

© Б.Ю. Собко<sup>1</sup>, М.О. Чебанов<sup>1</sup>, О.Ю. Армановський<sup>1</sup>, В.П. Крячек<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

## ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ ФРЕЗЕРНИХ КОМБАЙНІВ НА КАР'ЄРАХ ІЗ ВИДОБУТКУ НЕРУДНИХ КОРИСНИХ КОПАЛИН

© B. Sobko<sup>1</sup>, M. Chebanov<sup>1</sup>, O. Armanovskiy<sup>1</sup>, V. Kriachek<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

## JUSTIFICATION OF THE USE OF MILLING COMBINES AT QUARRIES FOR THE EXTRACTION OF NON-METALLIC MINERALS

**Мета.** Обґрунтування технології розробки родовищ з видобутку нерудних корисних копалин при застосуванні самохідних фрезерних комбайнів.

**Методологія.** При виконанні досліджень застосовано аналітичний, статистичний, графо-аналітичний методи та експериментальні дослідження в умовах діючих кар'єрів.

**Результати дослідження.** Проведений аналіз невибухових технологій видобутку твердих нерудних корисних копалин дозволив встановити, що найбільш поширеною та перспективною технологією на кар'єрах є пошарова комбайнова виїмка гірських порід, яка вигідно відрізняється від інших механічних способів підготовки та розробки гірничої маси за рахунок низької собівартості та безпечності виконання гірничих робіт.

Обґрунтовано ефективність застосування невибухової пошарової технології видобутку вапняків фрезерними комбайнами Wirtgen 2200 SM. Встановлено, що параметри, які визначають необхідність переходу з поточних на циклічні технологічні схеми роботи фрезерних комбайнів, є мінімальний радіус, при якому здійснюється розворот комбайна, час робочого циклу та довжина фронту робіт.

Проведені дослідження дозволили отримати залежність продуктивності фрезерного комбайна від довжини фронту гірничих робіт, для потокової та човникової схеми роботи, яка дозволяє встановити, що при довжині фронту від 50 до 110 м раціонально застосовувати циклічну схему, а при довжині фронту понад 110 м потокову схему з рухомою петлею.

**Наукова новизна** полягає у обґрунтуванні раціональних технологічних схем розробки нерудних корисних копалин з застосуванням фрезерних комбайнів, встановленні залежностей зміни продуктивності фрезерного комбайна від довжини фронту гірничих робіт.

**Практичне значення.** Результати досліджень дозволили обґрунтувати для умов Нігинсько-Вербецького родовища вапняків пошарову технологію видобутку корисної копалини з застосуванням фрезерних комбайнів в якості виймально-навантажувального гірничого обладнання, що дозволяє підвищити ефективність гірничих робіт, зменшити собівартість та підвищити безпеку видобутку вапняків.

**Ключові слова:** родовища твердих нерудних корисних копалин, кар'єр, технологічна схема гірничих робіт, гірничотранспортне обладнання, фрезерні комбайни.

**Вступ.** Родовища твердих нерудних корисних копалин слугують сировинною базою для будівельної та металургійної галузей промисловості.

На сьогодні в Україні існує гостра потреба у вапняковій сировині для виробництва цементної продукції та в отриманні високоякісних сталей. Саме тому гірничі підприємства з розробки вапнякових родовищ почали нарощувати потужності для

забезпечення потреби в вапняковій сировині. Тому важливим і актуальним на сьогодні є питання підвищення якості продукції та покращення роботи на вже існуючих підприємствах з видобутку вапняку. Серед таких підприємств є ПрАТ «Подільські Товтри» яке розробляє Нігинсько-Вербецьке родовище, *Гуменецьке родовище вапняків, що слугує сировинною базою Кам'янець-Подільського цементного заводу*, Дубівецьке родовище, що розробляє ПрАТ «Івано-Франківськцемент» та інші.

При розробці родовища вапняків, традиційним є буропідривний спосіб підготовки гірських порід до виймання та навантажування. Але в останні роки все більшого поширення на кар'єрах отримує не вибухова технологія розробки гірських порід за допомогою сучасного гірничого обладнання.

В зв'язку з тим, що застосування буро вибухових робіт на кар'єрах супроводжується рядом недоліків: - небезпечністю проведення робіт, що визвані сейсмічними коливаннями гірського масиву; - пилегазовим забрудненням атмосфери кар'єру та прилеглої території; - небезпечним розльотом шматків породи на значну відстань від епіцентру вибухових робіт; - можливим потраплянням продуктів хімічного розпаду вибухових речовин в ґрунтові води, річки та водойми. Окрім цього, буро вибухова підготовка порід до розробки є коштовним та трудомістким процесом.

Серед виймально-навантажувального гірничого обладнання, що працює не за вибуховою технологією видобутку скельних корисних копалин, застосовують фрезерні комбайни. Вони дозволяють підвищити безпеку гірничих робіт, знизити негативний вплив на навколишнє середовище, поліпшити якість сировини, що видобувається, отримувати гірничу масу відповідної фракції безпосередньо в вибої.

Таким чином, застосування фрезерних комбайнів на видобувних роботах в кар'єрі дозволить відмовитися від дорогого буро вибухового способу підготовки гірських порід перед відвантаженням на дробильно сортувальну чи збагачувальну фабрику. Основною перевагою роботи фрезерних комбайнів – є первинне подрібнення гірських порід у вибої з безпосереднім навантажування гірничої маси у засоби транспорту.

Питання удосконалення видобувних робіт на кар'єрах твердих нерудних корисних копалин, впровадження сучасного виймально – навантажувального обладнання, що дозволяє вилучити з процесів розробки родовищ буро вибухові роботи висвітлені в наукових публікаціях не достатньо.

Враховуючи відсутність впровадження новітніх технологічних схем розробки корисних копалин та їх переробки при відпрацюванні кар'єрів будівельних матеріалів є своєчасним та актуальним.

**Основна частина.** В наш час гірські породи різної міцності розробляють відкритим способом за допомогою різноманітних гірничих машин, включаючи спеціально створені роторні екскаватори, потужні одноківшеві екскаватори з гідравлічним приводом, в тому числі з активним зубами та гірничі комбайни.

Помітного розвитку у гірничій справі набуває ідея експлуатації на кар'єрах малогабаритних машин – гірничих комбайнів. Такі машини виготовлені спеціально для відкритих гірничих робіт або перероблені з прохідницьких комбайнів машини різних конструкцій: з ріжучими дисками, колесами і ланцюгами, однією або двома обертовими фрезами. Ряд моделей призначений для розробки торцевого вибою.

Робочий орган таких машин встановлюється на штангах. На відкритих гірничих роботах найбільшого поширення набули машини, вибоєм яких слугує горизонтальний майданчик уступу. Вони мають більш низькі показники метало та енергоємності. Робочий орган цих комбайнів – фреза циліндричної форми, на поверхні якої по гвинтовій лінії розміщені твердосплавні різці. Такі комбайни здатні розробляти природний масив шарами від 1 до 60 см з одночасним дробленням і навантаженням корисної копалини в засоби транспорту, це дозволяє не тільки забезпечити безперервність розробки, навантаження і подрібнення, але і поліпшити якість корисної копалини за рахунок зниження її втрат та збіднення.

Для відкритих гірничих робіт міжнародна німецька компанія в будівельній галузі «Wirtgen» пропонує високопродуктивні фрезерні комбайни. На рис. 1 наведено загальний вигляд комбайна Wirtgen 4200SM.



Рис. 1. Фрезерний комбайн Wirtgen 4200SM

Спеціально для гірничої промисловості створені моделі 1900 SM, 2200 SM, 2600 SM, 3000SM і 4200SM (цифри позначають ширину барабана в мм). Комбайни мають по парі гусеничних трактів спереду і ззаду. Між передніми і задніми гусеницями розташований горизонтально ріжучий орган, що представляє собою фрезу, армовану твердосплавними зубцями. Коли машина просувається вперед і відпрацьовує шар на певну глибину, подрібнена корисна копалина направляється по спіралі барабана ріжучого органу на бічний конвеєр, звідти на навантажувальний конвеєр, розташований в хвостовій частині машини. Переміщення гірничої маси в межах машини і її навантаження в транспортні засоби здійснюється стрічковими конвеєрами і поєднується в часі з процесом екскавації. За характером роботи машини цього типу відносяться до машин безперервної дії. Відсутність традиційних для роторних екскаваторів повороту верхньої будови і стріли ротора дозволяє істотно знизити вплив зусиль копання на конструктивні елементи машини, зменшити її габарити і масу, розширити діапазон розроблюваних гірських порід по міцності [1–5].

Розробка масивів гірських порід з використанням комбайнів фірми «Wirtgen» має ряд особливостей. При цьому фактором, що обмежує ефективну розробку порід, є: міцність порід, яка не повинна перевищувати 100–120 МПа, хоча відомі випадки застосування комбайнів при відпрацюванні окремих шарів порід міцністю близько 200 МПа. Використання машин пошарового фрезерування дає можливість впровадження оригінальних технологічних схем селективної розробки. В даний час фрезерні машини фірми «Wirtgen» використовуються для відпрацювання вугільних пластів, вапняку, гіпсу, кімберлітів і інших корисних копалин.

Пошарова технологія розробки з застосуванням фрезерного комбайну Wirtgen 2200 SM полягає у виконанні водночас трьох процесів: фрезерування та виймання гірничої маси та її навантаження в автосамоскиди. Технічна характеристика комбайну наведена у табл. 1 та рис. 2.

Таблиця 1

Технічна характеристика фрезерного комбайну Wirtgen 2200 SM

Параметри	
Ширина фрезерування, мм	2200
Глибина фрезерування, мм	300
Кількість різців, шт	76
Тип двигуна	Cat C27 АТААС
Кількість циліндрів	12
Номінальна потужність, кВт/к.с.	708/950
Витрати палива, л/год	120-180
Об'єм паливного баку, л	1400
Робоча швидкість, м/хв	0-5
Максимальний ухил при русі, %	90

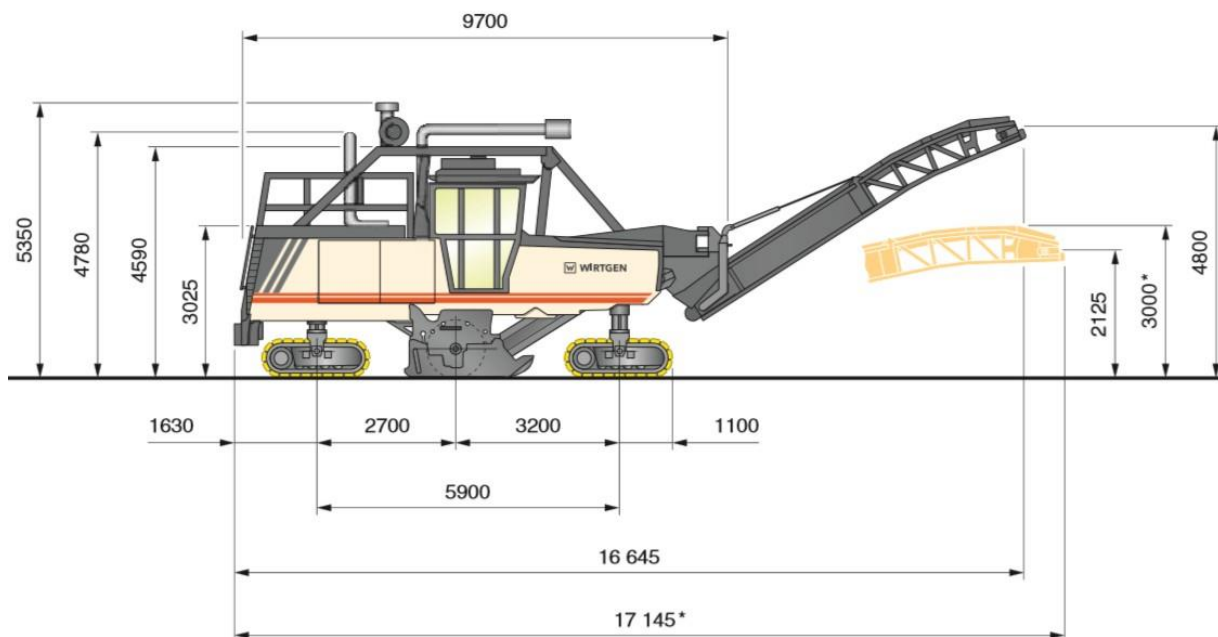


Рис. 2. Габаритні розміри комбайну Wirtgen 2200 SM

На рис. 3 наведено загальний вигляд комбайну Wirtgen 2200 SM у вибої на Дубівцеькому родовищі вапняків.



Рис. 3. Загальний вигляд комбайну Wirtgen 2200 SM у вибої

Експлуатаційна продуктивність фрезерних комбайнів визначається з виразу:

$$Q_{ф.ч} = 60 \cdot b \cdot h \cdot \frac{L}{T_{ц}} \cdot k_{в}, \text{ м}^3/\text{год},$$

де:  $h$  – глибина фрезерування,  $h = 0,3$  м;  $b$  – ширина фрезерування (робочого органу),  $b = 2,2$  м;  $L$  – довжина фронту робіт, м;  $T_{ц}$  – тривалість циклу фрезерування однієї заходки, хв.;  $k_{в}$  – коефіцієнт використання комбайна враховуючий час повороту,  $k_{в} = 0,9$ .

Змінну продуктивність фрезерного комбайна можна визначити за виразом:

$$Q_{ф.зм} = T \cdot Q_{ф.ч} \cdot k_1 \cdot k_2, \text{ м}^3/\text{зм.},$$

де:  $T$  – тривалість зміни, год;  $k_1$  – коефіцієнт, що враховує витрати часу на технічне обслуговування агрегатів машини;  $k_1 = 0,80$ ;  $k_2$  – коефіцієнт, що враховує втрати часу на заміну різців,  $k_2 = 0,90$ .

Річна продуктивність визначається за формулою:

$$Q_{ф.рік} = Q_{ф.д} \cdot n \cdot N, \text{ м}^3/\text{рік},$$

де:  $n$  – кількість змін на добу;  $N$  – кількість робочих днів на рік.

В табл. 1 наведено розрахунки річної продуктивності фрезерного комбайну «Wirtgen 2200 SM» при потоковій та циклічній схемах роботи.

Річна продуктивність фрезерного комбайну «Wirtgen 2200 SM»

Довжина фронту робіт, м	Тривалість робочого циклу, хв		Продуктивність при циклічній схемі роботи, тис. м <sup>3</sup> /рік	Продуктивність при потоковій схемі роботи, тис. м <sup>3</sup> /рік
	Циклічна схема роботи	Потокова схема роботи		
50	16,16	19	504,61	429,18
60	19,16	21,5	510,72	455,13
70	22,16	24	515,17	475,68
80	25,16	26,5	518,56	492,34
90	28,16	29	521,24	506,14
100	31,16	31,5	523,39	517,74
110	34,16	34	525,17	527,64
120	37,16	36,5	526,66	536,18
130	40,16	39	527,93	543,63
140	43,16	41,5	529,02	550,18
150	46,16	44	529,97	555,98
160	49,16	46,5	530,8	561,17
170	52,16	49	531,54	565,82
180	55,16	51,5	532,2	570,02
190	58,16	54	532,79	573,83
200	61,16	56,5	533,32	577,3
210	64,16	59	533,8	580,48
220	67,16	61,5	534,24	583,41
230	70,16	64	534,64	586,1
240	73,16	66,5	535,01	588,59
250	76,16	69	535,35	590,9
260	79,16	71,5	535,66	593,05
270	82,16	74	535,95	595,05
280	85,16	76,5	536,22	596,93
290	88,16	79	536,48	598,68
300	91,16	81,5	536,71	600,33

На рис. 4 наведено графік залежності річної продуктивності фрезерного комбайну від довжини фронту гірничих робіт.

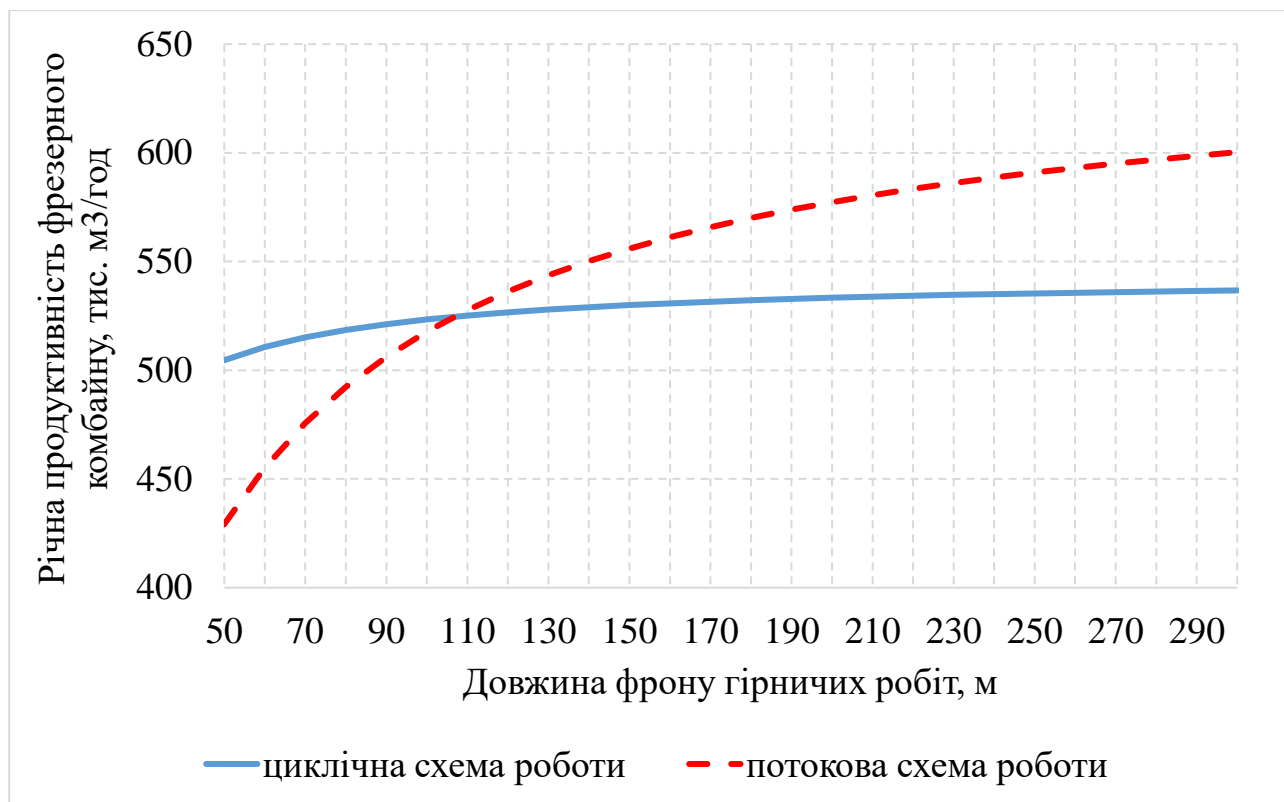


Рис. 4. Графік залежності річної продуктивності фрезерного комбайну від довжини фронту гірничих робіт

З даних графіків, що наведені на рис. 4 можна стверджувати, що при довжині фронту гірничих робіт від 50 до 110 м раціонально застосовувати циклічну технологічну схему роботи фрезерного комбайна, а при довжині фронту понад 110 м потокову схему з рухомою петлею.

При цьому підвищення продуктивності фрезерного комбайна за потоковою схемою роботи при довжині фронту гірничих робіт понад 110 м досягається за рахунок відсутності простоїв екскаватора в очікуванні автосамоскидів та завдяки мінімальному холостому ходу при врізанні в нову заходку.

Паспорт вибою фрезерного комбайну з навантаженням в автосамоскид наведено на рис 5.

Навантаження гірничої маси у автосамоскид може здійснюватися двома способами:

- автосамоскид рухається за фрезерним комбайном (ззаду), заднім ходом;
- автосамоскид пересувається паралельно фрезерному комбайну, перебуваючи збоку від нього.

Виходячи з технічних і технологічних особливостей кар'єрних фрезерних комбайнів пошарового фрезерування, можна виділити наступні технологічні схеми роботи:

- потокові з безперервним фрезеруванням (схема роботи комбайна по рухомій петлі);
- циклічні (човникова схема зі зворотним холостим ходом; схема з розворотом в кінці робочого ходу і фрезеруванням в зворотному напрямку).

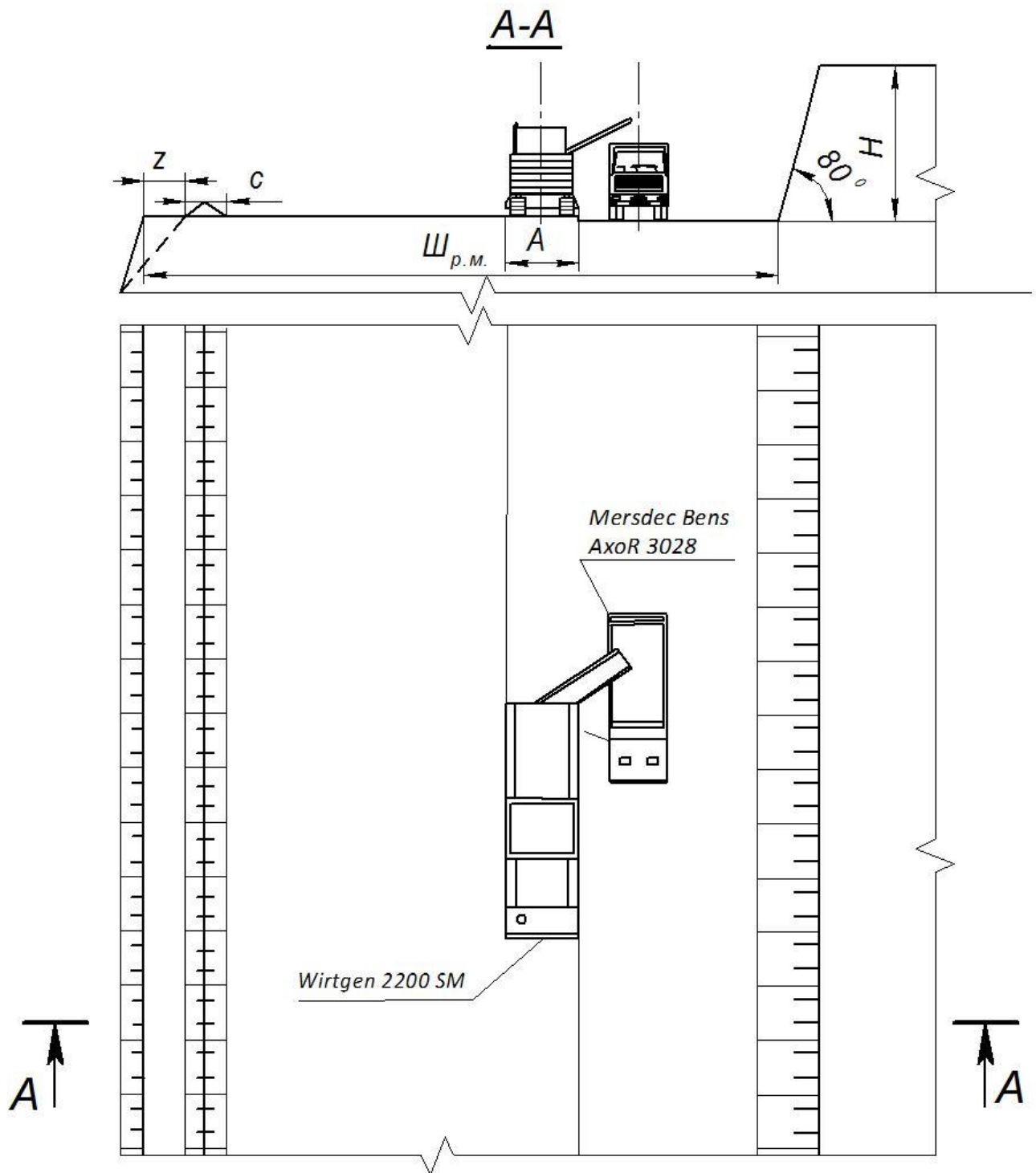


Рис. 5. Паспорт вибою фрезерного комбайну з навантаженням в автосамоскид

Потокова схема, що характеризується безперервним рухом по петлі з витками постійного розміру, наведена на рис. 6. Дана схема може бути застосована до відпрацювання великих блоків або невеликих кар'єрів, що за формою близькі до концентричного еліпса з розвитком гірничих робіт від флангів до центру.

Мінімальна ширина врубу повинна дорівнювати одному радіусу повороту і половині бази комбайна.



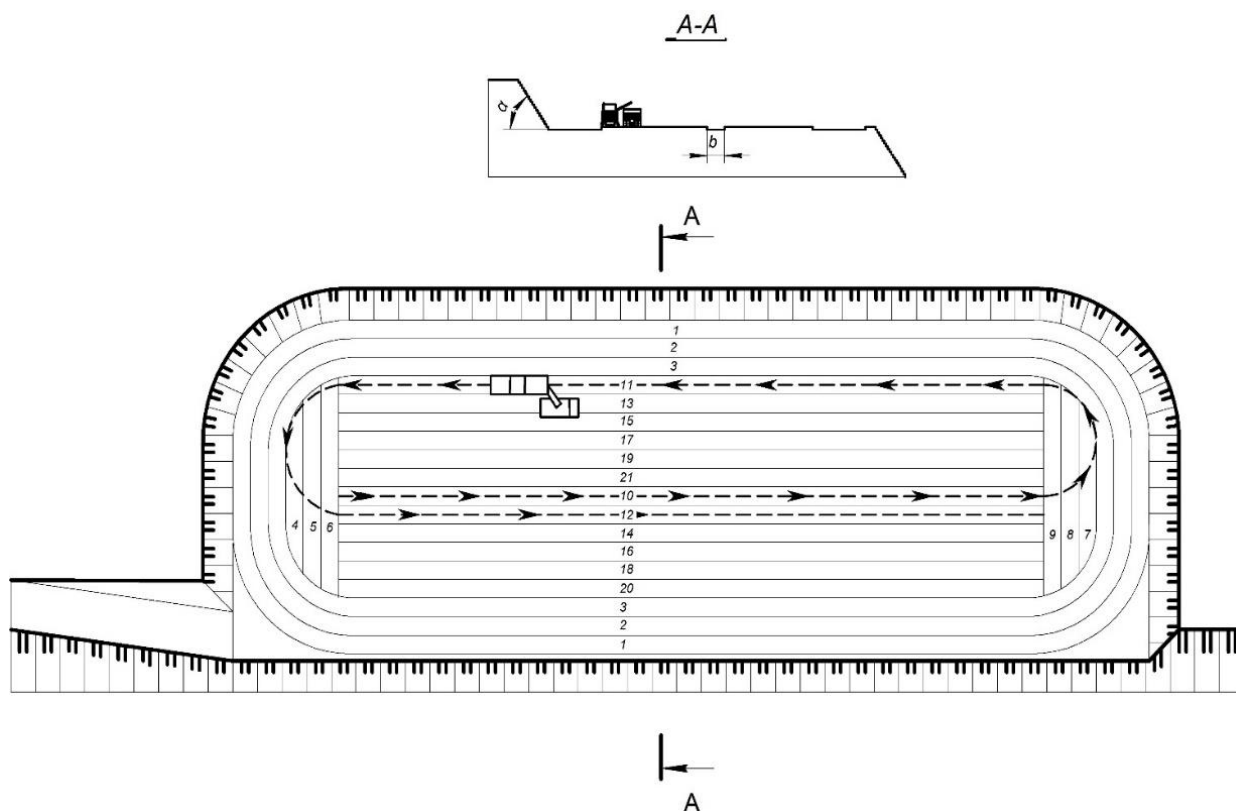


Рис. 6. Поточкова схема роботи фрезерного комбайна по рухомій петлі

Робочий процес фрезерування однієї петлі при відпрацюванні шару включає в себе наступну послідовність:

- заїзд комбайна з врубової виробки в центр блоку на західку;
- фрезерування західки по довжині фронту гірничих робіт;
- поворот в протилежному напрямку врубової виробки;
- заїзд на наступну західку і її фрезерування в зворотному напрямку.

Після чого цикли і послідовність відпрацювання повторюються.

У загальному вигляді відпрацювання шару при циклічних схемах роботи повинно проводитися з попередньо пройдених врубових виробок, мінімальна ширина яких визначається габаритами і робочими параметрами комбайна - від передньої кромки робочого органу до задньої гусениці плюс 1,5–2 м. Достатня ширина врубових виробок забезпечується трьома проходами комбайна.

Човникова схема роботи, може бути застосована при короткому фронті робіт, так як час на розворот комбайна в кінці робочого ходу більше, ніж час зворотного ходу (рис. 7).

При такій схемі роботи врубові виробки в торцях блоку здійснюються за потоковою технологією, а наступні проходи здійснюються за човниковою схемою роботи.

При цьому робочий цикл при відпрацюванні шару включає:

- заїзд комбайна з врубової виробки на повздовжню західку;
- фрезерування західки до в'їзду в протилежну врубову виробку;
- повернення назад на транспортній швидкості (20–50 м/хв) у вихідне положення, після чого цикл повторюється.

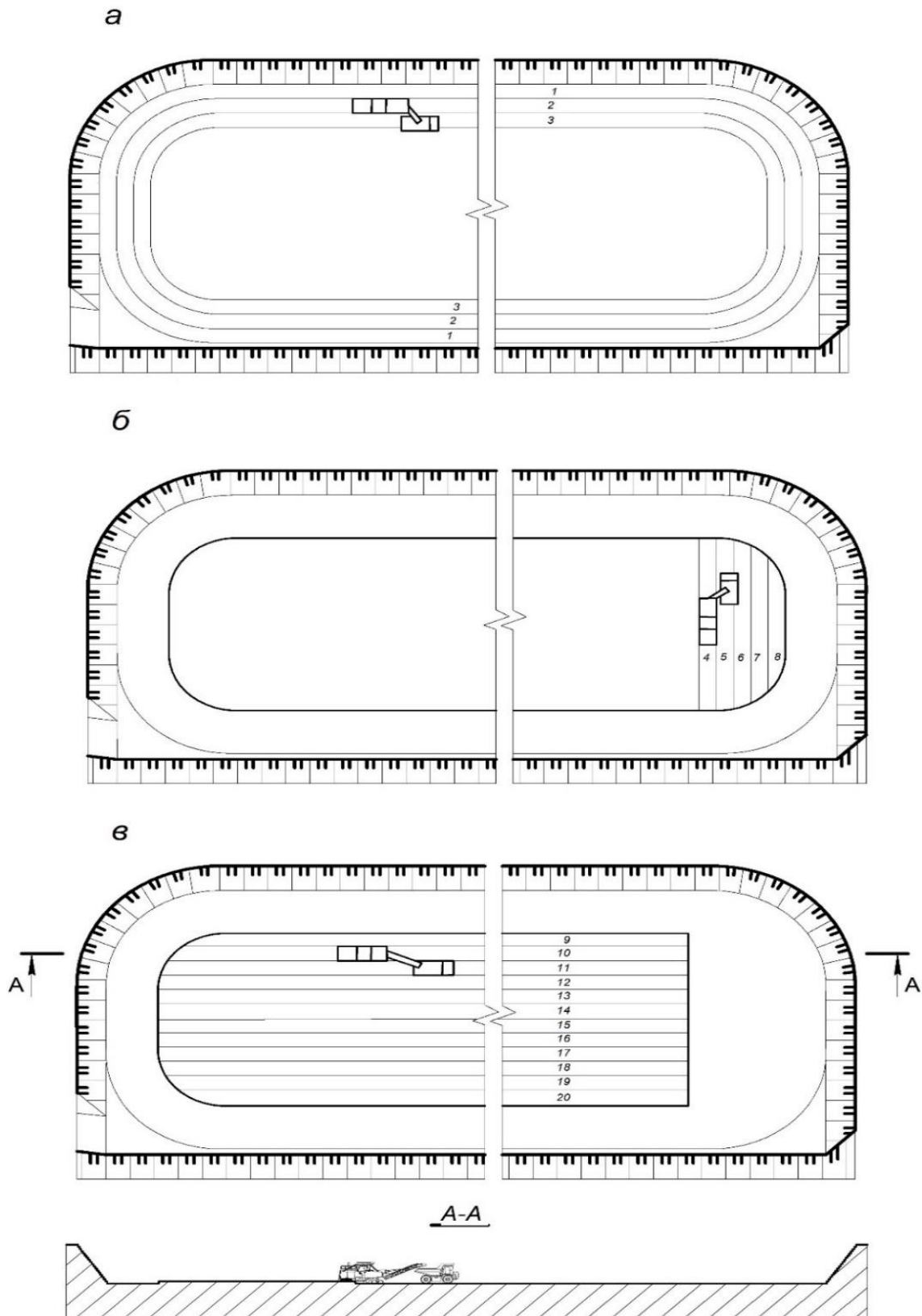


Рис. 7. Човникова схема роботи фрезерного комбайну:  
 а – проходка врубових виробок за потоковою схемою, б – перпендикулярно осі блоку за човниковою схемою, в – проходка за човниковою схемою вздовж видобувного блоку

Схема з розворотом в кінці робочого ходу і фрезеруванням в зворотному напрямку доцільна при збільшеному фронті гірничих робіт (рис. 8). У цьому випадку ширина врубових виробок повинна забезпечувати безпечний і розворот комбайна при мінімальному радіусі повороту, який дорівнює, виходячи з практичного досвіду, приблизно 6–8 ширини робочого барабана [6, 7].

За такою схемою перші виробки розробляються по потоковій технології, потім перпендикулярно довгій осі блоку виконуються проходи за човниковою схемою з двох сторін, після чого послідовно здійснюються проходи по схемі з фрезеруванням в зворотному напрямку і розвитком гірничих робіт по всій довжині видобувного блоку. При цьому робочий цикл при відпрацюванні шару включає:

- заїзд комбайна з врубової виробки на повздовжню західку;
- фрезерування західки;
- поворот в протилежному напрямку врубової виробки.

Після цього цикли повторюються (рис. 8).

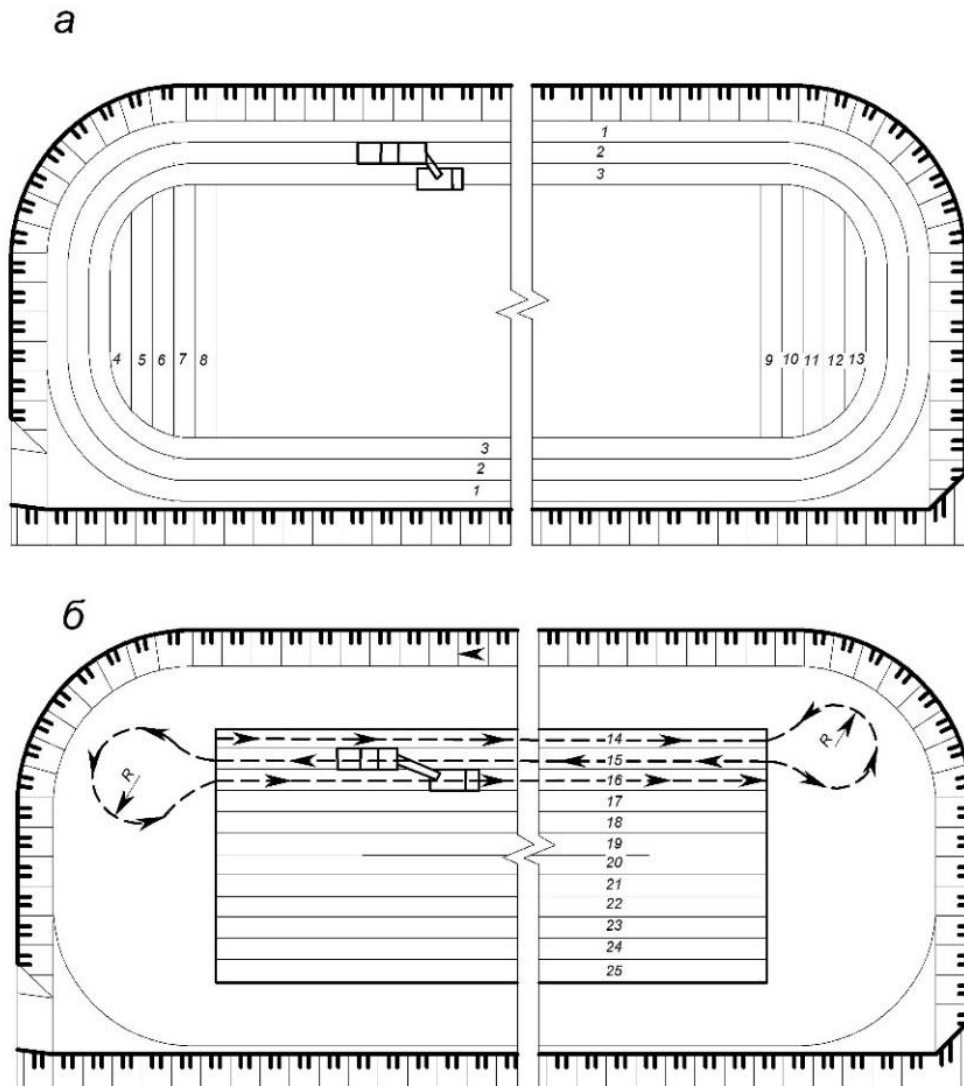


Рис. 8. Схема роботи комбайна з розворотом і фрезеруванням в зворотному напрямку: а – врубові виробки; б – основні виробки

Параметри, що визначають необхідність переходу з поточних на циклічні технологічні схеми роботи фрезерних комбайнів, є мінімальний радіус, при якому здійснюється розворот комбайна, час робочого циклу та довжина фронту робіт. Зазначений радіус дорівнює приблизно 6–8 значень ширини робочого органу.

### **Висновки.**

Таким чином, в роботі проведено аналіз невибухових технологій видобутку твердих нерудних корисних копалин дозволив встановити, що найбільш поширеною та перспективною технологією на кар'єрах є пошарова комбайнова виїмка гірських порід, яка вигідно відрізняється від інших механічних способів підготовки та розробки гірничої маси за рахунок низької собівартості та безпечності виконання гірничих робіт.

Обґрунтовано ефективність застосування невибухової пошарової технології видобутку вапняків фрезерними комбайнами Wirtgen 2200 SM. Встановлено, що параметри, які визначають необхідність переходу з поточних на циклічні технологічні схеми роботи фрезерних комбайнів, є мінімальний радіус, при якому здійснюється розворот комбайна, час робочого циклу та довжина фронту робіт.

Проведені дослідження дозволили отримати залежність продуктивності фрезерного комбайна від довжини фронту гірничих робіт, для потокової та човникової схеми роботи, яка дозволяє встановити, що при довжині фронту гірничих робіт від 50 до 110 м раціонально застосовувати циклічну схему, а при довжині фронту понад 110 м потокову схему з рухомою петлею. При цьому підвищення продуктивності фрезерного комбайна за потоковою схемою роботи при довжині фронту гірничих робіт понад 110 м досягається за рахунок відсутності простоїв екскаватора в очікуванні автосамоскидів та завдяки мінімальному холостому ходу при врзанні в нову заходку.

На основі виконаних досліджень комплексного впливу факторів технології відпрацювання родовища будівельних матеріалів фрезерними комбайнами на прикладі кар'єру Нігинсько-Вербецького родовища вапняків можна стверджувати, що застосування фрезерного комбайна Wirtgen 2200 SM дозволить зменшити собівартість видобутку на 38,8 грн/м<sup>3</sup>. При цьому, економічна ефективність від впровадження невибухової технології із застосуванням фрезерних комбайнів на родовищі вапняків дозволить заощадити 6,75 млн грн. на рік.

### **Перелік посилань**

1. Бака, М.Т., & Сивко., В.Й. (2003). *Видобування та переробка будівельних гірських порід: Навчальний посібник*. Житомир: РВВ ЖДТУ.
2. Большаков, В.І., Малич, Н.Г., & Блохін, В.С. (2007). Дробильно-сортувальні установки. *Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії: Зб. нау. праць*, 15, 279–295.
3. Симоненко, В.І., & Гриценко, Л.С. (2014). Оцінка технології відпрацювання нерудних кар'єрів з підтриманням безпеки в зменшеній санітарно-захисній зоні. *Металургійна та гірничорудна промисловість*, 1, 80–85.
4. СОУ-Н МПП 73.020-078-2:2008 «Норми технологічного проектування гірничодобувних підприємств із відкритим способом розробки родовищ корисних копалин. Ч. 2. Відкриті гірничі роботи». Затверджено Наказом Міністерства промислової політики України № 52 від 29.01.2008 р.

5. Перелигін, В. (2007). Комбайни для відкритих гірничих робіт. *Журнал «Гірнична промисловість»*, 4.
6. Кноте, Т (2013). Компанія «Vermeer» продовжує розширяти модельний ряд гірничовидобувних техніки. *Журнал "Гірнична промисловість"*, 1, 82.
7. Кожевников, В.А., Набока, Н.В., & Панкевич, Ю.Б. (2004). Комбайни «Wirtgen SM» на бокситовому руднику «Фрія» (Гвінея). *Гірнична промисловість*. 45–46.

#### ABSTRACT

**Purpose.** The purpose of this study is to substantiate the technology for developing deposits for the extraction of non-metallic minerals through the utilization of self-propelled milling combines.

**Methodology.** The research employs analytical, statistical, graphoanalytic methods, and experimental studies conducted within existing quarry conditions.

**Results.** An analysis of non-explosive technologies for extracting solid non-metallic minerals reveals that layer-by-layer combine mining of rocks emerges as the most prevalent and promising technology in quarries. This method distinguishes itself from other mechanical methods of preparing and developing rock mass due to its low cost and safety in mining operations.

The effectiveness of applying non-explosive layer-by-layer technology for limestone extraction using Wirtgen 2200 SM milling machines is substantiated. The study establishes that parameters determining the necessity to transition from current to cyclic technological schemes of milling combine operation include the minimum turning radius of the combine, the duration of the working cycle, and the length of the work front.

Conducted research yields a productivity dependency of milling combines on the length of the mining operations front for both the flow and shuttle work schemes. This enables the determination that a cyclic scheme is rational for front lengths ranging from 50 to 110 meters, while a flow scheme with a movable loop is suitable for front lengths exceeding 110 meters.

**Originality.** The scientific novelty of this research lies in the justification of rational technological schemes for developing non-metallic minerals utilizing milling combines and in establishing dependencies between changes in milling combine productivity and the length of the mining front.

**Practical implementation.** The findings of this study support the implementation of layered mining technology with milling combines as the primary extraction and loading equipment in the Niginsky-Verbetsky limestone deposit. This approach enhances mining operation efficiency, reduces costs, and improves the safety of limestone extraction.

**Keywords:** *solid non-metallic mineral deposits, quarry, technological mining operation schemes, mining equipment, milling combines.*