

11. Merkelo, A.A. “Features and classification of non-explosive means of materials destruction” [electronic resource].

Website: <http://uran.donetsk.ua/~masters/publ2002/ggeo/merkelo.pdf> – title of the screen.

12. Anderson, J. Discrete “Mathematics with combinatorics”. (2001). University of South Carolina, Prentice-Hall, Spartanburg, USA.

Стаття надійшла 22.10.2013.

УДК 622.271

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ КОЕФІЦІЄНТА ВИКОРИСТАННЯ КАР'ЄРНОГО КОМБАЙНА WIRTGEN 2200 SM В ЧАСІ**

**А. І. Крючков, І. М. Влащук**

Національний технічний університет України «КПІ»

пр. Перемоги, 37, 03056, м. Київ, Україна. E-mail: l2212i@ukr.net

Створена класифікація перерв та простоїв згідно вимог математичного моделювання для кар'єрного комбайну Wirtgen 2200 SM. Для кожної з виділених підсистем створена відповідна математична модель. Вона враховує характер і особливості всіх простоїв комбайна. Три виділені підсистеми об'єднуються в одну загальну математичну модель коефіцієнта використання комбайна в часі.

**Ключові слова:** гірничий комбайн, математична модель, кар'єр, перерви, простої.

### **ИССЛЕДОВАНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАРЬЕРНОГО КОМБАЙНА WIRTGEN 2200 SM ВО ВРЕМЕНИ**

**А. И. Крючков, И. М. Влащук**

Национальный технический университет Украины «КПИ»

пр. Победы, 37, 03056, г. Киев, Украина. E-mail: l2212i@ukr.net

Разработана классификация перерывов и простоев согласно требованиям математического моделирования для карьерного комбайна Wirtgen 2200 SM. Для каждой из выделенных подсистем создана соответствующая математическая модель. Она учитывает характер и особенности всех простоев комбайна. Три выделенные подсистемы объединяются в одну общую математическую модель коэффициента использования комбайна во времени.

**Ключевые слова:** горный комбайн, математическая модель, карьер, перерывы, простои.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** Проблема застосування традиційного способу розробки кар'єрних полів полягає в тому, що здійснення буро-вибухового способу розробки потребує значних енергетичних, матеріальних, трудових та інших

видів ресурсів. Досить часто після проведення буро-підричних робіт спостерігається надмірне пилогазове та шумове забруднення навколишнього природного середовища. Це свідчить про те, що значна частина енергії вибуху використовується не ефективно. Так як керування якістю товарної продукції (гірської маси) є досить актуальним питанням, альтернативним варіантом є перехід до нової технології видобутку з використанням кар'єрних комбайнів [1].

Аналіз досягнень науки та практики в області механічного руйнування скельних порід за допомогою гірничих комбайнів в умовах відкритої розробки корисних копалин в даний час підтверджує великий інтерес до цього безвибухового способу. Є ряд публікацій загального характеру, що відображають результати випробувань на кар'єрах по добуванню вапняку, вугілля, гіпсу, залізної руди і в особливих випадках – солі, граніту, бокситів, фосфатів і горючих сланців [2–5].

Гірничі комбайни роблять можливим селективний видобуток різних мінералів міцністю на стиснення до 100 МПа, що підвищує ефективність транспортування і подальшого їх збагачення. Вапняк, боксит, тверде буре вугілля, кам'яне вугілля, фосфорити, солі, аргіліти та інші міцні осадові породи можуть бути розроблені таким чином в складних кар'єрних умовах без шкідливої дії на навколишнє середовище [6].

Для досягнення максимальної ефективності фрезерування гірської породи необхідно дотримуватися жорстких вимог до синхронності та ритмічності ведення видобувних робіт. При цьому слід належним чином враховувати всі простої та перерви на календарному або машинному часі, які виникають протягом роботи кар'єрного обладнання, а також конкретні гірничо-геологічні умови ведення видобувних робіт. Тому оцінка використання комбайна Wirtgen 2200 SM в часі являється дуже актуальним питанням при проведенні видобувних робіт на кар'єрі.

Метою роботи є встановлення залежностей та закономірностей формування коефіцієнта використання кар'єрного комбайна Wirtgen 2200 SM в часі протягом зміни.

**МАТЕРІАЛ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.** Однією з основних величин, від якої залежить змінна або добова продуктивність видобутку корисної копалини, являється коефіцієнт використання комбайна в часі. Основним процесом являється відділення гірської маси від масиву, її подрібнення та навантаження на транспортний засіб комбайном Wirtgen.

Промислові випробування гірничого комбайну Wirtgen Surface Miner 2200 SM проводилися на Добрянському кар'єрі вапняку у Львівській області. На основі хронометражних спостережень за роботою комбайна реєструвалися тривалість фрезерування масиву, витрати часу на маневри комбайна і на обмін автосамоскидів, час простоїв з різних причин, а також витрати часу на щозмінне обслуговування, що включає заправку дизельним паливом, водою та ремонтні роботи. Аналіз роботи гірничого комбайну та використання часу його зміни наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Результати хронометражу при роботі кар’єрного комбайну  
Wirtgen 2200 SM на Добрянському родовищі вапняку

Дата хронометражу	30.10	31.10	01.11	03.11	04.11	07.11	08.11	11.11	12.11
Час фрезерування та навантаження, %	47,4	56,0	59,0	55,8	58,4	70,2	58,9	60,7	65,4
Час на маневри комбайна, %	23,4	18,4	17,6	11,7	14,4	11,6	18,0	13,4	17,0
Час на заміну автосамоскидів, %	5,1	6,4	5,1	7,5	7,2	8,8	6,7	6,3	7,8
Час на ТО, %	12,7	5,5	-	10,7	12,4	-	-	5,7	-
Час на простої, %	11,4	13,7	18,3	14,3	7,6	9,4	16,4	13,9	9,8
Довжина робочого ходу, м	60-112	60-112	60-120	90-150	80-150	90-150	90	210	210
Глибина фрезерування, см	5-20	10-22	13-23	15-24	16-24	18-25	20-25	20	20-25
Затрати часу по операціях, хв.:									
– фрезерування та навантаження	127,7	153,1	112,7	156,4	115,4	96,7	60,8	178,4	80,2
– на маневри комбайну	63	50,4	33,7	32,8	28,6	16	18,6	39,4	20,9
– на зміну автосамоскидів	13,8	17,6	9,7	20,7	14,2	12,1	6,9	18,6	9,6
– на заправку паливом	15	15	-	16	24,5	-	-	16,9	-
– на заправку водою	19,2	-	-	14	-	-	-	-	-
– на простої	30,9	37,5	35	40	15	13	17	41	12
Продуктивність, т/год:									
– технічна	415,4	433	455,8	389	378,5	411,4	435,9	389,1	549,7
– експлуатаційна	259,4	300	329	349,8	276	318,8	307,1	293,6	338,3

Методика розрахунку математичного очікування коефіцієнта використання кар'єрного комбайна Wirtgen 2200 SM в часі міститься в джерелах [7–8]. Однак в цих роботах є декілька неточностей, які в результаті дають похибки в 15 % і навіть більше. Також не знайдений зв'язок між параметрами моделі окремих підсистем з параметрами загальної моделі. Недостатньо врахований характер участкових простоїв, так як відновлення відмов прийняте необмеженим, що не відповідає дійсності. Але саме ці роботи довели, що опираючись на математичну базу теорії масового обслуговування, можливо отримати моделі формування коефіцієнта використання кар'єрного комбайна Wirtgen 2200 SM в часі, яка буде враховувати як надійність обладнання, так технологію і організацію видобувних робіт на кар'єрі [9].

При дослідженні використання часу зміни комбайна даної моделі, було розглянуто низку публікацій у вітчизняних та зарубіжних виданнях [1–6, 10–16]. Їх аналіз показав, що в довільний момент часу комбайн може перебувати в стані роботи або простою. Тому необхідно більш детально дослідити природу простоїв, які виникають при роботі гірничих комбайнів, і підібрати адекватну математичну модель.

В ідеальному випадку результат роботи комбайна можна розглядати як безперервний потік корисної копалини, і тільки в кінці циклу допускаються регламентовані перерви, які включають в себе час для виконання кінцевих і ремонтно-профілактичних операцій, заміни різців, змащення вузлів. Однак на практиці можливі зупинки гірничого комбайну на протязі циклу і з інших причин. Враховуючи це, всі простої кар'єрного комбайна Wirtgen 2200 SM можна класифікувати на три підсистеми (рис. 1). Перша і друга підсистеми містять в собі простої через внутрішні причини на дільниці, а третя – загальнокар'єрні.

Поділ дільничних простоїв на підсистеми викликано тим, що для деякого обладнання напрацювання на відмову відбувається тільки під час роботи комбайна, тобто на машинному часі. Інше обладнання працює на безперервному календарному часі незалежно від стану комбайна.

З цієї ж причини розділені організаційні та технологічні перерви. Організаційні перерви зазвичай обмежені регламентом у часі і поява їх не залежить від того, працює або стоїть комбайн, тобто вони виникають на безперервному календарному часі. На відміну від організаційних, технологічні перерви виникають тільки після виконання кар'єрним комбайном певного об'єму роботи, тобто на машинному часі.

Запропонована класифікація простоїв гірничого комбайна Wirtgen 2200 SM в певній мірі відображає загальноприйнятую класифікацію на кар'єрах і одночасно з цим враховує основні вимоги з точки зору математичного моделювання процесів і методами теорії масового обслуговування. Кожна із запропонованих підсистем описується відповідною математичною моделлю [9].

Для першої підсистеми вихід з ладу будь-якого з  $N_1$  елементів призводить до зупинки кар'єрного комбайна, тобто виходу з ладу всієї підсистеми. В цьому випадку для ліквідації відмов достатньо однієї ремонтної бригади. В теорії масового обслуговування і теорії надійності підсистема може бути описана як така, що містить  $N_1$  різних послідовно з'єднаних елементів з інтенсивністю відмов  $\lambda_i$  та відновлення  $\mu_i$  (експоненціальний розподіл) [9, 17].

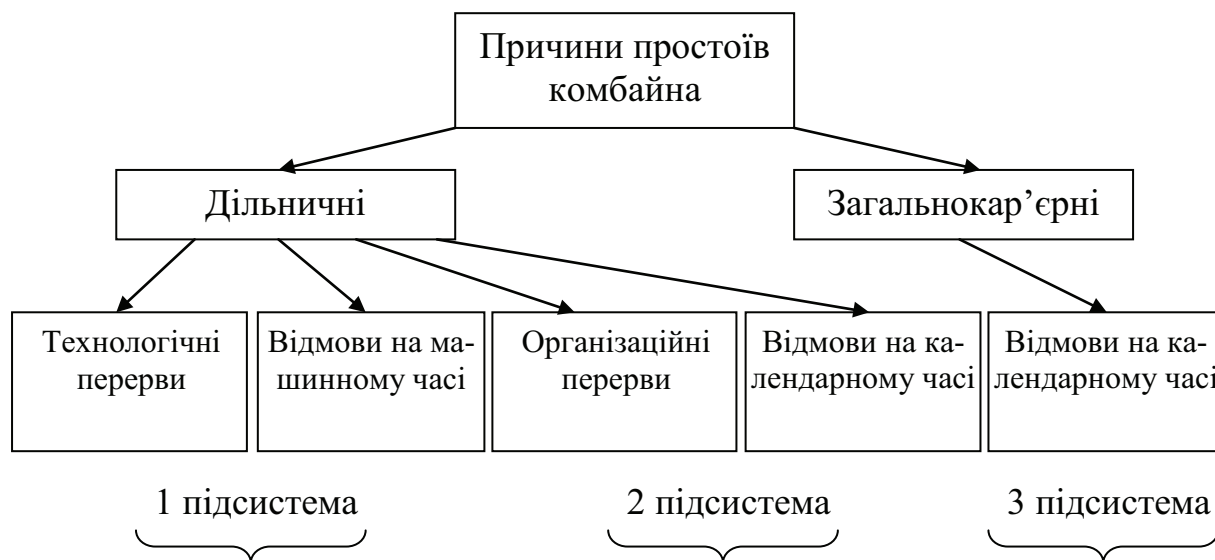


Рисунок 1 – Класифікація простоїв кар'єрного комбайна Wirtgen 2200 SM

Для другої підсистеми простоїв вихід з ладу будь-якого елемента не залежить від того, працював комбайн чи ні, але неодмінно призводить до його зупинки. Оскільки кількість ремонтних бригад на дільниці зазвичай обмежена, то в підсистемі може одночасно усуватися лише одна відмова. Інші відмови, які виникають в цей же час потрапляють в безпріоритетну чергу. Ця задача вирішується введенням лінійного марковського процесу [18].

Загальнокар'єрні відмови, які призводять до зупинки гірничого комбайна Wirtgen 2200 SM, зазвичай виникають на календарному часі. Організаційні загальнокар'єрні перерви не приймаються до уваги, оскільки вони враховуються в моделі другої підсистеми. Всі умови, сформульовані для другої підсистеми, справедливі і для третьої. Різниця лише в способі відновлення. Загальнокар'єрні відмови можуть відновлюватися окремими ремонтними бригадами незалежно одна від одної (необмежене відновлення). Математичне формулювання задач в термінах теорії масового обслуговування та розрахункові формули для кожної з підсистем наведені в табл. 2.

Всі відмови та перерви, які можуть виникати на кар'єрах, для комбайну Wirtgen типу 2200 SM представлено в табл. 3 [1–6, 10–16].

Таблиця 2 – Розрахункові формули та математичне формулювання задач для кожної підсистеми простоїв

Вид простоїв	1	2	3	4
Дільничні відмови на машинно-лендарному часі та організаційні перерви	Дільничні відмови на машинно-му часі і технологічні перерви	Дільничні відмови на ка-лендарному часі та органі-заційні перерви	Загальнокар'єрні відмови	
Тип моделі системи масового обслуговування	Послідовна підсистема із $N_1$ різних відновлюваних елементів з інтенсивністю відмов $\lambda_{1i}$ та відновлення $\mu_{1i}$ (експоненціальний розподіл). При відмові система виключається.	Послідовна підсистема із $N_2$ різних відновлюваних елементів з інтенсивністю відмов $\lambda_{2i}$ та відновлення $\mu_{2i}$ (експоненціальний розподіл). При відмові система не виключається. Відновлення обмежене.	Послідовна підсистема із $N_3$ різних відновлюваних елементів з інтенсивністю відмов $\lambda_{3i}$ та відновлення $\mu_{3i}$ (експоненціальний розподіл). При відмові система не виключається. Відновлення не-обмежене.	
$\lambda_j$	$\lambda_1 = \sum_{i=1}^{N_1} \lambda_{1i}$	$\lambda_2 = \sum_{i=1}^{N_2} \lambda_{2i}$	$\lambda_3 = \sum_{i=1}^{N_3} \lambda_{3i}$	
$\mu_i$	$\mu_1 = \frac{\lambda_1}{\sum_{i=1}^{N_1} \frac{\lambda_{1i}}{\mu_{1i}}}$	$\mu_2 = \frac{\lambda_2 (1 - \sum_{i=1}^{N_2} \frac{\lambda_{2i}}{\mu_{2i}})}{\sum_{i=1}^{N_2} \frac{\lambda_{2i}}{\mu_{2i}}}$	$\mu_3 = \frac{\lambda_3}{\prod_{i=1}^{N_3} (1 + \frac{\lambda_{3i}}{\mu_{3i}}) - 1}$	
$P_{oj}$	$P_{o1} = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^{N_1} \frac{\lambda_{1i}}{\mu_{1i}}}$	$P_{o2} = 1 - \sum_{i=1}^{N_2} \frac{\lambda_{2i}}{\mu_{2i}}$	$P_{o3} = \prod_{i=1}^{N_3} \left( \frac{1}{1 + \frac{\lambda_{3i}}{\mu_{3i}}} \right)$	

Таблиця 3 – Перелік можливих простоїв та відмов для гірничого комбайну Wirtgen 2200 SM

№	Вид відмов/простоїв	τ, хв.	θ, хв.	$\lambda=1/\tau, \text{хв.}^{-1}$	$\mu=1/\theta, \text{хв.}^{-1}$
Організаційні перерви					
1	<i>Щозмінне ТО:</i>	40		0,025	
	прогрів систем комбайна (підготовка до роботи)	15		0,067	
	заправка дизельним паливом	10		0,1	
	заправка водою	20	480	0,05	0,002
	огляд вузлів комбайна				
	профілактичне змащення вузлів комбайна	10		0,1	
	перевірка гідросистеми та робочого органа				
2	здача та прийом зміни	15	480	0,067	0,002
Технологічні перерви					
1	маневри комбайна	6	20	0,167	0,05
2	обмін автосамоскидів під навантаження	4	11	0,25	0,091
3	<i>Щозмінне обслуговування:</i>				
	очистка гусениць від налиплих порід	30		0,033	
	очистка конвеєра від налиплих порід	50	480	0,02	0,002
	очистка робочої камери фрезерного барабана від застряглих дрібних час-тинок (зима)	15		0,067	
4	переїзди в нові завої	-	-	-	-
5	планування площадки	-	-	-	-
6	очікування порожніх самоскидів	7	40	0,143	0,025
Ремонти (відмови) через:					
1	відмова елементів механічних систем	-	-	-	-
2	відмова елементів електросистем				
3	заміна різців	15	480	0,067	0,002
4	перегорання освітлювальних ламп	10	5000	0,1	
5	<i>Штатне ТО:</i>				
	- зміна масла у фрезерному барабані і підшипниках;	240	4500	0,004	0,0002
	- зміна масла та фільтрів в двигуні і гідросистемі, а також редукторів ходо-вих візків				
6	збої системи управління комбайном (навігація)	-	-	-	-
7	непідготовленість фронту робіт	-	-	-	-

ВИСНОВКИ. 1. Приведена в статті класифікація всіх простоїв в кар'єрі з використанням комбайну Wirtgen 2200 SM дозволяє розробити логічну систему математичних моделей окремих підсистем простоїв комбайна в часі.

2. Кожна із виділених підсистем простоїв описується своєю математичною моделлю, яка враховує характер і особливості всіх простоїв комбайна та органічно сходиться в загальну математичну модель коефіцієнта використання комбайна в часі.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Механическое разрушение вскрышных скальных пород / В. Д. Воробьев, А. И. Крючков, И. М. Влашук [и др.] // Уголь Украины. – 2011. – № 4. – С. 24–27.

2. Панкевич Ю. Б. Некоторые технологические особенности работы комбайнов Wirtgen Surface Miner на открытых разработках / Ю. Б. Панкевич, М. Пихтер // Горная промышленность. – 2005. – № 1. – С. 36–42.

3. Панкевич Ю. Б. Wirtgen Surface Miner в Индии. Опыт добычи известняка / Ю. Б. Панкевич, М. Пихтер // Горная промышленность. – 2003. – № 3. – С. 15–23.

4. Результаты испытания горного комбайна при разработке скальных пород открытым способом / В. Д. Воробьев, А. И. Крючков, И. М. Влашук [та ін.] // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво». – 2011. – Вип. 20. – С. 106–115.

5. Панкевич Ю. Б. Комбайн Wirtgen 2500 SM на известняковом карьере Фореман / Ю. Б. Панкевич, М. Пихтер // Горная промышленность. – 2003. – № 6. – С. 50–53.

6. Пихтер М. Результаты опытно-промышленных работ по тонкослоевой разработке комбайном Wirtgen 2200 SM строительных известняков Пятовского месторождения / М. Пихтер, А. А. Журавлев, Ю. Б. Панкевич // Горная промышленность. – 2009. – № 1. – С. 16–21.

7. Кариман С. А. Надежность производственных процессов при подземной добыче угля / Кариман С. А., Шрамко В. М. – М.: Наука, 1975. – 159 с.

8. Методические документы по определению нагрузок на очистные забои угольных шахт. – М.: ИГД им. А. А. Скочинского, 1980. – 139 с.

9. Крючков А. И. Закономерности формирования и математическая модель коэффициента машинного времени очистных комбайнов / А. И. Крючков // . – 1983. – № 2 (39). – С. 113–120.

10. Опытно-промышленные работы по безвзрывной технологии с помощью комбайна Wirtgen 2200 SM на Проломовском месторождении пильных известняков (Украина) / Ю. Б. Панкевич, М. Пихтер, П. В. Чумак [и др.] // Горная промышленность. – 2010. – № 5. – С. 52–60.

11. Панкевич Ю. Б. Опытно-промышленная эксплуатация горного комбайна Wirtgen 2200 SM в сланцевом карьере KIVIÖLI / Ю. Б. Панкевич, М. Пихтер // Горная промышленность. – 2004. – № 5. – С. 23–30.

12. Расширение масштабов применения безвзрывной тонкослоевой технологии горных работ / Ю. Б. Панкевич, В. Ю. Гуськов, Н. В. Камышева [и др.] // Горная промышленность. – 2007. – № 6. – С. 26–32.



13. Горный комбайн Wirtgen Surface Miner 2200 SM на Джегутинском карьере известняка ОАО «Кавказцемент» / Ю. Б. Панкевич, М. Пихтер, В. А. Гуськов [и др.] // Горная промышленность. – 2005. – № 3. – С. 25–31.

14. Испытания безвзрывной тонкослоевой технологии добычных работ на Сокольско-Ситовском карьере известняка / М. Пихтер, О. А. Галигузов, В. А. Гуськов [и др.] // Горная промышленность. – 2006. – № 2. – С. 25–30.

15. Тонкослоевая безвзрывная технология добычи нерудных строительных материалов комбайном Wirtgen 2200 SM на ОАО «Ковровское карьероуправление» Ю. Б. Панкевич, А. Н. Панькин, А. А. Филиппов [и др.] // Горная промышленность. – 2011. – № 6. – С. 44–51.

16. Опытные-промышленные работы по безвзрывной технологии выемки доломитов комбайнами Wirtgen 2200 SM на карьере «Митино» / М. Пихтер, А. А. Тополев, Р. Б. Моргачев [и др.] // Горная промышленность. – 2011. – № 1. – С. 26–34.

17. Гнеденко В. В. Математические методы в теории надежности / Гнеденко В. В., Беляев Ю. К., Соловьев А. Д. – М.: Наука, 1965. – 524 с.

18. Рыжов Ю. И. Беспriorитетное обслуживание неоднородного потока заявок / Ю. И. Рыжов // Известия АН СССР. Техническая кибернетика. – 1975. – № 4. – С. 42–48.

## STUDY OF FEATURES OF FORMATION ACTIVITY FACTOR OF QUARRY COMBINES WIRTGEN 2200 SM OVER TIME

**A. Kruchkov, I Vlaschuk**

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"

prosp. Peremohy, 37, 03056, Kyiv, Ukraine. E-mail: l2212i@ukr.net

The classification of breaks and downtimes for a mining combine Wirtgen 2200 SM as required by mathematical modeling is developed. The corresponding mathematical model for each of the selected subsystems is created. It takes into account character and features of all downtimes mining combine. Three allocated subsystems are combined into a single mathematical model of coefficient the using combine over time.

**Key words:** mining machine, quarry, breaks, downtime, mathematical model.

## REFERENCES

1 Vorobiev, V. D., Kryuchkov, A. I., Vlashchuk, I. M., and Sidor, R. M. (2011) "Mechanical destruction of overburden rocks", *Ugol Ukrainy*, no. 4, pp. 24–27.

2 Pankevich, Yu. B. and Pihter, M. (2005) "Some technological working features of Wirtgen Surface Miner combines at open pits", *Gornaya promyshlennost*, no. 1, pp. 36–42.

3 Pankevich, Yu. B. and Pihter, M. (2003) "Wirtgen Surface Miner in India. Experience of limestone mining", *Gornaya promyshlennost*, no. 3, pp. 15–23.

4 Vorobiev, V. D., Kryuchkov, A. I., Vlashchuk, I. M., and Sidor, R. M. (2011) "The test results of the miner in the development of rocks at open pits", *Herald of National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute". Series of Mining*, issue 20, pp. 106–115.

5 Pankevich, Yu. B. and Pihter, M. (2003) "Wirtgen 2500 SM at limestone open pit Foreman", *Gornaya promyshlennost'*, no. 6, pp. 50–53.

6 Pihter, M., Zhuravlev, A. and Pankevich, Yu. B. (2009) "Results of pilot projects of thin-layer mining of building limestone with combine Wirtgen 2200 SM at Pyatovsky deposit", *Gornaya promyshlennost'*, no. 1, pp. 16–21.

7 Kariman, S. A. and Shramko, V. M. (1975), *Nadejnos't proizvodstvennykh processov pri podzemnoj dobuche uglia* [Reliability of production processes in underground coal mining], Nauka, Moscow, Russia.

8 *Metodicheskie dokumenty po opredeleniyu nagryzok na ochistnye zaboi ugol'nykh shukht* [Methodological documents for determination of loads on output faces of coal mines], (1980), Institute of mining by name A. A. Skochinskogo, Lyubertsy, Russia.

9 Kryuchkov, A. I. (1983), "Laws of formation and a mathematical model of machine time coefficient of mining shearers", no. 2, pp. 113–120.

10 Pihter, M., Chumak, P. V., Pankevich, Yu. B. and Pankevich, M. Yu. (2010), "Pilot works on nonexplosive technology using Wirtgen 2200 SM combine to Prolovskom saw limestone deposit (Ukraine)", *Gornaya promyshlennost'*, no. 5, pp. 52–60.

11 Pankevich, Yu. B. and Pihter, M. (2004), "Pilot operation of miner Wirtgen 2200 SM in shale career KIVIÔLI", *Gornaya promyshlennost'*, no. 5, pp. 23–30.

12 Pihter, M., Pankevich, Yu. B., Gus'kov, V. A. and Kamysheva, N. V. (2007), "Increased use of nonexplosive thin-layer technology of mining", *Gornaya promyshlennost'*, no. 6, pp. 26–32.

13 Pihter, M., Gus'kov, V. A., Pankevich, Yu. B. and Pankevich, M. Yu. (2005), "Miner Wirtgen Surface Miner 2200 SM on Dzhugutinsky limestone career of "Kavkazcement"", *Gornaya promyshlennost'*, no. 3, pp. 25–31.

14 Pihter, M., Gus'kov, V. A., Galiguzov, O. A., Pankevich, Yu. B. and Pankevich, M. Yu. (2006), "The tests of nonexplosive thin-layer technology of mining on the Sokol'sko-Sitovskom limestone career", *Gornaya promyshlennost'*, no. 2, pp. 25–30.

15 Pihter, M., Pan'kin, A. N., Filippov, A. A., Pankevich, Yu. B. and Pankevich, M. Yu. (2011), "Nonexplosive thin-layer technology of extraction of non-metallic building materials by combine Wirtgen 2200 SM JSC "Kovrovskoe Quarry Administration"", *Gornaya promyshlennost'*, no. 6, pp. 44–51.

16 Pihter, M., Topolev, A. A., Morgachev, R. B., Pankevich, Yu. B. and Pankevich, M. Yu. (2011), "Pilot works on nonexplosive technology of excavation dolomites by combines Wirtgen 2200 SM on the career "Mitino"", *Gornaya promyshlennost'*, no. 1, pp. 26–34.

17 Gnedenko, V. V., Belyaev, U. K. and Soloviev, A. D. (1965), *Matematicheskie metody v teorii nadejnos'ti* [Mathematical methods in reliability theory], Nauka, Moscow, Russia.

18 Ryzhov, U. I. (1975), "Non-priority service the inhomogeneous flow of requests", *Izvestiya AN USSR*, no. 4, pp. 42–48.

Стаття надійшла 22.10.2013.