний магнітний фільтр, який додатково підвищує ефективність очищення, зменшує вміст олії у шлам і знижує витрати емульсолу на прокатку. Порівняльний аналіз показав значне підвищення видалення механічних домішок за допомогою магнітного фільтра, що приводить до зниження вмісту мастила в емульсії. Нова система очищення не потребує додаткового обслуговування та працює в автоматичному режимі, що підвищує її ефективність і знижує експлуатаційні витрати. З'ясовано, що запропоновані вдосконалення дозволяють оптимізувати процес очищення емульсії, забезпечують кращу якість продукції та зниження витрат на виробництво. На основі проведених досліджень було встановлено, що нова система ефективно затримує забруднення, зберігає водночас робочу концентрацію прокатної емульсії, що підтверджується лабораторними аналізами. Виконане порівняння емульсії в очисному коробі без пластин і з установленими пластинами для наочного підтвердження ефективності системи. Удосконалена система очищення дозволяє знизити загальний рівень вмісту гідравлічних оливок у прокатній емульсії на 15%, що економить кошти на купівлю скімера та покращує якість холодного прокату завдяки зменшенню відсортуння за поверхневими забрудненнями штаби.

**Ключові слова:** холодний прокат, емульсія, пристрій очищення, П-подібні пластини, гідравлічні мастила, прохідний магнітний фільтр, якість продукції.

**Spichak Oleksandr, Shestopalov Oleksandr, Kukhar Volodymyr, Malii Khrystyna. Improvement of the rolling emulsion cleaning system in the process of cold rolling with technological lubricants**

This study explores a new design for a wastewater emulsion purification device used in cold rolling mills, featuring U-shaped plates to enhance the cleaning process's efficiency. It has been shown that for the reuse of emulsions in cold rolling, it is necessary to ensure effective cooling and lubrication of the rolling tool and strip surfaces, reducing roll wear and improving the quality of the processed metal surface. Regular emulsion purification is essential for maintaining its efficiency and longevity, as it becomes contaminated with metal particles, wear products, and impurities during operation. The new design of the emulsion purification device with U-shaped plates has been

*found to effectively remove hydraulic oils and contaminants from the emulsion surface, significantly improving cold rolling quality and reducing costs for skimmer procurement. A pass-through magnetic filter has been proposed to further enhance cleaning efficiency by reducing oil content in the sludge and lowering emulsion consumption during rolling. Comparative analysis showed a significant increase in the removal of mechanical impurities using the magnetic filter, leading to a decrease in oil content in the emulsion. The new purification system requires no additional maintenance and operates automatically, increasing its efficiency and reducing operational costs. It has been established that the proposed improvements optimize the emulsion purification process, ensuring better product quality and reducing production costs. Based on the conducted research, it was found that the new system effectively captures contaminants while maintaining the working concentration of the rolling emulsion, as confirmed by laboratory analyses. A comparison of the emulsion in the cleaning box without and with the installed plates visually demonstrates the system's effectiveness. The improved purification system reduces the overall hydraulic oil content in the rolling emulsion by 15%, saving costs on skimmer procurement and enhancing cold rolling quality by reducing surface contamination sorting of the strip.*

**Key words:** cold rolling, emulsion, purification device, U-shaped plates, hydraulic oils, pass-through magnetic filter, product quality.

**Вступ.** Застосування емульсолів у холодній прокатці пов'язане з тим, що вони забезпечують ефективне охолодження та змазування поверхонь валкового інструменту та штаби, що зменшує знос валків і підвищує якість обробленої поверхні металу. Це сприяє підвищенню продуктивності процесу холодної прокатки та зменшенню виробничих витрат. Прокатна емульсія зазвичай циркулює в замкненій системі. Під час роботи емульсія забруднюється металевими частинками, продуктами зносу та домішками, що робить очищення необхідним для підтримання її ефективності та тривалого терміну служби. Регулярне очищення емульсії забезпечує стабільну якість прокатки, дозволяє досягати ресурсозберезувального ефекту, знижувати витрати на заміну емульсії й обслуговування обладнання. Використання емульсій впливає на енергетичні витрати під час холодної прокатки та показники якості готової продукції [1–3]. Також розроблено докладні методики щодо оцінювання параметрів процесу прокатки залежно від фізико-хімічних властивостей емульсій [4].

У праці [5] досліджена реологічна поведінка емульсій «мастило у воді» (Oil-in-water emulsions) залежно від концентрації масла, швидкості деформації зсуву, тиску та температури. Показано, що концентрація олії є панівним параметром, який впливає на плівкоутворювальну здатність емульсії. У роботі [6] вказані переваги застосування емульсій типу «мастило у воді», водночас встановлено, що умови змащування та формування масляної плівки залежать від характеру нанесення (подачі) емульсій. Дослідження дозволили запропонувати конструкцію сопла для ефективного нанесення емульсій стисненим повітрям. Додавання порошку заліза в емульсію «масло у воді» дозволяє покращити трибологічні характеристики таких емульсій, коли розміри частинок порошку менші за 3,0 мкм [7]. У даному

разі реалізується ефект мікропрокручування між валками та стрічкою та підтримується масляна плівка емульсії, що сприяє поліруванню та шліфуванню – шорсткість поверхонь смуг зменшується, а гладкість морфології поверхні покращується. Роботу [8] присвячено експериментальним дослідженням розподілу крапель, поверхневого натягу й умов дестабілізації емульсій, показано, що зета-потенціал ( $\xi$ ) є основним показником стабільності емульсій. Встановлено, що для значень  $\xi$  вище  $-10$  мВ емульсія цілком дестабілізується і непридатна для процесу прокатки, а регенерація емульсії стає можливою лише для значень зета-потенціалу приблизно  $-20$  мВ. Виділені оптимальні контактні кути, що реалізуються з використанням поверхнево-активних речовин (далі – ПАВ) та визначені найкращі ПАВ.

У роботі [9] було оцінено змащувальні характеристики емульсії на натуральній основі (зелене мастило) та емульсії на мінеральній основі з погляду сил кочення, коефіцієнта тертя (CoF) на межі валок/стрічка та зносу робочих валків. Дослідження проводили в умовах двоклітєвого реверсивного холодного стану на заводі "Marcegaglia" (Равенна, Італія). Випробування показали, що зелене мастило характеризується кращими змащувальними властивостями (показник CoF зеленого мастила приблизно на 10% нижче, ніж у напівсинтетичного складу). Такий результат був підтверджений як силами кочення (середнє зменшення на 5,6% було отримано за допомогою зеленого мастила), так і зносом робочих валків (менш часте технічне обслуговування валків), отже, визначено значне та цінне зниження витрат, що пов'язані із процесом [9]. Результати дослідження [10] показують, що хімічний склад мастило-водних емульсій відіграє важливу роль у їх плівкоутворенні та трибологічній поведінці. Встановлено, що прокатні емульсії з відносно низькою стабільністю, більшим розміром крапель і високим значенням

числа омилення (SAP) забезпечують краще змачування та нижчий коефіцієнт тертя.

Очищення емульсій станів холодної прокатки від гідравлічних мастил і брудної піни з поверхні дзеркала емульсії належить до сфери очищення стічних вод, емульсій, нафтопродуктів і рідких мастил у різних галузях промисловості, а саме в машинобудуванні, металургії, гірництві, хімічній промисловості тощо. Відоме технічне рішення за патентом [11], у якому запропонована конструкція пристрою для очищення стічних вод від мастильної емульсії за холодної прокатки, що містить пристрій для зберігання рідини та пристрій для розпилування. Пристрій для зберігання рідини містить резервуар із впускним і випускним отворами, сполучну коробку й інші елементи, зокрема й опорну платформу, яка обладнана перегородкою з отворами для відділення масла та води. Окрім того, міститься нагрівальний пояс і показник рівня рідини. Розпилувальний пристрій містить опорний і розпилувальний механізми. Недоліком такого пристрою є кінематично складна конструкція, що потребує багато простору та схильна до забиття отворів мастильними продуктами та твердими частинками бруду (в основному продуктами зношування штаби та валків). Наведену конструкцію важко обслуговувати. У разі забиття отворів знижується її пропускна спроможність, вона не забезпечує потрібного ефекту очищення.

Відоме технічне рішення за патентом на корисну модель [12]. Корисна модель містить універсальний електрофлоктоагулятор, патрубки та фланці підключення пристрою до приймального резервуара з технологічним розчином, ємність для реагентів, приймальний резервуар, насос-дозатор, фільтри грубого та тонкого очищення, полочний відстійник, а також витяжний пристрій із витяжним вентилятором. Недоліком вказаного пристрою є потреба в додаткових енергоносіях для забезпечення роботи електрофлоктоагулятора, вентилятора та насоса-дозатора та рушіях для забезпечення його пересування. Використання мобільного пристрою потребує значних витрат на його обслуговування через його технічну складність. Окрім того, розширення функціональності пристрою не передбачає можливості його використання, наприклад, у цехах холодної прокатки для очищення прокатних емульсій.

**Матеріали та методи.** Базовий пристрій за технічним результатом, який поставлено за

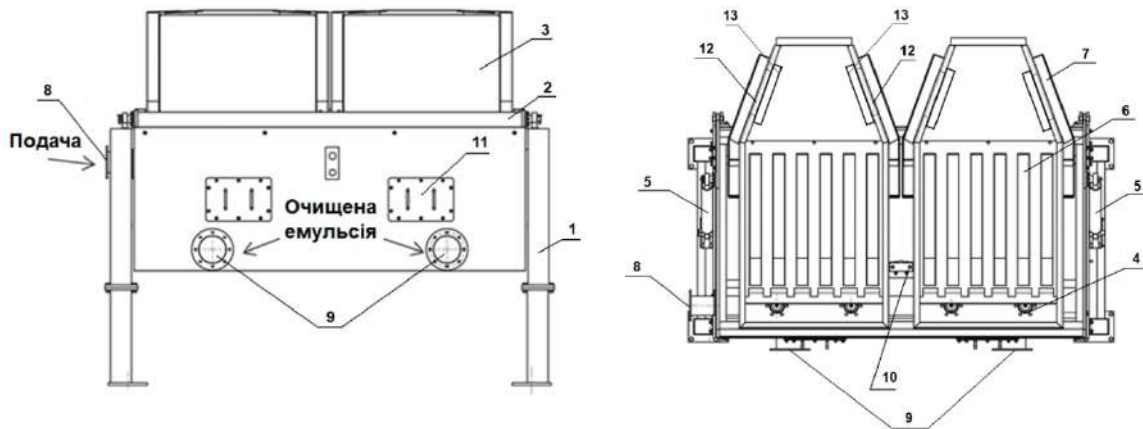
мету отримати, має містити корпус із патрубком для підведення забрудненої рідини, центральну водозбірну трубу та мастилоутримувальний засіб (наприклад, кільце), що встановлюють іноді на поплавках. Окрім того, пристрій має містити вертикальну планку, що закріплена з корпусом, та мастилоутримувальну пластину, що з'єднана з мастилоутримувальним засобом. Мастилоутримувальна пластина розташована вище нижнього зрізу мастилоутримувального кільця. Пристрій забезпечує запобігання потраплянню мастила у водозбірну трубу. Недоліком такої конструкції є необхідність у постійному догляді за тим, щоб зазначене кільце не забилося брудом і не заклинило на водозбірній трубі. Окрім того, очищена емульсія зливається, серед іншого, із труби біля дна бака, де осідає найбільша кількість металевих частинок – продуктів зносу валків і смуги, що не забезпечує отримання емульсії належного ступеня очищення під час використання в цехах холодної прокатки.

В основу розроблення покладено завдання шляхом зміни конструкції пристрою очищення стічної емульсії станів холодної прокатки (у цехах холодної прокатки) досягти такої мети, як запобігання потраплянню в переливні (зливні) вікна та труби бруду (піни та невідсепарованих частинок металу) і неочищених гідравлічних мастил для підвищення ефективності очищення стічної емульсії. Отже, підвищення якості очищення досягається видаленням із забрудненої прокатної емульсії гідравлічних олив і частинок бруду, які плавають на поверхні дзеркала емульсії та не намагнічуються магнітами магнітного сепаратора. Досягненню поставленої мети сприяє мастилоутримувальне кільце з поплавками, розташоване на зливній трубі з отворами. Водночас у розробці, що досліджується, запропоноване нове рішення, яке вирізняється тим, що до внутрішніх стінок бака на кожний зливний отвір наварені П-подібні пластини. Відмітними ознаками розробки є те, що додаткове очищення емульсії від флотуючих домішок забезпечується П-подібними пластинами, а не завдяки мастилоутримувальному кільцю на трубі з отворами. Водночас забезпечується досить високий рівень очищення емульсії від гідравлічних мастил і домішок. Запропонована конструкція [13] є простою та дешевою у виготовленні, не потребує додаткового обслуговування та забезпечує роботу очисної установки цілком в автоматичному режимі.

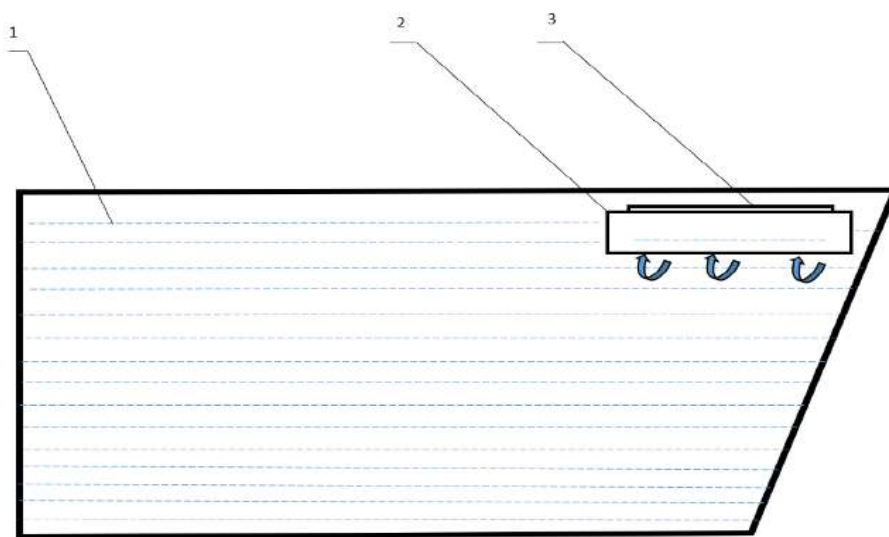
**Результати.** Нова розробка пояснюється кресленнями (див. рис. 1 і 2).

Пристрій очищення стічної емульсії та водоемульсійних рідин працює так. Вихідна СОЖ надходить у вхідний патрубок 8 (рис. 1), далі в нижню частину робочих ванн 3, проходить у робочих зазорах магнітної системи та цілком заповнює робочі ванни. Очищена емульсія спрямовується в переливні вікна 12 через переливні кишені 7, збірний бак і через патрубки 9 надходить в емульсійну систему прокатного стану. Перед переливними вікнами

наварені спеціальні П-подібні пластини 13, які затримують флотуючі на поверхні емульсії забруднення та гідравлічні мастила, які потрапили в емульсію з гідросистем стана. Механічні домішки із СОЖ уловлюються на полюсах магнітної системи та накопичуються протягом робочого циклу на магнітних блоках 6. Після вмикання привода клапанного пристрою 10 очищена СОЖ зливається у збірний бак, а флотуючі на поверхні забруднення та гідравлічні мастила осаджуються на магнітах або залишаються на дні ванн. Потім вмикається



**Рис. 1.** Пристрій очищення стічної емульсії та водоемульсійних рідин і місця встановлення П-подібних пластин: 1 – рама магнітного сепаратора, 2 – рухома рама, 3 – робочі ванни, 4 – клапанний пристрій, 5 – гідроциліндри, 6 – магнітні блоки, 7 – переливні кармани, 8 – патрубок подачі брудної емульсії, 9 – патрубки очищеної емульсії, 10 – привід клапанного пристрою, 11 – люки обслуговування, 12 – переливні вікна, 13 – П-подібні пластини



**Рис. 2.** Схема встановлення пластин, вид збоку: 1 – рівень прокатної емульсії з піною в очисному коробі, 2 – П-подібна пластинка, 3 – переливне вікно

привод підйому робочих ванн (гідроциліндри 5 піднімають ванни, закріплені на рухомій рамі 2, вертикальне положення). Уловлені забруднення самопливом протягом 2–3 хвилин стікають із робочих ванн у приймач продуктів поділу технологічної лінії очищення СОЖ. Після закінчення циклу видалення мехдомішок рухома рама разом із робочими ваннами опускається у вихідне положення. Після спрацьовування привода клапанного пристрою відбувається подача вихідної СОЖ у робочі ванни та починається наступний цикл очищення емульсії.

Емульсія завдяки напівзануреним у неї П-подібним пластинам зливається у сливні вікна не з поверхні дзеркала емульсії, тобто без залишків брудної піни та гідравлічних мастил. Затримані пластиною поверхневі забруднення видаляються із системи під час кантування очисних коробів (проводиться в автоматичному режимі кожні 2 години – перед кантуванням коробів проводиться злив емульсії, а брудна піна залишається на магнітах і на дні бака разом з іншим брудом). Отже, ця пластина виконує фактично роль скімера, який збирає гідравлічні мастила та брудну піну з поверхні емульсії.

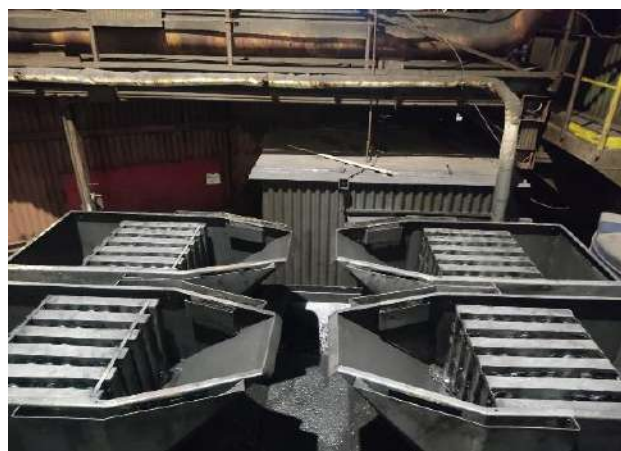
На підтвердження ефективності корисної моделі наведемо результати лабораторного аналізу брудної піни, що затримується П-подібними пластинами на поверхні емульсії в очисних ваннах. Було переконливо показано, що пластини не затримують прокатний емульсол і не знижують робочої концентрації прокатної емульсії. Фото поверхні емульсії в очисному коробі без пластин і з установленими пластинами наведені на рис. 3–5.

За результатами аналізу числа омилення брудної піни виявилось, що вона лише на 12% складається з емульсії, а 88% становлять гідравлічні мастила, які потрапляють у прокатний стан із систем гідравліки, та бруд. Значною перевагою корисної моделі, що заявлена, є оперативність видалення із прокатної емульсії гідравлічних мастил, поки вони не встигли емульгуватися під дією пакету присадок, наявних в емульсії. Удосконалення системи очищення емульсії завдяки встановленню П-подібних пластин дозволило на 15% знизити загальний рівень вмісту гідравлічних олив у прокатній емульсії, зекономити кошти на купівлю скімера, поліпшити якість холодного прокату завдяки зменшенню відсортуння за поверхневими забрудненнями штаби.

За результатами проведеної роботи було подано заявку на корисну модель [13].



**Рис. 3. Накопичення бруду на поверхні емульсії в коробі без пластин**



**Рис. 4. Фото короба без емульсії зі встановленими пластинами**



**Рис. 5. Накопичення бруду на поверхні емульсії в коробі зі встановленими пластинами**

На додаток до наявної системи очищення розроблено використання прохідного магнітного фільтра, тому що така система очищення емульсії разом із механічними домішками виносить багато мастильної складової частини.

Вміст мастила у шламi досягає 70%, це значною мірою збільшує витрати емульсолу на прокатку (вартість якого 4 долари за літр). Роботу зі зниження витрат емульсолу під час холодної прокатки сталі доцільно вести в таких напрямках, як:

- зниження завантаження магнітних сепараторів;
- автоматизація подачі емульсії на стан холодної прокатки;
- оптимізація дозування системи емульсомом;
- запобігання невиробничим втратам емульсії;
- усунення витоків мінерального мастила в емульсію.

Для зниження витрати емульсії додатково встановити прохідний магнітний фільтр. Такий фільтр очищується раз на зміну, вартість найпростішого – 400 євро (на малопотужну систему). Цей фільтр здебільшого відбирає металеві частинки та меншою мірою відбирає мастило. Порівняльний аналіз шламів із цього фільтра, за даними лабораторії, наведено в табл. 1.

Таблиця 1  
Порівняння шламів, відібраних після різних фільтрів

Зразок	Вміст води, %	Вміст нафтопродуктів, %	Вміст механічних домішок, %
Шлам, відібраний із магнітного сепаратора стаціонарної системи МОР ЦХП	21,36	53,94	24,7
Шлам, відібраний із магнітного фільтра МФВІ-250, поставленого компанією «Квакер»	8,72	41,88	49,4

Тобто фільтр цього типу в 1,4 рази менше відбирає мастила з емульсії через те, що механічних домішок відбирає майже удвічі більше. Якщо перерахувати за відібраним вмістом механічних домішок, то кількість відібраного фільтром мастила знижується у 2,5 рази. Фільтр чиститься вручну 3–4 рази на добу залежно від його забивання (на емульсійній системі з робочим баком 36 м<sup>3</sup> і об'ємом подачі емульсії на стан 640 м<sup>3</sup> на годину працював 1 фільтр МФВІ 250, на емульсійній системі у 200 м<sup>3</sup> і обсягом подачі емульсії 1 900 м<sup>3</sup> на годину працювали 2 такі фільтри). Фільтр врізається у трубопровід стоку емульсії через байпас, паралельною гілкою, щоб у разі забивання фільтра і несвоєчасного його

очищення не було переливу емульсії у стан. Прохідний магнітний фільтр завдяки своїй конструкції затримує більше частинок заліза, частинки мастила змиваються з магнітів. Водночас наявне магнітне очищення з коробами не вимикається, просто можна рідше проводити кантування коробів (налаштувати автоматику не раз на 2 години, а раз на 4 години), отже, менше забирати мастила із прокатної емульсії. Така схема роботи дає змогу знизити витрату емульсолу на 10–15%. За інформацією виробника, обладнання можна взяти на тестування. Прохідний магнітний фільтр можна застосовувати як доповнення до наявної системи очищення. Модель прохідного магнітного фільтра підбирається індивідуально для кожного прокатного стану. На рис. 6 і 7 показано зовнішній вигляд такого прохідного магнітного фільтра.



Рис. 6. Зовнішній вигляд прохідного магнітного фільтра



Рис. 7. Очищення магнітного фільтра від налиплого бруду

Отже, прохідний магнітний фільтр можна використовувати разом, у парі з іншими системами магнітного очищення емульсії застарілої конструкції.

**Висновки.** На основі аналізу літератури та принципів роботи пристроїв для очищення стічної емульсії запропоновано нову конструкцію пристрою для цеха холодного прокату. З'ясовано, що нова конструкція пристрою очищення стічної емульсії з використанням П-подібних пластин забезпечує ефективне видалення гідравлічних мастил і забруднень із поверхні емульсії. Встановлено, що П-подібні пластини значно знижують вміст гідравлічних мастил в емульсії, покращують якість холодного прокату та зменшують витрати на купівлю скімера. Запропоновано використання прохідного магнітного фільтра, який додатково підвищує

ефективність очищення, зменшує вміст мастила у шламів та знижує витрати емульсолу на прокатку. Порівняльний аналіз встановив значне підвищення видалення механічних домішок за допомогою магнітного фільтра, що приводить до зниження вмісту мастила в емульсії. Показано, що нова система очищення не потребує додаткового обслуговування та працює в автоматичному режимі, підвищує її ефективність і знижує експлуатаційні витрати. Встановлено, що запропоновані вдосконалення дозволяють оптимізувати процес очищення емульсії, забезпечити кращу якість продукції та зниження витрат на виробництво.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Operation Modes of Electric Motors of Reversing Cold Rolling Mill 1680 while Rolling with Emulsions / V. Kukhar et al. *Modern Electrical and Energy System. (MEES'2019)* ; 2019 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES), September 23–25, 2019 Kremenchuk, Ukraine : Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, 2019. P. 46–49. <https://doi.org/10.1109/MEES.2019.8896465>.
2. Comparison of Energy-Power Parameters and Electrical Energy Consumption During Cold Rolling with Emulsions at Continuous 4-Stand Mill 1680 / V. Kukhar et al. *2022 IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES)*. Kremenchuk, Ukraine, 2022. P. 1–5. <https://doi.org/10.1109/MEES58014.2022.10005716>.
3. Synthesis Analysis of Energy Intensity Dependence for Tandem Mills Thin-Plate Rolling on Various Grade Emulsols Rheological Properties. / V. Kukhar et al. *2023 IEEE 5th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES)*. Kremenchuk, Ukraine, 2023. P. 1–4. <https://doi.org/10.1109/MEES61502.2023.10402500>.
4. Інженерна методика визначення антифрикційної ефективності емульсолів для холодної прокатки за їх фізико-хімічними властивостями / Я. Василев та ін. *Теорія і практика металургії*. 2018. № 6. С. 15–21. <https://doi.org/10.34185/tpm.6.2018.2>.
5. Behavior of Cold-Rolling Oil-in-Water Emulsions: A Rheological Approach / P. Vergne et al. *Journal of Tribology*. 1997. Vol. 119. № 2. P. 250–258. <https://doi.org/10.1115/1.2833173>.
6. Fujita N., Kimura Y. Plate-out efficiency related to oil-in-water emulsions supply conditions on cold rolling strip. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*. 2012. Vol. 227. № 5. P. 413–422. <https://doi.org/10.1177/1350650112467873>.
7. Effects of ferrous powders on tribological performances of emulsion for cold rolling strips / J.L. Sun et al. *Wear*. 2017. Vol. 376–377. P. 869–875. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2016.12.012>.
8. Regeneration of an oil-in-water emulsion after use in an industrial copper rolling process / E. Fernández et al. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2005. Vol. 263. № 1–3. P. 363–369. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2004.12.042>.
9. Evaluation of the Effect of a Natural-Based Emulsion on the Cold Rolling Process / M. Antonicelli et al. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*. 2023. Vol. 7. № 4. P. 121. <https://doi.org/10.3390/jmmp7040121>.
10. A study of lubrication mechanism of oil-in-water (O/W) emulsions in steel cold rolling / S.P. Dubey et al. *Industrial Lubrication and Tribology*. 2005. Vol. 57. № 5. P. 208–212. <https://doi.org/10.1108/00368790510614190>.
11. Пристрій для очищення стічних вод емульсії холодної прокатки (UA) ; Cold rolling oil emulsion wastewater treatment device (EN) ; 种冷轧油乳化液废水处理装置 (ZH) : пат. CN209835717 Китай : IPC C02F 1/40, C02F 1/02, B21B 45/02, C02F 103/16. № 201920634917.5 ; заяв. 06.05.2019 ; опубл. 24.12.2019. 4 с.
12. Мобільний пристрій для очищення та регенерації виробничих технологічних емульсій та розчинів : пат. UA49139 Україна : МПК C02F 1/463 (2006.01). № u200907252 ; заяв. 10.07.2009 ; опубл. 26.04.2010. Бюл. № 8. 5 с.
13. Пристрій очищення стічної емульсії та водоемульсійних рідин : Україна : МПК (2024.01) C 02 F 1/40, B 01 D 17/02, B 01 D 35/06. Заявка № u 2024 01378 ; заявл. 15.03.2024. 5 с.

REFERENCES:

1. Kukhar, V., Korenko, M., St'opin, V., Karmazina, I., Elchaninov, A., Hurkovska, S., Prysiaznyi, A., Zubrytskyi, V. (2019). Operation Modes of Electric Motors of Reversing Cold Rolling Mill 1680 while Rolling with Emulsions. In: *2019 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES)*. IEEE. Kremenchuk, Ukraine : Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, September 23–25, pp. 46–49. <https://doi.org/10.1109/mees.2019.8896465>.
2. Kukhar, V.V., Valalayeva, E.Y., & Hornostai, V.M. (2022). Comparison of Energy-Power Parameters and Electrical Energy Consumption During Cold Rolling with Emulsions at Continuous 4-Stand Mill 1680. *У 2022 IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES)*. IEEE. Kremenchuk, Ukraine, pp. 1–5. <https://doi.org/10.1109/mees58014.2022.10005716>.
3. Kukhar, V., Spichak, O., Karmazina, I., Malii, K., Gribkov, E., & Dobronosov, Y. (2023). Synthesis Analysis of Energy Intensity Dependence for Tandem Mills Thin-Plate Rolling on Various Grade Emulsols Rheological Properties. *У 2023 IEEE 5th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES)*. IEEE. Kremenchuk, Ukraine, 2023, pp. 1–4. <https://doi.org/10.1109/mees61502.2023.10402500>.
4. Vasilev, Y., Zamogilniy, R., & Samokysh, D. (2018). Inzhenerna metodyka vyznachennia antyfyryktsiinoi efektyvnosti emulsoliv dlia kholodnoi prokatky po yikh fizyko-khimichnym vlastyvostriam [Engineering technique for determining antifiction efficiency of emulsols for cold rolling by their physical and chemical properties]. *Theory and practice of metallurgy*, 6, 15–21. <https://doi.org/10.34185/tpm.6.2018.2> [in Ukrainian].
5. Vergne, P., Kamel, M., & Querry, M. (1997). Behavior of Cold-Rolling Oil-in-Water Emulsions: A Rheological Approach. *Journal of Tribology*, 119 (2), 250–258. <https://doi.org/10.1115/1.2833173>.
6. Fujita, N., & Kimura, Y. (2012). Plate-out efficiency related to oil-in-water emulsions supply conditions on cold rolling strip. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, 227 (5), 413–422. <https://doi.org/10.1177/1350650112467873>.
7. Sun, J.L., Zhang, B.T., & Dong, C. (2017). Effects of ferrous powders on tribological performances of emulsion for cold rolling strips. *Wear*, 376–377, 869–875. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2016.12.012>.
8. Fernández, E., Benito, J.M., Pazos, C., Coca, J., Ruiz, I., & Ríos, G. (2005). Regeneration of an oil-in-water emulsion after use in an industrial copper rolling process. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 263 (1–3), 363–369. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2004.12.042>.
9. Antonicelli, M., Liuzzo, U., & Palumbo, G. (2023). Evaluation of the Effect of a Natural-Based Emulsion on the Cold Rolling Process. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 7 (4), 121. <https://doi.org/10.3390/jmmp7040121>.
10. Dubey, S.P., Sharma, G.K., Shishodia, K.S., & Sekhon, G.S. (2005). A study of lubrication mechanism of oil-in-water (O/W) emulsions in steel cold rolling. *Industrial Lubrication and Tribology*, 57 (5), 208–212. <https://doi.org/10.1108/00368790510614190>.
11. *Cold rolling oil emulsion wastewater treatment device* (EN). (Patent of China № CN209835717) (2019) [in Chinese].
12. *Mobilnyi prystrii dlia ochyshchennia ta reheneratsii vyrobnychkykh tekhnolohichnykh emulsii ta rozchyniv* [Mobile device for cleaning and regeneration of production process emulsions and solutions] (Patent of Ukraine № UA49139) (2010) [in Ukrainian].
13. *Prystrii ochyshchennia stichnoi emulsii ta vodoemulsiinykh ridyn* [Waste emulsion and water-emulsion liquid treatment device] (Application № u2024 01378 for patent of Ukraine). LLC Technical University “Metinvest Polytechnic” [in Ukrainian].