

ВІДГУК
офіційного опонента на дисертаційну роботу
ЯРОШЕНКО Ганни Миколаївни
на тему: **«Управління мікрокліматичними параметрами умов праці в приміщеннях збагачення титано-цирконієвих руд»,**
подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 26
«Цивільна безпека» за спеціальністю 263 «Цивільна безпека»

1. Актуальність теми дослідження

Сучасний розвиток гірничо-збагачувальної галузі України супроводжується інтенсифікацією технологічних процесів, що висуває жорсткі вимоги до безпеки праці та виробничої санітарії. На підприємствах з переробки рідкіснометалевої сировини (зокрема титано-цирконієвих руд) умови праці у великогабаритних замкнених приміщеннях формуються під впливом складного комплексу шкідливих чинників, а саме: інтенсивних тепловиділень від сушильних агрегатів (надлишкове тепло понад 24 кВт), високої вологості через мокрі технологічні процеси, значної запиленості повітря робочої зони, шкідливих компонентів газового забруднення.

Систематичні відхилення параметрів мікроклімату виробничих приміщень від нормативних вимог ДСН 3.3.6.042-99, які зафіксовані на діючих підприємствах (зокрема у філії «Вільногірський ГМК» АТ «ОГХК»), призводять до швидкої втоми, погіршення сенсомоторних функцій персоналу та підвищення ризиків виробничого травматизму й професійних захворювань. Традиційні вентиляційні системи, які функціонують за статичними або слабоадаптивними схемами, є надмірно енергомісткими та не забезпечують стабільної підтримки параметрів повітряного середовища при динамічних змінах технологічних навантажень.

Тому вибір теми дослідження зумовлений необхідністю вирішення актуальної науково-технічної задачі - розроблення науково обґрунтованих, адаптивних, енергоефективних методів управління мікрокліматичними параметрами умов праці в приміщеннях збагачення титано-цирконієвих руд на основі сумісних припливно-витяжних коаксіальних систем та ефективного пилогазоочищення, що є вкрай актуальним науково-прикладним завданням для спеціальності 263 «Цивільна безпека».

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації

Наукові положення, сформульовані у дисертації, базуються на методології системного підходу до вивчення процесів формування мікроклімату у виробничих приміщеннях, що поєднує теоретичні дослідження процесів тепло- і масопереносу з експериментальними вимірюваннями в реальних виробничих умовах гірничо-збагачувального комбінату.

Обґрунтованість результатів дослідження забезпечена комплексним поєднанням методів емпіричного, математичного моделювання, фундаментальних законів прикладної термодинаміки й аеродинаміки, а також

сучасних методів експериментальних досліджень у натурних виробничих умовах філії «Вільногірський ГМК».

Достовірність отриманих даних підтверджується застосуванням сертифікованих інструментальних засобів (зокрема, приладів *testo 440* та *testo 625*, аспіраторів *AEP-4*), коректним використанням математичного апарату (метод Бернуллі для розв'язання систем диференціальних рівнянь, модель ідеального перемішування) та збіжністю теоретичних прогнозів з результатами експериментів.

Висновки роботи логічно випливають з поставлених завдань і повністю підтверджені практичними результатами.

3. Наукова новизна отриманих результатів досліджень

Дисертація містить низку вагомих результатів, які характеризуються наступною науковою новизною:

- *вперше* розроблено аналітичну модель динаміки запиленості повітря робочої зони поблизу барабанних сушарок, яка на відміну від існуючих підходів, інтегрує коефіцієнти внутрішньозмінної нерівномірності та сумісної дії обладнання, що дозволило кількісно довести зростання пилового навантаження на 16–34% при паралельній роботі агрегатів, що дозволяє прогнозувати періоди максимального пилового навантаження та оптимізувати режими місцевої аспірації;

- *вперше* розроблено математичну модель теплообміну для сумісного відсмоктувально-припливного повітропроводу коаксіального типу в умовах сушильного виробництва, яка на основі методу Бернуллі дозволяє аналітично визначити динаміку температур гарячого і холодного потоків у перехідних режимах з встановленим часом теплової стабілізації системи на рівні 30 хвилин.

- *удосконалено* методику оцінювання ефективності систем забезпечення мікроклімату у приміщеннях збагачення мінеральної сировини, яка, на відміну від відокремленого контролю, поєднує інструментальний моніторинг температури та вологості, гравіметричне визначення дисперсних домішок та аеродинамічний балансовий розрахунок для реальної конфігурації витяжної мережі з урахуванням втрат тиску до 70 Па;

- *удосконалено* математичну модель формування теплового режиму виробничого приміщення (на базі ідеального перемішування), адаптовану до умов цеху збагачення, яка враховує змінність тепловиділень від технологічного обладнання (надлишкове тепло понад 24 кВт) та кратність теплообміну;

- *набули подальшого розвитку* науково-прикладні засади створення енергоефективних систем мікроклімату для умов збагачувального виробництва, що полягають у розробці комплексної схеми системи вентиляції на базі коаксіальних повітропроводів з механізмом сезонної адаптації за допомогою комбінованого теплоізоляційного мату, яка на відміну від існуючих рішень, забезпечує одночасну локалізацію пилогазових виділень, керовану рекуперацію теплової енергії взимку та гарантований захист від перегріву припливного повітря влітку;

- *набули подальшого розвитку* науково-методичні засади параметричного моніторингу та адаптивного обслуговування вентиляційно-

аспіраційних систем, які, на відміну від традиційних планово-попереджувальних підходів, базуються на інтеграції алгоритмів безперервного контролю теплових, аеродинамічних та газоаналітичних параметрів, що дозволяє превентивно виявляти аеродинамічний дисбаланс та мінімізувати ризики виникнення аварійних ситуацій.

4. Практична цінність отриманих результатів

Практична цінність роботи полягає у створенні реальних інженерно-технічних рішень та методик для нормалізації санітарно-гігієнічних умов праці на робочих місцях, які доведені до рівня промислового використання, а саме:

- розроблено та інженерно обґрунтовано комплексну систему вентиляції й очищення повітря для сушильного відділення збагачувального виробництва філії «Вільногірський ГМК».
- визначено необхідні обсяги повітрообміну на основі теплових і пилогазових балансів: 16 500 м³/год витяжного та 15 000 м³/год припливного повітря з підтриманням 10% розрідження та кратності 7,2 год⁻¹;
- обґрунтовано параметри використання коаксіального повітропроводу для рекуперації тепла та доведено доцільність застосування скрубєрів СК для ефективного газоочищення;
- запропоновані технічні рішення захищені двома патентами України на корисну модель (№ 156625, № 157215), які дозволяють гарантовану підтримку температури в робочій зоні в межах 20–26°C влітку та 18–23°C взимку при відносній вологості 60–70%, що нормалізує умови праці та підвищує енергоефективність на підприємствах гірничо-металургійної галузі;
- результати дослідження впроваджено у виробничу практику ТОВ «Імекс Мінералс» для проведення технічних аудитів і модернізації систем мікроклімату на підрядних підприємствах гірничо-збагачувальної галузі, а також в освітній процес Криворізького національного університету при підготовці фахівців зі спеціальності «Охорона праці».

5. Повнота викладених результатів у опублікованих працях, відсутність академічного плагіату

Основний зміст дисертаційного дослідження відображено в 11 опублікованих наукових працях, серед яких:

- 3 статті у наукових фахових виданнях України категорії «Б»;
- 6 тез доповідей у матеріалах міжнародних науково-технічних конференцій;
- 2 патенти України на корисну модель.

Публікації повністю розкривають логіку, методику та результати роботи.

Одноосібний внесок здобувачки у роботах, написаних у співавторстві, є чітко визначеним і вагомим.

За результатами аналізу тексту дисертації та опублікованих наукових праць, використання ідей, результатів або текстових фрагментів інших авторів супроводжується належними посиланнями.

Ознак академічного плагіату, фабрикації чи фальсифікації даних не виявлено. Робота є результатом самостійних досліджень автора.

6. Оцінка мови, стилю і оформлення дисертації

Дисертація виконана на високому науково-методичному рівні, написана фаховою науковою мовою. Термінологія, яка використовується авторкою, повністю відповідає понятійному апарату галузі знань 26 «Цивільна безпека».

Структура роботи є логічною, забезпечує послідовне розкриття наукової думки, використання складних синтаксичних конструкцій та спеціалізованої лексики є обґрунтованим і сприяє глибшому розумінню предмету дослідження. Ілюстративний матеріал (25 рисунків та 13 таблиць) наочно демонструє отримані результати та полегшує сприйняття викладеного матеріалу.

Оформлення дисертації відповідає чинним вимогам МОН України щодо кваліфікаційних наукових праць на здобуття ступеня PhD.

7. Аналіз основного змісту роботи

Дисертація обсягом 182 сторінки складається з анотації, вступу, 4 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел (113 найменувань) та 3 додатків.

У Вступі обґрунтовано актуальність теми, визначено мету, завдання дослідження, об'єкт, предмет та методи дослідження, розкрито наукову новизну й практичне значення роботи.

У Розділі 1 проведено аналіз параметрів мікроклімату та методів їх контролю у приміщеннях збагачення титано-цирконієвих руд, аналітичний огляд нормативно-правової бази щодо стану нормалізації до мікроклімату в промислових приміщеннях (зокрема, ДСН 3.3.6.042-99, ДБН В.2.5-67:2013), а також критичний аналіз вітчизняного й світового досвіду організації повітрообміну. Обґрунтовано обмеженість існуючих статичних систем вентиляції у великогабаритних цехах з високими тепло- та пиловиділеннями.

У Розділі 2 досліджено процеси поширення пилу й тепла в сушильному цеху. Встановлено, що на стадіях основної переробки сировини формується сукупний вплив пилових, газоподібних і теплових факторів, причому кожна технологічна операція не тільки генерує власне видиме забруднення, а й змінює умови їх збільшення. На основі аналізу технологічного обладнання (вакуум-фільтрів, барабанних сушарок, стрічкових ковшевих елеваторів) запропоновано аналітичну модель динаміки запиленості повітря робочої зони поблизу барабанних сушарок, яка враховує ефект паралельної роботи агрегатів.

У Розділі 3 представлено результати математичного моделювання процесів теплообміну в робочих приміщеннях. Розроблено математичну модель сумісного відсмоктувально-припливного повітропроводу коаксіального типу в умовах сушильного виробництва, що функціонує як протитечієвий теплообмінний апарат рекуперативного типу («труба в трубі»), де гарячий і холодний теплоносії протікають паралельно у протилежних напрямках.. Розв'язання системи диференціальних рівнянь методом Бернуллі дозволило аналітично визначити динаміку температур гарячого і холодного потоків у

перехідних режимах та визначити час теплової стабілізації системи на рівні 30 хвилин. Удосконалено математичну модель формування теплового режиму виробничого приміщення на базі ідеального перемішування з урахуванням змінного теплового навантаження.

У Розділі 4 запропоновано комплексні інженерно-технічні заходи поліпшення умов праці у сушильному цеху. Виконано розрахунки повітрообміну за тепловим і газопиловим факторами. Обґрунтовано використання конічних скрубєрів з абсорбційними касетами для високоефективного очищення повітря. Розроблено інноваційну модульну схему аспірації та очищення повітря у приміщенні сушарного цеху з використанням коаксіального повітропроводу для рекуперації тепла відпрацьованих газів, що забезпечує комплексне вирішення проблеми видалення шкідливих викидів і надлишкового тепла. Обґрунтовано адаптивне управління тепловим режимом сумісного повітропроводу з використанням комбінованого теплоізоляційного мату у теплий період року. Сформовано регламент технічного обслуговування аспіраційної системи.

8. Значення дисертаційної роботи для науки і практики

Результати дисертаційного дослідження Ярошенко Г.М. мають важливе загальнонаціональне значення. Для України, яка володіє одними з найбільших у світі запасами титано-цирконієвих руд, оптимізація умов праці та підвищення енергоефективності на підприємствах гірничо-металургійного комплексу (ГМК) є питанням стратегічної безпеки та економічного розвитку.

Теоретичне значення дисертаційного дослідження полягає у поглибленні уявлень про закономірності тепломасообміну та аеродинаміки у специфічному багатоярусному середовищі збагачувальних фабрик при змінних пилових та конвективних навантаженнях.

Практичне значення роботи полягає у створенні готових до впровадження інженерно-технічних рішень, спрямованих на підвищення рівня безпеки праці, зниження професійної захворюваності, травматизму шляхом нормалізації параметрів мікроклімату робочої зони, що одночасно забезпечує суттєве підвищення енергоефективності вентиляційно-аспіраційних систем гірничо-збагачувальних підприємств.

Застосування розробленого коаксіального повітропроводу з механізмом сезонної адаптації (комбінований теплоізоляційний мат) забезпечує керовану рекуперацію тепла взимку. Це суттєво знижує витрати підприємств на опалення та вентиляцію виробничих цехів, зменшуючи собівартість української титанової продукції на світовому ринку.

Що стосується технологічної незалежності, то слід зазначити, що розробка та впровадження вітчизняних систем вентиляції й газоочищення (на базі конічних скрубєрів з абсорбційними касетами) зменшує залежність українського ГМК від дорогого імпортного вентиляційного обладнання.

Світове значення результатів дослідження полягає у тому, що світова гірничо-інженерія і наука щодо промислової безпеки отримують нові фундаментальні інструменти управління складними мікрокліматичними режимами на фабриках збагачення мінеральної сировини. А саме:

- розроблений математичний апарат теплообміну для сумісного відсмоктувально-припливного повітропроводу коаксіального типу може бути адаптований науковцями з усього світу для проєктування систем рекуперації у будь-яких високотемпературних чи сушильних виробництвах;

- удосконалено математичну модель формування теплового режиму приміщення на базі ідеального перемішування, яка адаптована під високі надлишки тепла (понад 24 кВт) та змінність технологічних навантажень.

Крім того, безперервний контроль теплових та аеродинамічних параметрів дозволяє превентивно виявляти дисбаланс, що мінімізує ризики техногенних аварій, викидів забруднюючих речовин в атмосферу та відповідає глобальним цілям сталого розвитку ООН. А принцип сезонної адаптації вентиляційних систем (захист від перегріву влітку та рекуперація взимку) є універсальним інженерним рішенням, яке може застосовуватися на збагачувальних фабриках у країнах з різкими сезонними коливаннями клімату (Канада, Казахстан, країни ЄС, Китай).

Таким чином, на національному рівні результати дослідження зміцнюють безпеку праці та енергонезалежність України, на світовому рівні пропонуються інноваційні математичні моделі та патентні рішення для створення екологічного та енергоефективного виробництва.

9. Дискусійні положення та зауваження до дисертації

Не дивлячись на високу наукову якість виконаної дисертаційної роботи, у процесі її вивчення виникли деякі дискусійні питання та зауваження:

1. У дисертації зазначено, що розв'язання рівняння теплообміну методом Бернуллі дозволило встановити час теплової стабілізації системи на рівні 30 хвилин. Проте в роботі не до кінця зрозуміло, для яких саме граничних зовнішніх умов (екстремальні зимові чи літні температури) цей час залишається константним і як на нього впливають різкі коливання теплової потужності технологічного обладнання під час пусконаладжувальних режимів.

2. У роботі для моделювання теплового режиму приміщення вдосконалено модель на базі ідеального перемішування повітря. Однак збагачувальні фабрики титано-цирконієвих руд — це зазвичай великогабаритні, високі (багаторусні) приміщення зі значними локальними джерелами тепловиділень (сушильні барабани тощо). За таких умов виникає стійка температурна та пилова стратифікація (розшарування повітря по висоті). Варто було б детальніше обґрунтувати припустимість такого підходу для великих багаторусних промислових приміщень.

3. Розроблена аналітична модель динаміки запиленості фокусується переважно на нерівномірності роботи технологічного обладнання (наприклад, паралельній роботі сушарок). Проте поза увагою автора залишилися такі важливі чинники, як дисперсний склад пилу титано-цирконієвих руд (співвідношення фракцій PM_{2.5}, PM₁₀) та вплив рухомих повітряних потоків на вторинне здування осілого пилу з будівельних конструкцій, що суттєво впливає на фактичне пилове навантаження.

4. Зважаючи на зафіксовані у картах умов праці перевищення рівнів шуму (до 84 дБА) на робочих місцях дільниці гравітації, у роботі бажано було б надати

оцінку додаткового акустичного навантаження від роботи запропонованих вентиляційних установок великої продуктивності (16500 м³/год) та заходи щодо його зниження.

5. Запропоновані науково-методичні засади параметричного моніторингу позиціонуються як інструмент превентивного обслуговування. Проте в роботі належним чином не визначено вимоги до апаратної частини: кількості, типів та місць оптимального розташування датчиків (температури, тиску, запиленості) в об'ємі цеху. Без цього практичне впровадження системи «адаптивного обслуговування» може стикнутися з проблемою «застійних зон» або надлишковості даних.

6. Запропонована конструкція сумісного відсмоктувально-припливного повітропроводу коаксіального типу з механізмом сезонної адаптації є оригінальним технічним рішенням (патенти №156625, №157215). Водночас у роботі недостатньо висвітлено інженерно-експлуатаційні аспекти:

- Як саме планується здійснювати регулярне очищення внутрішніх стінок відсмоктувального каналу від липкого або вологого пилу?

- Яким чином заміна чи регулювання комбінованого теплоізоляційного мату вплине на аеродинамічний опір та експлуатаційні витрати системи?

7. Недостатньо враховано радіаційний чинник. Титано-цирконієві руди (особливо ільменіт, рутил, циркон) часто містять природні домішки радіонуклідів (уран-238, торій-232). Оскільки робота присвячена цивільній безпеці та умовам праці у приміщеннях збагачення цих руд, автору слід було хоча б на дискусійному рівні окреслити, як запропоновані режими вентиляції та аспірації впливають на динаміку об'ємної активності радону та його дочірніх продуктів у повітрі робочої зони.

8. У тексті дисертації зустрічаються поодинокі редакційні огріхи, технічні русизми та повтори при описі математичних моделей. Окремі графічні матеріали (схеми повітряних балансів та конструктивні креслення повітропроводів) перевантажені дрібними деталями, що ускладнює їхнє сприйняття без звернення до додатків.

Зазначені зауваження та дискусійні питання не знижують загальну наукову й практичну цінність дисертації та не впливають на достовірність отриманих результатів.

10. Загальний висновок про відповідність роботи встановленим вимогам

Дисертаційна робота Ярошенко Ганни Миколаївни «Управління мікрокліматичними параметрами умов праці в приміщеннях збагачення титано-цирконієвих руд» є завершеною кваліфікаційною науковою працею, що містить нове розв'язання актуального науково-прикладного завдання у галузі цивільної безпеки.

За своєю актуальністю, науковою новизною, обґрунтованістю положень, практичною цінністю та повнотою викладу в опублікованих працях дисертація повністю відповідає вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого

Постановою Кабінету Міністрів України. Її авторка, Ярошенко Ганна Миколаївна, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 263 «Цивільна безпека».

Офіційний опонент:

Доктор технічних наук, професор
професор кафедри
цифрових технологій в енергетиці
КПІ імені Ігоря Сікорського

Лариса ЛЕВЧЕНКО

Підпис Лариси ЛЕВЧЕНКО засвідчую

