

невих і підземних вод, негативно впливає на здоров'я населення. Враховуючи масштаби і значимість проблеми промислових відходів в Україні, існує необхідність в обґрунтуванні параметрів локалізації забруднення підземних вод і розробці інженерних методів спрямованих на покращення екологічної ситуації, та зменшення захворюваності населення в межах впливу відвалів гірничого виробництва.

Основним чинником, який спричиняє забруднення ґрунту на території відвалів фосфогіпсу, є фільтрація забруднених вод. Про це свідчить забрудненість ґрунтів, яка нижче рівня залягання ґрунтових вод в 5...10 разів більша. І з часом це значення зростає. Так вміст фосфору в ґрунті на відстані 200 м від відвалів протягом контрольного періоду збільшився в 2 рази, свинцю – в 1,15, хрому – в 1,35.

#### Список літератури

1. **Мяновська М. Б.** Розробка алгоритму проведення моніторингу впливу звалищ твердих побутових відходів на довкілля / М. Б. Мяновська, М. С. Мальований // III Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю: зб. наук. статей. – 21-24 вересня 2011 р, Вінниця. – Вінниця: ВНТУ, 2011. – Т. 1. – С. 119–122.
2. **Онищенко С. В.** Еколого - економічна оцінка забруднення навколишнього середовища в системі екологічно безпечного розвитку регіонів України / С. В. Онищенко, М. С. Самойлік. – Полтава: ПНТУ ім. Ю. Кондратюка, 2012. – 269 с.
3. **Рыкходко М. М.** Ekologichna bezpeka pryrodnykh i antropohenno modyfikovanykh heosystem : monohrafiia / М. М. Рыкходко. – К.: Tsentr ekologichnoi osvity ta informatsii, 2013. – 201 s.
3. **Трунова І.О.** Залежність вмісту важких металів у твердому відході виробництва фосфорних добрив від просочування середі перебування / І.О. Трунова, Л.Д. Пляцук // Матеріали науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів інженерного факультету СумДУ. – Суми: Вид-во СумДУ, 2006. – С. 64-65.
4. **Пляцук Л.Д.** Системный подход к экологическому мониторингу в районе размещения отвала фосфогипсовых отходов / Л. Д. Пляцук, Е. Ю. Черныш, Е. Н. Яхненко [та ін.] // Экологический вестник. – Минск, 2015. – № 4 (34). – С. 77–85.
5. **Лычева М. А.** Особенности инженерно- геологических условий формирования отвалов фосфогипса / М. А. Лычева // Научный вестник Московского Государственного Горного Университета. – 2011. – №3 (12). – С.53–58.
6. **Клименко М.О.,** Рокочинський А.М., Колодич П.Д., Жомирук Р.В., Громаченко С.Ю. Сучасний стан та шляхи вирішення проблеми утилізації сміттєзвалищ у Рівненській області - Зб. наук. пр. Вісник НУВГП.- Рівне: НУВГП. - 2008. - Вип.№3. (43) - С.84-91.
7. **Жомирук Р.В.** Дослідження процесу забруднення ґрунтів і ґрунтових вод відходами гірничого виробництва. Зб. наук. пр. "Геотехнічна механіка". - Дніпропетровськ: ІГТМ НАН України. - 2012.- Вип. №95. - С.133-140.
8. **Malanchuk Z.** Examining features of the process of heavy metals distribution in technogenic placers at hydraulic mining / Malanchuk Z., Malanchuk Ye., Korniyenko V., Ignatyuk I. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies ISSN 1729-3774, 2017, pp. 45-51 DOI:10.15587/1729-4061.2017.92638.
9. **Khomenko, O.Ye.** Principles of rock pressure energy usage during underground mining of deposits / Khomenko, O.Ye., Sudakov, A.K., Malanchuk, Z.R., Malanchuk, Ye.Z. / Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, National Mining University of Ukraine, ISBN: 2071-2227, 2017, pp 34–43.
10. **Naduty, V.** Research results proving the dependence of the copper concentrate amount recovered from basalt raw material on the electric separator field intensity / Naduty, V., Malanchuk, Z., Malanchuk, Y., Korniyenko, V. / Eastern-European Journal of Enterprise Technologies ISSN 1729-3774, 2016, pp. 19-24 DOI: 10.15587/1729-4061.2016.79524.
11. **Pospehov G.B.** The analysis of aggradational phosphogypsum engineering-geological properties/ G.B. Pospehov, Y.S. Koudashov // Scientific reports on resource issues. – 2013. – v. 1, part II. – p. 35-39.

Рукопис подано до редакції 19.04.2018

УДК 681.5:622.73

Д.В. ШВЕЦЬ, асистент, Криворізький національний університет

### АВТОМАТИЗОВАНЕ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ПОДРІБНЕННЯ МАГНЕТИТОВИХ РУД НА ОСНОВІ ВИЗНАЧЕННЯ ЇХ МІЦНОСТІ

**Мета.** Розширення функціональних можливостей розробленої ТОВ "Рудпромгеофізика" (м. Кривий Ріг) інформаційно-виміральної системи ДЗМ-К, призначеної для контролю вмісту масової частки магнетиту в масі подрібненої руди на рухомій конвеєрній стрічці при її використанні для контролю вмісту магнітного заліза у вихідній руді рудозбагачувальних фабрик гірничо-збагачувальних комбінатів. Створення алгоритму керування процесом подрібнення залізної руди з попереднім автоматичним визначенням міцності вихідної руди.

**Метод.** Розширення функціональних можливостей інформаційно-виміральної системи ДЗМ-К пропонується здійснити шляхом доповнення системи датчиком вмісту загального заліза, що дозволить визначати вміст як магніт-

ного заліза, так і заліза загального в руді на рухомій конвеєрній стрічці, обчислювати співвідношення вмісту заліза магнітного до вмісту заліза загального в руді, що живить першу стадію подрібнення і класифікації, на підставі обчисленого співвідношення визначати міцність вихідної руди і коригувати подачу вихідної руди в млин з метою досягнення оптимальних показників подрібнюваності.

**Наукова новизна.** Запропоновано метод визначення подрібнюваності вихідної руди в живленні першої стадії подрібнення і класифікації на основі визначення співвідношення вмісту магнітного і загального заліза в ній. Розроблено функціональну схему та алгоритм керування процесом подрібнення залізної руди з попереднім автоматичним визначенням міцності вихідної руди.

**Практична значимість.** Проведені дослідження дозволять розширити функціональні можливості інформаційно-виміральної системи ДЗМ-К, застосування якої дасть можливість стабілізувати гранулометричний склад руди, що подається на першу стадію магнітної сепарації, за рахунок визначення міцності вихідної руди в живленні першої стадії подрібнення і класифікації. Застосування даної системи на рудозбагачувальних фабриках гірничозбагачувальних комбінатів дозволить підвищити ефективність процесу подрібнення руди на першій стадії подрібнення і класифікації, зменшити втрати заліза в хвості збагачення на першій стадії магнітної сепарації і підвищити якість кінцевого продукту - концентрату.

**Результати.** Отримані результати створюють перспективи для подальших досліджень, спрямованих на реалізацію модернізованої інформаційно-виміральної системи ДЗМ-К.

**Ключові слова:** рудозбагачувальна фабрика, міцність, подрібнення, класифікація, магнітне залізо (магнетит), оперативний контроль.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-103-114-119

**Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями.** Контроль якості мінеральної сировини є одним з найбільш важливих питань в гірничозбагачувальній промисловості. Однак, через коливання міцності залізної руди, що надходить на переробку на рудозбагачувальні фабрики, відбувається її недостатнє подрібнення, що веде до неповного розкриття зростків, або навпаки, надлишкове подрібнення, що призводить до погіршення магнітних властивостей подрібнюваного матеріалу. В обох випадках це призводить до втрат корисного компонента на стадії магнітної сепарації.

**Аналіз досліджень і публікацій.** У проблемно-галузевій науково-дослідній лабораторії Міністерства промислової політики України при Національному університеті під керівництвом професора А. А. Азаряна досліджуються проблеми оперативного контролю якості залізорудної сировини [1-7]. Зокрема, розроблена система автоматичного контролю і керування масовою часткою магнітного заліза в конвеєрному рудопотоці [8]. Дана система успішно застосовується на РЗФ Кривбасу і дозволяє контролювати вміст магнітного заліза у вихідній руді першої стадії подрібнення і класифікації.

Відомий також спосіб автоматичного керування одностадійним циклом мокрого подрібнення, що включає регулювання подачі руди в млин з корекцією за величиною циркулюючого навантаження і регулювання подачі води в млин. [9]

Однак цей спосіб не забезпечує своєчасного керування подрібненням через те, що якість продуктів на зливні класифікатора контролюється вже після того, як порція руди пройшла процес подрібнення, і в млин може надійти інший технологічний різновид магнетитових руд, що вимагає подачі в іншому співвідношенні компонентів «руда-вода».

Також відомий спосіб автоматичного керування, що включає регулювання подачі води і руди в млин в залежності від вмісту магнітного заліза у вихідній руді [10]. Недоліком даного способу є відсутність можливості керування процесом помелу залежно від ступеня подрібнюваності руди, що подається на вхід млина.

**Постановка завдання.** Метою роботи є створення алгоритму керування процесом подрібнення залізної руди з попереднім автоматичним визначенням міцності вихідної руди для зменшення втрат корисного компонента в кінцевому продукті рудозбагачувальної фабрики - концентраті.

**Викладення матеріалу і результати.** На рудозбагачувальних фабриках Кривбасу більше ніж 10 років успішно експлуатується інформаційно-виміральною системою ДЗМ-К [11], призначена для контролю вмісту масової частки магнетиту в масі подрібненої руди на рухомій конвеєрній стрічці, в основі якої лежить використання датчика магнітного заліза. Дану систему пропонується доповнити датчиком заліза загального та блоком, що здійснює обчислення співвідношення вмісту в руді заліза магнітного до заліза загального, що дозволить визначати міцність гірської маси. В підсумку, даний фактор дозволить ефективно керувати процесом подрібнення.

Технічний результат від використання запропонованого рішення полягає в тому, що попереднє автоматичне визначення міцності вихідної руди дозволяє відповідно коригувати обсяг її подачі в млин, що зменшує вихід продукту недостатньої або надлишкової крупності і втрати корисного компонента.

Поставлена мета досягається за рахунок того, що спосіб автоматичного керування процесом подрібнення руди включає визначення режиму подачі компонентів «руда-вода» в млин в залежності від співвідношення вмісту заліза магнітного і заліза загального в вихідній руді, що обчислюється модернізованою інформаційно-вимірною системою ДЗМ-К. Здійснюється вимір вмісту заліза загального, обчислюється співвідношення вмісту заліза магнітного до вмісту заліза загального, в залежності від результатів обчислення визначаються технологічні сорти вихідної руди легкої, середньої та важкої подрібнюваності, і, відповідно підвищують, залишають середнім або зменшують обсяг подачі компонентів «руда-вода» до млина.

Загальний алгоритм роботи системи має наступний вигляд (рис. 1).

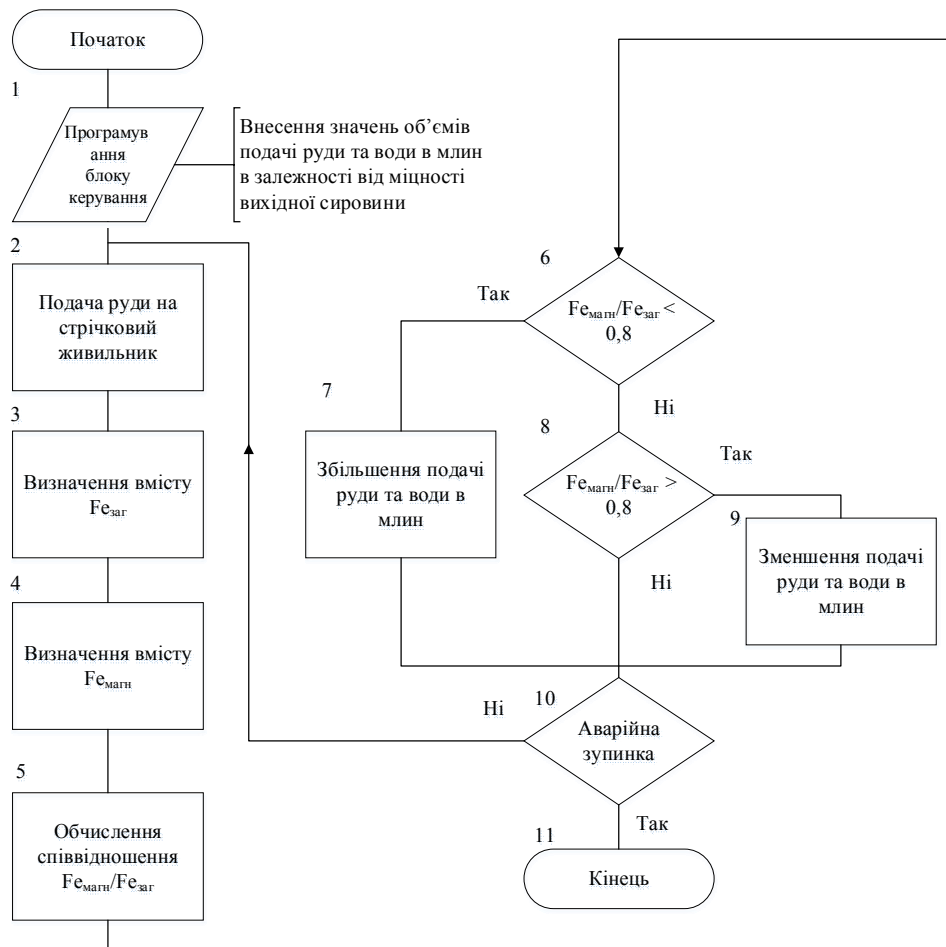


Рис 1. Спосіб автоматичного керування процесом подрібнення магнетитових руд

Алгоритм функціонує наступним чином: перед початком роботи програмується блок керування автоматизованої системи - задаються значення обсягів подачі руди і води в млин в залежності від міцності вихідної сировини. Після запуску системи подається руда на стрічковий живильник руди в млин. В руді на стрічковому живильнику за допомогою модернізованої інформаційно-вимірною системою ДЗМ-К проводиться вимір вмісту загального і магнітного заліза. Далі відбувається обчислення співвідношення вмісту магнітного заліза до заліза загального в руді, і в залежності від отриманого значення формується керуючий вплив на електродвигун живильника: при  $Fe_{магн} / Fe_{заг} > 0,8$  швидкість двигуна зменшується, що призводить до зменшення подачі руди в млин. В свою чергу, при  $Fe_{магн} / Fe_{заг} < 0,8$  подається керуючий вплив, що збільшує швидкість електродвигуна стрічкового живильника, що збільшує подачу руди в подрібнюючу установку. Також відповідно до зміни подачі руди, змінюється і подача води до мли-

на для підтримки заданих режимів щільності. У робочому режимі через задані проміжки часу цикл повторюється знову, при виникненні аварійної ситуації - процес зупиняється.

Даний алгоритм реалізується за допомогою функціональної схеми (рис. 2).

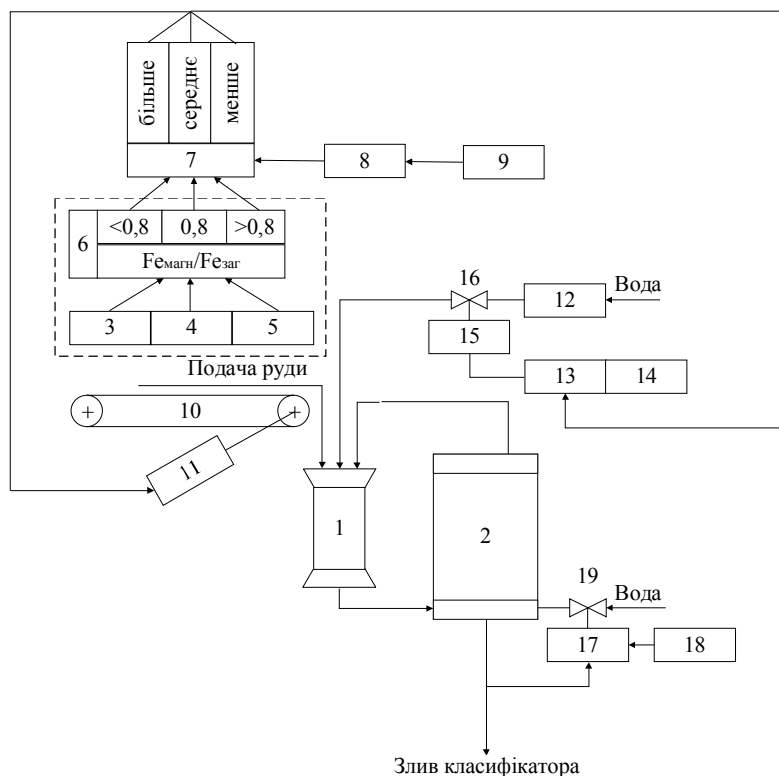


Рис. 2. Спосіб автоматичного керування процесом подрібнення магнетитових руд

Функціональна схема складається:

з системи керування витратами вихідної руди в кульовий млин 1, що працює в замкнутому циклі зі спіральним класифікатором 2, яка, в свою чергу, містить в своєму складі модернізовану систему ДЗМК-К (на схемі виділена пунктиром). Система ДЗМК-К містить датчик 3 вмісту магнітного заліза, датчик 4 маси руди, що подається у млин 1, датчик 5 вмісту загального заліза у вихідній руді, обчислювач 6 відношення вмісту магнітного заліза до вмісту загального заліза, до входів якого приєднані датчики 3, 4, 5, що встановлені на конвеєрі. Вихід обчислювача 6 підключений до блоку керування 7 з послідовно з'єднаними регулятором 8 та задатчиком 9 подачі руди конвеєром 10 за допомогою двигуна 11;

з системи стабілізації співвідношення «руда-вода» в кульовому млині 1, що містить датчик 12 витрати води у млин, регулятор 13 з задатчиком 14, виконавчий механізм 15 гідрозасувки 16;

з системи 17 стабілізації щільності зливу класифікатора, що має свої задатчик 18 та гідрозасувку 19.

Керування процесом подрібнювання магнетитових руд у залежності від їх подрібнюваності здійснюється впливом на витрати руди й води в кульовий млин і витрати води в класифікатор у такий спосіб: вихідну руду подають в кульовий млин 1 за допомогою стрічкового конвеєра 10. Перед початком роботи за допомогою задатчика 9 через регулятор 8 програмують блок керування 7 відповідно до технологічної інструкції, а також регулятор 13 витрати води за допомогою задатчика 14, виконавчого механізму 15 та гідрозасувки 16. Вміст магнітного заліза у вихідній руді контролюють індуктивним датчиком 3; масу руди, яка подається у кульовий млин 1, контролюють за допомогою датчика 4; вміст загального заліза контролюють за допомогою радіаційного гамма-гамма датчика 5. Сигнали датчиків 3, 4, 5 подають на вхід обчислювача 6, за допомогою якого визначають співвідношення вмісту заліза магнітного до вмісту заліза загального, формують пропорційний цьому відношенню сигнал та передають його на вхід блоку керування 7 швидкістю двигуна 11 конвеєра 10 подачі руди, та на вхід регулятора 13 подачі води у кульовий млин 1.

Щільність зливу класифікатора контролює система 17 і регулює подачу води відповідно

сигналу задатчика 18 через гідрозасувку 19.

З літератури [12] відомо, що міцність (подрібнюваність) магнетитових руд залежить від співвідношення вмісту заліза магнітного до вмісту заліза загального:

легкоподрібнювані руди  $Fe_{\text{маг}} / Fe_{\text{заг}} < 0,8$ ;

середньоподрібнювані руди  $Fe_{\text{маг}} / Fe_{\text{заг}} = 0,8$ ;

важкоподрібнювані руди  $Fe_{\text{маг}} / Fe_{\text{заг}} > 0,8$ .

Відповідно до технологічного сорту руди необхідно регулювати масу руди, що подається на вхід кульового млина, та співвідношення «руда-вода» в млині через те, що важкоподрібнювані руди потребують більшого часу на обробку, що викликає необхідність зменшити подачу руди до млина і навпаки - для легкоподрібнюваних руд продуктивність подачі необхідно підвищити. Це доводить необхідність регулювання продуктивності подачі руди і води в залежності від співвідношення вмісту заліза магнітного та загального у вихідній руді. Якщо ці умови не виконуються, то важкоподрібнювана руда після подрібнення не досягне повного розкриття зростків, а крупність легкоподрібнюваної руди буде занадто дрібною та її магнітні властивості зменшаться, що в обох випадках призведе до вагомих втрат корисного компоненту. Згідно технологічних інструкцій, діапазон керування процесом подрібнювання обмежується допустимим коливанням вмісту заліза магнітного у межах плюс-мінус 1,5%.

**Висновки.** Керування процесом подрібнювання магнетитових руд у залежності від їх подрібнюваності забезпечить мінімальні втрати заліза в хвості магнітної сепарації та підвищить якість концентрату.

Запропоноване рішення відноситься до способів автоматичного керування процесом мокрого подрібнення руди в кульовому млині, що працює в замкнутому циклі зі спіральним класифікатором, і може бути використано на рудозбагачувальних фабриках, що переробляють магнетитові руди.

#### Список літератури

1. Azaryan A., Pikilnyak A., Shvets D. Complex automation system of iron ore preparation for beneficiation, Metallurgical and mining industry, No.8. – 2015. – p.p. 64-66. [https://www.metaljournal.com.ua/assets/Journal/english-edition/MMI\\_2015\\_8/011Azaryan.pdf](https://www.metaljournal.com.ua/assets/Journal/english-edition/MMI_2015_8/011Azaryan.pdf)
2. Азарян А.А. Анализ способов и методов контроля качества железорудного сырья на этапе измельчения / Азарян А.А., Швець Д.В. //Гірничий вісник: наук.-техн. зб. - Вип. 98.-Кривий Ріг.,2014.-с.135-141
3. Исследование влияния вещественного состава железистых кварцитов ГОКа Арселор Миттал на их прочность / [Азарян А.А., Цибулевский Ю.Е., Кучер В.Г., Швець Д.В.] – Кривий Ріг: Вісник КНУ, 2016. – Вип. 42 - С. 231-236
4. Контроль содержания магнитного железа в пульсовых продуктах рудообогатительной фабрики / [Азарян А.А., Кучер В.Г., Цибулевский Ю.Е., Швець Д.В.]. – INTERNATIONAL ACADEMY JOURNAL «Web of Scholar», Киев, №1(10), 2017, С.9-12.
5. Швець Д. В. Розробка системи стабілізації масової долі заліза магнітного у зливні класифікатора та дослідження можливості автоматизації процесу подрібнення залізної руди та підготовки її до збагачення / Швець Д. В. // Качество минерального сырья – 2014, С. 252-264.
6. Азарян А.А. Перспективы построения систем автоматического регулирования процесса магнитной сепарации на базе погружных анализаторов содержания магнитного железа / Азарян А.А., Кучер В.Г., Швець Д.В. // Качество минерального сырья – 2017.
7. Азарян А.А. Расширение функциональных возможностей лабораторных анализаторов пульсовых продуктов магнетитовых руд / Азарян А.А., Кучер В.Г., Швець Д.В. // Кривий Ріг: Вісник КНУ. - 2016.. - Вип. 45. - С.135-141.
8. Система автоматичного керування масовою часткою магнітного заліза у конвеєрному рудопотоці: патент №50668 / Азарян А.А., Азарян В.А., Кучер В.Г., Мордовін Д.М., Цибулевський Ю.Є.; власник патенту КТУ; заявл. 02.11.2009; опубл. 25.06.2010, Бюл. № 12.
9. А.с. 503592 СССР, В02С 25/00. Способ автоматического регулирования процесса измельчения руды в мельнице / Горошин О.И., Мадорский С.Л. - №2041530/29-33; заявл. 05.07.1974; опубл. 25.02.1976, Бюл. № 7.
10. Пат. №39942 Україна МПК В02С 25/00 Спосіб автоматичного керування одностадійним циклом мокрого подрібнювання магнетитових руд / Азарян А.А., Дрига В.В., Мордовін Д.М., Кучер В.Г., Цибулевський Ю. Є. – (Україна); заявник Криворізький національний університет. - №u200808908; заявл. 07.07.2008; опубл.25.03.2009р, Бюл. №6, 2009р. – 4 с.
11. Пат. 101969 Україна, МПК<sup>2006</sup> G01R 33/12. Система автоматичного контролю продуктивності та вмісту магнітного заліза в конвеєрному рудопотоці вихідної руди рудозбагачувальної фабрики / А. А. Азарян, В. Г. Кучер, В. В. Дрига, Ю. Є. Цибулевський (Україна); заявник Криворізький національний університет. - № u201503375; заявл. 10.04.2015; опубл. 12.10.2015, Бюл. № 19. – 3 с.
12. Купін А. І. Узгоджене інтелектуальне керування стадіями технологічного процесу збагачення магнетитових кварцитів в умовах невизначеності. : Дис... д-ра наук: 05.13.07 - 2010.

Рукопис подано до редакції 13.04.2018