

22. Пат. 8671 Україна, МПК7 E02D27/00. Фундамент будівлі, споруди / **Р. О. Тімченко, Д. А. Крішко**; заявник та патентовласник КТУ. - № у 2005 01037; заявл. 04.02.2005; опубл. 15.08.2005. Бюл. № 8. – 6 с

23. Пат. 13796 Україна, МПК6 E02D 27/00. Фундамент будівлі, споруди / **Ю. Г. Вілкул, Р. О. Тімченко, Д. А. Крішко**; заявник та патентовласник КТУ. - № у 200510216; заявл. 31.10.2005; опубл. 17.04.2006. Бюл. №4. – 6 с

24. Пат. 13797 Україна, МПК6 E 02D 27/00. Фундамент будівлі, споруди / **Ю. Г. Вілкул, Р. О. Тімченко, Д. А. Крішко**; заявник та патентовласник КТУ. - № у 200510218; заявл. 31.10.2005; опубл. 17.04.2006. Бюл. № 4. – 6 с

Рукопис подано до редакції 16.03.2022

УДК 621.867.522.2

Ю.Г. ГОРБАЧОВ, канд. техн. наук, проф., **А.С. ГРОМАДСЬКИЙ**, д-р техн. наук, проф.,
О.Ю. КРИВЕНКО, канд. техн. наук, доц., **Ю.І. ЧУМАК**, ст. викладач
Криворізький національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ЛЕГКОГО ВІБРОТРАНСПОРТНОГО МОДУЛЮ УНІВЕРСАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Мета. Метою роботи є обґрунтування конструктивного рішення та раціональних параметрів уніфікованого вібротранспортного модулю легкого типу для використання в якості засобів вібраційного випуску та транспортування сипких матеріалів. Потреба у такому обладнанні відчувається у багатьох технологічних процесах гірничого виробництва, пов'язаних з видобутком та переробкою корисних копалин, у тому числі рудних. Використання універсального модульного пристрою для механізації різних транспортних операцій дасть змогу підвищити рівень уніфікації гірничого устаткування та скоротити номенклатуру об'єктів виробництва гірничого машинобудування. З огляду на це важливість та актуальність теми дослідження не викликає жодних сумнівів.

Методи дослідження. За допомогою аналітичного методу дослідження джерел науково-технічної інформації обґрунтовано та сформульовано вимоги до подібного обладнання. Розглянуто умови роботи засобів механізації для вібраційного випуску сипких матеріалів з різного роду ємностей та вібраційного транспортуванні їх на малі і середні відстані. Шляхом використання методу динамічного аналізу з'ясовано особливості робочих навантажень, що діють на машини у кожному конкретному випадку, та визначено межі раціональних параметрів режимів вібрації. За допомогою експериментальних досліджень підтверджено працездатність запропонованого технічного рішення. Зроблено висновок про можливість поєднання в одній конструкції пристроїв для виконання різних технологічних операцій.

Наукова новизна. Полягає у розробці ідеї використання єдиного уніфікованого вібротранспортного модуля легкого типу для механізації технологічних операцій випуску і доставки масових вантажів, у тому числі гірничої маси та продуктів її переробки.

Практична значимість. Практична реалізація ідеї дозволить розширити технологічні можливості вібротранспортного обладнання за рахунок поєднання різних функцій в одному пристрої, причому за умови високоефективного їх виконання.

Результати. Обґрунтовано та експериментально підтверджено раціональні конструктивні та експлуатаційні параметри уніфікованого вібротранспортного модуля універсального призначення.

Ключові слова: випуск сипких матеріалів з ємностей, вібраційне транспортування гірничої маси, вібротранспортна установка.

doi:10.31721/2306-5451-2022-1-54-89-94

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Одним з найбільш трудомістких технологічних процесів у гірничій промисловості є транспортування гірничої маси та продуктів її переробки. Здійснення операцій видобутку та збагачення твердих корисних копалин, у тому числі рудних, немислиме без використання різноманітного транспортного обладнання, яке пов'язує видобувні та збагачувальні машини у єдині технологічні ланцюги [1].

Транспортна система гірничого підприємства представляє собою складний механізм, від чіткого функціонування якого залежить рівень техніко-економічних показників роботи окремих дільниць та усього виробництва у цілому. Вона повинна забезпечити великі вантажопотоки, високий ступінь надійності, максимальну механізацію та автоматизацію основних та допоміжних транспортних операцій, зниження трудомісткості і зростання безпеки праці робочого та технічного персоналу. Подальший розвиток гірничого транспорту лежить на шляху підвищення продуктивності за рахунок зростання показників усіх його ланок, а також переходу від окремих високопродуктивних транспортних засобів до збалансованих за продуктивністю транспортних

систем, які можуть забезпечити потокову технологію транспортування корисних копалин та продуктів їх переробки [2, 3].

Для реалізації потокової технології у гірництві необхідно в ідеалі отримати безперервний процес переміщення потоку гірничої маси від забоїв до відправки готової продукції або сировини для подальшої переробки (наприклад, для металургійного переділу руд). Це можна зробити лише за допомогою транспортних систем безупинної дії.

Останні десятиліття характеризуються бурхливим розвитком вібраційної техніки та конвеєрного транспорту. Зусиллями дослідників і проєктантів, у тому числі вітчизняних, створено багато високоефективних конструкцій вібротранспортних машин і конвеєрів різних типів, що знаходять широке використання на гірничодобувних та гірничозбагачувальних підприємствах України і світу. Зокрема, саме на вітчизняних теренах у середині минулого століття починалося впровадження вібраційної техніки, без якої сьогодні немислимо здійснення таких важливих технологічних операцій, як випуск масових вантажів з різного роду ємностей та транспортування їх на короткі і середні відстані [4, 5].

Такі операції дуже розповсюджені практично на усіх гірничих виробництвах. На підземних рудниках потрібно здійснювати керований випуск гірничої маси з блоків і панелей, рудозвальних акумуляційних висхідних виробок, а також з різного роду бункерів. Випущена руда має бути доставлена і завантажена на ті чи інші транспортні засоби. На збагачувальних підприємствах потребують якісного розвантаження накопичувальні бункери, які відіграють важливу роль тимчасового резервування систем технологічного обладнання з послідовним з'єднанням елементів [6].

Проте, умови експлуатації вібраційних машин для випуску і доставки гірничої маси суттєво відрізняються. Якщо перші працюють під завалом стовпа руди в ємності і сприймають значні статичні і динамічні навантаження від нього, то другі зазвичай транспортують обмежені за висотою шари матеріалу. Це обумовлює різні вимоги до конструктивного виконання вібраційних установок. Віброживильники, як правило, більш масивніші і міцніші за віброконвеєри. Особливо це стосується обладнання важкого типу.

Однак, для більш-менш легких умов роботи (випуск матеріалу з ємностей обмежених обсягів, доставки матеріалів з порівняно невеликою продуктивністю на малі або середні відстані) ці вимоги взаємно наближуються і стає можливим використання універсальних конструкцій для реалізації згаданих транспортних операцій.

Таким чином, можна вважати, що проблема створення нових високоефективних конструкцій вібротранспортних машин універсального типу для використання в якості засобів механізації операцій випуску і доставки масових вантажів є достатньо важливою та актуальною.

Аналіз досліджень і публікацій. Для випуску гірничої маси з блоків, рудозвальних виробок та бункерів існує значна кількість конструкцій віброживильників високого технічного рівня, що забезпечують керованість процесу, значне (у декілька разів) зниження числа зависань матеріалу у випускних отворах та суттєве підвищення безпеки праці гірників [2-5,7-10]. В основному це повнорозмірні установки важкого типу, які створені за одномасною динамічною схемою. Вони складаються з масивної опорної рами, що закріплюється анкерними болтами на скельному або бетонному фундаменті, та робочого (вантажонесучого) органу, який спирається на раму через пружну систему у вигляді комплектів гумових амортизаторів, працюючих на стикування-зсув. Вантажонесучий орган постачений віброзбудником інерційного типу із зарезонансним режимом роботи. Такі конструкції розраховані на багаторазове використання, мають підвищений запас міцності та надійності і можуть працювати в умовах значних навантажень.

Але в разі наявності лише невеликих обсягів випуску і неможливості демонтажу установки для повторного застосування на іншому місці вони стають не вигідними з економічної точки зору. Така ситуація характерна, зокрема, для систем розробки з підповерховим обваленням руди, де запаси корисної копалини не перевищують 3-5 тис. тонн на кожен випускний отвір, а вилучення вібромашини після їх відпрацювання часто буває неможливим через сильний вплив гірничого тиску, що спотворює випускну виробку. Тут потрібні дуже прості і дешеві конструкції, які встигають окупитися у подібних умовах експлуатації, наприклад, легкі віброустановки типу віброплощадок [2,3,10,11].

Що стосується доставки гірничої маси у межах очисного блоку після її випуску, то давно вже назріла необхідність заміни украї застарілої, але ще широко використовуваної на вітчизня-

них рудниках скреперної доставки (насамперед, завдяки своїй конструктивній простоті та експлуатаційній невибагливості). Але циклічність такого транспортного засобу, мала продуктивність, значні енерговитрати під час волочіння гірничої маси підшоною виробки та висока небезпечність робіт аж ніяк не відповідають сучасним вимогам гірничого виробництва. На заміну скреперній доставці мають прийти високопродуктивні транспортні установки безупинної дії – конвеєри різних типів, здатні переміщувати абразивні крупношматкові вантажопотоки [12,13].

З точки зору забезпечення максимальної універсалізації гірничого вібротранспортного устаткування, для цього доцільно використовувати вібраційні конструкції. Вони простіше за інші піддаються секціонуванню і можуть набиратися з необхідної кількості уніфікованих автономних модулів, які можна буде також застосовувати в якості легких віброживильників для випуску сипких матеріалів з різного роду ємностей.

З огляду на це можна констатувати, що існує нагальна необхідність у дослідженні, розробці та створенні конструкцій вібротранспортних установок легкого типу з метою використання як для випуску гірничої маси з ємностей, так і для доставки її на порівняно невеликі відстані.

Постановка задачі. Метою роботи є вибір та обґрунтування раціональних параметрів легкого вібротранспортного модулю універсального призначення.

Викладення матеріалу та результати досліджень. Досягнення поставленої мети можливо за рахунок використання одного з методів створення уніфікованих конструкцій машин – методу секціонування. Згідно з ним нові машини можна отримати шляхом набору потрібного числа однакових уніфікованих автономних модулів [3]. Наприклад, для випуску сипкого матеріалу з бункера збагачувального підприємства можна застосувати віброживильник легкого типу у вигляді одного такого модулю, а для транспортування масових вантажів – доставковий конвеєр необхідної довжини, зібраний з декількох таких автономних модулів [14].

В якості прикладу подібного модулю можна привести конструкцію секції вібраційного конвеєра Д-1, розробленого свого часу в інституті НДГРІ. Зовнішній вигляд секції віброконвеєра показаний на рис. 1.

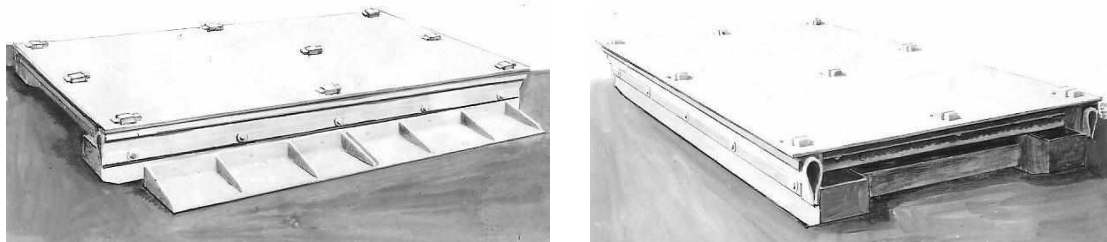
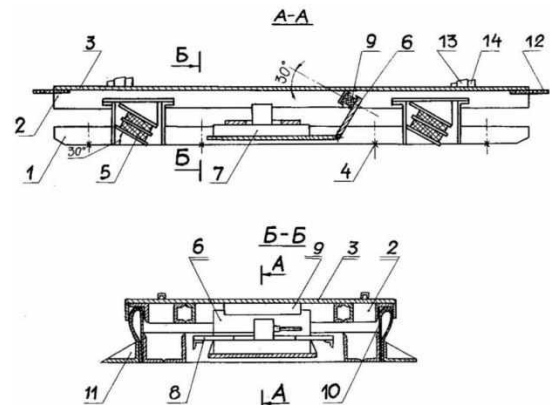


Рис. 1. Зовнішній вигляд секції вібраційного конвеєра Д-1

Конвеєр Д-1 призначався для доставки руди від випускних дучок, обладнаних інтенсифікаторами процесу витікання гірничої маси у вигляді віброплощадок типу ППВ-9Д з пневматичними безударними віброзбудниками діафрагмового типу, до блокової акумуляційної висхідної рудозвальної виробки [2, 3, 11, 13, 15]. Принципова схема секції віброконвеєра Д-1 приведена на рис. 2.

Рис. 2. Принципова схема секції вібраційного конвеєра Д-1: 1 – нерухома підстава; 2 – рухома рама; 3 – робочий орган (лоток); 4 – гніздо кріплення; 5 – пружна опора; 6 – важіль; 7 – діафрагмовий безударний пневмовіброзбудник; 8 – упор; 9 – пружний елемент; 10 – бічний ущільнювач; 11 – закрилок; 12 – верхній ущільнювач; 13 – гніздо; 14 – клин



Установка виконана за одномасною динамічною схемою у складі нерухокої підстави 1, яка кріпиться анкерними болтами через гнізда 4 до підшови доставкової виробки, рухокої рами 2 з робочим органом (лотком) 3, пружної системи з чотирьох опор 5 та пневматичного віброприводу 7, закріпленого на упорі 8 підстави 1.

Віброзбудник для отримання мінімальної висоти секції (розвантажувальні кінці робочих органів віброплощадок у дучках знаходяться на висоті не більше 400-500 мм над підшоною виробки) розташований таким чином, що забезпечує вертикальний напрямок дії змушеного

зусилля. Для трансформації його у напрямку під кутом 30° до площини робочого органу (для забезпечення максимально ефективного режиму вібротранспортування матеріалу) використовується важіль 6, з'єднаний з рамою 2 через пружний елемент 9. Лоток 3 кріпиться до рами 2 за допомогою гнізд 13 і клинів 14. З боків секції встановлені два закрilки 11 для додаткового навантаження конструкції обваленою рудою. Від потрапляння гірничої маси у внутрішні порожнини установки передбачені бічні 10 та верхні 12 ущільнювачі з конвеєрної стрічки.

Під час експериментальних досліджень секції за допомогою вібраційного вимірювача SM-231 фірми RFT (Німеччина) фіксувалися величини горизонтальних і вертикальних складових амплітуд коливань рухомої рами з робочим органом та підстави у трьох точках по довжині установки: у носовій частині, в центрі та у хвостовій частині. За ними визначалися результуючі значення амплітуди та кути дії змушеного зусилля віброприводу. На рис. 3 представлені графіки залежності амплітуди коливань секції від тиску повітря у віброприводі.

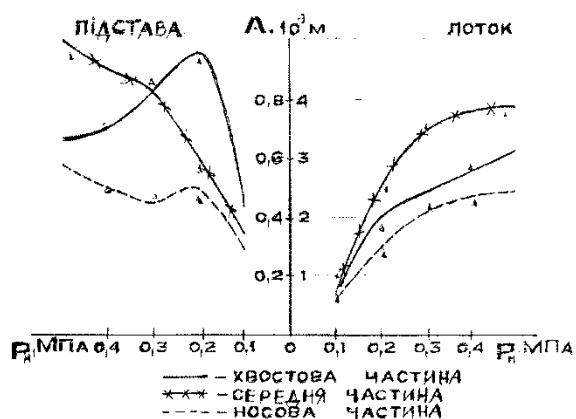


Рис. 3. Залежності величини амплітуди коливань робочого органу секції віброконвеєра Д-1 від тиску підведеного повітря

На графіках видно, що із зростанням тиску амплітуди коливань підвищуються і при (0,4-0,5) МПа досягають значень у 3-4 мм. Це оптимальна величина для реалізації процесу ефективного вібраційного транспортування гірничої маси при частоті коливань у межах 15-30 Гц (діафрагмовий вібропривод забезпечує частоту 25-30 Гц) [8,15].

Максимальні величини амплітуди спостерігалися у середній частині секції – там, де

проходила лінія дії змушеного зусилля. Швидкість процесу вібротранспортування гірничої маси при тиску повітря (0,4-0,5) МПа сягала величини 0,1 м/с, а продуктивність установки – 220 т/г.

Вибір саме пневматичного віброприводу конвеєра був обґрунтований необхідністю уніфікації його з приводами віброплощадок та використання єдиного виду енергії. Крім того, в умовах сильного обводнення виробок та ведення підривних робіт для ліквідації зависань гірничої маси у дучках застосування інерційного віброприводу електромеханічного типу небажано зрозумінь безпеки.

Для експлуатації вібраційного обладнання в умовах збагачувальних підприємств таких обмежень не існує. Для створеного вібротранспортного модулю універсального типу цілком підходить описана вище принципова схема секції віброконвеєра Д-1, але з електромеханічним інерційним вібропроводом, адже його самобалансна конструкція може забезпечити регулювання кута вібрації установки у будь-якому напрямку (від 0 до 360°). Це дасть можливість ефективно впливати на робочий орган установки (а, значить, і на матеріал на ньому) як у похилому його положенні (у разі використання модулю в якості віброживильника, встановленого під бункером), так і в горизонтальному (коли декілька послідовно з'єднаних модулів виконуватимуть роль доставкового віброконвеєра). У першому випадку достатньо буде коливань, перпендикулярних площині робочого органу, а в другому для забезпечення ефективного процесу вібротранспортування матеріалу знадобляться коливання під кутом $30-40^\circ$ до робочого органу. Змінення напрямку дії змушеного зусилля буде також доцільним у разі необхідності регулювання продуктивності пристрою.

Згадана самобалансна конструкція інерційного електромеханічного віброприводу повинна мати тривалову схему. Паралельні вали розташовані перпендикулярно поздовжній осі модуля. Середній ведучий вал отримує крутний момент від приводного електродвигуна через з'єднувальну пружну муфту і передає його на два ведені крайні вали за допомогою синхронізаційних зубчастих передач з передатним відношенням 1:1. На усіх валах встановлюються неурівноважені маси (дебаланси), причому на ведучому валу подвійна їх кількість, адже він буде обертатися у бік, протилежний напрямку обертання обох ведених валів. Для зменшення висоти модулю дебаланси можна зробити максимально подовженими, а для додаткового регулювання ве-

личини змушеного зусилля установки – оснастити їх знімними елементами (сегментами). Синхронізаційну шестірню на ведучому валу доцільно зробити традиційної конструкції (суцільну сталеву), а обидві шестірні на ведених валах – збірними (зі сталевими маточинами та текстолітовими вінцями). Таке виконання передач знизить рівень шуму під час роботи віброприводу і не потребуватиме змащення, що дуже важливо у важких умовах експлуатації подібної техніки на підприємствах гірничої галузі.

Регулювання напрямку дії змушеного зусилля віброприводу здійснюватиметься шляхом відповідного повертання усіх трьох валів разом із закріпленими на них дебалансами та фіксації їх у потрібному положенні за допомогою синхронізаційних шестірень. При цьому збігання цього напрямку з площиною зсуву гумових пакетів пружних опор модулю забезпечуватиме максимальну його продуктивність (і як віброживильника, і як віброконвеєра), а в разі перпендикулярного напрямку – мінімальну.

Для полегшення процесів регулювання величини і напрямку змушеного зусилля віброприводу та технічного обслуговування конструкції пропонується використати знімний варіант робочого органу модуля за допомогою клинових кріплень (як це показано на рис. 2) або будь-яких інших швидкознімних пристроїв.

Можна очікувати, що така конструкція універсального модулю забезпечить продуктивність транспортування матеріалу до 300 т/г при швидкості його переміщення до 0,15 м/с.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Реалізація пропонуваного конструктивного рішення легкого вібротранспортного модулю універсального типу забезпечить розширення технологічних можливостей установки шляхом використання її на різних вібротранспортних операціях гірничих та гірничо-збагачувальних підприємств, а також скорочення номенклатури виробництва подібного вібротранспортного обладнання. Конструкція модулю легкого типу компактна, технологічна ту виробництві, має невелику металоємність і, безперечно, матимемо хороші перспективи практичного застосування у гірничій галузі.

Список літератури

1. Транспорт на гірничих підприємствах / М.Я. Біліченко, Г.Г. Півняк, О.О. Ренгевич, В.І. Тарасов, А.М. Варшавський, О.В. Денищенко, Ю.М. Зражевський, О.С. Пригунов, В.С. Трошило, Ю.М. Шендерович. Вид. 3-е. – Дніпропетровськ: НГУ, 2005. – 636 с.
2. Гірничі машини та обладнання для добування руд: навч. посіб. для студ. вищих навч. закладів / Ю.Г. Горбачов, Б.М. Гопкало, А.С. Громадський, О.С. Ліфенцов, М.С. Плішко, В.А. Семенов, А.О. Хруцький, Ю.І. Чу-мак, І.А. Шиповський / Під заг. ред. А.С. Громадського. – Кривий Ріг: Видавничий центр КНУ. – 2017. – 410 с.
3. Громадський А. С. Проектування гірничих машин і комплексів для видобутку та переробки руд: Навч. посіб. для студ. вищих і серед. спец. навч. закладів / А.С. Громадський, Ю.Г. Горбачов, А.О. Хруцький, О.С. Ліфенцов. – Кривий Ріг: Видавничий центр КНУ, 2017. – 528 с.
4. Гончаревич І.Ф. Вибротехніка в горному виробництві / І.Ф. Гончаревич. – М.: Недра, 1992. – 319 с.
5. Потураєв В.Н. Вибраційна техніка і технології в енергоємних виробництвах / В.Н. Потураєв. – Дн-ск: НГА України, 2002. – 190 с.
6. Громадський А.С. Конспект лекцій з дисципліни «Надійність гірничих, транспортних та збагачувальних машин» для здобувачів вищої освіти зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» (електронна версія) / А.С. Громадський, Ю.Г. Горбачов. – Кривий Ріг: КНУ, 2021. – 210 с.
7. Blechman I.I. Revisiting the models of vibration screening process / I.I. Blechman, L.I. Blechman, L.A. Vaisberg, K.S. Ivanov. - Vibroengineering PROCEDIA, 2014, V. 3, PP. 169-174.
8. Учитель А.Д. Вибраційний випуск горної маси / А.Д. Учитель, В.В. Гуцин. – М.: Недра, 1981. – 232 с.
9. Вибраційні машини для випуску і доставки руди / В.Н. Потураєв, В.І. Дырда, О.К. Авдеев, І.К. Поддубний, В.П. Надутый, Н.Г. Кравченко, В.Н. Платонов, В.І. Финогеев. – К.: Наукова думка, 1981. – 152 с.
10. Каварма І.І. Комплекси точного транспорту для підземної розробки крепких руд / І.І. Каварма, А.В. Бровко. – М.: Недра, 1986. – 86 с.
11. Громадський А.С. Проектування, формування та використання комплексів гірничорудного механізованого обладнання: Навч. посібник / А.С. Громадський, Ю.Г. Горбачов, О.С. Ліфенцов. – Кривий Ріг: КНУ, 2017. – 229 с.
12. Каварма І.І. Состояние и перспективы развития горного транспорта для подземной разработки рудных месторождений / И.И. Каварма, А.М. Кальницкий, Ю.Г. Горбачев, В.Ф. Кондратенко // Обзорная информация, серия 2, Горное оборудование, выпуск 4. – М.: ЦНИИТЭИтяжмаш, 1991. – 40 с.
13. Каварма И.И. Прогрессивные направления совершенствования внутришахтного транспорта / И.И. Каварма, А.М. Кальницкий, Ю.Г. Горбачев // Обзорная информация, серия 2, Горное оборудование, выпуск 2. – М.: ЦНИИТЭИтяжмаш, 1989. – 28 с.
14. Громадський А.С. Машини допоміжних процесів переробки руд: Навч. посібник / А.С. Громадський, Ю.Г. Горбачов, О.С. Ліфенцов. – Кривий Ріг: КНУ, 2011. – 264 с.
15. Горбачов Ю.Г. Умови забезпечення безударного режиму роботи пневматичних вібраційних приводів діафрагмового типу / Ю.Г. Горбачов, А.О. Хруцький, А.С. Громадський, О.С. Ліфенцов // Гірничий вісник: науково-техн. збірник, вип. 102. – Кривий Ріг: КНУ, 2020. – С. 128-132.

Рукопис подано до редакції 16.03.2022