

УДК 331.482-047.37:621.771

DOI <https://doi.org/10.32838/TNU-2663-5941/2020.3-1/30>**Тарасов В.К.**

Запорізький національний університет

Воденнікова О.С.

Запорізький національний університет

Куріс Ю.В.

Запорізький національний університет

Матяшева Ю.Б.

Запорізький металургійний коледж

Запорізького національного університету

Воденнікова Л.В.

Запорізький державний медичний університет

Бабошко Д.Ю.

Криворізький національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАХОДІВ ЩОДО ПОЛІПШЕННЯ УМОВ ПРАЦІ В ЦЕХАХ ХОЛОДНОЇ ПРОКАТКИ

Проаналізовано шкідливі й небезпечні чинники, що виникають у прокатному виробництві, зокрема в процесі холодної прокатки сталевих листів. Для умов цеху холодної прокатки ВАТ «Запоріжсталь» виявлено перевищення допустимих норм концентрації парів кислот у травильному відділенні (до двох разів), концентрації парів мастил (в 1,84 разу) та рівня виробничого шуму в прокатних відділеннях (на 23 дБА). Проведено оцінку раціонального засобу захисту робочої зони від дії надмірного шуму в цехах холодної прокатки й показано зменшення площі зони з 297,91 м² до 9,81 м² і рівня шуму на 21,7 дБ, що суттєво зменшує шумове забруднення виробничого середовища. З метою оздоровлення робочої зони цеху холодної прокатки запропоновано використовувати як місцеву вентиляцію, так і часткову аерацію. Для видалення парів технологічного мастила в міжклітьових проміжках безперервного стану й за останньою кліткою запропоновано встановлювати витяжні зонти. Вентиляційна система безперервного листового стану холодної прокату сприяє збільшенню кратності повітряобміну в межах 10–25. Приділено увагу дослідженню ефективності системи вловлювання парів мастильно-охолоджувальних рідин з використанням двоступеневого тумановловлювача, перший ступінь якого складається з тонких волокон, а другий – з сітчастого бризковловлювача, який слугує для уловлювання збільшених рідких частинок. Проаналізована ефективність очищення повітря від крапель у сітчастому фільтрі залежно від товщини пакета фільтрів, кількості сіток у пакеті й ефективності очищення парів однією сіткою. Показана доцільність використання пакета з 6–10 сіток сумарна товщина якого становить 0,01–0,012 м, причому використання більшої товщини пакета небажано внаслідок значного підвищення енерговитрат на очищення парів. Індивідуальна ефективність однієї сітки найбільше впливає на загальну ефективність тумановловлювача. Тобто за ефективності сітки 0,92–0,96 корисна дія всього фільтра становить 99,819–99,998%. Запропоновано для умов цеху холодної прокатки ВАТ «Запоріжсталь» використання картриджного фільтра типу NOM 112 на основі нановолоконної технології для вловлення особливо шкідливих субмікронних часток до 0,5 мкм, що забезпечують надзвичайно високу ефективність очищення (до 99,999%).

Ключові слова: умови праці, фактори виробничого середовища, холодна прокатка, пари мастил, уловлювання.

Постановка проблеми. На сьогодні на металургійних підприємствах системи захисту від факторів виробничого середовища не завжди забезпечують санітарні вимоги до умов праці, які визначаються технологією виробничого процесу

й санітарно-гігієнічною обстановкою, що створюється на робочих місцях. Підтримання допустимих умов праці в прокатному виробництві, а зокрема в цехах холодної прокатки (ЦХП), може бути досягнуте шляхом дослідження величини й рівня шкід-

ливих чинників у робочій зоні безперервного прокатного стана й розроблення раціональних засобів захисту від шкідливих і небезпечних чинників виробничого середовища [1, 2].

Саме тому виникає потреба в проведенні досліджень ефективності сучасних систем шумозахисту й уловлювання парів мастильно-охолоджувальних рідин (МОР) та розробленні раціональних засобів захисту від шкідливих і небезпечних чинників виробничого середовища, що своєю чергою є актуальним і важливим науково-технічним завданням з точки зору охорони праці й поліпшення екологічної безпеки.

Аналіз останніх досліджень і публікації. В роботі [3] представлені дані про розподіл виробничих ризиків і найбільш небезпечні умови праці в галузі вугільної промисловості. Це дає можливість виділити найбільш небезпечні операції виробництва в цій галузі, сконцентрувати на них дослідження з метою розроблення заходів для зменшення травматизму на робочих місцях.

Авторами роботи [4] детально визначено проблеми безпеки праці в промисловості й запропоновано аналітичний підхід для оцінки рівня безпеки на робочих місцях.

В роботі [5] проведено дослідження професійного ризику робітників металургійних підприємств і враховано гігієнічну оцінку умов праці виробничого середовища.

Аналізу причин забруднення робочого середовища й визначенню джерела шкідливих і небезпечних викидів у доменному виробництві присвячена робота [6]. Автори виконали пошук раціональних заходів щодо підвищення ефективності роботи аспіраційної системи ливарного двору доменної печі для видалення шкідливих газів, пилу й тепла.

В роботі [7] представлена методика аналітичної оцінки умов праці з урахуванням окремих елементів технології й визначенням інтегральної суми балів. Така методика є багатофункціональною й може бути корисною для різних умов промисловості.

Вплив мастильно-охолоджувальних рідин на здоров'я людини й навколишнє середовище розглянуто в роботі [8]. Визначено особливості різних складів сумішей, що дає змогу визначити найменш шкідливі для людини.

Обґрунтування впливу шкідливих чинників на здоров'я людини приведено в роботі [9]. Запропоновано новий метод і програму визначення екологічного ризику на прикладі території промислової області.

Постановка завдання. Мета роботи – розроблення системи заходів захисту від небезпечних і шкідливих факторів у цехах холодної прокатки ВАТ «Запоріжсталь».

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

- проаналізувати вплив небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища в цехах холодної прокатки ВАТ «Запоріжсталь»;
- провести оцінку раціонального засобу захисту робочої зони від дії надмірного шуму в цехах холодної прокатки;
- проаналізувати ефективність системи вловлювання парів мастил залежно від товщини пакета фільтрів, кількості сіток у пакеті й ефективності очищення парів однією сіткою;
- для умов виробничого середовища запропонувати комплексну систему очищення парів від крапель мастил різного розміру.

Виклад основного матеріалу дослідження. Аналіз карти умов праці в цеху холодної прокатки ВАТ «Запоріжсталь» показав, що працівники можуть піддаватися впливу таких небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища, як-от:

- запиленість (фактична концентрація пилу $19,4 \text{ мг/м}^3$, тоді як допустима концентрація становить 4 мг/м^3);
- пари кислот у травильному відділенні (периодичне підвищення концентрації до двох разів);
- підвищена температура в зоні відпалу в колакових печах ($28 \text{ }^\circ\text{C}$ при нормі $15\text{--}26 \text{ }^\circ\text{C}$);
- пари мастил ($9,2 \text{ мг/м}^3$ при нормі 5 мг/м^3);
- високий рівень загальної вібрації (121 дБ при нормі 109 дБ);
- високий рівень виробничого шуму в прокатних відділеннях (103 дБА при нормі 80 дБА).

Для зменшення площі небезпечної зони від дії шуму (рис. 1) та зниження рівня звукового тиску в цехах холодної прокатки ВАТ «Запоріжсталь» доцільно встановити акустичний екран зі сталевого листа завтовшки 2 мм з шумопоглиначем з мінеральної вати. Екран встановлюється на відстані $2,5 \text{ м}$ від джерела шуму. Аналіз проведених розрахунків площі небезпечної зони від дії шуму й місця показав на скорочення площі зони з $297,91$ до $9,81 \text{ м}^2$ та зниження рівня шуму на $21,7 \text{ дБ}$, що суттєво зменшує шумове забруднення виробничого середовища.

Вібрація від обладнання в ЦХП має характер коливань: стаціонарних випадкових (з основною частотою від 4 до 8 Гц) і ударного типу (від 2 до 5 поштовхів за секунду, тривалістю $0,05\text{--}0,3 \text{ с}$). Для

зниження рівня вібрації запропоновано використувати інструмент з антивібраційним покриттям контактної поверхні й спеціальні захисні рукавиці.

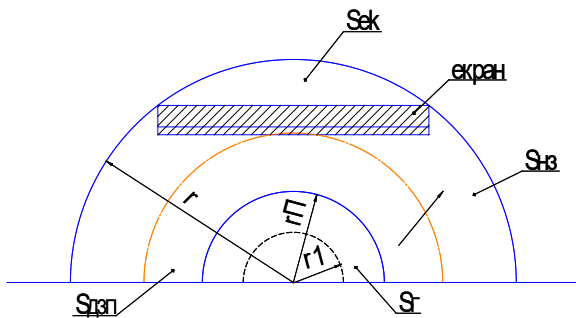


Рис. 1. Схема до розрахунку площі небезпечної зони від дії шуму:

$S_{нз}$ – площа небезпечної зони; $S_{ек}$ – площа зони, що обмежена екраном; $S_г$ – площа зони, де необхідно використовувати індивідуальні засоби захисту; $S_{дзп}$ – допустима зона праці після встановлення екрана; r_1 – рівень шуму на відстані 1 м від джерела шуму; $r_П$ – радіус зони, де може працювати тільки персонал стану

В ЦХП працівники можуть піддаватися також впливу парів мастил у прокатних відділеннях. Основною причиною виділення парів є мастильно-охолоджувальні рідини, які знижують коефіцієнт тертя під час прокатки смуг і листів, сприяють зменшенню зносу валків і налипанню металу на валки, запобіганню задирам смуг і листів, формуванню допустимої мікрогеометрії поверхні продукції, очищенню поверхні листів від забруднень. Дуже важливим фактором також є відведення тепла з осередку деформації й регулювання теплового обміну валків. МОР повинні відповідати певним вимогам: бути стабільними в експлуатації й під час зберігання, зручними в подаванні на смугу й валки, піддаватися регенерації й не чинити шкідливого впливу на навколишнє середовище.

У цеху холодної прокатки першою точкою нанесення технологічного мастила є безперервно-травильний агрегат для запобіганню корозії металу під час зберігання протруєних рулонів перед холодною прокаткою, а також для захисту смуг від подряпин і задирів під час змотування смуг у рулон після травлення.

З метою оздоровлення робочої зони цеху холодної прокатки застосовують як місцеву вентиляцію, так і часткову аерацію. Для видалення парів технологічного мастила в міжкліткових проміжках безперервного стану й за останньою кліткою встановлюють витяжні зонти (рис. 2). Застосування вентиляційної системи безперервного листового

стану холодного прокату сприяє збільшенню кратності повітряобміну в межах 10–25.

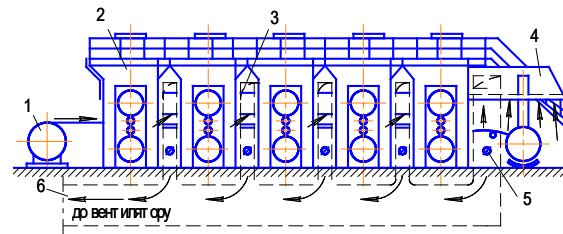


Рис. 2. Вентиляційна система безперервного листового стану холодного прокату: 1 – розмотувач; 2 – робочі клітки; 3 – витяжні зонти в міжкліткових проміжках; 4 – витяжний зонтик над моталкою; 5 – вентилятори; 6 – повітропровід

Однак не завжди можливо повністю вловити шкідливі речовини місцевими відсмоктувачами. У цих випадках невловлене забруднене повітря розбавляють припливним повітрям до допустимих концентрацій. Вихідною величиною для визначення повітрообміну в разі влаштування загальної обмінної вентиляції в прокатних цехах є кількість шкідливих виділень у вигляді тепла й парів мастил, які встановлюються на підставі використання виробничих вимірів обсягів шкідливих викидів. Неорганізовані викиди видаляються природним шляхом через аераційні ліхтарі на дахах виробничих будівель. Це призводить до забруднення навколишнього середовища й істотних втрат дорогих мастил. Для підвищення ефективності вловлювання мастил вважається за необхідне проведення раціонального вибору тумановловлювачів.

Найбільший ефект відділення крапель туману досягається на двоступеневих тумановловлювачах (рис. 3), у яких перший ступінь складається з тонких волокон, а другий – з сітчастого бризковловлювача, який слугує для вловлювання збільшених рідких частинок.

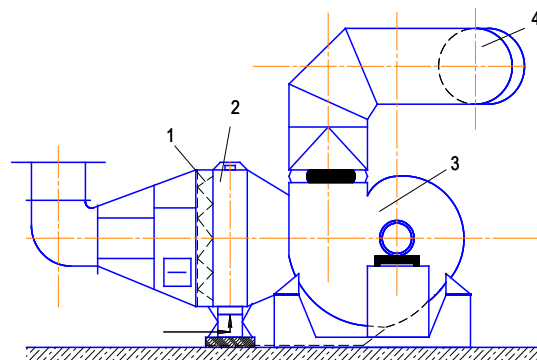


Рис. 3. Двоступеневий тумановловлювач: 1 – волокнистий фільтр; 2 – сітчастий фільтр; 3 – вентилятор; 4 – трубопровід видалення очищеного повітря

Для розрахунку першого ступеня необхідно визначити площу фільтрації:

$$F = \frac{Q}{(3600 \cdot W)}, \quad (1)$$

де Q – обсяг газу, що надходить на очистку, який дорівнює $10000 \text{ м}^3/\text{с}$; W – швидкість фільтрації, яка дорівнює $2,8 \text{ м/с}$.

Для розрахунку другого ступеня необхідно визначити оптимальну швидкість фільтрації:

$$W = 0,107 \cdot \sqrt{\frac{(\rho_m - \rho_n)}{\rho_n}}, \quad (2)$$

де ρ_m – щільність масла, яка дорівнює 900 кг/м^3 ; ρ_n – щільність повітря, яка дорівнює $1,3 \text{ кг/м}^3$.

Ефективність очищення повітря від крапель в сітчастому фільтрі становить:

$$\eta = 1 - \left(1 - \left(0,2 \cdot H \cdot S_{num} / N \cdot \eta_i \right) \right)^N, \quad (3)$$

де H – товщина фільтрувального пакета, м; S_{num} – питома поверхня дротів у пакеті сіток, $\text{м}^2/\text{м}^3$; N – число сіток в пакеті, шт.; η_i – ефективність очищення повітря від крапель однією сіткою.

$$S_{num} = 4 \cdot \frac{1 - n}{\lambda_{np}}, \quad (4)$$

де n – пористість пакета сіток, яка дорівнює $0,9$; λ_{np} – діаметр дроту сітки, який дорівнює $200 \cdot 10^{-6} \text{ м}$.

Встановлено, що за початкової концентрації масла в робочій зоні 50 мг/м^3 концентрація після очищення дорівнює $0,9 \text{ мг/м}^3$, що нижче гранично допустимої величини для цього приміщення, яка дорівнює 5 мг/м^3 . Потужність двигуна вентилятора, необхідна для транспортування туману через апарат очистки, становить:

$$N = \frac{(k \cdot Q \cdot \Delta P)}{(3600 \cdot 1000 \cdot \eta_m \cdot \eta_p)}, \quad (5)$$

де k – коефіцієнт запасу потужності, який перебуває в межах від $1,1$ до $1,5$; Q – обсяг газу, що надходить на очистку, $\text{м}^3/\text{с}$; ΔP – гідравлічний опір, кг/см^2 (Па); η_m – коефіцієнт корисної дії втрат енергії на тертя механізмів, який перебуває в межах від $0,7$ до $0,9$; η_p – коефіцієнт опору рідини МОР, який перебуває в межах від $0,9$ до $0,95$.

Варіюючи значеннями товщини пакета (від $0,01 \text{ м}$ до $0,018 \text{ м}$), кількістю сіток в пакеті (від 6 до 16 шт.) й ефективністю очищення повітря від крапель однією сіткою (від $0,9$ до $0,98$) від-

повідно до формули (3), отримуємо ефективність очищення повітря від крапель у фільтрі (рис. 4–6).

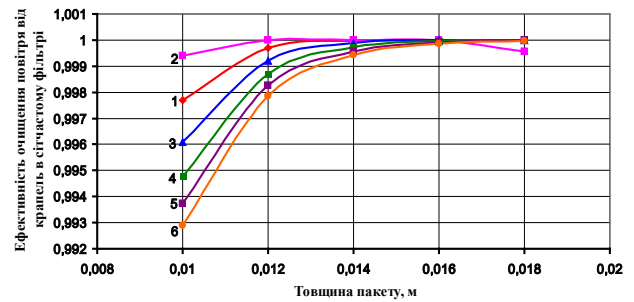


Рис. 4. Залежність ефективності очищення повітря від крапель у сітчастому фільтрі від товщини пакета: 1–6 – за кількості сіток у пакеті 6, 8, 10, 12, 14 і 16 шт. відповідно

Дані рис. 4 показують, що залежності ефективності очищення повітря від парів мастила від товщини пакета має експонентний характер. Простежується доцільність використання пакета з 6–10 сіток із сумарною товщиною $0,01$ – $0,012 \text{ м}$, причому використання більшої товщини пакету небажано через значне підвищення енерговитрат на очищення парів. Установлено, що ефективність очищення повітря від крапель у сітчастому фільтрі за товщини пакета $0,01 \text{ м}$ (рис. 5, крива 1) менше ефективності очищення повітря за товщини пакета $0,018 \text{ м}$ (рис. 5, крива 5) на 7%.

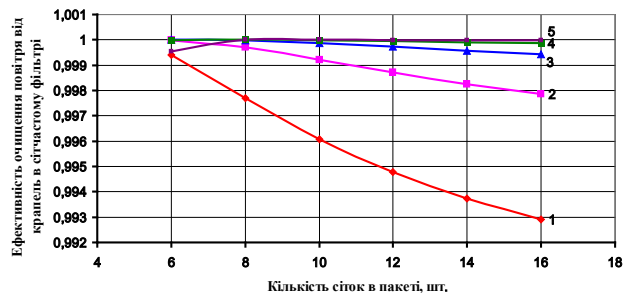


Рис. 5. Залежність ефективності очищення повітря від крапель у сітчастому фільтрі від кількості сіток у пакеті: 1–5 – за товщини пакета $0,01$, $0,012$, $0,014$, $0,016$ і $0,018 \text{ м}$ відповідно

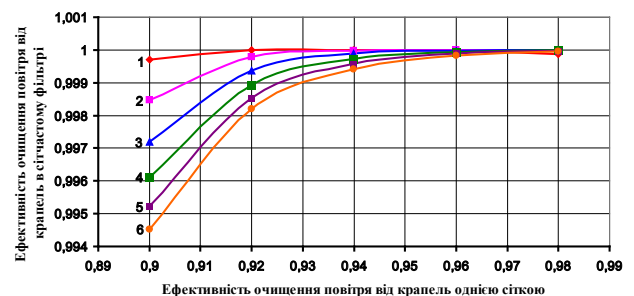


Рис. 6. Залежність ефективності очищення повітря від крапель у сітчастому фільтрі від параметрів очищення однієї сітки: 1–6 – за кількості сіток у пакеті 6, 8, 10, 12, 14 і 16 шт. відповідно

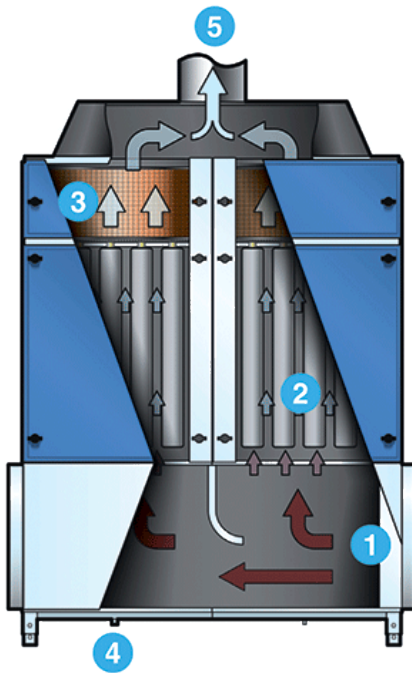


Рис. 7. Фільтр NOM 112 для видалення парів МОР і масляного туману: 1 – забруднене повітря; 2 – основний фільтр; 3 – НЕРА-фільтр; 4 – дренажна труба; 5 – вихідний патрубок

Слід зазначити, що індивідуальна ефективність однієї сітки найбільш впливає на загальну ефективність тумановловлювача. Так, за ефективності сітки 0,92–0,96 корисна дія всього фільтра становить 99,819–9,998% (рис. 6).

Відомо, що, незважаючи на досить високий ступінь уловлювання парів мастил у вигляді дрібних і збільшених часток, субмікронні частинки парів широкого спектра через незначні щілини попадають у повітря робочої зони. Природно, вони легко потрапляють у дихальну систему й легені працівників металургійних підприємств і негативно впливають на їхнє здоров'я. Для вловлювання таких часток доцільним є використання сучасних фільтрів, зроблених за картриджною схемою на основі інноваційного наповнювача Synteq XR, який характеризується високим ступенем дренажу, низькими перепадами тиску й тривалим терміном служби змінних елементів.

Список літератури:

1. НПАОП 27.1-1.04-09. Про затвердження правил охорони праці в прокатному виробництві підприємств металургійного комплексу [Чинний від 2009-07-29]. Київ : Державний комітет з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду, 2009. 65 с.
2. Зеркалов Д.В. Безпека праці [Електронний ресурс] : монографія. Київ : Основа, 2012. 637.
3. Kirsch P. Riskgate: Industry Sharing Risk Controls Across Australian Coal Operations. *Australian Journal of Multi-Disciplinary Engineering*. 2014. Vol. 11. Issue 1. P. 47–58.
4. Куріс Ю.В., Матяшева О.Б., Мнухіна Н.О. Дослідження професійного ризику робітників металургійних та енергетичних підприємств за гігієнічним критерієм оцінки умов праці виробничого середовища. *Енергетика та електрифікація*. 2017. № 2. С. 45–48.

Саме тому для видалення парів МОР і масляного туману в умовах цеху холодної прокатки ВАТ «Запоріжсталь» доцільним є встановлення фільтра NOM 112, який має продуктивність до 10000 м³/год. (рис. 7).

Картриджний фільтр масляного туману, виготовлений на основі фірмової нановолоконної технології UltraWeb, забезпечує надзвичайно високу ефективність очищення (до 99,999 %) повітря від частинок пари розміром від 0,5 мкм, водночас спеціальна високотемпературна обробка TermoTec гарантує збереження потрібної герметичності й міцності ущільнювачів за нагрівання до 135°C.

Слід зазначити, що запропонований фільтр NOM 112 має підвищену ефективність фільтрації, низьку вартість обслуговування, що своєю чергою, враховуючи компактність, дає змогу додатково встановлювати його у витяжну систему після розрахованого тумановловлювача.

Висновки. Для утилізації мастил і зниження впливу парів у цехах холодної прокатки ВАТ «Запоріжсталь» рекомендовано встановити:

- вентиляційну систему безперервного листового стана холодної прокату, яка сприяє збільшенню кратності повітрообміну в межах 10–25;
- двоступеневий тумановловлювач, застосування якого забезпечить зниження концентрації парів до 0,9 мг/м³ (за гранично допустимої величини концентрації 5 мг/м³);
- картриджний фільтр типу NOM 112 на основі нановолоконної технології для вловлювання особливо шкідливих субмікронних часток до 0,5 мкм, що забезпечує надзвичайно високу ефективність очищення (до 99,999%) і має продуктивність до 10000 м³/год.

Розрахунковим шляхом, варіюючи значеннями товщини пакета (від 0,01 до 0,018 м), кількістю сіток у пакеті (від 6 до 16 шт.) й ефективністю очищення повітря від крапель однією сіткою (від 0,9 до 0,98), визначено ефективність очищення повітря від крапель у сітчастому фільтрі тумановловлювача й надані рекомендації для вибору раціональних параметрів фільтрувальних пакетів тумановловлювача.

5. Iannacchione A. The Application of Major Hazard Risk Assessment (MHRA) to Eliminate Multiple Fatality Occurrences in the US Minerals Industry. National Institute for Occupational Safety and Health. Spokane Research Laboratory. Spokane : WA, 2008. 132 p.

6. Розробка заходів покращення умов праці при виробництві чавуну / В.К. Тарасов та ін. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія «Економічні науки»*. 2018. № 2 (121). С. 82–90.

7. Assessing individual employee risk factors for occupational asthma in primary aluminium smelting / C. Bamard et al. *Occup-Environ-Med*. 2004. Jul. 61 (7). P. 604–608.

8. Characterization of clinical tolerance to inhaled zinc oxide in naive subjects and sheet metal workers / J. Fine. *J-Occup-Environ-Med*. 2000. Nov; 42 (11). P. 1085–1091.

9. Giordano C., Conticello S., Beatrice F., Montemagno A. Nonauditory effects of environmental noise: a study of metallurgical and mechanical workers. *Acta-Otorhinolaryngol-Ital*. 2001 Oct; 21 (5). 3. 281–286.

**Tarasov V.K., Vodennikova O.S., Kuris Yu.V., Matyasheva O.B.,
Vodennikova L.V., Babochko D.Yu. RESEARCH OF MEASURES
TO IMPROVE WORKING CONDITIONS IN COLD ROLLING SHOPS**

Harmful and dangerous factors that arise in the process of rolling production and in particular in the process of cold rolling of steel sheets are analyzed. For the conditions of the cold rolling shop of JSC «Zaporizhstal» it was found that the permissible norms of acid vapor concentration in the pickling compartment (up to 2 times), oil vapor concentration (1.84 times) and production noise level in the rolling compartments (by 23 dBA) were exceeded. The rational means of protection of the working area from excessive noise in cold rolling shops were assessed and the reduction in the area from 297.91 m² to 9.81 m² and noise level by 21.7 dB is found, which significantly reduces noise pollution of the workspace. In order to improve the working area of the cold rolling shop, it is proposed to use both local ventilation and partial aeration. To remove vapors of process oil in the intercellular spaces of the continuous mill and behind the last stand, it is proposed to install exhaust hoods. The ventilation system of a continuous cold sheet mill promotes increase in multiplicity of an air exchange within 10–25. Attention is paid to the study of the efficiency of the system for capturing vapors of lubricating and cooling liquids using a two-stage mist-catcher, the first level of which consists of thin fibers, and the second – of a mesh spray catcher, which is used to capture large liquid particles. The efficiency of air purification from droplets in the mesh filter is analyzed depending on the thickness of the filter package, the number of grids in the package and the efficiency of vapor purification by one mesh. The expediency of using a package of 6–10 grids with a total thickness of 0.01–0.012 m is shown, while the use of a larger package thickness is undesirable due to a significant increase in energy consumption for steam cleaning. The individual efficiency of a single grid has a greatest impact on the efficiency of the mist catcher, so that with an efficiency of the grid of 0.92–0.96 the useful effect of the whole filter is 99.819–99.998%. For the conditions of the cold rolling shop of JSC «Zaporizhstal», it is proposed to use the cartridge filter of type NOM 112 on the basis of nanofiber technology for catching especially harmful submicron particles up to 0.5 microns, which provide the highest cleaning efficiency of 99.99%.

Key words: working conditions, factors of the work environment, cold rolling, oil vapors, capture.