

**С.С. Іськов, к.т.н., доц.
Р.В. Соболевський, д.т.н., проф.**

Житомирський державний технологічний університет

Дослідження зміни кількості відходів каменю при алмазно-дисковому розпилюванні блоків

Видобування та обробка природного каменю супроводжується утворенням значної кількості відходів. При обробці природного каменю найбільша кількість відходів утворюється саме під час операції розпилювання сировинного блоку на сляби. Тому є важливим вивчити закономірності утворення відходів на цій стадії для винесення рекомендації щодо їх зменшення.

Найбільш поширеним способом розпилювання на малих і середніх каменеобробних підприємствах України є однодискове алмазне розпилювання. Тому у роботі розглянуто порядок утворення відходів саме при однодисковому алмазному розпилюванні та досліджено зміни кількості відходів у абсолютному та відносному вираженні, залежно від розмірів сировинних блоків каменю та ріжучого інструменту. Встановлено залежність кількості шламу від діаметра пилки, втрат на обополі від лінійних розмірів блока.

Ключові слова: блок каменю; дискова пила; шлам; обопол; відходи.

Постановка проблеми. Видобування та обробка природного каменю характеризується значною кількістю відходів. Їх об'єм на блочних кар'єрах визначається виходом кондиційних блоків – блочністю каменю, яка в свою чергу залежить від умов залягання покладу, його тріщинуватості та технологічної схеми видобування [2, 3, 8, 9]. Для каменеобробного виробництва об'єми відходів будуть залежати від об'єму сировинних блоків, правильності їх форми, технологічної схеми виготовлення готової продукції (особливо від способу розпилювання блоків) та інструменту, який використовується [5, 6, 10, 11].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження втрат каменю при видобуванні та об'ємів відходів, які при цьому утворюються, виконували М.Т. Бакка та О.О. Кісель. Питання доцільності використання косокутних блоків для зменшення кількості відходів і покращення використання блочної сировини розглядалися у роботах Р.В. Соболевського. У роботах В.В. Коробійчука досліджувались питання утворення і об'єми відходів у каменеобробці [4, 5, 6, 12]. Цими питаннями займалися і такі закордонні вчені: Ж-М.Ф. Мендоза [1], В.Акхар, В.Баріентос та інші.

Мета дослідження. Дослідження зміни об'ємів відходів як у абсолютному, так і у відносному вираженні при однодисковому алмазному розпилюванні, залежно від розмірів сировинних блоків каменю та ріжучого інструменту.

Викладення основного матеріалу. Дисковими верстатами є верстати з робочим інструментом у вигляді дискових пилок, які встановлені на робочому (пилному) валу і виконують у процесі пиляння обертальний рух. Алмазним ріжучим інструментом цих верстатів є дискові алмазні сегментні пилки (відрізні круги), при розпилюванні м'яких порід можуть використовуватись твердосплавні пили. Однодискові верстати звичайно оснащуються пилками великого діаметру – 2000–3500 мм.

Однодискове алмазне розпилювання в даний час є одним із найбільш поширених видів розпилювання на середніх і дрібних каменеобробних підприємствах. Його перевагами є висока швидкість різання і продуктивність процесу розпилювання, конструктивна простота і невелика металоємність, чистота розпилю, що значно спрощує та зменшує вартість і час виконання наступних операцій шліфування-полірування. Недоліком цього виду розпилювання є незначний коефіцієнт використання діаметра пилки (до 0,35–0,38), що обмежує висоту розпилюваного блока (табл. 1) і, відповідно, отримуваних з нього заготовок, підвищена енергоємність процесу розпилювання, підвищена товщина пропилю при використанні пилок великого діаметра [7].

Таблиця 1

Максимальна глибина різання блоку дисковою пилою (= максимальна висота блоку) [7]

Діаметр алмазної дискової пилки D , мм	Максимальна глибина різання дискової пилки, мм	Діаметр алмазної дискової пилки D , мм	Максимальна глибина різання дискової пилки, мм
300	110	1250	465
350	115	1300	490
400	130	1400	540
450	155	1500	590
500	170	1600	640

Закінчення табл. 1

Діаметр алмазної дискової пилки D , мм	Максимальна глибина різання дискової пилки, мм	Діаметр алмазної дискової пилки D , мм	Максимальна глибина різання дискової пилки, мм
600	210	1800	700
630	225	2000	790
800	290	2200	900
900	325	2500	1025
1000	375	2700	1125
1100	425	3000	1200
1200	450	3500	1400

За формою і розмірами відходи, які утворюються при видобуванні та обробці природного каменю, умовно можна поділити на [7]:

- негабаритні блоки, бут, щебінь, тобто шматки каменю неправильної форми розмірами 5–70 мм (щебінь), більше 70 мм (бут) і більше 400 мм (блоки);
- окіл (бій), тобто малоформатні плити каменю товщиною 5–50 мм з колотими і пиляними краями неправильної форми, що мають термооброблену, поліровану або пиляну поверхню, вони є відходами розпилювання і окантування плит;
- обапол, тобто відходи пасирування і розпилювання блоків, що мають неправильну форму з однією обробленою плоскою поверхнею і лінійними розмірами, які зіставні з розмірами блоків;
- штиб і шлам, тобто дрібнодисперсні відходи каменю, утворені в результаті здійснення процесів різання та шліфування, розмірами більше 0,5 мм (штиб) і менше 0,5 мм (шлам).

Основними видами відходів при розпилюванні сировинних блоків каменю на сляби є бічні поверхні блоків (обапол) та шлам, який утворюється власне в процесі розпилювання.

Об'єм обаполу залежить від розмірів бічних поверхонь блоку (довжини і висоти блоку) та товщини обаполу. Остання може змінюватись в доволі широких межах і, в першу чергу, залежить від якості бічних поверхонь блоку, яка визначається способом відокремлення блоку від масиву або поділу моноліту на блоки. Так, найбільша нерівність бічної поверхні блоків буде отримана при використанні способів, що потребують буріння значної кількості шпурів (наприклад, при суцільному оббурюванні, за допомогою невибухових руйнівних засобів або вибухових речовин). Найкраща якість бічної поверхні досягається при використанні алмазно-канатної технології.

Максимальний об'єм обаполу, m^3 , можна знайти за такою формулою:

$$V_o = 2b_o \cdot L_0 H_0, \quad (1)$$

де L_0 , B_0 , H_0 – габаритні розміри блоку – відповідно, довжина, ширина і висота, мм;

b_o – товщина обаполу, мм, не менше 3-5 см, залежно від якості бічних поверхонь.

Реальний об'єм обаполу може бути дещо меншим ніж розрахований за формулою (1), оскільки наявність на бічній поверхні блоку слідів шпурів, техногенних тріщин і зон дроблення, нерівності сколу та інших виймок буде лише зменшувати його.

Об'єм шламу, отриманий при розпилюванні, можна визначити за сукупним об'ємом пропилів [7]

$$V_{ш} = L_0 H_0 m (b_p + b_3), \quad (2)$$

де m – кількість пропилів, необхідних для розпилювання блоку на плити товщиною $b_{пл}$, шт. (округляється до більшого цілого значення)

$$m = \frac{B_0}{b_n + b_{пл} + z_{ном}} - 1, \quad (3)$$

$z_{ном}$ – номінальний припуск товщини плити для фактурної обробки її лицьової поверхні, мм;

b_n – ширина пропилу, мм

$$b_n = b_p + b_3, \quad (4)$$

b_p – ширина ріжучого елемента, мм (табл. 2);

b_3 – сумарна величина зазорів у пропилі, мм

$$b_3 = d / 1000, \quad (5)$$

d – зовнішній діаметр пили, мм

Реальний об'єм шламу буде більшим за об'єм пропилів за рахунок розпушення породи – дезінтеграції окремих частинок від суцільного масиву блоку при його розпилюванні.

Таблиця 2

Товщина робочого інструменту

Алмазні дискові пили діаметром:	Товщина ріжучого елемента, мм
– 1800 мм	10,0
– 2000 мм	11,0
– 2200 мм	11,6
– 2500 мм, 2700 мм	12,0
– 3000 мм	12,5
– 3500 мм	13,0

Визначимо, як будуть змінюватись об'єми відходів як у абсолютному, так і у відносному вираженні при зміні розмірів блоків. Аналіз виконаємо на прикладі розрахунку відходів при виготовленні слябів товщиною 30 мм і припуску 3 мм. Результати розрахунку зведемо у таблицях 3–5.

Таблиця 3

Зміна кількості відходів при збільшенні довжини блоку

Розміри блоку, м			Об'єм блоку, $V_{\text{бл}}, \text{м}^3$	Діаметр пилки, $D, \text{мм}$	Об'єм шламу, $V_{\text{ш}}, \text{м}^3$	Вихід шламу, %	Середня товщина облопу, $b_o, \text{мм}$	Об'єм облопу, $V_o, \text{м}^3$	Вихід облопу, %
L_0	B_0	H_0							
2	1,5	1	3	2000	0,858	28,60%	55,5	0,222	7,40%
2,2	1,5	1	3,3	2000	0,9438	28,60%	55,5	0,2442	7,40%
2,4	1,5	1	3,6	2000	1,0296	28,60%	55,5	0,2664	7,40%
2,6	1,5	1	3,9	2000	1,1154	28,60%	55,5	0,2886	7,40%
2,8	1,5	1	4,2	2000	1,2012	28,60%	55,5	0,3108	7,40%
3	1,5	1	4,5	2000	1,287	28,60%	55,5	0,333	7,40%
3,2	1,5	1	4,8	2000	1,3728	28,60%	55,5	0,3552	7,40%
3,4	1,5	1	5,1	2000	1,4586	28,60%	55,5	0,3774	7,40%
3,6	1,5	1	5,4	2000	1,5444	28,60%	55,5	0,3996	7,40%

Таблиця 4

Зміна кількості відходів при збільшенні висоти блоку
(за умови використання того ж ріжучого інструменту)

Розміри блоку, м			Об'єм блоку, $V_{\text{бл}}, \text{м}^3$	Діаметр пилки, $D, \text{мм}$	Об'єм шламу, $V_{\text{ш}}, \text{м}^3$	Вихід шламу, %	Середня товщина облопу, $b_o, \text{мм}$	Об'єм облопу, $V_o, \text{м}^3$	Вихід облопу, %
L_0	B_0	H_0							
3	1,5	0,8	3,6	2000	1,0296	28,60%	55,5	0,2664	7,40%
3	1,5	0,85	3,825	2000	1,0940	28,60%	55,5	0,28305	7,40%
3	1,5	0,9	4,05	2000	1,1583	28,60%	55,5	0,2997	7,40%
3	1,5	0,95	4,275	2000	1,2227	28,60%	55,5	0,31635	7,40%
3	1,5	1	4,5	2000	1,287	28,60%	55,5	0,333	7,40%

Таблиця 5

Зміна кількості відходів при збільшенні ширини блоку

Розміри блоку, м			Об'єм блоку, $V_{\text{бл}}, \text{м}^3$	Діаметр пилки, $D, \text{мм}$	Об'єм шламу, $V_{\text{ш}}, \text{м}^3$	Вихід шламу, %	Середня товщина облопу, $b_o, \text{мм}$	Об'єм облопу, $V_o, \text{м}^3$	Вихід облопу, %
L_0	B_0	H_0							
3	1,3	1	3,9	2000	1,131	29,00%	41,5	0,249	6,38%
3	1,5	1	4,5	2000	1,287	28,60%	55,5	0,333	7,40%
3	1,7	1	5,1	2000	1,443	28,29%	69,5	0,417	8,18%
3	1,9	1	5,7	2000	1,638	28,74%	62	0,372	6,53%
3	2,1	1	6,3	2000	1,794	28,48%	76	0,456	7,24%
3	2,3	1	6,9	2000	1,95	28,26%	90	0,54	7,83%

З даних, наведених у таблицях 3–5, отримаємо, що збільшення довжини та висоти блоку призводить до збільшення лише абсолютної кількості відходів, відносна кількість відходів (відсоток виходу відходів) залишається незмінною. При збільшенні ширини блоку не все так однозначно. Збільшення об'єму відходів збільшується завжди, а ось відсоток виходу відходів залежить від того, скільки слябів можна буде отримати з блоку (впливає на вихід шламу), та яка товщина каменю залишиться після відокремлення останнього слябу (впливає на вихід обаполу).

Якщо ж дослідити зміну об'єму та виходу відходів при зміні ріжучого інструменту, то отримаємо зовсім інший результат (табл. 6).

Таблиця 6

Товщина робочого інструменту

Розміри блоку, м			Об'єм блоку, V_{bl} , м ³	Діаметр пилки, D , мм	Об'єм шламу, V_{sh} , м ³	Вихід шламу, %	Середня товщина обаполу, b_o , мм	Об'єм обаполу, V_o , м ³	Вихід обаполу, %
L_0	B_0	H_0							
3	2	0,7	4,2	1800	1,1151	26,55%	74,5	0,3129	7,45%
3	2	0,79	4,74	2000	1,3556	28,60%	69	0,32706	6,90%
3	2	0,9	5,4	2200	1,6022	29,67%	73,3	0,39582	7,33%
3	2	1	6	2500	1,8705	31,18%	58,25	0,3495	5,83%
3	2	1,1	6,6	2700	2,0374	30,87%	76,3	0,50358	7,63%
3	2	1,2	7,2	3000	2,3436	32,55%	59,5	0,4284	5,95%
3	2	1,3	7,8	3500	2,6384	33,83%	61,75	0,48165	6,18%

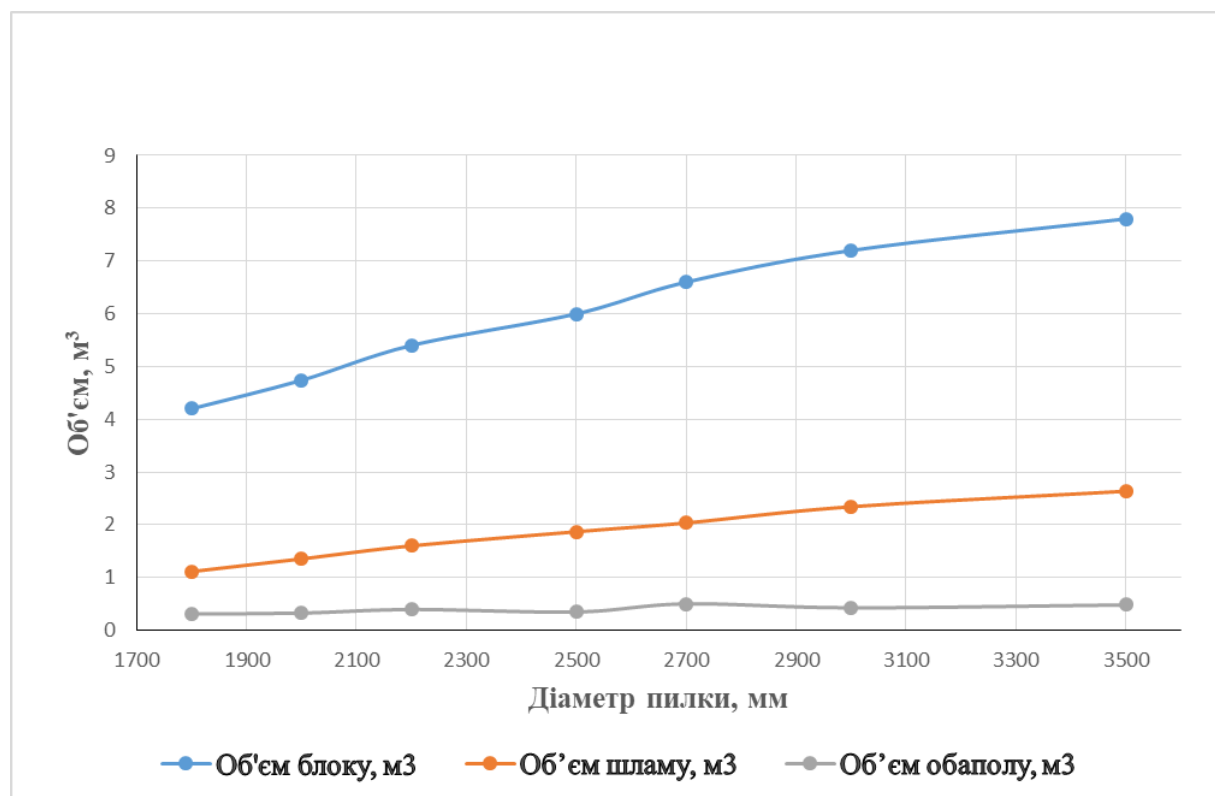


Рис. 1. Графік зміни об'ємів відходів при збільшенні висоти блоку та діаметра дискової пилки

Для розпилювання блоків більшої висоти доводиться використовувати дискові пилки все більшого діаметра, що призводить до значного зростання не лише абсолютної (рис. 1), але й відносної кількості відходів (рис. 2). Так, при збільшенні висоти блоку з 0,7 м до 1,3 м (у 1,86 рази), об'єм блоку зростає у ті ж 1,86 рази (з 4,2 м³ до 7,8 м³), а об'єм шламу збільшується вже у 2,36 рази (з 1,116 м³ до 2,638 м³), що призводить до збільшення виходу шламу в 1,27 рази. Використання інструменту більшого діаметра призводить не лише до значного зростання кількості відходів, але й до зменшення виходу слябів з 1 м³ блоку.

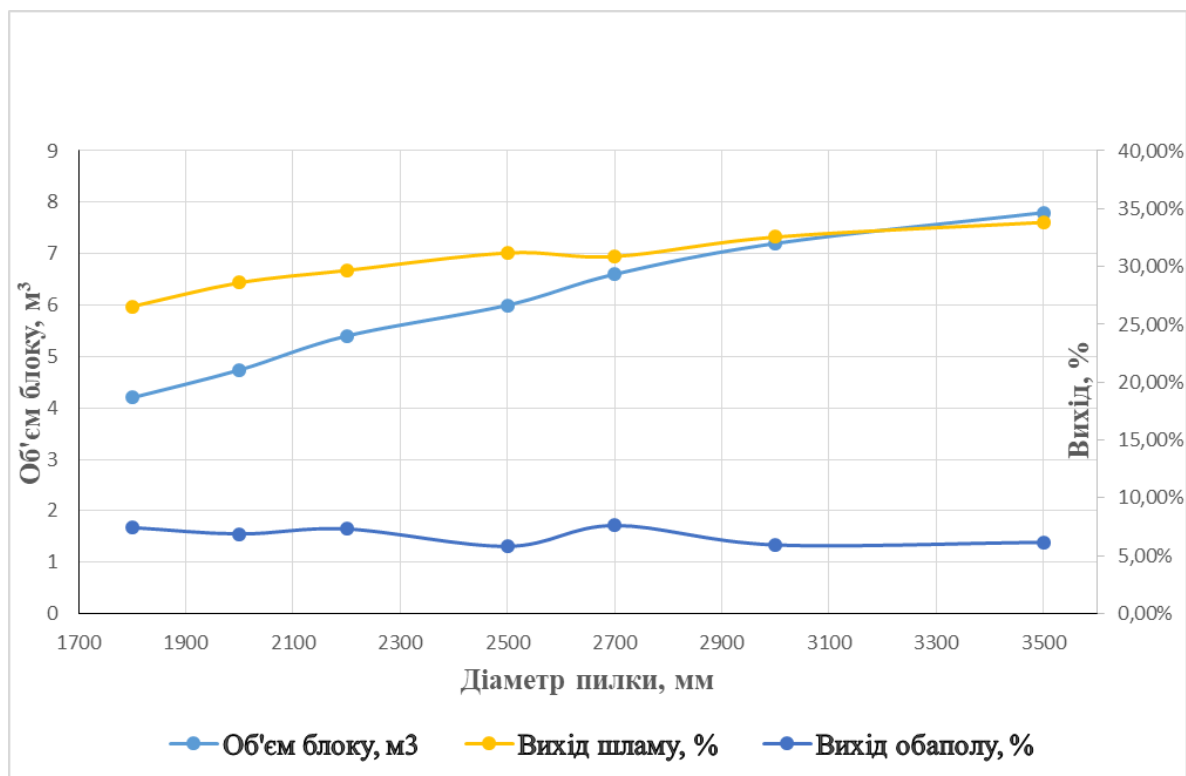


Рис. 2. Графік зміни виходу відходів при збільшенні висоти блоку та діаметра дискової пилки

Висновки.

1. Збільшення розмірів блоку не призводить до зміни виходу відходів при його розпилюванні, якщо не змінювався ріжучий інструмент (не встановлювалась дискова пилка іншого діаметра).

2. Розпилювання блоків пилками більшого діаметра дозволяє не лише працювати з блоками більшої висоти, але й призводить до значного зростання кількості відходів як у абсолютному, так і відносному вираженні. Також це зменшує вихід неокантованих слябів.

3. При виготовленні слябів раціональним є використання блоків різних розмірів, а не лише великого об'єму. Це дозволить не лише зменшити вихід відходів як у абсолютному, так і відносному вираженні, але й підвищити вихід слябів ($\text{м}^2/\text{м}^3$), зменшити витрати на розпилювання (за рахунок меншої витрати алмазного інструменту) та зекономити на різниці вартості сировинних блоків різних розмірів.

Список використаної літератури:

1. Environmental management of granite slab production from an industrial ecology standpoint / J.-M.F. Mendoza, C.Capitano, G.Peri, A.Josa, J.Rieradevall, X.Gabarelli // Journal of Cleaner Production. – 2014. – No. 84. – Pp. 619–628.
2. The study of corrosion resistance of Pokostivskiy granodiorites after processing by various chemical and mechanical methods / I.Korobiichuk, V.Korobiichuk, M.Nowicki, V.Shamrai, G.Skyba, R.Szewczyk // Construction and Building Materials. – 2016. – Vol. 114. – Pp. 241–247.
3. Definition of hue of different types of pokostivskiy granodiorite using digital image processing / V.Korobiichuk, V.Shamrai, O.Izumova, O.Tolkach, R.Sobolevskiy // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – No. 4/5 (82). – Pp. 52–57.
4. Shamrai V.I. Management of waste of stone processing in the framework of Euro integration of Ukraine / V.I. Shamrai, V.V. Korobiichuk, R.V. Sobolevskiy // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія : Технічні науки. – 2017. – No. 2 (80), Vol. 1. – Pp. 234–239.
5. Бакка М.Т. Обробка природного каменю : навч. посібник / М.Т. Бакка, В.В. Коробійчук, О.А. Зубченко. – Житомир : РВВ ЖДТУ, 2006. – 438 с.
6. Визначення оптимального напрямку ведення гірничих робіт при видобуванні блоків з природного каменю / А.О. Криворучко та ін. // Вісник ЖДТУ. – 2016. – № 3 (78). – С. 150–163.
7. Іськов С.С. Проектування каменеобробних підприємств : навч. посібник. Ч. 1 / С.С. Іськов, В.В. Коробійчук, Р.В. Соколевський. – Житомир : ЖДТУ, 2016. – 228 с.
8. Коробійчук В.В. Дослідження впливу якісних ознак блочного каменю на технологію розпилювання канатом з алмазними напайками / В.В. Коробійчук // Вісник ЖДТУ. Серія : Технічні науки. – Житомир : ЖДТУ, 2007. – № 2 (41). – С. 148–154.
9. Коробійчук В.В. Дослідження впливу якісних ознак блочного каменю на ефективність розпилювання дисковими пилами з алмазними напайками / В.В. Коробійчук, О.А. Зубченко // Вісник ЖДТУ. Серія : Технічні науки. – Житомир : ЖДТУ, 2008. – № 2 (45). – С. 150–152.

10. Оцінка якості блочної сировини та облицовальної продукції з природного каменю : навч. посібник. Ч. I / В.В. Коробійчук, А.О. Криворучко, Н.С. Ремез та ін. – Житомир : ЖДТУ, 2012. – 188 с.
11. Коробійчук В.В. Технологія розпилювання природного каменю : навч. посіб / В.В. Коробійчук, О.А. Зубченко. – Житомир : ЖДТУ, 2010. – 182 с.
12. Коробійчук В.В. Вплив технологічних чинників на якість облицовального каменю / В.В. Коробійчук, С.О. Жуков, В.І. Астахов // Вісник Криворізького національного університету. – 2014. – № 28.

References:

1. Mendoza, J.-M.F., Capitano, C., Peri, G., Josa, A., Rieradevall, J. and Gabarelli, X. (2014), «Environmental management of granite slab production from an industrial ecology standpoint», *Journal of Cleaner Production*, No. 84, pp. 619–628.
2. Korobijchuk, I., Korobijchuk, V., Nowicki, M., Shamrai, V., Skyba, G. and Szewczyk, R. (2016), «The study of corrosion resistance of Pokostivskiy granodiorites after processing by various chemical and mechanical methods», *Construction and Building Materials*, Vol. 114, pp. 241–247.
3. Korobijchuk, V., Shamrai, V., Iziumova, O., Tolkach, O. and Sobolevskiy, R. (2016), «Definition of hue of different types of pokostivskiy granodiorite using digital image processing», *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, No. 4/5 (82), pp. 52–57.
4. Shamrai, V.I., Korobijchuk, V.V. and Sobolevskiy, R.V. (2017), «Management of waste of stone processing in the framework of Euro integration of Ukraine», *Visnyk Zhytomyrs'kogo derzhavnogo tehnologichnogo universytetu, Serija Tehnichni nauky*, No. 2 (80), Vol. 1, pp. 234–239.
5. Bakka, M.T., Korobijchuk, V.V. and Zubchenko, O.A. (2006), *Obrobka pryrodnogo kamenju*, RVV ZhDTU, Zhytomyr, 438 p.
6. Kryvoruchko, A.O. and others (2016), «Vyznachennja optimal'nogo naprjamku vedennja girnychyh robot pry vydobuvanni blokiv z pryrodnogo kamenju», *Visnyk ZhDTU*, No. 3 (78), pp. 150–163.
7. Is'kov, S.S., Korobijchuk, V.V. and Sobolevskiy, R.V. (2016), *Proektuvannja kameneobrobnyh pidprijemstv*, in parts, Part 1, ZhDTU, Zhytomyr, 228 p.
8. Korobijchuk, V.V. (2007), «Doslidzhennja vplyvu jakisnyh oznak blochnogo kamenju na tehnologiju rozpyljuvannja kanatom z almaznymy napajkamju», *Visnyk ZhDTU, Serija Tehnichni nauky*, No. 2 (41), ZhDTU, Zhytomyr, pp. 148–154.
9. Korobijchuk, V.V. and Zubchenko, O.A. (2008), «Doslidzhennja vplyvu jakisnyh oznak blochnogo kamenju na efektyvnist' rozpyljuvannja diskovymy pylamy z almaznymy napajkamju», *Visnyk ZhDTU, Serija Tehnichni nauky, ZhDTU*, No. 2 (45), ZhDTU, Zhytomyr, pp. 150–152.
10. Korobijchuk, V.V., Kryvoruchko, A.O., Remez, N.S. and others (2012), *Ocinka jakosti blochnoi' syrovyny ta oblycjuval'noi' produkci' z pryrodnogo kamenju*, in parts, Part I, ZhDTU, Zhytomyr, 188 p.
11. Korobijchuk, V.V. and Zubchenko, O.A. (2010), *Tehnologija rozpyljuvannja pryrodnogo kamenju*, ZhDTU, Zhytomyr, 182 p.
12. Korobijchuk, V.V., Zhukov, S.O. and Astahov, V.I. (2014), «Vplyv tehnologichnyh chynnykiv na jakist' luscjuval'nogo kamenju», *Visnyk Kryvoriz'kogo nacional'nogo universytetu*, No. 28.

Іськов Сергій Станіславович – кандидат технічних наук, доцент кафедри маркшейдерії Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- гірництво;
- маркшейдерська справа.

E-mail: serga.iskov@gmail.com.

Соболевський Руслан Вадимович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри маркшейдерії Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- гірництво;
- маркшейдерська справа.

E-mail: rvsobolevskiy@gmail.com.

Стаття надійшла до редакції 10.04.2018.