

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ КАРЬЕРОВ ЦЕМЕНТНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ, РАЗРАБАТЫВАЮЩИХ МИНЕРАЛЬНОЕ СЫРЬЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМБАЙНОВ ПОСЛОЙНОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ SM

С. И. Фомин, А. Лелен,

Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Россия

**Аннотация:** Определена оптимальная производительность карьеров цементной промышленности, разрабатывающих минеральное сырье с использованием комбайнов послойного фрезерования Surface Miner, позволяющих повысить надежность и экономическую эффективность отработки месторождений. Установлено, что на производительность фрезерного комбайна существенно влияет ряд факторов: скорость движения комбайна в процессе фрезерования; ширина полосы фрезерования; мощность обрабатываемого слоя; физико-механические свойства обрабатываемых горных пород; применяемая технологическая схема. Выявлено, что повышение производительности комбайнов Surface Miner достигается при увеличении длины фронта по послойному фрезерованию горных пород, при циклично-поточной и поточной технологии отработки месторождения и минимуме вспомогательных технологических процессов. Применение комбайнов Surface Miner на карьерах цементной промышленности позволит обеспечить тонкослоевую отработку горной массы, уменьшить потери руды и выбросы загрязняющих веществ, проводить рациональное использование недр, повысить промышленную безопасность.

**Ключевые слова:** месторождения цементного сырья, фрезерный комбайн Surface Miner, производительность, производственная мощность, селективная добыча.

**Для цитирования:** Фомин С. И., Лелен А. Определение производительности карьеров цементной промышленности, разрабатывающих минеральное сырье с использованием комбайнов послойного фрезерования SM // Маркшейдерия и недропользование. 2024. № 3. С. 122-127. DOI: 10.56195/20793332\_2024\_3\_122\_127.

## OUTPUT DETERMINATION OF OPEN-CAST MINING CEMENT RAW MATERIALS DEPOSITS USING SURFACE MINERS SM

S. I. Fomin, A. Ljeljen,

Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russia

### Abstract:

**Introduction.** The relevance of the study is due to the need to optimize technological processes in quarries for cement raw materials and increase the reliability and economic efficiency of deposit development. Surface Miner (SM) layer milling machines, allow carrying out thin-layer mining of deposits, to conduct rational use of subsoil, to increase industrial safety. During open-cast mining of cement raw materials deposits using layer milling machines (SM), the increase of economic efficiency of mining works may be achieved by determining rational values of parameters and indicators of the open cast mine.

**The main aim.** To determinate the optimum productivity of cement industry quarries developed with layer milling machines (SM) ensuring increased reliability and economic efficiency of deposit development.

**Methodology.** As the basic methods of research, we used monitoring of technological processes of the quarry, systematic analysis of the structure, characteristics, properties of technological complexes and links of quarries of cement plant Beocin (Serbia) developing complex structure carbonate deposits with the use of layer-milling machines. Dependence of duration of dump truck rides, number of rides per shift and number of dump trucks for 1 milling machine on the distance of rock mass transportation for mining-technical conditions of the quarries at the cement plant Beocin (Serbia) has been determined.

**Conclusions.** Application of (SM) surface miners at cement industry open-pit mines ensures thin-layer mining of rock mass, reduction of ore losses and emissions of pollutants, rational use of subsoil, increase of industrial safety. Number of factors influences Surface Miner productivity: speed of the machine moving in the process of milling, width of the milling band, thickness of the mined layer, physical and mechanical characteristics of the mined rock and applied technological scheme. It is shown that the increase of Surface Miner productivity is achieved when the length of the front is increased, when the cyclic-continuous and continuous technology of deposit mining is used, and the auxiliary technological processes are minimized.

**Keywords:** cement raw material deposits, layer milling machines Surface Miner, productivity, production capacity, selective extraction.

**For citation:** Fomin S. I., Ljeljen A. Output determination of open-cast mining cement raw materials deposits using surface miners SM. Surveying and subsoil use. 2024;(3):122-127. (In Russ.). DOI: 10.56195/20793332\_2024\_3\_122\_127.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью оптимизации технологических процессов на карьерах по добыче цементного сырья и повышения надежности и экономической эффективности отработки месторождений. Комбайны послойного фрезерования Surface Miner (SM) позволяют осуществлять тонкослоевую разработку месторождения, проводить рациональное использование недр, повысить промышленную безопасность. При открытой разработке месторождений цементного сырья с использованием комбайнов послойного фрезерования (SM) повышение экономической эффективности горных работ может быть достигнуто за счет определения рациональных значений параметров и показателей карьера.

Производительность карьеров цементной промышленности, разрабатываемых с использованием комбайнов послойного фрезерования, должна определяться с учетом горнотехнических и горно-геологических условий разработки месторождений, использования технических возможностей фрезерных горных комбайнов и рабочей зоны карьера, установленного в проектной документации режима горных работ и рациональной организации труда [1-5].

Для определения производительности карьеров цементной промышленности, разрабатываемых с использованием комбайнов послойного фрезерования, следует установить продолжительность технологических операций при работе фрезерного комбайна [6-9].

**Цель исследований:** определение производительности карьеров цементной промышленности, разрабатывающих минеральное сырье с использованием комбайнов послойного фрезерования (SM).

#### Объект исследований

Горнотехнические и горно-геологические условия карьеров предприятия по производству цемента «Беочин» (Сербия).

#### Методология

В качестве основных методов исследований использовался мониторинг технологических процессов карьера, системный анализ структуры, характеристик, свойств технологических комплексов и звеньев карьеров цементного завода «Беочин» (Сербия), отрабатывающих сложноструктурные карбонатные месторождения с использованием машин послойного фрезерования. Установлена зависимость продолжительности рейса автосамосвала, количества рейсов в смену и количества автосамосвалов, приходящихся на 1 фрезерный комбайн, от расстояния транспортирования горной массы для горнотехнических условий карьеров цементного завода «Беочин».

Рассмотрены возможные варианты продолжительности проведения технологических операций при работе комбайнов послойного фрезерования на карьерах цементной промышленности:

- ✦ календарный фонд времени технологических операций при работе комбайнов (SM) определяется как произведение общего числа календарных дней в рассматриваемый период на количество часов работы в сутки, принятому в проектной документации;
- ✦ номинальный фонд времени технологических операций при работе комбайнов (SM) — это произведение общего числа дней работы за рассматриваемый промежуток времени работы комбайна в течение суток на ко-

личество часов работы в сутки, принятому в проектной документации.

$$F_{\text{норм}} = n((N_{\text{дн}} - N_{\text{вых}})T_{\text{см}} - T_{\text{празд}}), \quad (1)$$

где  $n$  — количество смен работы в сутки;  $N_{\text{дн}}$  — количество суток работы в заданном интервале;  $N_{\text{вых}}$  — количество выходных и праздничных дней в заданном интервале, сут.;  $T_{\text{см}}$  — продолжительность смены, ч;  $T_{\text{празд}}$  — общее количество часов, на которое сокращается время работы в предпраздничные дни, ч.

Эффективный фонд времени проведения технологических операций при работе комбайнов — это максимально возможная продолжительность работы фрезерного комбайна за исключением времени, которое затрачивается на ремонтные и планово-профилактические операции

$$F_{\text{эф}} = F_{\text{норм}} K_u K_{\text{осм}}, \quad (2)$$

где  $K_u$  — коэффициент использования комбайна, учитывающий плановые ремонты оборудования (0,85-0,95) в зависимости от условий и режима работы;  $K_{\text{осм}}$  — коэффициент, учитывающий регулярные технологические осмотры главных узлов и механизмов комбайна, обусловлен соблюдением норм эксплуатации комбайнов послойного фрезерования (принимается по данным практики — 0,96).

Производительность карьера цементной промышленности, разрабатываемого с использованием комбайнов послойного фрезерования [10], находится по формуле

$$П = F_{\text{эф}} N \times A_k K_{\text{опыт}}, \quad (3)$$

где  $N$  — количество фрезерных комбайнов, работающих в карьере, шт.;  $A_k$  — эксплуатационная производительность комбайна, т/год;  $K_{\text{опыт}}$  — коэффициент, учитывающий опыт работы и квалификацию машиниста комбайна,  $K_{\text{опыт}} = 0,7-1,1$  (по данным хронометражных наблюдений).

Величина производительности карьера варьируется в процессе отработки месторождения и отражается в структуре производственного процесса [11-14].

Структура производственного процесса отражается в следующих показателях:

- ✦ производительность горнодобывающего предприятия по руде на начало года  $P_{\text{нз}}$ ;
- ✦ производительность горнодобывающего предприятия по руде на конец года  $P_{\text{кз}}$ ;
- ✦ производительность горнодобывающего предприятия по руде на конец года  $P_{\text{ср}}$ .

Производительность горнодобывающего предприятия по руде на конец года

$$P_{\text{ср}} = P_{\text{нз}} + P_{\text{вв}} + P_{\text{выб}} \quad (4)$$

где  $P_{\text{вв}}$  — вводимая мощность в течение года на карьере по разработке месторождения цементного сырья;  $P_{\text{выб}}$  — выводимая мощность в течение года на карьере по разработке месторождения цементного сырья.

Среднегодовая производственная мощность учитывает баланс производственных мощностей в течение года

$$P_{ср.год} = P_{нз} + P_{ср.вв} - P_{ср.выб}, \quad (5)$$

где  $P_{ср.вв}$  — среднегодовая вводимая мощность в течение года на карьере по разработке месторождения цементного сырья;  $P_{ср.выб}$  — среднегодовая выводимая мощность в течение года на карьере по разработке месторождения цементного сырья;

$$P_{ср.вв} = P_{вв} n_{вв},$$

где  $n_{вв}$  — коэффициент ввода производственных мощностей, определяемый от их ввода в эксплуатацию до конца года.

$$P_{ср.выб} = P_{выб} n_{выб},$$

где  $n_{выб}$  — коэффициент отсутствия ввода производственных мощностей от их вывода из эксплуатации до конца года.

В случае если срок ввода (вывода) мощностей не установлен в проектной документации, то при определении значения годовой производственной мощности целесообразно применять коэффициент усреднения 0,35.

Усреднённая за год производственная мощность карьера с учётом баланса производственных мощностей в течение года находится по формуле

$$P_{ср.год} = P_{нз} + 0,35 P_{вв} + 0,35 P_{выб}. \quad (6)$$

Производительность комбайна послыйного фрезерования при челноковой технологической схеме работы (с возвращением в начало заходки холостым ходом) имеет вид

$$Q_{сз} = \frac{3600 T_{см} H B L_{рх} K_{то} K_3 K_n K_c K_k N_z}{\frac{L_{рх}}{V_{рх}} + \frac{L_{хх}}{V_{хх}} + T_n + T_o}, \text{ м}^3/\text{год} \quad (7)$$

где  $H$  — мощность слоя фрезерования руды, м;  $B$  — ширина заходки фрезерования, м;  $K_{то}$  — коэффициент технического обслуживания комбайна послыйного фрезерования (0,82–0,85);  $K_3$  — коэффициент, учитывающий потери рабочего времени на осмотр, обслуживание и замену резцов барабана (0,90);  $K_{л}$  — коэффициент, учитывающий потери рабочего времени при замене и установке карьерных автосамосвалов под погрузку (0,95);  $K_k$  — коэффициент, учитывающий климатический фактор;  $K_c$  — коэффициент, учитывающий потери рабочего времени при селективной отработке пластов руды (0,90);  $V_{рх}$  — скорость рабочего хода фрезерного комбайна;  $V_{хх}$  — скорость холостого хода комбайна в начало заходки;  $L_{рх}$  — длина участка фрезерования руды, м;  $L_{хх}$  — длина перемещения комбайна при возвращении в начало заходки без фрезерования, м;  $T_o$  — время опускания фрезерного барабана в забой до начала рабочего хода, с;  $T_{л}$  — время поднятия фрезерного барабана в забой до начала холостого хода в начало заходки, с.

Длина перемещения комбайна послыйного фрезерования рабочим ходом, необходимая для загрузки одного карьерного автосамосвала,

$$L_{ноз} = \frac{V_{ра}}{BH}, \text{ м}, \quad (8)$$

где  $V_{ра}$  — объем руды, размещаемый в кузове одного карьерного автосамосвала (в целике), м<sup>3</sup>;  $B$  — ширина заходки фрезерования, м;  $H$  — мощность слоя фрезерования, м.

Продолжительность загрузки комбайном одного карьерного автосамосвала

$$T_{заг} = \frac{L_{ноз}}{H}, \text{ м}. \quad (9)$$

При челноковой технологической схеме работы комбайна количество карьерных автосамосвалов, загружаемых за смену, определяется по формуле

$$N = \frac{Q_{см}}{V_{ра}}, \text{ авт/смен.}, \quad (10)$$

где  $Q_{см}$  — сменная эксплуатационная производительность комбайна при челноковой схеме работы, м<sup>3</sup>/смен.;  $V_{ра}$  — объем руды, размещаемый в кузове одного карьерного автосамосвала (в целике), м<sup>3</sup>.

Нормативное количество рейсов карьерного автосамосвала в смену определяется по формуле

$$N = \frac{T_{см} K_{иа}}{T_{ра}}, \text{ авт/смен.}, \quad (11)$$

где  $N_{ра}$  — нормативное количество рейсов автосамосвала, рейс/смен.;  $K_{иа}$  — коэффициент использования автосамосвала (0,8–0,85);  $T_{см}$  — продолжительность смены, мин.;  $T_{ра}$  — продолжительность рейса карьерного автосамосвала, мин.

Здесь

$$T_{ра} = t_{дв} + t_{нозр.} + t_{о.л.} + t_{у.л.} + t_{у.в.} + t_{р.}, \text{ мин.} \quad (12)$$

где  $t_{дв}$  — время движения гружёного и порожнего автосамосвала, мин.;  $t_{нозр.}$  — время загрузки карьерного автосамосвала фрезерным комбайном, мин.;  $t_{о.л.}$  — время ожидания погрузки карьерного автосамосвала, мин.;  $t_{у.л.}$  — время установки автосамосвала под загрузку, мин.;  $t_{у.в.}$  — время установки под карьерного автосамосвала разгрузку, мин.;  $t_{р.}$  — время разгрузки автосамосвала, мин.

Сырьевой базой предприятия по производству цемента «Беочин» с годовой производительностью 1,6 млн т цемента являются близкорасположенные месторождения карбонатных пород, обрабатываемые двумя карьерами с годовой производственной мощностью соответственно 0,9 и 1,4 млн т [15, 16].

На рисунке 1 представлены графики зависимости продолжительности рейса карьерного автосамосвала, количества рейсов в смену и количества автосамосвалов, приходящихся на 1 фрезерный комбайн, от расстояния транспортирования горной массы для горнотехнических условий карьеров предприятия по производству цемента «Беочин».

#### Результаты исследований

Как показали исследования результатов работы фрезерного комбайна в горнотехнических и горно-геологических условиях карьеров предприятия по производству цемента «Беочин», с увеличением длины обрабатываемого блока эксплуатационная производительность комбайна увеличивается.



Рис. 1. Графики зависимости продолжительности рейса автосамосвала (ряд 1), количества рейсов в смену (ряд 2) и количества автосамосвалов, приходящихся на 1 фрезерный комбайн (ряд 3), от расстояния транспортирования горной массы для горнотехнических условий карьеров предприятия по производству цемента «Беочин»

Fig. 1. Graph of dependence the duration of the haul of the dump truck (row 1), the number of trips per shift (row 2) and the number of dump trucks per 1 milling combine (row 3) of the distance of transportation of rock mass for the opencast mining conditions of the cement production plant Beochin (Serbia)

На рисунке 2 представлен график зависимости производительности комбайна послойного фрезерования от длины эксплуатационного блока для горнотехнических условий карьеров предприятия по производству цемента «Беочин».

#### Закключение

1. Оптимальная производительность комбайна послойного фрезерования Surface Miner обеспечивается при длине фронта горных работ, позволяющей осуществлять бесперебойную поточную обработку эксплуатационного блока месторождения с минимальным количеством вспомогательных технологических операций и без холостого хода комбайна.

2. Увеличение производительности комбайнов Surface Miner достигается при увеличении длины фронта по послойному фрезерованию горных пород при циклично-поточной и поточной технологии обработки месторождения и минимуме вспомогательных технологических процессов.

3. Эксплуатационная производительность фрезерного комбайна Surface Miner находится в зависимости от ряда

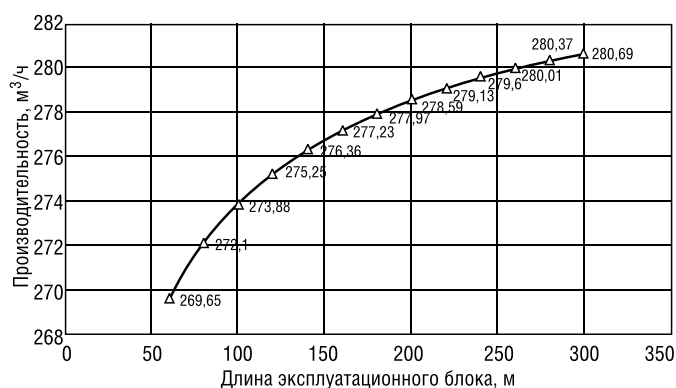


Рис. 2. График зависимости производительности комбайна послойного фрезерования эксплуатационного блока для горнотехнических условий карьеров предприятия по производству цемента «Беочин»

Fig. 2. Graph of dependence output of the layer-by-layer milling combine of the production unit for the opencast mining conditions of the cement production plant Beochin (Serbia)

факторов: скорости перемещения рабочим и холостым ходом, ширины заходки, мощности обрабатываемого слоя, физико-механических свойств обрабатываемых горных пород, применяемой организации горных работ.

4. Производительность карьера, разрабатывающего месторождение цементного сырья с использованием комбайна послойного фрезерования, зависит от скорости движения фронта горных работ, скорости движения заходки по длине фронта, мощности обрабатываемого слоя горных пород, ширины полосы фрезерования, длины фронта горных работ, вида принятой технологической схемы обработки. При этом рациональную длину фронта горных работ 150 м рекомендуется устанавливать для челноковых схем обработки месторождения при фрезеровании рабочим ходом и возвращении в начало заходки холостым ходом. В случае увеличения длины фронта горных работ целесообразен переход к организации обработки месторождения с разворотом комбайна в конце заходки и рабочим ходом и в обратном направлении.

5. Применение комбайнов Surface Miner на карьерах цементной промышленности позволит обеспечить тонкослойную обработку горной массы, уменьшить потери руды и выбросы загрязняющих веществ, проводить рациональное использование недр, повысить промышленную безопасность. ■

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Арсентьев, А. И. Производительность карьеров / А. И. Арсентьев; Горный ин-т им. Г. В. Плеханова (техн. ун-т). - СПб., 2002. - 85 с.
2. Optimization of long-term quarry production scheduling under geological uncertainty to supply raw materials to a cement plant / T. Vu, T. Bao, C. Drebenstedt [et al.] // Mining Technology. - 2021. - Vol. 130, (3). - P. 146-158.
3. Трубецкой, К. Н. Проектирование карьеров: Учеб. для вузов: В 2 т. / К. Н. Трубецкой, Г. Л. Краснянский, В. В. Хронин. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Издательство Академии горных наук, 2001. - Т. I. - 519 с.
4. Afeni, T. B. A comparative study of geometric and geostatistical methods for qualitative reserve estimation of limestone deposit / T. B. Amenities, V. O. Akeju, A. E. Aladejare // Geoscience Frontiers. - 2021. - Vol. 12, № 1. - P. 243-253.
5. Dagdelen, K. Optimum cement quarry scheduling algorithm / K. Dagdelen, M. W. A. Asad // Proceedings of the 30th symposium on application of computers and operations research in the mineral industry. - Phoenix, AZ, 2002. - P. 697-709.
6. Zajaczkowski, M. Technological and Economic Analysis of the Application of Surface Miner on the Example of a Limestone Deposit in Poland / M. Zajaczkowski // Inzynieria Mineralna. - 2021. - Vol. 2. - P. 237-242.
7. Пихлер, М. Увеличение объёмов добычи известняка в Украине с помощью карьерных комбайнов Wirtgen без применения буровзрывных работ / М. Пихлер, А. П. Иль, Н. М. Линнеманн // Горная промышленность. - 2019. - № 2 (144). - С. 64-66.

8. Опарин, В.Н. Безвзрывные технологии открытой добычи твердых полезных ископаемых / В. Н. Опарин, А. Р. Маттис; отв. ред. В. Н. Опарин // Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. - 335 с.
9. Шемякин, С.А. Экономическое обоснование эффективности безвзрывной селективной выемки полезного ископаемого и вмещающих пород с использованием технико-технологических комплексов на основе фрезерных комбайнов / С. А. Шемякин, Д. Н. Матвеев, А. Ю. Чебан // Горный журнал. - 2015. - № 2. - С. 43-46.
10. Фомин, С. И. Анализ безвзрывной технологии тонкослойной выемки с применением фрезерных комбайнов при открытой разработке месторождений цементного сырья / С. И. Фомин, И. П. Виноградов // Цемент и его применение. - 2017. - № 4. - С. 42-44.
11. Швабенланд, Е.Е. О потенциале фрезерных комбайнов непрерывного действия при разработке месторождений открытым способом / Е. Е. Швабенланд // Рациональное освоение недр. - 2014. - № 1. - С. 54-60.
12. Фомин, С.И. Оценка эффективности принятия проектных решений / С.И. Фомин, Д.В. Пасынков, А.С. Семенов // Записки Горного института. - 2009. - Т. 180. - С. 12-15.
13. Решетняк, С.П. Обоснование проектирования участков карьерных бортов без предохранительных берм / С.П. Решетняк, М.В. Мелихов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). Горное дело в XXI веке: технологии, наука, образование. - 2015. - № 60-1. - С. 439-448.
14. Bralic, N. Cement Raw Material Reserve Calculation - Geological Sections vs. Structural Maps Approaches, Case Study from Southern Croatia / N. Bralic, T. Malvic // Minerals. - 2022. - Vol. 12, № 8. - P. 1056.
15. Jovanovic, B. Technical Project for Limestone and Overburden Exploitation at the Open Pit Mutalj - I Stage // Mining Institute I.I.c. Belgrade. - 2014. - Vol. 1. - P. 112-119.
16. Management of the limestone mining and deposition process at the open pit'Mutalj'for the purpose of achieving the necessary quality / B. Jovanovic, D. Milosevic, V. Canovic [et al.] // Mining and Metallurgy Engineering Bor. - 2016. - Vol. 1. - P. 51-54.
17. Аврамова, Н. С. Технологические схемы разработки наклонных залежей с использованием фрезерного комбайна / Н. С. Аврамова // Проблемы машиноведения и машиностроения. - 2006. - № 35. - С. 149-152.
18. Пихлер, М. Направление совершенствования и результаты применения комбайнов Wirtgen Surface Miner на карьерах и разрезах мира / М. Пихлер, Ю.Б. Панкевич // Горная промышленность. - 2000. - № 3. - 42 с.
19. Шевченко, А.Г. Безвзрывная разработка бокситовых руд комбайнами Wirtgen Surface Miner расширяет сырьевую базу рудника Дебеле (Гвинея) / А.Г. Шевченко, М. Пихлер, Ю.Б. Панкевич // Горная промышленность. - 2003. - № 2. - С. 44-45.
20. Райков, А.Б. Новый карьерный комбайн Wirtgen 2200 SM в Республике Гвинея / А.Б. Райков, А.Г. Шевченко, А.М. Панченко [и др.] // Горная промышленность. - 2002. - № 1. - С. 5.
21. Volk, H.-J. Wirtgen Drivers the Development of Surface Mining / H.-J.Volk // Procedia Engineering. - 2016. - Vol. 138. - P. 30-39.

#### REFERENCES

1. Arsentev A.I. Quarry productivity. Mining in-t im. G.V. Plekhanov (Technical University). -Saint Petersburg, 2002. - 85 p. (In Russ.).
2. Vu T., Bao T., Drebenstedt C., [et al.] Optimization of long-term quarry production scheduling under geological uncertainty to supply raw materials to a cement plant. *Mining Technology*. 2021; 130(3):146-58.
3. Trubeckoj K.N., Krasnyanskij G.L., Hronin V.V. Quarry Design: Textbook for Higher Education Institutions: In 2 vols. Moscow, 2001 (In Russ.).
4. Afeni T.B., Akeju V.O., Aladejare A.E. A comparative study of geometric and geostatistical methods for qualitative reserve estimation of limestone deposit. *Geoscience Frontiers*. 2021;12(1):243-53.
5. Dagdelen K., Asad M.W.A. Optimum cement quarry scheduling algorithm // K. Dagdelen, M.W.A. Asad // Proceedings of the 30th symposium on application of computers and operations research in the mineral industry, Phoenix, AZ: Society of Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., 2002:697-709.
6. Zajackowski M. Technological and Economic Analysis of the Application of Surface Miner on the Example of a Limestone Deposit in Poland. *Inzynieria Mineralna*. 2021;2:237-42.
7. Pichler M., Il A.P., Linnemann N.M. Increasing the volume of limestone mining in Ukraine with the help of Wirtgen quarry miners without the use of drilling and blasting works. - Mining industry. 2019. - № 2 (144). - P. 64-66.
8. Oparin V.N., Mattis A.R. Non-explosive technologies of open production of solid minerals / V.N. Oparin, A.R. Mattis; Holes. Ed. by V.N. Oparin // Novosibirsk: SB RAS Publ., 2007. - 335 p.
9. Shemyakin S.A., Matveev D.N., Cheban A.Yu. Economic substantiation of the efficiency of non-explosive selective extraction of minerals and host rocks using technical and technological complexes based on milling combines / S.A. Shemyakin, D.N. Matveev, A.Yu. *Mining magazine*. - 2015. - № 2. - P. 43-46. - 2015. (In Russ.).
10. Fomin S.I., Vinogradov I.P. Analysis of blast-free high selective mining excavation technology using milling machines in open-cast mining of cement raw material deposits. *Cement and its use*. 2017;4:42-4 (In Russ.).
11. Shvabenland E. E. On the potential of milling combines of continuous action in the development of deposits by an open method / E. E. Shvabenland // Rational development of subsoil. - 2014. - № 1. - P. 54-60. (In Russ.).
12. Fomin S.I., Pasyнков D.V., Semenov A.S. Notes of the Mining Institute]. - 2009. - Т. 180. - P. 12-15. (In Russ.).
13. Reshetnyak S.P., Melikhov M.V. Justification of design of quarry board sites without safety berms] / S.P. Reshetnyak, M.V. Melikhov // Mining bulletin. Mining in the XXI century: technology, science, education. - 2015. - № 60-1. - S. 439-448.
14. Bralic N, Malvic T. Cement Raw Material Reserve Calculation-Geological Sections vs. Structural Maps Approaches, Case Study from Southern Croatia. *Minerals*. 2022;12(8):1056.
15. Jovanovic, B., Technical Project for Limestone and Overburden Exploitation at the Open Pit Mutalj - I Stage // Mining Institute I.I.c. Belgrade. 2014; 1:112-19.

16. Jovanovic B, Milosevic D, Canovic V, [et al.] Management of the limestone mining and deposition process at the open pit 'Mutalj' for the purpose of achieving the necessary quality. *Mining and Metallurgy Engineering Bor*. 2016;(1):51-4.
17. Avraamova NS. Technological schemes for the development of sloping deposits with the use of a Surface miner. *Problems of Mechanical Science and Engineering*. 2006; 35:149-52. (In Russ.).
18. Pikhler M, Pankevich Yu.B. Direction of improvement and results of the use of Wirtgen Surface Miners in quarries and open-pit mines of the world / M. Pikhler, Pankevich Yu. Mining industry. - 2000. - № 3. - 42 p. (In Russ.).
19. Shevchenko AG, Pihler M, Pankevich YyB. Blast-free mining of bauxite ores with Wirtgen Surface Miners expands the raw material base of the Debele mine in Guinea. *Mining industry*, 2003; 2:44-5 (In Russ.).
20. Raikov A.B., Shevchenko A.G., Panchenko A.M. [and others]. New Wirtgen 2200 SM surface miner in the Republic of Guinea // *Mining Industry*. - 2002. - № 1. - P. 5. (In Russ.).
21. Volk H-J. Wirtgen Drivers the Development of Surface Mining. *Procedia Engineering*. 2016; 138:30-9.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ



**Фомин Сергей Игоревич:**  
доктор технических наук,  
профессор,  
кафедра разработки месторождений полезных  
ископаемых,  
Санкт-Петербургский горный университет  
императрицы Екатерины II,  
г. Санкт-Петербург, Россия,  
e-mail: fominsi@mail.ru,  
Scopus ID: 57193997360,  
ORCID ID 0000-0002-0939-1189



**Лелен Алекса:**  
аспирант,  
кафедра разработки месторождений полезных  
ископаемых (РМПИ),  
Санкт-Петербургский горный университет  
императрицы Екатерины II,  
г. Санкт-Петербург,  
e-mail: s215134@stud.spmi.ru,  
ORCID ID 0000-0003-1358-1142,  
WoS ResearcherID AFC-7785-2022

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Fomin Sergey Igorevich:**  
D.,  
Professor,  
the Department of Mineral Deposits Development,  
Empress Catherine II Saint Petersburg Mining  
University, 1  
St. Petersburg, Russia,  
e-mail: fominsi@mail.ru  
Scopus ID: 57193997360,  
ORCID ID 0000-0002-0939-1189

**Ljelen Aleksa :**  
Phd - student,  
the Department of Mineral Deposits Development,  
Empress Catherine II Saint Petersburg Mining  
University,  
St. Petersburg, Russia,  
e-mail: s215134@stud.spmi.ru,  
ORCID ID 0000-0003-1358-1142,  
WoS ResearcherID AFC-7785-2022

### КРИТЕРИИ АВТОРСТВА / CONTRIBUTION:

Фомин Сергей Игоревич — разработка концепции исследования, постановка задачи, валидация результатов исследования, корректирование текста статьи; Лелен Алекса — детальная проработка концепции исследования, техническая реализация и проведения расчетов в рамках исследования, написание текста статьи / Fomin Sergey Igorevich — development of the research concept, problem statement, validation of research results, correction of the text of the article; Lelen Alexa — detailed elaboration of the research concept, technical implementation and calculations within the framework of the study, writing the text of the article.

### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ / CONFLICT OF INTEREST:

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. / The authors declare no conflict of interest.

ГЛАВНАЯ
НОВОСТИ
ОБОЗРЕНИЕ
СТАТЬИ
ВЫПУСКИ ЖУРНАЛА
ИНФОРМАЦИЯ
О ЖУРНАЛЕ
КОНТАКТЫ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ  
ЖУРНАЛ

№ 1 (129) 2024 г

№ 2 (130) 2024 г

№ 3 (131) 2024 г

№ 4 (132) 2024 г

(915) 111-03-86

[www.n-gn.ru](http://www.n-gn.ru)