

УДК 622.271.3

Статья / Article

© ПНИПУ / PNRPU, 2016

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ КАРЬЕРНЫХ КОМБАЙНОВ ПРИ ДОБЫЧЕ МРАМОРА

И.Н. Сандригайло, С.А. Арефьев, С.И. Чеботарев¹

Уральский государственный горный университет (620144, Россия, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30)

¹ЗАО «Коелгамрамор» (456576, Россия, Челябинская область, Еткульский район, с. Коелга, ул. Промышленная, 1)

DETERMINATION OF OPERATION PARAMETERS AND INDICATORS OF SURFACE MINERS IN MARBLE QUARRYING

I.N. Sandrigailo, S.A. Arefiev, S.I. Chebotarev¹

Ural State Mining University (30 Kuibysheva str., Ekaterinburg, 620144, Russian Federation)

¹CJSC "Koyelgamramor" (1 Promyshlennaia str., Koelga, 456576, Russian Federation)

Получена / Received: 03.10.2016. Принята / Accepted: 27.10.2016. Опубликовано / Published: 02.12.2016

Ключевые слова:

месторождение, мрамор, карьер, комбайн, мощность двигателя, эксплуатационная масса, ширина фрезерования, производительность, схемы работы, регрессионные зависимости, номограмма.

Рост объемов добычи мрамора требует внедрения на горных предприятиях нового высокопроизводительного оборудования. В связи с этим целесообразно рассмотреть возможность использования при разработке месторождений мрамора карьерных фрезерных комбайнов. Для повышения эффективности их эксплуатации необходимо разработать методику оперативного определения основных параметров комбайнов с учетом условий, существующих на предприятиях, добывающих мрамор. Опыт показывает, что при выборе модели комбайна расчет его параметров может осуществляться с использованием регрессионных зависимостей. В результате обработки исходной информации о технических характеристиках карьерных комбайнов получены зависимости, определяющие связь между шириной фрезерования, мощностью их двигателя и эксплуатационной массой.

На крупнейшем в России Коелгинском месторождении мрамора в 2014–2015 гг. были проведены хронометражные наблюдения за работой карьерного фрезерного комбайна Wirtgen 2500SM при различных режимах и условиях эксплуатации. В ходе исследований скорость комбайна изменялась от 7 до 9 м/мин, а глубина фрезерования от 0,1 до 0,15 м. Комбайн осуществлял работу по схеме с разворотом в конце участка и по челноковой схеме. Погрузка горной массы производилась в автосамосвалы грузоподъемностью 25–30 т. Обработка результатов наблюдений позволила получить зависимости для оперативного определения производительности комбайна при разработке месторождения мрамора. Построена номограмма для определения мощности двигателя, эксплуатационной массы и производительности комбайнов с различной шириной фрезерования.

Полученные в ходе исследований зависимости можно использовать как при выборе комбайна для конкретного месторождения, так и при прогнозировании мощности двигателя, эксплуатационной массы и производительности перспективных моделей карьерных комбайнов.

Key words:

deposit, marble, quarry, surface miner, engine power, operating weight, milling width, performance, schemes of work, regression dependence, nomogram.

The growth in marble quarrying requires the implementation at mining enterprises new high-performance equipment. In this connection, it is advisable to consider the possibility of use in the development of marble deposits surface milling miners. To improve the efficiency of their operation it is necessary develop a technique of operational definition of surface miners' basic parameters according to conditions existing at marble mining enterprises. Experience shows that when choosing miner's model the determination of its parameters can be carried out using regression dependences. As a result of processing initial information about technical characteristics of surface miners the dependences determining connection between milling width, engine power and operating weight were obtained.

In the largest Russian Koelginskoe marble deposit during 2014-2015 chronometer monitoring the work of surface milling miner Wirtgen 2500SM were conducted in different modes and conditions. In the study miner's speed was varied from 7 to 9 m/min and cutting depth from 0.1 to 0.15 m. Surface miner worked according to the shuttle scheme with a turn at the end of the site. Rock was loaded into dump trucks with carrying capacity of 25-30 tons. Processing of observational results allowed to get dependence for the operational definition of miner's performance in marble deposits developing. A nomogram for determining the engine power, weight and miner's operational performance with different milling widths was constructed.

Dependences obtained during the study can be used when selecting miner for a particular deposit, as well as when forecasting engine power, operating weight and performance of surface miner's perspective models.

Сандригайло Игорь Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры разработки месторождений открытым способом (моб. тел.: +007 912 635 24 41, e-mail: arefevsa@yandex.ru).

Арефьев Степан Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры горного дела (моб. тел.: +007 950 640 88 40, e-mail: arefevsa@yandex.ru). Контактное лицо для переписки.

Чеботарев Сергей Иванович – первый заместитель генерального директора (моб. тел.: +007 912 635 24 41, e-mail: arefevsa@yandex.ru).

Igor N. Sandrigailo – PhD of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Surface Mining (mob. tel.: +007 912 635 24 41, e-mail: arefevsa@yandex.ru).

Stepan A. Arefiev – PhD of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Mining (mob. tel.: +007 950 640 88 40, e-mail: arefevsa@yandex.ru). The contact person for correspondence.

Sergei I. Chebotarev – First Deputy Director General (mob. tel.: +007 912 635 24 41, e-mail: arefevsa@yandex.ru).

Введение

Одним из новых направлений использования мрамора сегодня является производство, наряду с облицовочными плитами и мраморными изделиями, микроизмельченного мрамора, монофракционного мраморного песка с узкими границами по гранулометрическому составу, а также декоративного мраморного щебня. Рост выпуска этих перспективных видов продукции требует увеличения объемов добычи сырья и внедрения на карьерах высокопроизводительных горных машин. В связи с этим рассматривается возможность использования для разработки месторождений мрамора карьерных фрезерных комбайнов.

Карьерные комбайны успешно применяются во многих странах мира при разработке месторождений угля, железной руды, бокситов, известняка, гипса, сланцев, фосфатов, соли, мела, алмазов [1–12]. Однако до сих пор нет достаточного опыта их использования при разработке месторождений мрамора. Определение основных параметров комбайна, использование которого наиболее целесообразно при разработке таких месторождений, связано с рядом специфических проблем, в первую очередь с физико-механическими свойствами мрамора.

Несмотря на то что созданием и производством карьерных комбайнов занимались многие компании [13–18], подавляющее большинство из эксплуатирующихся сегодня на карьерах мира машин составляют комбайны фирмы «Wirtgen». В связи с этим целесообразно проанализировать параметры и показатели работы комбайнов этого производителя.

Первый комбайн фирмы «Wirtgen» (модель 3000SM), предназначенный для работы на карьерах, был выпущен в 1980 г. и прошел всесторонние испытания. В 1983 г. первый экземпляр комбайна модели 1900SM был продан горно-добывающему предприятию в Южной Африке. На сегодняшний день на карьерах мира работает 422 комбайна различных моделей.

Анализ тридцатипятилетнего опыта использования на карьерах комбайнов фирмы «Wirtgen» позволяет сделать выводы о направлениях их совершенствования и развития. Первые модели карьерных комбайнов имели три гусеничные тележки. Такое конструктивное решение себя не оправдало, и сегодня все комбайны фирмы «Wirtgen» имеют четыре

гусеничные тележки. Эксплуатационная масса современных комбайнов увеличена в 1,5–2,3 раза в сравнении с первыми моделями. Мощность двигателя увеличена в 1,3–1,7 раза. В результате в 1,3–2,4 раза увеличилась глубина фрезерования, появилась возможность отрабатывать более крепкие породы, существенно выросла производительность комбайна.

Определение мощности двигателя и эксплуатационной массы комбайна

Важнейшим параметром, оказывающим существенное влияние на производительность карьерного комбайна, является ширина фрезерования. Ее увеличение позволяет повысить производительность, но одновременно требует роста мощности двигателя и эксплуатационной массы. В то же время мощность двигателя и масса машины влияют на ее цену и эксплуатационные расходы.

В период с 1980 по 2016 г. фирмой «Wirtgen» были созданы и поставлялись на карьеры комбайны с шириной фрезерования 1900, 2100, 2200, 2500, 2600, 3000, 3500, 3700, 4200 мм. Они имели эксплуатационную массу от 27 до 204 т и мощность двигателя от 298 до 1194 кВт.

При выборе комбайна, использование которого возможно в условиях конкретного месторождения, определение его параметров может осуществляться с помощью регрессионных зависимостей. С целью получения этих зависимостей были подвергнуты анализу технические характеристики современных карьерных комбайнов.

В результате обработки исходной информации получены регрессионные зависимости, определяющие связь между шириной фрезерования (B , м), мощностью двигателя (N_d , кВт) и эксплуатационной массой (M , т) комбайна.

Зависимость для определения мощности двигателя комбайна, кВт, имеет вид

$$N_d = 373,45 B^{0,81}.$$

Величина коэффициента корреляции – 0,999.

Зависимость для определения эксплуатационной массы комбайна, т, имеет вид

$$M = 359,71 - 651,93 B^{-1}.$$

Величина коэффициента корреляции – 0,988.

Определение производительности комбайна при добыче мрамора

Для получения зависимостей, позволяющих определять производительность комбайнов при добыче мрамора, в ноябре 2014 и мае 2015 гг. в условиях Коелгинского месторождения были выполнены хронометражные наблюдения за работой карьерного комбайна фирмы «Wirtgen», модель 2500SM. Определялись оптимальные скорость и глубина фрезерования, а также время, затрачиваемое комбайном на маневры, осуществляемые в ходе его работы.

Мрамор Коелгинского месторождения имеет плотность от 2,63 до 2,73 г/см³. Предел прочности при сжатии – от 24,30 до 111,60 МПа (в среднем 73,10 МПа).

Измерения, выполненные в условиях Коелгинского месторождения, показали, что рациональная рабочая скорость комбайна при фрезеровании мрамора V составляет 7–9 м/мин, а глубина фрезерования h – от 0,1 до 0,15 метра. Увеличение рабочей скорости и глубины фрезерования вышеуказанных значений приводит к повышенному расходу резов, повышенной вибрации, пробуксовке гусениц, изменению фракционного состава продукции.

Комбайн осуществлял обработку участков по двум основным технологическим схемам: по схеме с разворотом в конце участка фрезерования (рис. 1, а) и по челноковой схеме (рис. 1, б) с возвращением комбайна к началу участка холостым ходом [19–20].

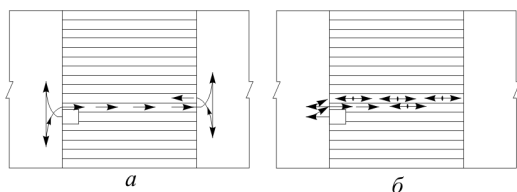


Рис. 1. Схемы работы комбайна: а – с разворотом в конце участка, б – челноковая с возвращением к началу участка холостым ходом

При этом, как показали хронометражные наблюдения, время, затрачиваемое на разворот комбайна, составляет 10 мин, а скорость холостого хода при возвращении комбайна к началу участка равна 20 м/мин.

Погрузка горной массы осуществлялась в автосамосвал Белорусского автозавода БелАЗ-7540 грузоподъемностью 30 т, а также автосамосвалы китайских производителей SHACMAN и CAMC грузоподъемностью 25 т.

В результате исследований были получены зависимости, позволяющие оперативно определять производительность комбайнов (Q , м³/ч), разрабатывающих месторождения мрамора, при различной ширине фрезерования (B , м). Они использовались для расчета производительности комбайна модели 2500SM фирмы «Wirtgen» при добыче мрамора по различным схемам и на участках различной длины (таблица).

Зависимости для определения производительности комбайна при добыче мрамора по различным схемам (при $V = 7$ м/мин и $h = 0,1$ м)

Длина участка, м	Зависимость для определения производительности комбайна, м ³ /ч	Производительность комбайна фирмы «Wirtgen» 2500SM, м ³ /ч
<i>Схема работы с разворотом</i>		
100	$Q = 24,20B$	60,5
200	$Q = 30,71B$	76,77
300	$Q = 33,73B$	84,32
400	$Q = 35,51B$	88,77
500	$Q = 36,61B$	91,52
<i>Челноковая схема</i>		
100–500	$Q = 30,90B$	77,25

С использованием приведенных зависимостей построена номограмма, позволяющая оперативно определять мощность двигателя, эксплуатационную массу и производительность карьерных комбайнов с различной шириной фрезерования при разработке месторождения мрамора (рис. 2).

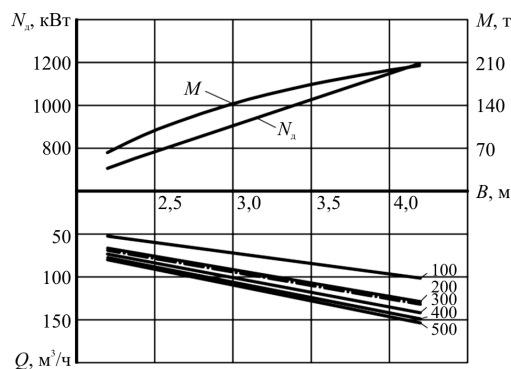


Рис. 2. Номограмма для определения мощности двигателя (N_d , кВт), эксплуатационной массы (M , т) и производительности комбайнов (Q , м³/ч) с различной шириной фрезерования (B , м) при разработке месторождения мрамора: — схема с разворотом комбайна, - - - челноковая схема

Однако необходимо учесть, что при работе комбайна имеют место потери времени, связанные с заправкой топливом и водой, заменой изношенных резов, ожиданием автосамосвалов,

установкой их под погрузку и т.п. Эти потери времени учитываются с помощью коэффициента использования комбайна $K_{и}$.

В связи с этим сменная эксплуатационная производительность комбайна $Q_{см}$, м³/см, определится по формуле

$$Q_{см} = Q T_{см} K_{и},$$

где $T_{см}$ – длительность смены, ч; $K_{и}$ – коэффициент использования комбайна на выемке горной массы.

Выводы

Анализ технических параметров карьерных комбайнов, а также исследования, выполненные на Коелгинском месторождении, поз-

волили получить регрессионные зависимости, которые могут использоваться при оперативном определении основных параметров и производительности комбайнов различных моделей при разработке месторождений мрамора.

Построена номограмма для определения мощности двигателя, эксплуатационной массы и производительности комбайнов с различной шириной фрезерования при работе по схеме с разворотом и челноковой схеме.

Предлагаемые зависимости и номограмма могут также применяться при прогнозировании основных параметров и производительности перспективных моделей карьерных комбайнов.

Список литературы

1. Анистратов К.Ю., Луцишин С.В., Хартманн Г. Комбайн непрерывного действия 2600SM на карьере. Юбилейная АК «Алмазы России – Саха» // Горная промышленность. – 1994. – № 1. – С. 8–9.
2. Mohd Imran. Variation of production with time, cutting tool and fuel consumption of surface miner 2200 SM 3.8 // International Journal of Technical Research and Applications. – 2016. – Is. 01. – P. 224–226.
3. Применение карьерного комбайна Wirtgen 2100SM на добыче флюсового сырья / Ф.В. Карлыханов, В.Ф. Левочкин, Ю.Б. Панкевич, Г. Хартманн, В.Д. Долгушин // Горная промышленность. – 1998. – № 1. – С. 38–39.
4. Применение карьерного комбайна Wirtgen 2200SM при разработке Восточно-Бейского каменноугольного месторождения / Я.Ю. Ицков, С.В. Юдин, А.Н. Леоненко, А.С. Майнаташев, М. Пихлер, Ю.Б. Панкевич // Горная промышленность. – 2002. – № 2. – С. 43–45.
5. Пихлер М., Панкевич Ю. Б. Опыт добычи известняка комбайнами Wirtgen Surface Miner в Индии // Горная промышленность. – 2003. – № 3. – С. 15–21.
6. Комбайны Wirtgen Surface Miner на бокситовом руднике Фрия (Гвинея) / В.А. Кожевников, Н.В. Набока, Б.И. Новоселов, М. Пихлер, Ю.Б. Панкевич // Горная промышленность. – 2004. – № 1. – С. 45–48.
7. Wirtgen Surface Miner 2200 SM pilot-industrial operation at the Dzhtgutinsky limestone open-pit mine / М. Pikhler, V. Guskov, Y. Pankevich, M. Pankevich // Russian Mining. – 2005. – № 3. – P. 19–23.
8. Пихлер М., Панкевич Ю.Б., Леу С.П. Комбайны Wirtgen Surface Miner на разработке месторождений фосфоритов Республики Узбекистан // Горная промышленность. – 2009. – № 1. – С. 13–17.
9. Optimization of productivity with surface miner using conveyor loading and truck dispatch system / S.K. Palei, N.C. Karmakar, P. Paliwal, B. Schimm // International Journal of Research in Engineering and Technology. – 2013. – Vol. 02, is. 09. – P. 393–396.
10. Пихлер М., Дикк Ф., Панкевич Ю.Б. Комбайны Wirtgen Surface Miner на добыче алмазов на Аляске // Горная промышленность. – 2009. – № 4. – С. 15.
11. Dey K., Ghose A.K. Predicting «cuttability» with Surface Miners – a rockmass classification approach // Journal of Mines, Metals and Fuels. – 2008. – Vol. 56, № 5, 6. – P. 85–92.
12. Dey K., Pathak K., Sen P. Environmental acceptability of Wirtgen Surface Miner for Indian surface coal mines // National Seminar on Mining in the New Millennium, 10–12 November 2000. – Hyderabad, 2000. – P. 136–142.
13. Добычные комбайны фирмы Wirtgen серии SM // Горная промышленность. – 1997. – № 1. – С. 51–52.
14. К вопросу оценки эффективности схем горного производства на базе машин типа КСМ / С.К. Коваленко, Р.М. Штейнцайг, А.И. Шендеров, А.А. Александров // Горная промышленность. – 1997. – № 3. – С. 23–29.
15. Коваленко С.К. Эффективность применения машин типа КСМ в схемах поточного производства горных работ // Горная промышленность. – 1997. – № 2.
16. Комбайны Vermeer для выемки скальных горных пород // Горная промышленность. – 2007. – № 6. – С. 60–61.
17. Кноте Т. Компания Vermeer освоила производство самой мощной карьерной выемочной машины // Горная промышленность. – 2013. – № 6. – С. 68–69.
18. Ghose A.K. New technology for surface mining in the 21st century – emerging role for Surface Miner // Journal of Mines Metals and Fuels. – 2008. – Vol. 56, № 3, 4. – P. 41–43.
19. Панкевич Ю.Б., Хартманн Г. Технологические схемы ведения горных работ при использовании комбайнов Wirtgen Surface Miner // Горный журнал. – 1995. – № 6. – С. 30–33.
20. Пихлер М., Панкевич Ю.Б. Технология и схемы ведения горных работ при использовании комбайнов 2100 и 2200 SM фирмы Wirtgen GmbH // Горная промышленность. – 2001. – № 4. – С. 13–16.

References

1. Anistratov K.Iu., Lutsishin S.V., Khartmann G. Kombain nepreryvnogo deistviia 2600SM na kar'ere tr. Iubileinaia AK «Almazы Rossii – Sakha» [Combine 2600SM of continuous action at the quarry Yubileinaya of PJSC "Diamonds of Russia – Sakha"]. *Gornaia promyshlennost'*, 1994, no.1, pp.8-9.
2. Mohd Imran. Variation of production with time, cutting tool and fuel consumption of surface miner 2200 SM

3.8. *International Journal of Technical Research and Applications*, 2016, is. 01, pp.224-226.

3. Karlykhanov F.V., Levochkin V.F., Pankevich Iu.B., Khartmann G., Dolgushin V.D. Primenenie kar'ernogo kombaina Wirtgen 2100SM na dobyche flusovogo syr'ia [Application of the career combine Wirtgen 2100SM in mining of raw flux materials]. *Gornaia promyshlennost'*, 1998, no.1, pp.38-39.

4. Itskov Ia.Iu., Iudin S.V., Leonenko A.N., Mainatashev A.S., Pikhler M., Pankevich Iu.B. Primenenie kar'ernogo kombaina Wirtgen 2200SM pri razrabotke Vostochno-Beiskogo kamennougol'nogo mestorozhdeniia [Application of the career combine Wirtgen 2200SM in development of East-Beiskoie coal field]. *Gornaia promyshlennost'*, 2002, no.2, pp.43-45.

5. Pikhler M., Pankevich Iu.B. Opyt dobychi izvestniaka kombainami Wirtgen Surface Miner v Indii [Limestone mining experience using combines Wirtgen Surface Miner in India]. *Gornaia promyshlennost'*, 2003, no.3, pp.15-21.

6. Kozhevnikov V.A., Naboka N.V., Novoselov B.I., Pikhler M., Pankevich Iu.B. Kombainy Wirtgen Surface Miner na boksitovom rudnike Friia (Gvineia) [Combines Wirtgen Surface Miner in bauxite mine Fria (Guinea)]. *Gornaia promyshlennost'*, 2004, no.1, pp.45-48.

7. Pikhler M., Guskov V., Pankevich Y., Pankevich M. Wirtgen Surface Miner 2200 SM pilot-industrial operation at the Dzhtgutinsky limestone open-pit mine. *Russian Mining*, 2005, no.3, pp.19-23.

8. Pikhler M., Pankevich Iu.B., Leu S.P. Kombainy Wirtgen Surface Miner na razrabotke mestorozhdenii fosforitov Respubliki Uzbekistan [Combines Wirtgen Surface Miner in the development of phosphorite deposits of the Republic of Uzbekistan]. *Gornaia promyshlennost'*, 2009, no.1, pp.13-17.

9. Palei S.K., Karmakar N.C., Paliwal P., Schimm B. Optimization of productivity with surface miner using conveyor loading and truck dispatch system. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 2013, vol. 02, is.09, pp.393-396.

10. Pikhler M., Dikk F., Pankevich Iu.B. Kombainy Wirtgen Surface Miner na dobyche almazov na Aliaske [Wirtgen Surface Miners are mining diamonds in Alaska]. *Gornaia promyshlennost'*, 2009, no.4, pp.14.

11. Dey K., Ghose A.K. Predicting «cuttability» with Surface Miners – a rockmass classification approach. *Journal of Mines, Metals and Fuels*, 2008, vol.56, no.5, 6, pp.85-92.

12. Dey K., Pathak K., Sen P. Environmental acceptability of Wirtgen Surface Miner for Indian surface coal mines. *National Seminar on Mining in the New Millennium, 10-12 November 2000*. Hyderabad, 2000, pp.136-142.

13. Dobychnye kombainy firmy Wirtgen serii SM [Mining combines by company Wirtgen of SM Series]. *Gornaia promyshlennost'*, 1997, no.1, pp.51-52.

14. Kovalenko S.K., Shteintsig R.M., Shenderov A.I., Aleksandrov A.A. K voprosu otsenki effektivnosti skhem gornogo proizvodstva na baze mashin tipa KSM [To the question of schemes effectiveness evaluating in mining on the basis of KSM type machines]. *Gornaia promyshlennost'*, 1997, no.3, pp.23-29.

15. Kovalenko S.K. Effektivnost' primeneniia mashin tipa KSM v skhemakh potochnogo proizvodstva gornykh rabot [Effectiveness of KSM type machines in line production schemes of mining operations]. *Gornaia promyshlennost'*, 1997, no.2.

16. Kombainy Vermeer dlia vyemki skal'nykh gornykh porod [Vermeer Combines for excavation of rock materials]. *Gornaia promyshlennost'*, 2007, no.6, pp.60-61.

17. Knote T. Kompaniia Vermeer osvoila proizvodstvo samoi moshchnoi kar'ernoii vyemochnoi mashiny [The Vermeer company mastered production of the most powerful career winning machine]. *Gornaia promyshlennost'*, 2013, no.6, pp.68-69.

18. Ghose A.K. New technology for Surface Mining in the 21st century – emerging role for Surface Miner. *Journal of Mines Metals and Fuels*, 2008, vol.56, no.3, 4, pp.41-43.

19. Pankevich Iu. B., Khartmann G. Tekhnologicheskie skhemy vedeniia gornykh rabot pri ispol'zovanii kombainov Wirtgen Surface Miner [Technological schemes of mining operations using combines Wirtgen Surface Miner]. *Gornyi zhurnal*, 1995, no.6, pp.30-33.

20. Pikhler M., Pankevich Iu.B. Tekhnologiya i skhemy vedeniia gornykh rabot pri ispol'zovanii kombainov 2100 i 2200 SM firmy Wirtgen GmbH [Technology and mining schemes using combines 2100 and 2200 SM company Wirtgen GmbH]. *Gornaia promyshlennost'*, 2001, no.4, pp.13-16.

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Сандригайло И.Н., Арефьев С.А., Чеботарев С.И. Определение параметров и показателей работы карьерных комбайнов при добыче мрамора // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2016. – Т.15, №21. – С.362–366. DOI: 10.15593/2224-9923/2016.21.8

Please cite this article in English as:

Sandrigailo I.N., Arefiev S.A., Chebotarev S.I. Determination of operation parameters and indicators of surface miners in marble quarrying. *Bulletin of PNRPU. Geology. Oil & Gas Engineering & Mining*, 2016, vol.15, no.21, pp.362–366. DOI: 10.15593/2224-9923/2016.21.8