13. **Zhukovskiy Y., Batueva D., Buldysko A., Shabalov M**. Motivation towards energy saving by means of IoT personal energy manager platform //Journal of Physics: Conference Series, 2019, 1333 (6). DOI: 10.1088/1742-6596/1333/6/062033.

14. **Spiliotis E., Petropoulos F., Kourentzes N.**, Assimakopoulos V.Cross-temporal aggregation: Improving the forecast accuracy of hierarchical electricity consumption //Applied Energy, 2020, Vol. 2611, № 114339.

15. **A. Binbusayyis**, "Deep embedded fuzzy clustering model for collaborative filtering recommender system," *Intelligent Automation & Soft Computing*, vol. 33, no.1, pp. 501–513, 2022.

16. **Mohammed B.**, **Samer S.**, **Yuting T.**, **Joydeep M.** Reactive power compensation for reliability improvement of power systems. 2016 DOI: 10.1109/TDC.2016.7519910

17. **Oscar D.M.**, **Walter G.** Dynamic active and reactive power compensation in distribution networks with batteries: A day-ahead economic dispatch approach. Computers & Electrical Engineering Volume 85, July 2020 https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2020.106710

Рукопис подано до редакції 18.01.24

УДК 331.43:[622.7:549.6]

О.Є. ЛАПШИН, д-р техн. наук проф., Г.М. ЯРОШЕНКО, аспірант
Криворізький національний університет

ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦІЇ З УРАХУВАННЯМ ТЕМПЕРАТУРНИХ РЕЖИМІВ ПОВІТРЯ В ЦЕХАХ ЗБАГАЧЕННЯ ТИТАНО-ЦИРКОНІЄВОЇ РУДИ

Мета. Основною метою цього дослідження є вивчення впливу температурних коливань на працездатність систем вентиляції цехів збагачення титано-цирконієвих руд. Дослідження спрямоване на надання цінних уявлень про те, як ці системи можна ефективно пристосувати до як холодних, так і теплих періодів року, з метою підвищення загальної ефективності.

Методи дослідження включали фактичний аналіз температурних умов праці та зміни швидкості подачі свіжого повітря, побудову математичної моделі для зміни швидкості повітря в залежності від температурних режимів та аналіз літературних джерел з принципів роботи вентиляційних систем.

Наукова новизна полягає в розробці складної математичної моделі, спеціально призначеної для визначення швидкості подачі свіжого повітря в різних кліматичних умовах до цехів збагачення титано-цирконієвої руди. Ця модель, застосовна як для холодного, так і для теплого сезонів, є унікальним внеском у галузь. Інтеграція її в практику може призвести до точного контролю вентиляційних систем, оптимізації використання ресурсів та безпечнішого робочого середовища.

Практична значимість. Практичне значення дослідження надзвичайно важливе для забезпечення гігієни, безпеки та ефективності праці на промислових підприємствах. Розуміння та оптимізація процесів вентиляції мають на меті створення більш здорового робочого середовища, підвищення продуктивності працівників та подовження терміну служби обладнання в цехах з обробки титано-цирконієвих руд.

Результати. Дослідження зосереджувалося на впливі температурних коливань на системи вентиляції, зокрема в цехах збагачення титано-цирконієвої руди.

Застосовані різноманітні методології включали фактичний аналіз робочих температурних умов, зміни швидкості подачі свіжого повітря та побудову складної математичної моделі, яка фіксує зміни швидкості повітря при різних температурних режимах. Новизна дослідження полягає в його потенціалі піонерського прогресу в стратегіях вентиляції, із широкими наслідками для промислових установ, які стикаються із схожими викликами.

На заключення, це дослідження надає комплексне розуміння вентиляційних систем, залежних від температури, у цехах збагачення титано-цирконієвих руд, пропонуючи практичні рішення для покращення ефективності та безпеки в промислових умовах.

Ключові слова: вентиляція, повітря, періоди року, пил, температура, вологість, швидкість, кліматичні коливання, ефективність.

doi: 10.31721/2306-5451-2024-1-58-124-130

Проблема і її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Дослідження обертається навколо складної динаміки роботи систем вентиляції в цехах збагачення титано-цирконієвої руди та глибокого впливу температурних коливань на їх продуктивність. Основна мета цього дослідження полягає в тому, щоб всебічно дослідити та зрозуміти, як коливання температури впливають на функціональність систем вентиляції в цих промислових умовах. Таким чином, дослідження має на меті надати безцінне уявлення про ефективну адаптацію цих систем як до холодних, так і до теплих періодів протягом року, тим самим підвищуючи загальну ефективність і дієвість процесу вентиляції.

© Лапшин О.Є., Ярошенко Г.М., 2024

Дослідження використовує багатогранний підхід, інтегруючи різні методології, щоб заглибитися в складність проблеми. Фактичний аналіз робочих температурних умов і змін швидкості подачі свіжого повітря на конкретних робочих місцях в цехах збагачення руди закладає основу для розуміння реальних викликів. Ключовим аспектом дослідження є побудова складної математичної моделі, яка фіксує зміни швидкості повітря в залежності від різних температурних режимів. Крім того, у дослідженні проводиться комплексний огляд літературних джерел, що стосуються основних принципів роботи систем вентиляції.

Аналіз досліджень і публікацій. Дослідження включає всебічний огляд існуючої літератури щодо принципів роботи вентиляційних систем. Цей метод гарантує, що дослідження спирається на встановлені знання та визначає прогалини в поточному розумінні, сприяючи науковому дискурсу.

Державні санітарні норми [1] описують допустимі мікрокліматичні умови а також методи і засоби їх вимірювання, до таких належать температура, вологість, швидкість руху повітря в промислових приміщеннях, освітленність, шум тощо.

Ефективність роботи вентиляції а також дотримання оптимальних температурних режимів залежить від великої кількості різних факторів проте теоретично не достатньо обгрунтовані.

Цією проблемою займалися такі вченні як: Лапшин О. Є, Алиев Г.М., Нейков О.Д., Алексеев А.Г., Жовтуха Г. А, Стуканов В. И., Янов А. П., Сердюк Н. М [2-7], [11-12]. Також чимало закордонних науковців теж цікавилися даною проблемою, наприклад польські вченні . Lebecki K. та Szlazak J., та німецький вченний Thiemann Manfred [8-10].

Для визначення ефективності роботи вентиляційної системи необхідна побудова математичної моделі, які дозволятимуть в різні пори року визначати динаміку швидкості руху повітря в промислових приміщеннях та вносити відповідні корективи.

Постановка задачі полягають у:

дослідженні впливу температурних коливань на роботу вентиляційних систем цехів збагачення титано-цирконієвих руд;

аналізі літературних джерел про принципи роботи систем вентиляції;

наданні цінної інформації про ефективну адаптацію систем вентиляції як для холодної, так і для теплої пори року;

розробці комплексної математичної моделі для визначення швидкості подачі свіжого повітря за різних кліматичних умов.

Викладення матеріалу та результати. Побудова математичної моделі: розробка математичної моделі для прогнозування змін швидкості повітря на основі температурних режимів є ключовим аспектом дослідження. Цей метод дає змогу кількісно зрозуміти взаємозв’язок між температурою та рухом повітря, допомагаючи розробити точні стратегії вентиляції.

Згадуючи перший закон термодинаміки, а саме рівняння теплового балансу, яке свідчить, що в замкнених системах, у яких не виконується механічна робота, процеси завжди йдуть у напрямку встановлення термодинамічної рівноваги, ознакою якої є вирівнювання температур усіх тіл. При цьому, у відповідності до загального закону збереження енергії, внутрішня енергія системи лишається незмінною:

$$U=\sum Ui=const \quad \Rightarrow \quad \sum \Delta Ui=0,$$

де ΔUi– зміни внутрішньої енергії окремих тіл або частин системи.

Без виконання роботи енергії тіл можуть змінюватися тільки шляхом теплообміну, таким чином теплообмін в збагачувальному виробництві не виконується умовою, тобто $\sum \Delta Ui \neq 0$, так як наявне виробниче обладнання та обслуговуючий персонал, який виконує роботу різної ступіні важкості, за рахунок чого виділяє тепло. Через пройоми, вікна, оглядові люки, проходи, різні нещільності і т. ін. дане тепло втрачається.

Мікроклімат в приміщеннях визначається в основному температурою повітря, відносною вологістю і його швидкістю, а саме ці параметри регулюються вентиляцією, яка здатна їх змінювати або підтримувати в належному стані. Для холодного періоду року задача провітрювання полягає в зменшенні втрат тепла через нещільності, відкриті отвори, вікна, ворота тощо та надання повітря потрібної температури. Тоді як в теплий період року за рахунок вентиляції відбувається зменшення надлишків тепла, яке надходить від технологічного обладнання, видалення

теплого повітря та надання охолодженого повітря в робочі зони приміщень, що забезпечується нормальним тепловим режимом.

Об’єктом даного дослідження було збагачувальне виробництво філії «Вільногірський ГМК», яке має 5 основних підрозділів:

гідротранспорт продуктивних пісків;
дезінтеграція та первинне збагачення;
отримання колективного концентрату;
доводочне відділення;
отримання формувальних пісків.

Гідротранспорт рудних пісків з кар'єру на завод проводиться двома гідротранспортними системами - "Північ" і "Південь", кожна з чотирма насосами потужністю 4000 м^3/год та електродвигунами 1600 кВт. Пульповід - сталева труба D=630мм. Транспортування пульпи проводиться без розриву струменя на відстань 11,5 км з різницею позначок 82 метри.

Продуктивні піски транспортуються трубопроводами D=630мм від гідротранспортування безпосередньо у ділянку дезінтеграції та первинного збагачення.

У ділянці дезінтеграції та первинного збагачення проводять грохочення (6мм), видалення глини низьконапірними гідроциклонами і струменевими зумпфами. Отримують відмиті від глини піски, що піддаються первинному гравітаційному збагаченню.

В ділянці отримання колективного концентрату застосовують перечистні операції для виділення важких мінералів: циркону, рутилу, ільменіту, дистен-силіманіту і ставроліту. Хвости направляються на отримання формувальних пісків.

Колективний концентрат, після операцій зневоднення і сушіння, подається в доводочне відділення, де розділяють важкі мінерали на товарні моно концентрати за їхніми властивостями. Готові концентрати відвантажуються споживачам автомобільним і залізничним транспортом. Виробнича потужність: 6,0 млн. м^3 переробки рудних пісків на рік.

Кожен підрозділ має обладнання складної конструкції з використанням електроприводів високої потужності, при роботі яких виділяється певна кількість тепла. Значна кількість тепла виділяється в дільниці отримання формувальних пісків через операцію сушки, яка виконується за допомогою барабанних сушарок з використанням природного газу. При фізичній праці робітників збагачувального виробництва так чи інакше також надходить тепло різної кількості, що залежить від виду виконуваних робіт. В табл. 1 наведено кількість тепла, що виділяється людиною при виконанні роботи різної тяжкості.

Таблиця 1

Кількість тепла, що виділяється при виконанні роботи різної тяжкості

Категорії робіт	Кількість тепла, що виділяється, Вт (ккал/г)	Характеристика роботи
Легка I	до 175 (150)	Не потребує напруження або перенесення вантажу
Середньої важкості II	176-290 (151-250)	Постійний рух, перенесення вантажу до 10 кг
Важка III	більше 291 (251)	Постійне фізичне напруження і перенесення вантажу більше 10 кг

В теплий період року особливо важливо створити оптимальний температурний режим в приміщенні, за умови того що температура зовнішнього повітря може досягати +36-+38 ^{0}С, тим самим нагріваючи додатково приміщення збагачення. Надмірна температура, та недостатня подача свіжого повітря значно впливає на загальну ефективність праці робітників та обладнання, порушується терморегуляція людини та погіршується самопочуття. Недостатня швидкість повітря сповільнює забор шкідливих домішок повітря та сприяє утворенню водяної пари , що сприяє винекненню різних професійних захворювань робітників.

Так само і в холодний період року необхідно дотримуватися оптимальних режимів температури, подачі свіжого повітря регулюючи швидкість руху повітря.

Санітарними нормами ДСН 3.3.6.042-99 регламентовані метеорологічні умови повітряного середовища в робочій зоні приміщень промислових підприємств. Умовно за межу між теплим і холодним періодами року прийнята температура зовнішнього повітря рівна 10 °С.

Мікроклімат у приміщеннях характеризується температурою повітря в середині приміщень $t_п$, відносною вологістю повітря $\varphi_п$, швидкістю його руху $\upsilon_п$ та інтенсивністю теплового (інфра-

червоного) опромінення. Сполучення цих параметрів, які забезпечують найкраще почуття людини в процесі праці, називають комфортними умовами.

Санітарні норми ДСН 3.3.6.042-99 розрізняють *оптимальні* метеорологічні умови в приміщеннях, які мають забезпечуватися автоматично регулюючими системами, і *допустимі* метеорологічні умови в приміщеннях, як мають забезпечуватися системами вентиляції без автоматичного регулювання.

В ході дослідження визначалися оптимальні метеорологічні умови в приміщеннях, які повинні забезпечуватися в робочій зоні приміщення або на постійних робочих місцях. За *робочу зону* приймався простір, в якому знаходяться робочі місця постійного або непостійного (тимчасового) перебування працівників.

Необхідні параметри – температуру, відносну вологість і швидкість повітря – обиралися в залежності від категорії роботи, оскільки усі робітники збагачувального виробнитва філії «Вільногірський ГМК» працюють за першим і другим списками до уваги взяли роботи середньої та тяжкої важкості з надлишками явного тепла, а також від обладнання, нагрітих матеріалів, сонячної радіації тощо.

Найбільш високу температуру повітря в приміщенні з постійними робочими місцями для теплого періоду року прийняли рівною 28 °С, допустиму для непостійних робочих місць підвищення температури, але не більше ніж до 30 °С.

Оптимальні значення відносної вологості приймалися в межах 60-40 %, причому більше значення відповідає меншим температурам. Допустима відносна вологість для холодного періоду року не повинна була перевищувати 75 %. Швидкість повітря в робочій зоні для холодного періоду року приймалася 0,1-0,48 м/с за оптимальними умовами і 0,1-0,5 м/с допустимими, а для теплого періоду року – відповідно 0,1-0,4 м/с і 0,1-0,6 м/с. Санітарні норми ДСН 3.3.6.042-99 містять необхідні вимоги до засобів нормалізації мікроклімату та теплозахисту, а також загальні вимоги до методів вимірювання параметрів мікроклімату та їх оцінки. Відповідно до цього температуру повітря вимірювали аспіраційними психрометрами з ртутними термометрами, відносну вологість повітря – аспіраційними психрометрами та записуючими гігрографами, швидкість руху повітря – анемометрами ротаційної дії, інтенсивність інфрачервоного опромінення – терм стовбцями, радіометрами зі спектральною чутливістю в діапазоні 0,3-20,0 мкм.

Був взятий до уваги хімічний склад повітря робочої зони, фактичні концентрації шкідливих газів, парів і пилу в повітрі робочої зони збагачувального виробництва. У відповідності до гігієнічних регламентів шкідливі речовини поділяються на класи: 1 – надзвичайно небезпечні; 2 – високо небезпечні; 3 – помірно небезпечні; 4 – мало небезпечні.

При наявності в повітрі робочих приміщень декількох видів шкідливих речовин одночасної дії розрахунок загальнообмінної вентиляції здійснюється додаванням об'ємів повітря, необхідних для зниження їх концентрації до ГДК. При цьому допустимими вважаються концентрації $q_{заг}$, які відповідають наступним умовам

$$\frac{q_1}{ГДК_1} + \frac{q_2}{ГДК_2} + ... + \frac{q_n}{ГДК_n} \le 1,$$

де $ГДК_1$, $ГДК_2$, $ГДК_n$ – гранично допустимі концентрації декількох видів пилу або шкідливих речовин.

В табл. 2 та 3 наведені оптимальні і допустимі норми метеорологічних параметрів у виробничих приміщеннях промислових підприємств, визначені у ході досліджень.

Таблиця 2

Оптимальні величини температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні

Період року	Категорія робіт	Температура повітря, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху, м/с
Холодний	Іа	22-24	60-40	0,3
	Іб	21-23		0,2
	IIа	19-21		0,15
	IIб	17-19		0,12
	III	16-18		0,1
Теплий	Іа	23-25		0,4
	Іб	22-24		0,35
	IIа	21-23		0,3
	IIб	20-22		0,28
	III	18-20		0,25

Оптимальні метеорологічні параметри в робочих зонах виробничих підрозділів збагачення приймалися при наявності відповідних вимог згідно санітарно-гігієнічним та технологічними умовами.

Постійним робочим вважають місце, на якому працюючий знаходиться понад 50 % робочого часу або більше 2-х годин безперервно. Якщо при цьому робота здійснюється в різних пунктах робочої зони, то вся ця зона вважається постійним робочим місцем. Місце, на якому працюючий знаходиться менше 50% робочого часу або менше 2-х годин безперервно вважається непостійним робочим місцем.

Таблиця 3

Допустимі величини температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні

Період року	Категорія робіт	Температура на робочих місцях, °С		Відносна вологість, %	Швидкість руху, м/с
		постійних	непостійних		
Холодний	Іа	21-25	18-26	75	≤ 0,1
	Іб	20-24	17-25		≤ 0,2
	ІІа	17-23	15-24		≤ 0,3
	ІІб	15-21	13-23		≤ 0,4
	ІІІ	13-19	12-20		≤ 0,5
Теплий	Іа	22-28	20-30	55 при 28 °С	0,1-0,2
	Іб	21-28	19-30	60 при 27 °С	0,1-0,3
	ІІа	18-27	17-29	65 при 26 °С	0,2-0,4
	ІІб	15-27	15-29	70 при 25 °С	0,2-0,5
	ІІІ	15-26	13-38	75 при 24 °С і нижче	0,5-0,6

Щоб створити математичну модель залежності між температурою повітря і швидкістю руху в холодний та теплий періоди року, можна використовувати лінійну апроксимацію (модель лінійної регресії). Формула такої моделі виглядатиме наступним чином:

$$V(t)=mt+b,$$

де m - ухил і b - точка перетину у. Підгонка цієї моделі передбачає знаходження значень m і b які найкраще представляють наші дані. Таким чином отримуємо наступні вихідні дані:

швидкість повітряного руху = [0,1, 0,1, 0,2, 0,2, 0,3, 0,1, 0,2, 0,3, 0,3, 0,4];

температура = [23, 22, 21, 20, 18, 22, 21, 20, 19, 18].

Отже, спочатку розділяємо дані на два періоди: холодний та теплий. Далі визначимо параметри a_1, b_1, a_2, b_2 для кожного періоду. холодний період: швидкість=$a_1 \cdot t+b_1$; теплий період: швидкість=$a_2 \cdot t+b_2$, де a_1, b_1, a_2, b_2 - параметри моделі, які слід знайти. Для цього використовуємо метод лінійної регресії.

Нехай $(x_1, y_1),(x_2, y_2),\ldots,(x_n, y_n)$ - це дані для холодного періоду, a $(x_1', y_1'),(x_2', y_2'),\ldots,(x_m', y_m')$ - для теплого періоду.

Метод лінійної регресії шукає такі параметри a_1, b_1, a_2, b_2, щоб мінімізувати функцію помилки, наприклад, суму квадратів відхилень:

холодний період: $E_1(a_1, b_1)=\sum_i=1(a_1 \cdot x_i+ b_1-y_i)^2$;

теплий період: $E_2(a_2, b_2)=\sum_j=1(a_2 \cdot x_j'+ b_2-y_j')^2$.

Розв'язуючи ці оптимізаційні задачі, отримуємо значення параметрів для обох періодів, та будуємо графіки залежності для кожного періоду (рис. 1).

Наш графік буде складатися з двох лінійних відрізків, один для холодного та інший для теплого періоду.

Холодний період: Точка (0, <17): Початок координат, коли швидкість подачі свіжого повітря (x) дорівнює 0, температура (y) становить <17 градусів. Точка (0.1, 17) – під час невеликого збільшення швидкості подачі повітря температура в приміщеннях збагачення титано-цирконієвих руд становитиме 17 ^{0}C. Точка (0.12, 18) – ще більше збільшуємо швидкість, і температура зростає до 18 ^{0}C. Точка (0.15, 20) – при трохи більшому збільшенні швидкості температура піднімається до 20 ^{0}C. Точка (2.0, 22) – значна зміна швидкості призводить до збільшення температури до 22 ^{0}C. Точка (0.3, 23) – при подальшому збільшенні швидкості температура піднімається до 23 ^{0}C.

Теплий період: Точка (0.25, 19), при даній швидкості подачі свіжого повітря температура буде зберігатися на відмітці 19 ^{0}C. Точка (0.28, 21) – подальше збільшення швидкості приводитиме до підвищення температури до 21 ^{0}C. Точка (0.3, 22) – при трохи більшому збільшенні швидкості температура піднімається до 22 ^{0}C. Точка (0.35, 23) – значна зміна швидкості призводить до збільшення температури до 23 ^{0}C. Точка (0.4, 24) – при подальшому збільшенні швидкості температура піднімається до 24 ^{0}C.

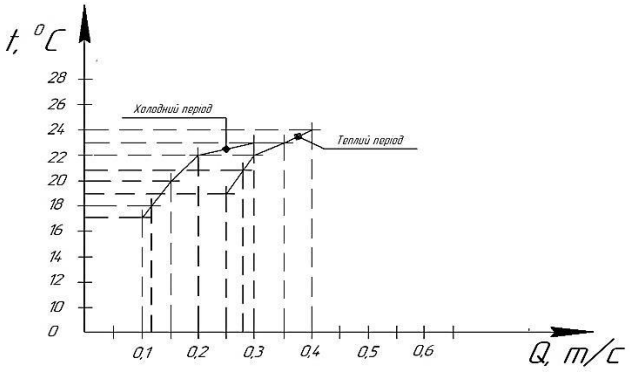

Рис. 1. Графік залежності температури від швидкості подачі свіжого повітря для холодного та теплого періодів року

Висновки та напрямок подальших досліджень. З практичної точки зору результати дослідження мають велике значення для промислових підприємств, зокрема тих, що займаються збагаченням титано-цирконієвих руд.

Отримавши детальне розуміння роботи систем вентиляції під впливом температури, дослідження безпосередньо сприяє забезпеченню гігієни, безпеки та ефективності праці.

Оптимізація процесу вентиляції має потенціал для сприяння більш здоровому робочому середовищу, підвищення продуктивності працівників і продовження терміну служби обладнання під час операцій зі збагачення руди.

Визначивши залежність між швидкістю подачі повітря та температурою для кожного періоду року, стає зрозумілим, що це дозволить керувати температурним режимом у приміщенні.

По суті, результати цього дослідження подолають розрив між науковими дослідженнями та застосуваннями в реальному світі, пропонуючи відчутні переваги для промислової практики та добробуту працівників у цих спеціалізованих середовищах.

Список літератури

1. ДСН 3.3.6.042-99

2. **Лапшин О. Є.** Охорона рудникової атмосфери : навч. посібник/ **О. Є. Лапшин,О. О. Лапшин, Д. О. Лапшина**. – КР : КНУ, 2017. – с. 31-80.

3. **Лапшин О. Є**. Охорона праці в гірництві : Підручник / **О. Є. Лапшин, О. О. Лапшин, Д. О. Лапшина**. – КР: КНУ, 2018. – 256 с.

4. **Лапшин О. Є**. Вентиляція промислових приміщень : підручник / **О. Є. Лапшин, О. О. Лапшин, М. В. Худик.** – Кривий Ріг : КНУ, 2022. – с.101 – 105.

5. **Лапшин О. Є**. Збірник лабораторних і практичних робіт з охорони праці та цивільної безпеки./ **О. Є. Лапшин, О. О. Лапшин, О. В. Пищикова та ін. -** Кривий Ріг. Вид. КНУ. 2021. – С.101 – 105.

6. Бизов В. Ф., Лапшин О. Є. Охорона праці в гірництві Т. VII. Підручник для студентів вищих навчальних закладів за напрямком «Гірництво». – Кривий Ріг: «Мінерал», 2001. – 251 с., з іл.

7**. Алиев Г.М.А.** Техника пылеулавливания и очистки промышленных газов/ **Г.М.А. Алиев**. –М. «Металлургия», 1986. –544 с.

8. **Thiemann Manfred.** Messtechnische Ermittlung von Staubquellen und Beurteilung der Wirkung technischer Staubbekampfungsmassnahmen im Steinkohlenbergbau/ **Thiemann Manfred.** 1991, – 109 s.

9. **Lebecki** K. Zagrozenia pylowe w gornictwie. Katowice: Glowny Instytut Garnictwa/ **K Lebecki//** 2004. – 399 c.

10. **Szlazak** J. Analiza wvpadkowosci w polskim gornictwic wegla kamiennego w latach 1989— 2006/ **J. Szlazak** / Bezpieczenictwo Pracy Ochrona Srodowiska w Gornictwie, 2007, №9. – 90 c.

11. **Нейков О.Д., Алексеев А.Г.** Методическое руководство по расчету необходимого количества воздуха для вентиляции горных выработок/ **О.Д. Нейков, А.Г Алексеев//** К., «Наукова думка», 1971, – 188 с.

12. **Жовтуха Г. А, Стуканов В. И., Янов А. П., Сердюк Н. М.** Очистка воздуха от пыли на горнорудных предприятиях/ **Г. А. Жовтуха, В. И. Стуканов, А. П. Янов, Н. М. Сердюк**// Киев, «Техніка», 1977. – 150с

Рукопис подано до редакції 16.02.24