

**М.І. СОКУР**, д-р техн. наук

(Україна, Полтава, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка)

**В.С. БІЛЕЦЬКИЙ**, д-р техн. наук

(Україна, Харків, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»),

**Д.Г. МАМЧУР**, канд. техн. наук,

**Д.П. БОЖИК, І.М. СОКУР**

(Україна, Полтава, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка)

### **ПРОМИСЛОВІ ВИПРОБУВАННЯ ВІДЦЕНТРОВО-УДАРНОЇ ДРОБАРКИ ЦД-50 НА ДРОБИЛЬНІЙ ФАБРИЦІ ПІВНІЧНОГО ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНОГО КОМБІНАТУ**

*Постановка проблеми.* Перспективною науковою стратегією стосовно дроблення залізозмісної руди є зниження крупності дробленого продукту з 25-30 мм до 5-10, так як кожний міліметр зниження номінальної крупності продуктів циклів дроблення дозволяє на 1,0...1,5% знизити енерговитрати і на стільки ж підвищити продуктивність циклів подрібнення [1]. Таку крупність дробленого продукту можна отримати в дробильних апаратах нового покоління, найбільш перспективними з яких є відцентрово-ударні дробарки (дезінтегратори), які реалізують принцип руйнування матеріалу ударом в полі відцентрових сил [1-7].

Разом з тим, автори [8] наголошують, що сьогодні відсутній комплексний математичний опис, який дозволяє точно прогнозувати продуктивність відцентрово-ударних дробарок. Однією з причин цього є обмежені знання про взаємодію частинок та їх рух всередині машини. Суттєвий внесок у вирішення цієї проблеми зроблено в роботах [9, 10].

Продуктивним методом дослідження відцентрово-ударних дробарок сьогодні є метод дискретних елементів (DEM) [8, 10, 11]. При цьому для отримання первинної емпіричної інформації, а також перевірки адекватності отриманих моделей, верифікації розрахункових даних використовують промисловий експеримент (промислові випробування дробарок) [10].

У комплексних дослідженнях [12] використано тривимірну модель ротора. Завдяки імпорту 3-D моделі в ADAMS для динамічного моделювання імітується процес руху матеріалу під час процесу дроблення. Імітаційний аналіз показав, що швидкість обертання ротора є важливим чинником, який впливає на якість та ефективність дроблення у вертикальній ударній дробарці, але ефект дроблення не завжди зростає, коли збільшується швидкість, а висока швидкість посилює знос робочих поверхонь. Діапазон робочих швидкостей ротора становить 1400-1500 хв<sup>-1</sup> або 1600-1750 хв<sup>-1</sup>.

В Україні дослідно-експериментальний зразок відцентрово-ударної дробарки виготовлений на механічному заводі інституту «Механобрчормет». Відцентрово-ударна дробарка ЦД-50 з регульованим приводом має продуктивність 50-100 т/год.

*Мета статті* – ознайомлення фахівців з результатами випробувань дослідно-промислового зразка відцентрової дробарки ЦД-50 в промислових умовах Північного гірничо-збагачувального комбінату (Криворізький басейн).

*Виклад основного матеріалу.* Після монтажу дробарки ЦД-50 була проведена підготовка до її випробувань, зокрема, наладка та випробування на холостому ході в три етапи:

- при частоті обертів до  $500 \text{ хв}^{-1}$  протягом 21 год. (3 зміни по 7 годин);
- до  $1000 \text{ хв}^{-1}$  – 21 годину;
- до  $1500 \text{ хв}^{-1}$  21 годину.

Для проведення попередніх випробувань виготовлено декілька конструкцій роторів, а саме:

1) ротор напівзакритого типу з литими розгінними ребрами, з листовими ребрами, з колосниковими ребрами;

2) ротор закритого типу з литими розгінними ребрами криволінійної форми.

Схема установки дробарки ЦД-50 на дробильній фабриці Північного гірничо-збагачувального комбінату наведена на рис 1.

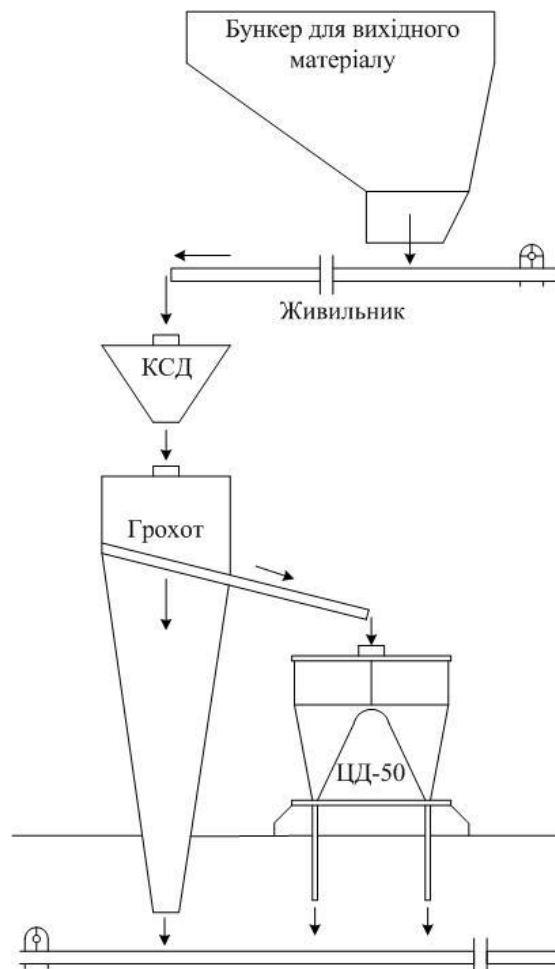


Рис. 1. Схема установки відцентрової дробарки ЦД-50 на дробильній фабриці Північного ГЗК

## **Підготовчі процеси збагачення**

Виконані попередні випробовування дробарки під навантаженням для всіх конструкцій роторів, метою яких було встановлення працездатності запропонованих конструкцій.

При цьому на першому етапі була проведена приробка (обкатка) і налагодження дробарки протягом 10 змін (70 годин) при частоті обертів  $1000 \text{ хв}^{-1}$  і продуктивності 40-50 т/год.

На другому етапі виконані випробовування дробарки при частоті обертів  $1000 \text{ хв}^{-1}$  і продуктивності 50-60 т/год.

На третьому етапі виконані випробовування дробарки при зміні частоти обертання ротора в межах  $200-1200 \text{ хв}^{-1}$  і продуктивності 50-60 т/год.

При проведенні випробовувань використовувалась руда поточного видобутку, яка надходить на дробильну фабрику з кар'єру.

Дробилися залізисті кварцити Ганнівського родовища Північного ГЗК крупністю 100-0 мм (після попереднього дроблення в дробарці середнього дроблення КСД). Характеристика вихідної руди подана в табл. 1-3.

Таблиця 1

Характеристика вихідної руди													
Вміст класів крупності (мм) в %													
-100	-55	-25	-20	-15	-10	-5	-3	-1	-0,56	-0,28	-0,14	-0,07	-
+50	+20	+20	-15	+10	+5	+3	+1	+0,56	+0,28	+0,14	+0,07	+0,05	0,05
2,7	30,9	5,9	15,4	10,4	15,3	7,0	3,3	3,7	1,6	1,9	1,2	0,6	0,1

Таблиця 2

Хімічний склад руди														
Компоненти хімічного аналізу														
Fe <sub>заг</sub>	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	MnO	CaO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	S	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Інші компоненти	Fe <sub>магн</sub>
34,59	9,9	38,1	41,3	0,5	1,57	2,35	0,172	2,95	0,075	0,069	0,4	0,24	3,22	25,66

Таблиця 3

Вміст мінералів (М) і заліза (Fe), %														
Магнетит		Герматит, мартит		Карбонати		Силікати		Сульфіди		Апатит	Кварц	Інші	В сумі	
М	Fe	М	Fe	М	Fe	М	Fe	М	Fe				М	Fe
35,5	25,7	10,3	7,2	6,4	0,8	8,5	0,9	сліди	0,2		39,1	-	100	34,6

Всі зазначені конструкції роторів в серії попередніх випробовувань показали свою працездатність. Для подальших (основних) випробовувань відцентрової дробарки вибраний ротор напівзакритого типу і литими ребрами, який в порівнянні з іншими відрізняється кращою технологічністю виготовлення.

В процесі проведення основних випробовувань частота обертів ротора змінювалась в межах від 250 до  $1115 \text{ хв}^{-1}$  (відповідно лінійна швидкість вильоту

матеріалу з ротора дорівнювала від 28,0 до 128 м/с). Продуктивність дробарки при проведенні випробовувань складала 55-85 т/год.

Результати випробовувань наведені в таблиці 4.

*Таблиця 4*

Результати випробовувань дробарки ЦД-50 на Північному ГЗК

№	Продуктивність т/год	Швидкість обертів ротора, хв. <sup>-1</sup>	Швидкість вильоту матеріалу з ротора, м/с	Споживана потужність, кВт	Масова частка класів крупності, %			Середня крупність дробленого матеріалу, мм	Ступінь дроблення	Питомі витрати енергії по вихідній руді, кВт/т	Питомі витрати енергії з врахуванням ступеня дроблення, кВт/т
					Σ-1,0	Σ-5,0	Σ-10,0				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	70	250	28,8	26	4,9	22,1	42,1	18,3	1	0,37	0,37
2	60	300	34,5	35	9,2	26,4	50,0	14,2	1	0,58	0,58
3	72	350	40,3	43	14,3	29,9	53,7	13,5	2	0,6	0,3
4	70	690	79,4	70	23,6	51,0	71,5	10,5	2	1,0	0,5
5	70	720	82,9	70	24,6	51,1	72,0	9,2	2	1,0	0,5
6	85	775	89,2	96	27,3	54,2	74,9	7,8	3	1,13	0,37
7	60	800	92,1	70	25,6	55,7	79,3	6,8	3	1,17	0,35
8	60	875	100,7	80	26,7	68,8	82,7	5,7	4	1,33	0,33
9	60	880	101,3	80	31,0	67,7	86,3	5,3	4	1,33	0,33
10	55	850	97,9	80	33,4	68,8	87,9	4,6	5	1,45	0,21
11	75	950	109,4	90	37,8	67,9	85,9	5,2	4	1,2	0,3
12	75	950	109,4	90	37,9	67,5	87,1	4,9	4	1,2	0,3
13	50	1000	115,1	80	41,9	74,8	80,1	5,1	4	1,6	0,4
14	80	1000	115,1	90	42,7	75,2	90,2	3,6	6	1,3	0,21
15	85	1115	128,4	99	54,2	82,5	93,1	3,0	7	1,16	0,11

Дослідженнями встановлено, що споживана дробаркою потужність зі збільшенням частоти обертів ротора у вказаних вище межах збільшується з 26,0 до 99,0 кВт при навантаженні 75-85 т/год, а при холостому ході від 12,0 кВт до 37,0 кВт (рис. 2, криві 1, 2).

Питомі витрати електроенергії (без врахування ступеня дроблення) змінюються в межах від 0,37 до 1,16 кВт/год (рис. 2, крива 3).

Встановлено, що середня крупність дробленого продукту при зміні частоти обертів ротора зменшується з 18,3 мм до 3,0 мм, а ступінь дроблення зростає з 1 до 7, при цьому спостерігається тенденція до зниження кратності дроблення при збільшенні продуктивності по вхідному живленню (графіки на рис. 3)

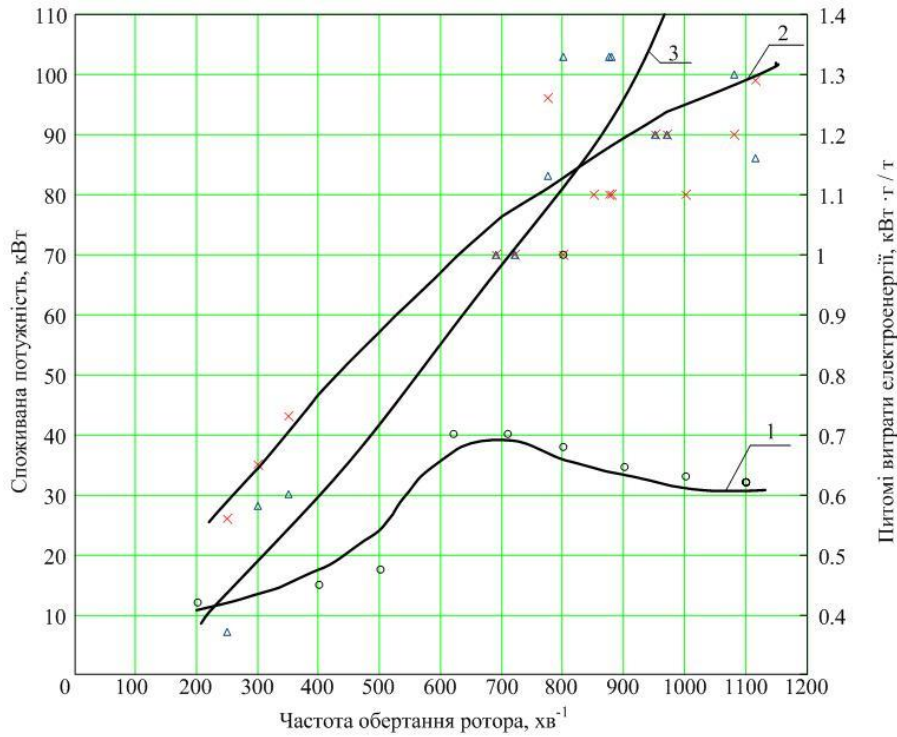


Рис. 2. Залежність енергетичних параметрів роботи дробарки від частоти обертання ротора (ПівнГЗК):

- 1 – потужність, споживана приводом при холостому ході;
- 2 – потужність, споживана приводом при навантаженні; 3 – питомі витрати енергії

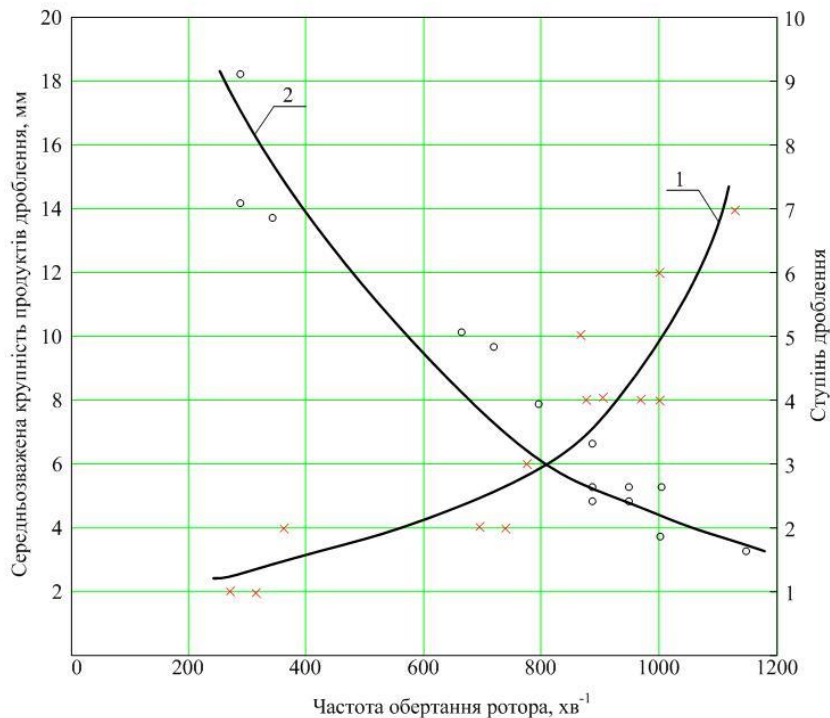


Рис. 2. Завантаженість технічних показників дроблення від частоти обертів розгінного ротора (ПівнГЗК):

- 1 – ступінь дроблення; 2 – середньозважена крупність дроблення;

Дослідженнями також встановлено, що максимальний приріст класу крупності мінус 5,0 мм складає 62,2%, класу крупності мінус 10,0 мм складає 55,5% (при максимальній частоті обертів ротора  $1115 \text{ хв}^{-1}$  і продуктивності 85 т/год).

Масова частка класів крупності мінус 5,0 мм і мінус 10,0 мм в дробленому продукті складала при цьому відповідно 75-80 % і 90-95% відповідно (рис 4., графіки 2, 1).

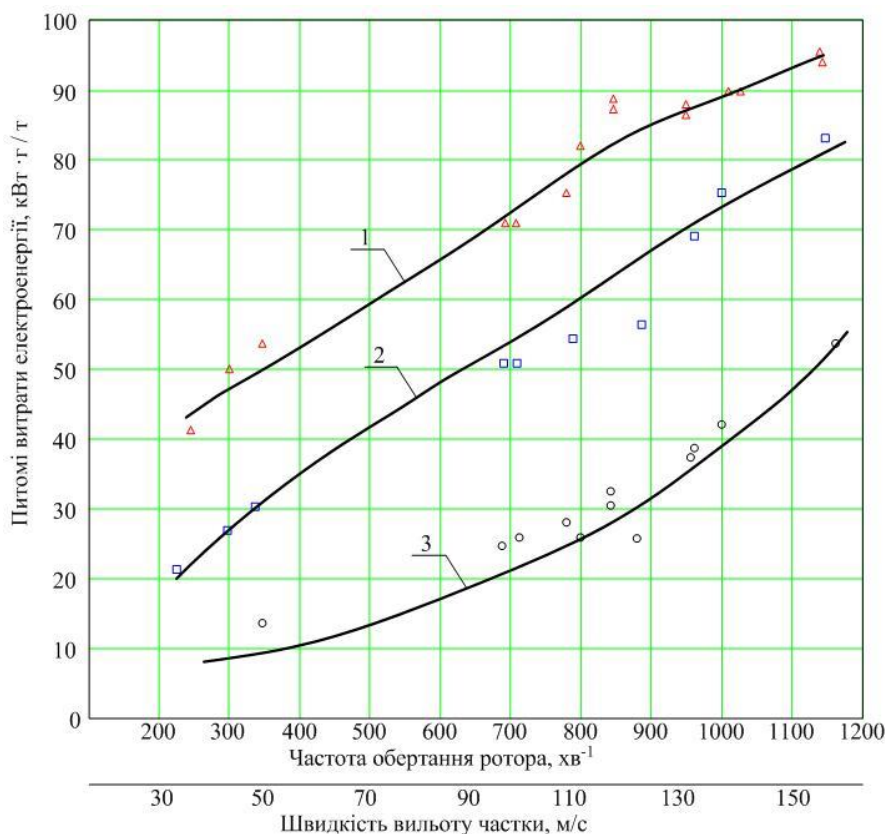


Рис. 4. Залежність крупності дроблення від частоти обертів розгінного ротора:  
 1 – масова частка класу -10,0 мм; 2 – масова частка класу -5,0 мм;  
 3 – масова частка класу -1,0 мм;

Масова частка класу мінус 1,0 мм в дробленому продукті при тому ж режимі роботи дробарки складала 55% (рис. 4, графік 3).

При цьому середня крупність дробленого продукту в досліджах складала 3-5 мм (при  $n = 900-1000 \text{ хв}^{-1}$ ).

При проведенні дослідів з ротором напівзакритого типу з колосниковими розгінними ребрами технологічні показники не погіршилися і змінилися у незначних межах, що підтверджує працездатність і технологічну доцільність такої конструкції ротора. Тому при відсутності ливарного виробництва така конструкція ротора може бути рекомендована до застосування.

При використанні ротора закритого типу встановлено, що на холостому ході спостерігається збільшення споживаної електродвигуном потужності до 90 кВт при  $1000 \text{ хв}^{-1}$  у зв'язку із збільшенням вентиляційного ефекту і маси ротора.

## **Підготовчі процеси збагачення**

У процесі випробувань встановлено конструктивний недолік ротора, а саме складності заміни розгінних ребер ротора, це необхідно врахувати при удосконаленні його конструкції і розробки удосконалених конструкцій відцентрових дробарок більшої продуктивності.

Встановлені також конструктивні недоліки ротора напівзакритого типу з висотою розгінних ребер 62 мм, які не виключають можливості викиду крупних шматків матеріалу безпосередньо з розгінного диску, мимо розгінних ребер, що знижує ефективність дроблення, тому розгінні ребра повинні бути не більше висоти розгінного ротора.

### *Висновки*

1. Отримані в процесі промислових випробувань технологічні показники роботи відцентрової дробарки ЦД-50 задовольняють вимоги галузі по дробленню магнетитової руди.

2. Створена інноваційна конструкція відцентрової дробарки ЦД-50 з регульованим приводом дозволяє за рахунок плавної зміни швидкісного режиму отримувати необхідні технологічні показники дроблення у залежності від фізико-механічних властивостей вхідного матеріалу, що дробиться.

3. Відцентрова дробарка ЦД-50 рекомендується для застосування в стадіях дрібного дроблення дробильних фабрик гірничо-збагачувальних підприємств, а також для дроблення інших твердих матеріалів у будівельній та хімічній галузях.

4. З використанням результатів проведених досліджень рекомендується розробити конструкції відцентрових дробарок більшої потужності – 200-300 т/год для дроблення магнетитових кварцитів і будівельних матеріалів із крупністю 100,0 мм до крупності 10,0 мм.

Напрямами подальших досліджень, зокрема, є моделювання і автоматизація відцентрової дробарки ЦД-50 із використанням сучасного методичного апарату [13-17].

### **Список літератури**

1. Сокур Н.И., Сокур Л.М., Сокур Л.М. Центробежные дробилки: Монография . – Кременчуг, ЧП Щербатых А.В., 2009 – 204 с.

2. Сокур Н.И., Д.Ф., Маслов А.Г. Дробильное оборудование для производства строительных материалов: Монография . – Белгород, Белгородская областная типография, 2014 – 211 с.

3. Підготовка корисних копалин до збагачення : Монографія / М.І.Сокур, В.С. Білецький, О.І. Єгурнов та ін. – Кременчуг: ПП Щербатих О.В., 2014. – 392 с.

5. Патент № 96586 Україна, МПК<sup>51</sup> · В02С 13/00. Привод відцентрового роторного пристрою / Д.П. Божик, Л.М. Сокур, М.І. Сокур; заявл. 22.07.2014; опубл. 25.09.2014; №18 – 5 с.

6. Патент № 95594 Україна, МПК<sup>51</sup>, В02С 13/00. Відцентрово-ударна дробарка / Д.П. Божик, М.В. Кіяновський, Л.М. Сокур, М.І. Сокур; заявл. 22.07.2014; опубл. 25.12.2014.

7. Патент № 96586, Україна, МПК<sup>51</sup> В02С 13/00. Ротор відцентрово-ударної дробарки /

Д.П. Божик, Л.М. Сокур, М.І. Сокур; заявл. 29.08.2014; опубл. 10.02.2015; №3 – 4 с.

8. Emerson Cunha, Rodrigo Carvalho, Luis Marcelo Tavares. Simulation of solids flow and energy transfer in a vertical shaft impact crusher using DEM // Minerals Engineering. April 2013. S. 43–44:85–90. DOI: 10.1016/j.mineng.2012.09.003

9. Сокур М. І., Божик Д. П., Білецький В. С., Учитель С. О. Теоретичні основи кінетики дроблення матеріалу у відцентрово-ударній дробарці. // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2017. – Вип. 68(109). – С. 37-45.

10. Juliana Segura Salazar, Gabriel Barrios, Victor Rodriguez, Luis Marcelo Tavares. Mathematical modeling of a vertical shaft impact crusher using the Whiten model. // Minerals Engineering. September 2017. S. 111:222-228. DOI:

10.1016/j.mineng.2017.06.022

11. J. H. Yang, H. Y. Fang, M. Luo. Load and wear experiments on the impact hammer of a vertical shaft impact crusher // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. December 2015. DOI: 10.1088/1757-899X/103/1/012041

12. Dynamic Analysis of Tip Set Extra Hard Load of Vertical Shaft Impact Crusher. / Jun-ming Zhang ; Fang Zhao ; Wei Wang ; Xiang-bo Ze ; Dong-ning Su. // 2009 International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation. INSPEC Accession Number: 10828087. 11-12 April 2009. Zhangjiajie, Hunan, China. DOI: 10.1109/ICMTMA.2009.301

13. Білецький В. С., Смирнов В. О. Моделювання процесів збагачення корисних копалин: (Монографія) — Донецьк: Східний видавничий дім, 2013. – 304 с.

14. Сергєєв П.В., Білецький В.С. Комп'ютерне моделювання технологічних процесів переробки корисних копалин. – Маріуполь: Східний видавничий дім. 2016. – 119 с.

15. Папушин Ю. Л. Основи автоматизації гірничого виробництва : (курс лекцій) / Папушин Ю. Л., Білецький В. С.; Донец. нац. техн. ун-т, Донец. від-ня Наук. т-ва ім. Шевченка. – Донецьк: Сх. вид. дім, 2007. – 168 с.

16. Самилін В. М. Спеціальні методи збагачення корисних копалин / В. М. Самилін, В. С. Білецький ; Донец. нац. техн. ун-т, Донец. від-ня Наук. т-ва ім. Шевченка. – Донецьк : Сх. вид. дім, 2003. – 115 с.

17. Руководство по программному обеспечению SolidWorks® [https://www.solidworks.com/sw/docs/Student\\_WB\\_2011\\_RUS.pdf](https://www.solidworks.com/sw/docs/Student_WB_2011_RUS.pdf)

© Сокур М.І., Білецький В.С., Мамчур Д.Г., Божик Д.П., Сокур І.М., 2019

*Надійшла до редколегій 04.02.2019*

*Рекомендовано до публікації д.т.н. П.І. Піловим*