

15. Патент України №78006, МПК C22B 1/16. Спосіб агломерації залізовмісних матеріалів / Журавльов Ф.М., Лялюк В.П., Тараканов А.К., Учитель О.Д., Кассім Д.О., Ляхова І.А., Чупринов Є.В. – № заявки 2012 08002. – Заявл. 27.06.2012. – Опубл. 11.03.2013. – Бюл. №5.
16. Патент України №78007, МПК C22B 1/16. Спосіб агломерації залізовмісних матеріалів / Журавльов Ф.М., Лялюк В.П., Тараканов А.К., Учитель О.Д., Кассім Д.О., Ляхова І.А., Чупринов Є.В. – № заявки 2012 08003. – Заявл. 27.06.2012. – Опубл. 11.03.2013. – Бюл. №5.
17. Патент України №76683, МПК C22B 1/16. Спосіб агломерації залізовмісних матеріалів / Журавльов Ф.М., Лялюк В.П., Ляхова І.А., Кассім Д.О., Чупринов Є.В. – № заявки 2012 08164. – Заявл. 03.07.2012. – Опубл. 10.01.2013. – Бюл. №1.

УДК 504.06.628.5

О. Є. ЛАПШИН, О. О. ЛАПШИН, доктори техн. наук, професори,
М. В. ХУДИК, канд. техн. наук, доц.
Криворізький національний університет

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОЛЕКТИВНОГО ЗАХИСТУ ВІД ВИРОБНИЧОГО ШУМУ В ГІРНИЦТВІ

Мета. Видобування і переробка корисних копалин потребує використання потужних машин, механізмів та приладів, робота яких супроводжується надходженням у виробниче середовище інтенсивного шуму. Під шумом розуміють поєднання звуків різних інтенсивностей, частот та тиску, які негативно впливають на організм людини. Шум може викликати миттєву глухоту або пошкодження органу слуху. Метою цього дослідження є підвищення ефективності захисту працюючих в гірництві від виробничого шуму.

Методи дослідження. Для досягнення мети застосовувався комплексний метод дослідження, який передбачає аналіз існуючих способів зниження впливу шуму на працюючих, лабораторні дослідження ефективності захисту від виробничого шуму шляхом його поглинання в місцях шумоутворення.

Наукова новизна. Надано характеристику шкідливої дії виробничого шуму в гірництві, визначено ефективність звукоізолюючої здатності різних матеріалів, що покладено в основу рекомендацій з підвищення захисту працюючих від дії широкопasmового шуму.

Практичне значення. Розроблено конструкції абсорбційного глушника для вентиляторів місцевого провітрювання гірничих виробок і шумоізолюючої kabіни для машиністів гірничих машин, в основу яких покладено здатність поглинання широкопasmового шуму в звукопоглинаючих матеріалах.

Результати. Приведено кількісні величини рівнів шуму, які виникають при роботі перфораторів, вентиляторів місцевого провітрювання, станків глибокого буріння, дробильних установок та млинів на збагачувальних фабриках. Установлено ефективність звукопоглинання різних матеріалів, що дозволило розробити конструкції абсорбційного глушника шуму для осьових вентиляторів та шумоізолюючих kabін для машиністів гірничих машин і персоналу збагачувальних фабрик. В роботі запропоновано в якості колективного захисту працюючих в гірництві від виробничого шуму застосування глушників на виході з вентиляторних установок місцевого провітрювання. В якості звукопоглинаючого матеріалу в глушниках рекомендовано застосування мінеральної вати, що дозволяє знизити рівень шуму на 10-15 дБ. При неможливості зниження рівня шуму в місцях його утворення рекомендовано споруджувати звукоізоляційні kabіни з оглядовими вікнами та пультами дистанційного управління. Стіни таких kabін виконують з багатошарового звукопоглинаючого матеріалу, що дозволяє знизити рівень шуму в приміщенні камери нижче допустимих значень.

Ключові слова: виробничий шум, глушник шуму, звукопоглинальний матеріал, шумоізолююча kabіна, звукоізоляція, кожух, екран, навушник.

doi: 10.31721/2306-5451-2022-1-55-131-137

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Розробка родовищ корисних копалин здійснюється за допомогою потужних гірничих машин і механізмів, які працюють з надходженням у виробниче середовище шуму з надмірною інтенсивністю. Щоденна праця обслуговуючого персоналу в умовах надмірного шуму призводить до розвинення у них професійної хвороби – приглухуватості або неврит слухового нерва. Статистичні данні свідчать про відсутність ефективних заходів боротьби з шумом в гірництві, про що свідчать численні випадки захворювань працюючих гірництва на неврит слухового нерва. Таке становище негативно впливає на загальні умови праці в гірництві, а також знижуються економічні показники підприємств через виплати за втрату працездатності працівників, які отримали професійне

захворювання. Виходячи з таких обставин, питання захисту працюючих в гірництві від шуму залишається актуальним і потребує подальшого дослідження і розроблення ефективних як колективних, так і індивідуальних засобів зниження впливу інтенсивного шуму на працюючих.

Питанню боротьби з шумом присвячені дослідження багатьох науковців і спеціалістів промисловості. В роботі вирішується проблема зниження шуму на робочих місцях відповідно до закону України «Про охорону праці», прийнятому 14.10.1992 р.

Аналіз досліджень і публікацій. Питанням захисту працюючих від впливу надмірного шуму присвячені роботи Абракітова В. А., Злобінського Б. М., Клячка Л. Н., Юдіна Е. Я та інших науковців, в яких надані теоретичні дослідження і практичні розробки зниження шуму на виробництві, а також в житлових кварталах великих міст [1-5]. Так, в монографії Абракітова В. А. теоретично доведено багаторазове відбиття звуку шляхом акустичних розрахунків [1]. Ця монографія присвячена проблемі зниження шуму на робочих місцях і в житлових масивах з метою забезпечення акустичної безпеки працюючих і населення. Відповідно до ГОСТу 12.0.003-74 підвищений рівень шуму визначений небезпечним шкідливим фактором і вимагає здійснення його зниження до нормативних значень. В роботі [2] вирішується проблема прогнозування шумового режиму в містах, проте рекомендацій для зниження шуму в гірництві немає.

Стаття Клячка Л. Н. присвячена захисту від шуму і вібрації в чорній металургії [3], а щодо гірництва, то в цій статті рекомендацій не надано, хоча запропоновано застосовувати захисні екрани для працюючих в металургії.

У довіднику Злобінського Б. М. надано інструкції для правильного вимірювання параметрів шуму і їх обробки, наведена методика акустичних вимірювань, крім того наведені дослідження звукоізолюючої здатності огорожувальних конструкцій [4]. Надані методики та інструкції стосуються контролювання загальних параметрів шуму, які виникають на виробництві, а зниження шуму при роботі гірничого обладнання у цьому довіднику не наведено.

Довідник Юдіна Е. Я. присвячений боротьбі з шумом в машинобудуванні, який містить комплексні відомості про захист працюючих від шуму на виробництві [5]. У довіднику викладені основи технічної акустики і вимоги до захисту від шуму, надана характеристика аеродинамічного, електромагнітного та інших шумів, приведені методи їх зниження в джерелі виникнення. Викладені основні методи і способи боротьби з шумом – це звукоізоляція, звукопоглинання, застосування засобів індивідуального захисту. Разом із цим цей довідник не містить заходів боротьби з шумом при роботі бурових верстатів, шахтних вентиляторів, компресорних установок і перфораторів при бурінні шпурів.

Аналіз досліджень і публікацій, пов'язаний з проблемою захисту від виробничого шуму, свідчить про широкий спектр поглядів щодо шкідливості шуму, надані теоретичні розробки характеристики шуму та рекомендовані різноманітні профілактичні заходи і пропозиції щодо зниження впливу шуму на працюючих.

Постановка задачі. Використання потужної техніки в гірництві супроводжується утворенням шуму високої інтенсивності, який глибоко діє на органи слуху і може призвести до професійного захворювання, а також до шумового травмування. Виходячи з обставин, що для умов гірництва недостатньо ефективних засобів захисту від виробничого шуму, завданням цього дослідження є розробка засобів його поглинання або звукоізоляції.

Викладення матеріалу та результати. Надмірний шум на виробництві негативно впливає на органи слуху. Тривала праця в приміщеннях з надмірним шумом може привести до професійного захворювання або до шумової травми, яка може статися під час вибухових робіт. При цьому у потерпілих спостерігається головний біль, шум і біль у вухах, навіть ушкодження барабанної перетинки. Це проявляється в зниженій працездатності та зменшенні продуктивності праці на 10-20 %, а також в збільшенні на 20-30 % загальної захворюваності [16-18]. Частота захворювань серед працюючих в умовах інтенсивного шуму гірничих підприємств у 2,9 разів більше, ніж у робочих малощумних цехів [19].

За даними сучасних досліджень рівень шуму під час роботи гірничих машин при підземному видобуванні руди становить 83-115 дБА, а в металургійних цехах цей рівень становить 80-100 дБА. На дробильно-сортувальних фабриках гірничо-збагачувальних комбінатів спостерігається високий рівень шуму (84-94 дБА) на робочих місцях машиністів дробарок, грохотів і конвеєрів [7,8]. Згідно вимог державних норм ДСН 3.3.6.037-99 рівень шуму на робочих місцях не повинен перевищувати величин, зазначених у табл.1 [15].

Допустимі рівні звукового тиску та рівні шуму шум на робочих місцях в промисловості

Показники	Середні геометричні частоти октавних смуг, Гц								Рівні шуму, дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
	Рівні звукового тиску на робочих місцях, дБ								
Робочі місця	95	87	82	78	75	73	71	69	80
В кабінах машиністів	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Як свідчать дані величин рівнів шуму в гірництві у більшості випадків вони перевищують допустимі значення, що суперечить законодавчим нормам і правилам [11-14].

У гірництві розрізняють шум механічного і аеродинамічного походження. Механічний шум виникає при вібрації частин дробарок, грохотів і конвеєрів та іншого обладнання, а аеродинамічний шум виникає при вихлопі, пульсаціях тиску та при вихроутвореннях в трубопроводах з стисненим повітрям.

Так, робота перфораторів, станків глибокого буріння і породонавантажувальних машин та вентиляторів супроводжується виникненням механічного і аеродинамічного шуму, а робота дробарок, грохотів і конвеєрів супроводжується виникненням механічного шуму.

Захист працюючих від шкідливого впливу механічного шуму передбачається здійснювати шляхом обладнання кожухів на шумоутворюючому обладнанні і звукопоглинання за допомогою звукоізолюючих кабін. Зниження аеродинамічного шуму доцільніше здійснювати за допомогою абсорбційних глушників і шумоізолюючих екранів. Для визначення ефективності звукопоглинання різних матеріалів були проведені лабораторні випробування на установці представленої на рис. 1.

Рис. 1. Схема акустичної моделі: 1 – камера; 2 – конфузор; 3 – замок; 4 – шумомір; 5 – монтажна коробка; 6 – вимикачі гучномовців; 7 – вимикач електричного дзвінка; 8 – гучномовці; 9 – електричний дзвінок; 10 – замок; 11 – рамка для закріплення пластин; 12 – ущільнювач

Лабораторна установка для проведення досліджень складається з акустичної моделі, звукового генератора і шумоміра. Акустична модель містить камеру 1 із ущільнювачем 12, кришку з конфузorzом 2 і замком 3. В отвір конфузора 2 встановлено мікрофон шумоміра 4. На задній стінці камери 1 встановлена монтажна коробка 5 з трьома вимикачами 6 для послідовного включення гучномовців 8 і вимикач 7 для включення електричного дзвінка 9. На кришці 2 зі внутрішнього боку на шарнірах підвішена рамка 11, що притискується до кришки за допомогою замка 10. Рамка 11 потрібна для закріплення пластин звукоізолюючих матеріалів, що встановлюють у віконний проріз кришки 2.

Визначення звукоізолюючої здатності різних матеріалів здійснювалося наступним чином. Шумомір Ш-63 готується до вимірювань рівнів шуму. Кришка з конфузorzом 2 замикається. Мікрофон шумоміра встановлюється в отвір конфузора. Потім вмикається вилка шнура генератора ГЗШ-63 (рис. 2) у електричну мережу. Вимикач 1 поставити в положення «Вкл.», при цьому загоряється сигнальна лампа 2. Ручка перемикача діапазонів 6 устанавлюється проти позначки х1. Ручка «Підсилення» 5 устанавлюється у праве положення. Обертаючи ручку шкали 3, устанавлюється цифра «40» шкали напроти штриха покажчика. Включається один із гучномовців.

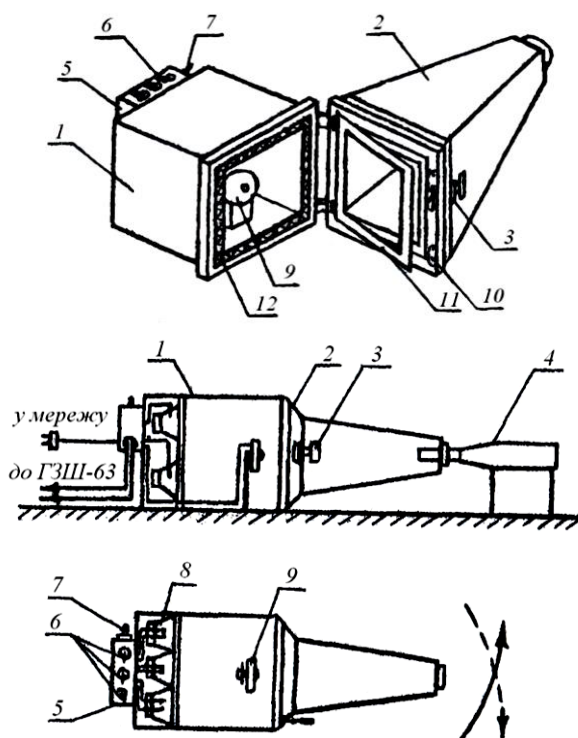
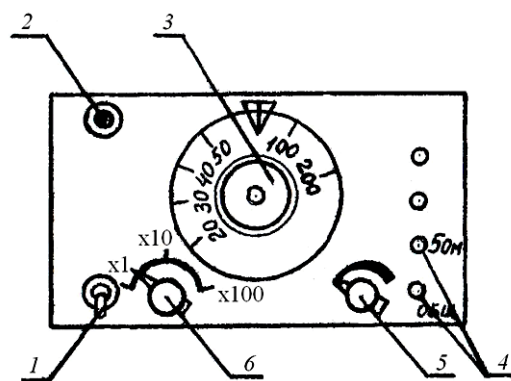


Рис. 2. Вигляд лицьової панелі звукового генератора ГЗШ-63: 1 – вимикач електромережі; 2 – сигнальна лампочка; 3 – шкала частот; 4 – клеми для під'єднання гучномовців; 5 – ручка «Підсилення»; 6 – перемикач діапазонів звуку



Досліджується увесь діапазон звукових коливань від 40 до 8000 Гц, вимірюються рівні звука на низьких, середніх і високих частотах. Результати вимірювань рівнів звука без звукоізоляції заносяться у табл. 2.

Після цього від'єднується шумомір від установки. Відкривається і повертається кришка з конфузоровою вправо. Відкривається замок і повертається рамка. Установлюється у віконний проріз звукоізолююча пластина розміром 200×200 мм (з алюмінію, скла, пресованої деревини та мінеральної вати) і притискається до неї рамка за допомогою замка. Повертається кришка з конфузоровою вліво і замикається на замок. Пластина з мінеральної вати виготовлялася наступним чином. Виготовлялися дві рамки з дерева, на які закріплювалися пластикові сітки з розміром вічка 3 мм. Відстань між рамками приймалася 10, 15, 20, 25, 30 мм. Простір між рамками заповнювався мінеральною ватою.

Приєднується шумомір до лабораторної установки. Вимірюються рівні звука за перешкодою з алюмінію на частотах звукового генератора від 40 до 8000 Гц. Так само вимірюються рівні звука за перешкодами з інших матеріалів. Результати вимірювань заносяться у табл. 1.

Обчислюються зниження рівнів звука за перешкодою при різних частотах звукових коливань і результати заносяться у табл. 2.

Таблиця 2

Результати вимірювань рівнів звуку без перешкод і з перешкодами та зниження його при застосуванні перешкод

Частота звука f , Гц	Рівні звука без перешкод, дБА	Рівні звука за перешкодою, дБА				Зниження рівня звука при застосуванні перешкод ΔL , дБА			
		алюміній	скло	пресована деревина	мінеральна вата	алюміній	скло	пресована деревина	мінеральна вата
40	47	46	40	43	41	1	7	4	6
200	72	69	62	66	64	3	10	6	8
400	81	80	74	78	73	1	7	3	8
1000	86	70	61	68	59	16	25	18	27
2000	83	50	67	69	62	33	16	14	21
4000	68	60	54	49	51	8	14	19	17
8000	70	45	43	40	41	25	27	30	29

Для порівняння звукоізолюючої здатності різних матеріалів на основі даних табл. 1 будуються залежності $\Delta L = F(\lg f)$ або $\Delta L = F(f)$.

Результати вимірювань свідчать про високі показники зниження рівня звуку пластинами з пресованої деревини і пластинами з мінеральної вати (рис. 3).

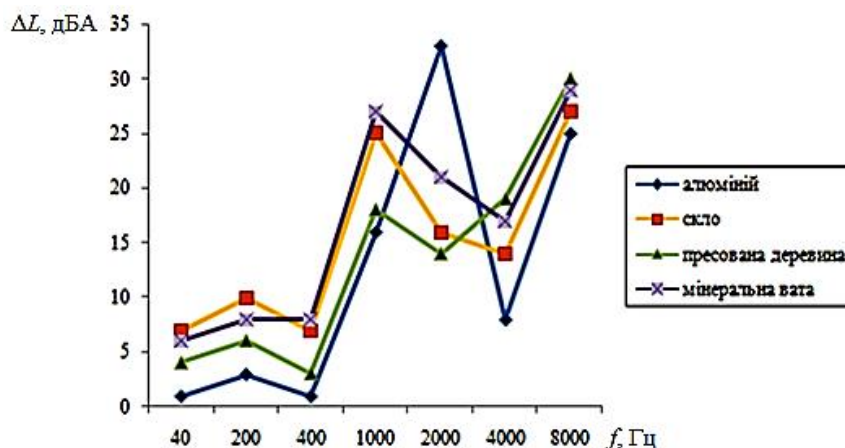
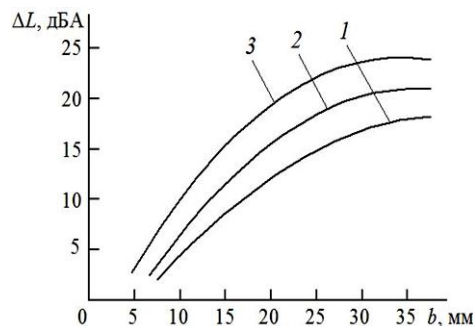


Рис. 3. Результати дослідження звукоізолюючих властивостей алюмінію, скла, пресованої деревини та мінеральної вати

На рис. 4 наведено графіки збільшення рівня зниження шуму різної частоти шляхом поглинання його пластинами з мінеральної вати товщиною від 5 до 35 мм. З графіків видно, що ефективніше знижується шум низької частоти, а за допомогою пластин з мінеральної вати товщиною 25-35 мм є можливість знизити шум від джерела його утворення понад 20 дБА. На підставі виконаних досліджень запропоновано засіб захисту працюючих в гірничих виробках від шуму, який утворюється осьовою вентиляторною установкою при проведенні гірничих виробок за допомогою абсорбційного глушника (рис. 5). В якості звукопоглинаючого матеріалу в глушнику застосовується мінеральна вата, що дозволяє знизити рівень шуму на 15-25 дБА.

Рис. 4. Графіки збільшення рівня зниження шуму різної частоти за допомогою пластин з мінеральної вати з товщиною $b = 5-35$ мм: 1 – $f = 500$ Гц; 2 – $f = 1000$ Гц; 3 – $f = 2000$ Гц



Запропонований абсорбційний глушник є частиною вентиляційного трубопроводу і являє собою два коаксіально розташовані циліндри. Зовнішній циліндр виконаний у вигляді металевого кожуха 1, а внутрішній циліндр 2 виконаний з пластикової сітки 3, укладеної на ребра жорсткості 4, які закріплені жорстко вздовж внутрішнього циліндра 2. Поверхня пластикової сітки внутрішнього циліндра обгорнута шаром склотканини. Кільцевий простір між циліндрами заповнений звукопоглинальним матеріалом типу мінеральної вати 5. Крім того, в середині внутрішнього циліндра 2 до ребер жорсткості 4 закріплені вертикально рамки 6, бокові поверхні яких виконані з пластикових сіток, обгорнутих шаром склотканини. Простір між сітками заповнений мінеральною ватою. Зовнішній циліндр має бокові фланці 7 з провухинами 8 для з'єднання з вентилятором і вентиляційним трубопроводом.

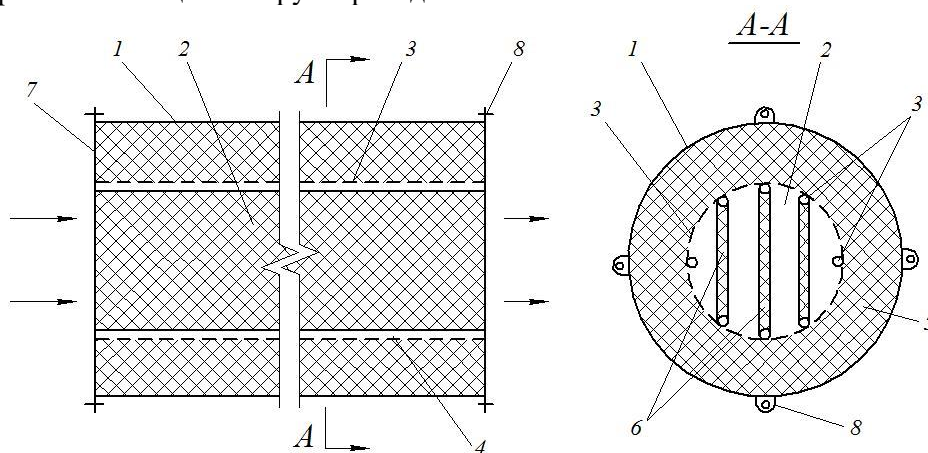


Рис. 5. Глушник шуму осьового вентилятора: 1 – кожух зовнішнього циліндра; 2 – внутрішній циліндр; 3 – пластикова сітка; 4 – ребра жорсткості; 5 – звукопоглинальний шар; 6 – вертикальні рамки; 7 – фланці; 8 – провухини

Абсорбційний глушник працює наступним чином. Звукові хвилі від вентилятора надходять у внутрішній циліндр 2 глушника, проникають крізь пластикову сітку 3 укладену на ребра жорсткості 4 і опиняються в звукопоглинальному шарі 5, який упакований з мінеральної вати із щільністю $\rho = 25$ кг/м³, товщина цього звукопоглинального шару становить 50 мм. В середині внутрішнього циліндра розташовані вертикальні рамки 6, з мінеральної вати, бокові стінки яких виконані з пластикових сіток з розміром вічка 3-5 мм і обгорнуті скловолоконною тканиною. Товщина поздовжніх рамок становить 20-30 мм, щільність упаковки прийнято в межах $\rho = 15-20$ кг/м³.

Запропонований глушник можна розташовувати як після вентилятора, так і перед ним, оскільки він має фланці для приєднання з обох сторін. Використання абсорбційного глушника в гірництві дозволить знизити рівень шум утворюваного вентиляторними установками в гірничих виробках, а також в промислових приміщеннях збагачувальних комбінатів. Мінеральна вата, яка застосовується як звукопоглинальна речовина витримує великі звукові навантаження і поглинає увесь широкосмуговий виробничий шум.

Для зниження шуму, утворюваного стаціонарними вентиляторними установками (ГВУ), рекомендовано застосування глушників шуму типу ПГС, які встановлюються в каналі вентилятора. Загальне зниження рівня шуму при роботі ГВУ становить у межах 25-30 дБА [9,10].

На рис. 6 наведено канал осьової вентиляційної установки з глушником шуму типу ПГС. Глушник встановлено перед дифузorzом і складається з 6-8 паралельних вертикальних перегородок, розташованих вздовж каналу на відстанях 300-400 мм одна від другої. Перегородки викладені з пористих шлакоблоків, які поглинають шум, утворюваний вентиляторною установкою.

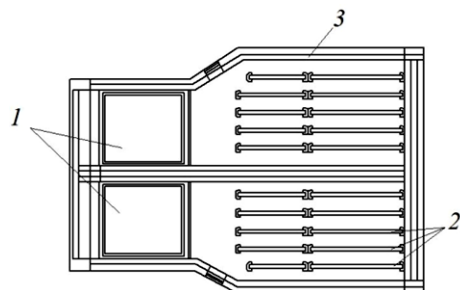


Рис. 6. Глушник шуму типу ПГС: 1 – канал вентилятора; 2 – звукопоглинальні перегородки; 3 – звукопоглинальне облицювання

При неможливості зниження рівня шуму в місцях його утворення рекомендовано споруджувати звукоізоляційні кабінки з оглядовими вікнами та пультами дистанційного управління. Стіни таких кабін виконують з широкосмугового звукопоглинаючого матеріалу, що дозволяє знизити рівень шуму в приміщенні камери нижче допустимих значень. В якості такого матеріалу слід використовувати листи з пресованої деревини зібрані в три шарові пакети таким чином, що із зовні укріплюються на відстані 50 мм один від другого дерев'яні листи, а проміжок між листами закладається мінеральною ватою зі щільністю $\rho = 15-20 \text{ кг/м}^3$. Оглядові вікна обладнуються зі скла товщиною 10 мм, а вхідні двері виготовляються з дощок товщиною 40 мм із зовні зашиті оцинкованою жерстю. В середині таких кабін встановлюється пульт управління обладнанням, засоби зв'язку і установка з кондиціонування повітря, а рівень шуму зведений до рівня допустимого за санітарними нормами.

Висновки і розвиток подальших досліджень.

1. Використання потужних машин, механізмів і приладів в гірництві супроводжується надходженням у виробниче середовище інтенсивного шуму, який перевищує допустимі за санітарними нормами величини.
2. Інтенсивний шум на виробництві призводить до виникнення професійного захворювання – приглухуватості або неврити слухового нерва.
3. Боротьба з шумом в гірництві ведеться шляхом поглинання звукових хвиль звукопоглинальними матеріалами або звукоізоляцією речовинами, які мають низьку звукопроникність.
4. Результати випробувань показали, що високі звукопоглинальні властивості мають пресована деревина і мінеральна вата, а низьку звукопроникність мають матеріали з заліза, скла, бетону, дерева.
5. Для захисту працюючих в гірництві розроблено нову конструкцію глушника шуму до вентиляторів місцевого провітрювання гірничих виробок, в якому в якості звукопоглинаючого матеріалу застосована мінеральна вата з щільністю упаковки $\rho = 15-20 \text{ кг/м}^3$.
6. Для захисту від шуму, утворюваного осьовими ГВУ, рекомендовано застосовувати в каналах вентилятора вертикальні перегородки зі шлакоблоку, який поглинає звук.
7. Для захисту працюючих в цехах з надмірним шумом запропонована звукоізоляційна кабіна, яка має стіни з трьохшарового матеріалу, причому зовнішні шари повинні бути з пресованої деревини, а внутрішній шар має бути з мінеральної вати упакованою з щільністю $\rho = 15-20 \text{ кг/м}^3$.
8. Подальші дослідження будуть проводитися з пошуку нових звукопоглинальних і звукоізолюючих матеріалів при проектуванні глушників шуму, звукоізолюючих кабін і кожухів для захисту працюючих в умовах інтенсивного шуму.

Висновки і розвиток подальших досліджень.

1. Використання потужних машин, механізмів і приладів в гірництві супроводжується надходженням у виробниче середовище інтенсивного шуму, який перевищує допустимі за санітарними нормами величини.
2. Інтенсивний шум на виробництві призводить до виникнення професійного захворювання – приглухуватості або неврити слухового нерва.
3. Боротьба з шумом в гірництві ведеться шляхом поглинання звукових хвиль звукопоглинальними матеріалами або звукоізоляцією речовинами, які мають низьку звукопроникність.
4. Результати випробувань показали, що високі звукопоглинальні властивості мають пресована деревина і мінеральна вата, а низьку звукопроникність мають матеріали з заліза, скла, бетону, дерева.
5. Для захисту працюючих в гірництві розроблено нову конструкцію глушника шуму до вентиляторів місцевого провітрювання гірничих виробок, в якому в якості звукопоглинаючого матеріалу застосована мінеральна вата з щільністю упаковки $\rho = 15-20 \text{ кг/м}^3$.
6. Для захисту від шуму, утворюваного осьовими ГВУ, рекомендовано застосовувати в каналах вентилятора вертикальні перегородки зі шлакоблоку, який поглинає звук.
7. Для захисту працюючих в цехах з надмірним шумом запропонована звукоізоляційна кабіна, яка має стіни з трьохшарового матеріалу, причому зовнішні шари повинні бути з пресованої деревини, а внутрішній шар має бути з мінеральної вати упакованою з щільністю $\rho = 15-20 \text{ кг/м}^3$.
8. Подальші дослідження будуть проводитися з пошуку нових звукопоглинальних і звукоізолюючих матеріалів при проектуванні глушників шуму, звукоізолюючих кабін і кожухів для захисту працюючих в умовах інтенсивного шуму.

Список літератури

1. Абракітов В. Е. Конспект лекцій з дисципліни «Охорона праці в галузі» / В. Е. Абракітов, С. О. Обухов. – Х.: ХНАМГ, 2012. – 177 с.
2. Абракітов В. Е. Багаторазове відбиття звуку в акустичних розрахунках. – Х.: ХНАМГ, 2007. – 230 с.
3. Забаров В.И., Клячко Л. Н., Росин Г. С. Защита от шума и вибрации в черной металлургии. – М.: «Металлургия», 1976. – С. 85-94.
4. Исследования и испытания. Справочное пособие. Под ред. Б. М. Злобинского. – М.: «Металлургия». 1976. – С. 88-124.
5. Юдин Е. Я. Борьба с шумом. Справочник. – М.: «Машиностроение», 1985. – 400 с.
6. Жидецкий В. Ц. Основы охорони праці. – Львів: «Афіша», 2002. – С. 137-150.

7. **Орехова О. В.** Професійна захворюваність у працівників гірничо-металургійної галузі (ГМГ) України. Вісник проблем біології медицини. – 2015. – Т. 2 (125). – № 4 – С. 104-111.
8. **Орехова О. В.** Захворюваність працівників ГМГ за результатами періодичних медичних оглядів. Довкілля і здоров'я. – 2016. – № 2 (78). – С. 62-66.
9. **Хейфиц С. Я., Балтайтис В. Я.** Охрана труда и горноспасательное дело. – М.: «Недра», 1971. – С. 83-88.
10. **Лапшин О. Є., Лапшин О. О., Лапшина Д. О.** Охорона праці в гірництві. – Кривий Ріг: Вид. КНУ, 2018. – С. 95-100.
11. Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 р.
12. Закон України «Про забезпечення санітарного та епідеміологічного благополуччя населення» від 24.02.1994 р.
13. ДСТУ 2867-94 «Шум. Методи оцінювання виробничого шумового навантаження».
14. ГОСТ 12.1.003-83 «ССБТ Шум. Общие требования безопасности».
15. ДСН 3.3.6.037-99 Оцінка постійного широкопasmового шуму.
16. **Левченко О. Г., Полухаров О. І. Закарний В. В.** та ін. Охорона праці та цивільний захист. – К.: «Основа», 2019. – С. 121 – 132.
17. **Бедрий Я. І.** Безпека життєдіяльності. Навч. посібник. – К: Вид. «Магнолія», 2006. – С. 228- 231.
18. **Каспаров А. А.** Гигиена труда и промышленная санитария. – М.: «Медицина», 1977. – С. 129-161.
19. **Шеремет В. О., Каракаш О. І., Марунчак В. Ф.** Довідковий посібник керівника та спеціаліста з охорони праці. – Дніпро: «Ліра ЛТД», 2005. – С. 267-270.

УДК 622.7: 534

В. С. МОРКУН, Н. В. МОРКУН, доктори техн. наук, професори,
Криворізький національний університет,
С. М. ГРИЩЕНКО, канд. пед. наук, ст. дослідник, Державний податковий університет,
О. Ю. СЕРДЮК, асист., **А. А. ГАПОНЕНКО, Є. Ю. БОБРОВ**, аспіранти,
Криворізький національний університет

МОДЕЛЮВАННЯ МАГНІТНОЇ СЕПАРАЦІЇ ЗАЛІЗНОЇ РУДИ

Метою дослідження є обґрунтування можливості прогнозування результатів магнітної сепарації залізної руди із застосуванням ультразвукових та магнітометричних вимірювань.

Методи дослідження. У роботі використані методи аналізу вітчизняного та зарубіжного досвіду, методи математичного та імітаційного фізичного моделювання, а також методи математичної статистики і теорії ймовірності для формування оцінки результатів дослідження.

Наукова новизна полягає в обґрунтуванні методу визначення феромагнітної складової у залізорудній пульпі на основі вимірювання змін параметрів розповсюдження витікаючих хвиль Лемба під дією імпульсного магнітного поля та використанні отриманих результатів для прогнозування вилучення заліза у промпродукт магнітної сепарації.

Практичне значення полягає в тому, що запропонований підхід дозволяє у безперервному режимі безконтактним способом отримувати інформацію стосовно основного показника якості ведення технологічного процесу магнітного збагачення залізної руди.

Результати. Продуктивність магнітного сепаратора та якість розділення продуктів збагачення залежать від багатьох факторів, головними з яких є його конструктивні внутрішні параметри та властивості вхідного продукту. Оскільки поки що не має технічної можливості оперативно отримувати повну інформацію стосовно всіх змінних процесу магнітної сепарації, а взаємозв'язок між ними є важкоформалізуємим, для моделювання цього процесу доцільно використовувати апарат нечіткої логіки та штучні нейронні мережі. Для практичної реалізації такого підходу у представленому дослідженні застосовується адаптивна нейро-нечітка система ANFIS. Запропонований метод ультразвукового вимірювання концентрації твердої фази пульпи, крупності її частинок, вмісту феромагнітного компоненту та швидкості потоку з застосуванням витікаючих хвиль Лемба та імпульсного магнітного поля. Результати ультразвукових вимірювань використані для формування адаптивної нейро-нечіткої моделі магнітної сепарації та прогнозування вмісту заліза у промпродукт магнітного сепаратора. Середня абсолютна помилка (MAE) прогнозування становила 0,64, середньоквадратична помилка (RMSE) - 0,45 при коефіцієнті детермінації (R^2) - 0,93. Оскільки результати проведених досліджень сформованої моделі добре узгоджуються з експериментальними даними, зроблено висновок, що запропонований підхід можна успішно використовувати для прогнозування якості та ефективності роботи магнітних сепараторів на залізорудних збагачувальних фабриках.

Ключові слова: магнітний сепаратор, моделювання, витікаючі хвилі Лемба, магнітне поле, прогнозування, якість.

doi: 10.31721/2306-5451-2022-1-55-137-146