

# СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ СЛОЖНОСТРУКТУРНЫХ КАРБОНАТНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ МОДЕРНИЗИРОВАННЫХ КАРЬЕРНЫХ КОМБАЙНОВ

А.Ю. Чебан

Институт горного дела Дальневосточного отделения РАН,  
Хабаровск, Россия, e-mail: chebanay@mail.ru

**Аннотация:** Для сложноструктурных карбонатных месторождений характерна высокая изменчивость качественных характеристик слоев полезной толщи, в связи с чем для получения наибольшего экономического эффекта при разработке подобных запасов необходимо обеспечить качественную селективную выемку сырья. Карбонатные массивы сложены преимущественно породами невысокой прочности, селективную полойную массовую выемку которых можно эффективно вести с применением карьерных комбайнов, однако наличие отдельных слоев относительно прочных пород затрудняет осуществление механического рыхления, снижает производительность комбайнов и может привести к их поломкам. Для разработки пологих сложноструктурных пластов предлагается технико-технологическое решение с применением модернизированного карьерного комбайна, обеспечивающего предварительное разупрочнение слоя прочных пород посредством агрегата для нарезания прерывистых щелей с подачей в них раствора поверхностно-активных веществ (ПАВ), с последующим механическим рыхлением разупрочненного слоя. Механическое рыхление слоев, сложенных породами невысокой прочности, ведется без их предварительного разупрочнения. Предложена зависимость по определению ширины прерывистых щелей для размещения в них необходимого объема раствора ПАВ. Комбайн также оснащен накопительным бункером, обеспечивающим возможность безостановочного рыхления массива при замене автосамосвалов под погрузкой. Реализация предлагаемого решения позволит увеличить производительность выемки и снизит себестоимость добычных работ.

**Ключевые слова:** механическая выемка, слой прочных пород, предварительное разупрочнение, накопительный бункер, производительность.

**Благодарность:** Исследования проводились с использованием ресурсов Центра коллективного пользования научным оборудованием «Центр обработки и хранения научных данных Дальневосточного отделения Российской академии наук», финансируемого Российской Федерацией в лице Министерства науки и высшего образования РФ по проекту № 075-15-2021-663.

**Для цитирования:** Чебан А. Ю. Совершенствование технологии разработки сложноструктурных карбонатных месторождений с применением модернизированных карьерных комбайнов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2024. – № 7-1. – С. 15-24. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2024\_71\_0\_15.

---

## Improvement of technology for the development of complex-structured carbonate deposits with the use of modernized surface mine

A.Yu. Cheban

Institute of Mining of Far East Branch of the Russian Academy of Sciences,  
Khabarovsk, Russia, e-mail: chebanay@mail.ru

---

**Abstract:** Complex-structural carbonate deposits are characterized by high variability in the qualitative characteristics of the layers of useful stratum, and therefore, in order to obtain the greatest economic effect in the development of such reserves, it is necessary to ensure high-quality selective extraction of raw materials. Carbonate massifs are composed mainly of rocks of low strength, the selective layer-by-layer mass excavation of which can be effectively carried out using surface miners, however, the presence of separate layers of relatively strong rocks makes mechanical loosening difficult, reduces the productivity of combines and can lead to their breakdowns. For the development of gently sloping complex-structured seams, a technical and technological solution is proposed using a modernized surface miner, which provides preliminary softening of a layer of strong rocks by means of a unit for cutting discontinuous slots with the supply of a solution of surfactants into them, followed by mechanical loosening of the softened layer. Mechanical loosening of layers composed of rocks of low strength is carried out without their preliminary softening. A dependence is proposed for determining the width of intermittent slots to accommodate the required volume of solution in them. The miner is also equipped with a storage hopper, which provides the possibility of non-stop loosening of the array when replacing dump trucks under loading. The implementation of the proposed solution will increase the productivity of the excavation and reduce the cost of mining operations.

**Key words:** mechanical excavation, hard rock layer, preliminary softening, storage hopper, productivity.

**Acknowledgements:** The studies were carried out using the resources of the Center for Shared Use of Scientific Equipment «Center for Processing and Storage of Scientific Data of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences», funded by the Russian Federation represented by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under project No. 075-15-2021-663.

**For citation:** Cheban A. Yu. Improvement of technology for the development of complex-structured carbonate deposits with the use of modernized surface mine. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2024;(7-1):15-24. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2024\_71\_0\_15.

---

### Введение

Продукция, получаемая при разработке карбонатных месторождений, используется при производстве строительных материалов, в металлургии, сельском хозяйстве и других отраслях [1 – 3]. Обычно горнодобывающие предприятия, ведущие разработку карбонатных месторождений, имеют достаточно узкую специали-

зацию по выпуску товарной продукции, что снижает эффективность недропользования и не обеспечивает возможности использования всех горных пород, слагающих полезную толщу. Для повышения рентабельности производства горнодобывающие предприятия должны иметь возможность реагировать на изменение спроса, что может быть достигнуто за

счет гибкости технологий добычи сырья и его переработки в товарную продукцию [1, 4], с селективной выемкой и рациональным использованием разнокачественных пород сложноструктурных карбонатных массивов. При этом необходимо стремиться не только к снижению количественных потерь, но и к обеспечению сохранности природного качества сырья, что позволит увеличить рыночную стоимость получаемой продукции.

### **Состояние вопроса и постановка проблемы**

В настоящее время все более важное значение в перспективе развития сырьевой базы практически всех видов минерального сырья занимают сложноструктурные месторождения. Для сложноструктурных карбонатных месторождений характерна высокая изменчивость качественных характеристик слоев полезной толщи, в связи с чем для получения наибольшего экономического эффекта при разработке подобных запасов необходимо обеспечить качественную селективную выемку сырья. При разработке карбонатных месторождений рыхление полезной толщи осуществляется как взрывным, так и механическим способами [5]. Применение взрывного рыхления сложноструктурных карбонатных пластов с последующей выемкой одноковшовыми экскаваторами ведет к существенному перемешиванию разнокачественной горной массы, что снижает качество и стоимость получаемой товарной продукции. Применение механического оборудования позволяет вести более качественную селективную выемку, обеспечивает лучшую сохранность природного качества сырья, дает возможность работать вблизи населенных пунктов и объектов инфраструктуры [6–8]. Механическое рыхление пород осуществляется бульдозерно-рыхлительными агрегатами, фрезерными машинами, од-

ноковшовыми экскаваторами с рабочими органами в виде гидромолотов, рыхлителей, ковшей с активными зубьями и другими видами оборудования [9–12]. Наибольшее распространение при безвзрывной разработке карбонатных месторождений получили карьерные комбайны послыного фрезерования, которые обеспечивают глубокоселективную выемку разнокачественных слоев сложноструктурных пластов с относительно высокой производительностью [13, 14]. Необходимо отметить, что при работе карьерных комбайнов в комплекте с автосамосвалами возникают простои комбайнов при замене автосамосвалов под загрузкой, которые в среднем составляют 10...20% от времени фрезерования [15]. Исключить простои карьерных комбайнов при обмене транспортных средств возможно за счет применения технологических схем с разгрузкой отфрезерованной горной массы в штабель либо с использованием самоходных перегружателей, однако это требует применения дополнительного горного оборудования, усложняет маневрирование техники на рабочей площадке и ведет к увеличению себестоимости производства работ.

Для месторождений карбонатных пород характерна высокая изменчивость прочности пород массива; так, согласно данным [14], распределение доломитов по классам прочности на уступе Д1 Мелехово-Федотовского месторождения (Владимирская обл.) составляет: породы с прочностью на сжатие до 20 МПа – 6% массива; 20–40 МПа – 28%; 40–60 МПа – 42%; 60–80 МПа – 16%; 80–100 МПа – 6%; 100–120 МПа – 2% массива. В результате анализа научно-технической литературы автором получены зависимости технической производительности карьерных комбайнов различных типоразмеров от прочности разрабатываемых горных пород (рис. 1).

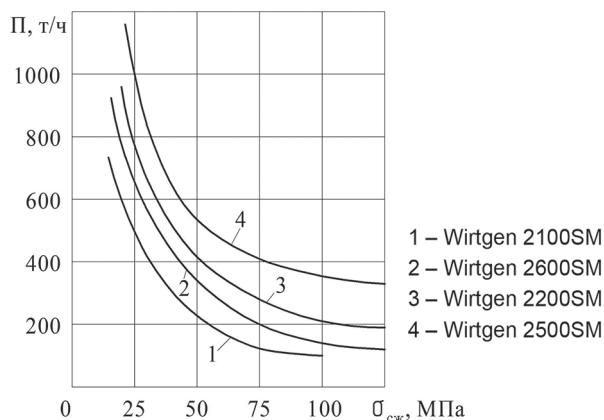


Рис. 1. Зависимости технической производительности карьерных комбайнов от прочности горных пород на сжатие

Fig. 1. Dependence of the technical productivity of surface miners on the compressive strength of rocks

При прочности пород на сжатие до 20 МПа производительность карьерных комбайнов равна или близка к номинальной (легкие условия работы). С увеличением прочности пород до 40...60 МПа (средние условия работы) производительность комбайнов существенно снижается, однако с экономической точки зрения по сравнению с технологиями с использованием буровзрывных работ разработка комбайнами более выгодна. При прочности пород 60...80 МПа (тяжелые условия работы) производительность комбайнов составляет 20...35% от номинальной, поэтому себестоимость механического рыхления становится сопоставимой с себестоимостью взрывного рыхления, однако применение комбайнов предпочтительнее в связи с обеспечением ими более качественной селективной выемки полезного ископаемого и вмещающих пород или различных сортов полезного ископаемого. Использование карьерных комбайнов для массовой выемки пород с прочностью на одноосное сжатие свыше 80...100 МПа (весьма тяжелые условия работы) экономически нецелесообразно, однако в отдельных случаях (запрет на ведение взрывных работ, необходимость обеспе-

чения глубокоселективной выемки тонких слоев, рыхление прочных прослоев пласта и т.п.) ведется. Производительность комбайна в этом случае составляет всего 12...25% от номинальной, кроме того, при разработке прочных пород на рабочий орган, трансмиссию и металлоконструкцию машины действуют повышенные динамические нагрузки, которые могут привести к ее поломке. Так, в процессе эксплуатации карьерного комбайна Wirtgen 2200SM на Кувмогорском карьере известняка при отработке участков крепких окремнелых пород производительность комбайна падала с 220...300 т/ч до 130...140 т/ч, работа сопровождалась усиленной вибрацией и пробуксовкой гусениц [13].

Существенно увеличить производительность механического рыхления массива возможно за счет его предварительного разупрочнения растворами ПАВ [16–18]. Известные технологические схемы обычно предполагают подачу в массив раствора ПАВ через сгущенную сеть скважин, при пропитке массива в течение 2...3 сут происходит снижение прочности пород на 30...40% [17]. В работе [19] предлагается технико-техно-

логическое решение по отработке сложноструктурного массива, сложенного рудами, существенно различающимися по прочности, с применением машины послыного фрезерования, оборудованной устройством для предварительного разупрочнения участков относительно прочных пород. Разрыхленная фрезерным рабочим органом рудная масса подается на транспортно-сортировочный агрегат, осуществляющий отделение обогащенной полезным компонентом рудной мелочи (подрешетный продукт) с подачей в бункер, а средние и крупные фракции (надрешетный продукт) подаются на желоб и сыпаются в отрытую траншею, откуда погрузчиками загружаются в автосамосвалы.

При достижении выемочной машиной участка относительно прочных пород устройство для предварительного разупрочнения опускается и осуществляет непрерывное нарезание щелей и подача в них раствора ПАВ в необходимом объеме, который после пропитки массива в течение 2–3 сут обеспечивает существенное снижение прочности руды, что позволяет при последующем рыхлении разупрочненного участка значительно повысить производительность работы и снизить динамические нагрузки на оборудование. При отработке участков с рудами невысокой прочности нарезание щелей и пропитка массива раствором ПАВ не производятся. Недостатками данной технологической схемы являются необходимость дополнительных перегрузочных работ с использованием погрузчика, а также невозможность ведения пропитки массива через нарезаемые щели в случае наличия продольного уклона рабочей площадки, поскольку раствор будет утекать по щелям под уклон.

Целью работы является повышение эффективности послыной отработки сложноструктурных пологих пластов за

счет совершенствования конструкции карьерного комбайна путем оснащения дополнительным рабочим оборудованием, обеспечивающим возможность предварительного разупрочнения относительно прочных слоев пласта и ведения безостановочного рыхления массива при замене автосамосвалов под погрузкой.

### Результаты исследования

Автором предлагается технология разработки (схема представлена на рис. 2) пологих сложноструктурных карбонатных пластов 1 с применением модернизированного карьерного комбайна 2, дополнительно оснащенного накопительным бункером 3 и агрегатом 4 для нарезания прерывистых щелей 5.

Накопительный бункер 3, оснащенный питателем 6, установлен в задней части комбайна 2 между приемным транспортером 7 и разгрузочным конвейером 8. Агрегат 4 для нарезания прерывистых щелей 5 размещен за фрезерным рабочим органом 9 и включает режущие диски 10 с приводом [20], корпус 11, телескопическую раму 12, гидроцилиндры 13. На корпусе 11 также установлены форсунки 14 для подачи раствора ПАВ из бака 15. Управление рабочим оборудованием комбайна осуществляется с применением автоматической системы.

Разработка пологого сложноструктурного пласта 1 осуществляется послыно, разрыхленные фрезерным рабочим органом 9 карбонатные породы подаются на приемный транспортер 7, а от него через накопительный бункер 3, питатель 6 и разгрузочный конвейер 8 – в автосамосвал (на рисунке не показан). В процессе замены автосамосвала под погрузкой работа разгрузочного конвейера 8 и питателя 6 прекращается, при этом рыхление массива продолжается, извлеченная карбонатная порода временно

аккумулируется в накопительном бункере 3, объем которого достаточен для размещения горной массы, разрыхленной за время обмена автосамосвалов. Таким образом, обеспечивается безостановочная работа карьерного комбайна 2 при фрезеровании слоя пород.

Основной объем сложноструктурного карбонатного пласта 1 обычно представлен породами невысокой прочности, механическое рыхление которых посредством фрезерного рабочего органа 9 не вызывает затруднений и осуществляется с относительно высокой производительностью. В процессе рыхления вышележащего слоя 16 пород невысокой прочности происходит обнажение слоя 17 относительно прочных пород и осуществляется его разупрочнение, для чего

при движении комбайна 2 под уклон (или на подъем) режущими дисками 10 агрегата 4 производится формирование прерывистых щелей 5, в которые через форсунки 14 подается раствор ПАВ. Для формирования прерывистых щелей 5 в виде последовательности сегментов 18 (с целью получения наибольшей вместимости для заливки раствора ПАВ при равном объеме щелей с учетом продольного уклона рабочей площадки) необходимо обеспечить неподвижное положение режущих дисков 10 в плане, для чего скорость выдвижения телескопической рамы 12 с режущими дисками 10 в направлении, противоположном движению комбайна 2, должна быть равна скорости движения комбайна 2, при этом гидроцилиндрами 13 обеспечивается одно-

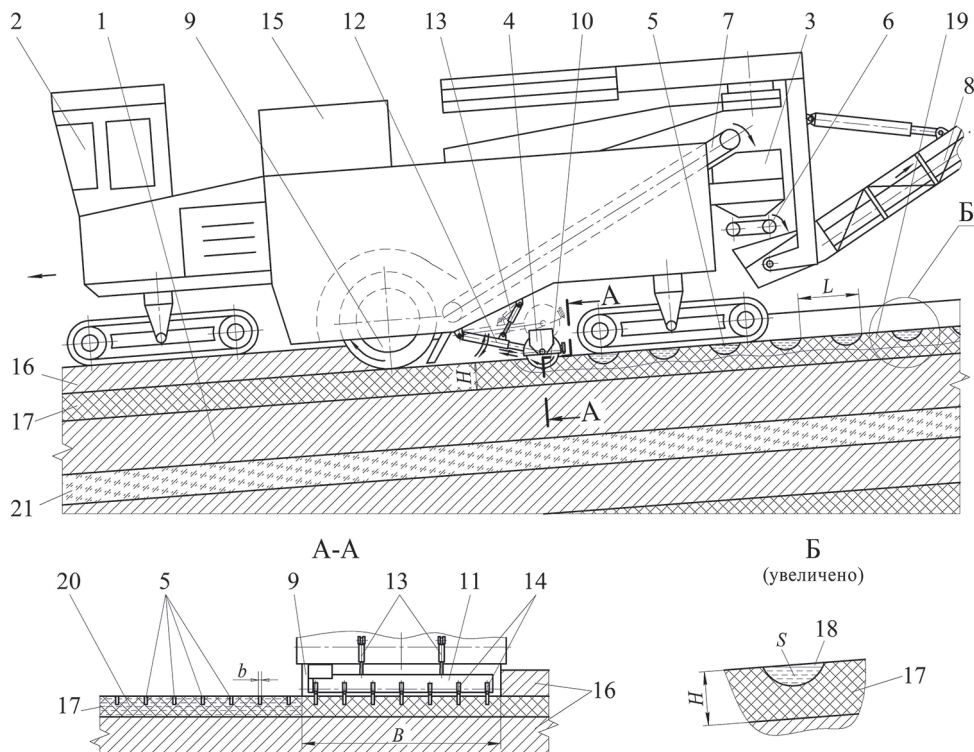


Рис. 2. Схема разработки пологого сложноструктурного карбонатного пласта с применением модернизированного карьерного комбайна

Fig. 2. Scheme for the development of a gently sloping complex-structured carbonate reservoir using a modernized surface miner

временный поворот телескопической рамы 12 для заглубления режущих дисков 10. Синхронизация скорости движения комбайна 2, выдвигения и поворота телескопической рамы 12 осуществляется автоматической системой управления. После нарезания сегментов 18 производится подъем и втягивание телескопической рамы 12, затем через расстояние  $L$  цикл нарезания повторяется.

По сравнению с бурением сети скважин для заливки раствора ПАВ формирование прерывистых щелей более технологично для разупрочнения слоев прочных пород небольшой мощности и не требует применения дополнительного горного оборудования. Близкое расстояние между смежными щелями позволит повысить скорость разупрочнения массива. Ширина щелей для заливки необходимого объема раствора ПАВ может быть определена по формуле

$$b = \frac{HBLV_k}{Sn},$$

где  $H, B$  — соответственно, мощность и ширина разупрочняемого слоя, м;  $L$  — шаг нарезания сегментов прерывистых щелей, м;  $V$  — удельный расход раствора ПАВ на пропитку массива, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>;  $k$  — коэффициент, учитывающий частичное поглощение раствора ПАВ непосредственно при заливке из-за наличия трещиноватости и пористости массива;  $S$  — полезная площадь сегмента прерывистой щели, м;  $n$  — число одновременно нарезаемых прерывистых щелей.

При диаметре режущего диска 0,5 м, глубине резания 0,15 м и продольном угле рабочей площадки 50 полезная площадь сегмента  $S = 0,041$  м<sup>2</sup>. Расчеты показывают, что для дезинтеграции слоя мощностью 0,5 м и шириной 2,5 м с формированием семи прерывистых щелей на обрабатываемой полосе, с шагом нарезания сегментов 1 м, удельным расходом раствора ПАВ для пропитки массива

ва 0,005 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>, при коэффициенте  $k = 0,9$ , необходимая ширина прерывистой щели составит порядка 0,02 м.

Наличие целиков 19 в прерывистой щели 5 исключает неравномерную пропитку массива, стекание раствора ПАВ под уклон с разливом по поверхности рабочей площадки и испарением, раствор ПАВ остается в сегментах прерывистых щелей и постепенно поглощается через стенки, обеспечивая равномерное разупрочнение слоя относительно прочных пород. В это время модернизированным карьерным комбайном обрабатываются смежные полосы слоя 16 пород невысокой прочности с аналогичной пропиткой полос нижележащего слоя 17. Затем производится механическое рыхление и выемка разупрочненных пород 20 слоя 17.

При обнажении в процессе разработки сложноструктурного пласта 1 слоя 21 наиболее качественных карбонатных пород, пригодных для получения блочного камня, баровой установкой (на рисунке не показана) осуществляется нарезание пропилов для последующего отделения блоков от массива посредством гидравлического экскаватора. Получение из карбонатных пород продукции в виде блочного камня дает существенно больший экономический эффект, чем производство из этого же объема горных пород щебня [3].

### **Заключение**

Предлагаемое технико-технологическое решение с применением модернизированного карьерного комбайна позволяет вести эффективное массовое послойное рыхление сложноструктурного карбонатного пласта, сложенного породами, существенно различающимися по прочностным характеристикам. Наличие накопительного бункера обеспечивает возможность безостановочной работы карьерного комбайна при замене автоса-

мосвалов под нагрузкой. Формирование прерывистых щелей посредством режущих дисков в слое относительно прочных пород пологого карбонатного пласта исключает стекание подаваемого в них через форсунки раствора ПАВ под

уклон и предопределяет равномерную пропитку разупрочняемого слоя.

Реализация предлагаемого решения позволит увеличить производительность выемки и снизит себестоимость добычных работ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сафронов В. П., Зайцев Ю. В., Сафронов В. В., Панкратов А. В. Селективная система разработки известняков — перспектива расширения ассортимента продукции горного предприятия // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. — 2015. — № 7-2. — С. 160—168.

2. Fomin S. I., Vinogradov I. P., Lapshin N. S. Determining length of mining front in non-blast open mining of complex structure carbonate deposits // Journal of Engineering and Applied Sciences. 2020, vol. 15, pp. 94—98. DOI: 10.36478/jeasci.2020.94.98.

3. Стромогонов А. В. Оптимизация безвзрывной технологии разборки карбонатных массивов Русской платформы на блочный камень // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2017. — № 9. — С. 185—190. DOI: 10.25018/0236-1493-2017-9-0-185-190.

4. Trubetskoi K. N., Zakharov V. N., Galchenko Y. P. Naturelike and convergent technologies for developing lithosphere mineral resources // Herald of the Russian Academy of Sciences. 2020, vol. 90, no. 3, pp. 332—337. DOI: 10.1134/S1019331620030065.

5. Volk H-J. Wirtgen drivers the development of surface mining // Procedia Engineering. 2016, no. 138, pp. 30—39. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.02.049.

6. Рыльникова М. В., Швабенланд Е. Е. Особенности управления качеством рудной массы при разработке сложноструктурных месторождений апатитовых руд с применением комбайновой выемки // Рациональное освоение недр. — 2019. — № 2-3. — С. 80—86. DOI: 10.26121/RON.2019.48.54.012.

7. Валиев Н. Г., Сандригайло И. Н., Арефьев С. А., Чеботарев С. И. Оценка возможности применения и режимов работы карьерных комбайнов при разработке месторождений мрамора // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2020. — № 2. — С. 88—99.

8. Burkhardt M., Kim E., Nelson P. P. EMI database analysis focusing on relationship between density and mechanical properties of sedimentary rocks // Geomechanics and Engineering. 2018, vol. 14, no. 5, pp. 491—498. DOI: 10.12989/gae.2018.14.5.491.

9. Ditlef A., Lima H. M., Cunha E. R., Souza F. R. A feasibility study of surface miner // Research, Society and Development. 2022, vol. 11, no. 13, article e307111335619. DOI: 10.33448/rsd-v11i13.35619.

10. Kumar C., Kumaraswamidhas L. A., Murthy V. M. S. R., Prakash A. Experimental investigations on thermal behavior during pick-rock interaction and optimization of operating parameters of surface miner // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2020, vol. 133, article 104360. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2020.104360.

11. Клементьева И. Н., Кузиев Д. А. Современное состояние и перспективы развития конструкций карьерных комбайнов для безвзрывной послойной выемки прочных пород // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2019. — № 2. — С. 123—128. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-02-0-123-128.

12. Ocak I., Seker S. E., Rostami J. Performance prediction of impact hammer using ensemble machine learning techniques // Tunnelling and Underground Space Technology. 2018, vol. 80, pp. 269—276. DOI: 10.1016/j.tust.2018.07.030.

13. Пихлер М., Гуськов В. А., Панкевич Ю. Б., Панкевич М. Ю. Комбайн Wirtgen Surface Miner 2200SM на Кувмогорском карьере известняка ОАО «Михайловский цементный завод» // Горная промышленность. — 2006. — № 1. — С. 23—28.

14. Пихлер М., Панькин А. Н., Филиппов А. А., Панкевич Ю. Б., Панкевич М. Ю. Тонкослойная безвзрывная технология добычи нерудных строительных материалов комбайном Wirtgen



2200SM на ОАО «Ковровское карьероуправление» // Горная промышленность. — 2011. — № 6. — С. 44 — 53.


15. Чебан А. Ю. К вопросу об определении производительности карьерных комбайнов в различных условиях эксплуатации // Системы. Методы. Технологии. — 2014. — № 3. — С. 145 — 148.

16. Латышев О. Г., Корнилков М. В. Направленное изменение фрактальных характеристик, свойств и состояния пород поверхностно-активными веществами в процессах горного производства. — Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2016. — 407 с.

17. Рассказов И. Ю., Секисов А. Г., Чебан А. Ю. Повышение эффективности разработки сложноструктурных месторождений при опережающей выемке особо богатых руд // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2023. — № 4. — С. 5 — 19. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2023\_4\_0\_5.

18. Панишев С. В., Хосоев Д. В., Матвеев А. И. Повышение эффективности разработки вскрышных пород и углей Эльгинского месторождения Якутии путем их разупрочнения с использованием поверхностно-активных веществ // Горная промышленность. — 2021. — № 1. — С. 98 — 104. DOI: 10.30686/1609-9192-2021-1-98-104.

19. Чебан А. Ю. Совершенствование технологии разработки сложноструктурных месторождений с применением машин послыного фрезерования // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2023. — № 2. — С. 357 — 367.

20. Yucong P., Quansheng L., Qi L. Full-scale linear cutting tests to check and modify a widely used semi-theoretical model for disc cutter cutting force prediction // Acta Geotechnical. 2020, vol. 15, no. 6, pp. 1481 — 1500. DOI: 10.1007/s11440-019-00852-4. 

## REFERENCES

1. Safronov V. P., Zaitsev Yu. V., Safronov V. V., Pankratov A. V. Selective system of limestone mining — the prospect of expanding the range of products of a mining enterprise. *News of the Tula state university. Technical sciences*. 2015, no. 7-2, pp. 160 — 168. [In Russ].

2. Fomin S. I., Vinogradov I. P., Lapshin N. S. Determining length of mining front in non-blast open mining of complex structure carbonate deposits. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2020, vol. 15, pp. 94 — 98. DOI: 10.36478/jeasci.2020.94.98.

3. Stromonogov A. V. Optimization of non-blasting method of carbonate stone block cutting in the Russian Platform. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2017, no. 9, pp. 185 — 190. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2017-9-0-185-190.

4. Trubetskoi K. N., Zakharov V. N., Galchenko Y. P. Naturelike and convergent technologies for developing lithosphere mineral resources. *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2020, vol. 90, no. 3, pp. 332 — 337. DOI: 10.1134/S1019331620030065.

5. Volk H.-J. Wirtgen drives the development of surface mining. *Procedia Engineering*. 2016, no. 138, pp. 30 — 39. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.02.049.

6. Rylnikova M. V., Schwabenland Ye. Ye. Features of quality management of ore mass in the open mining of complex structural deposits by surface miners. *Mineral mining & conservation*. 2019, no. 2-3, pp. 80 — 86. [In Russ]. DOI: 10.26121/RON.2019.48.54.012.

7. Valiev N. G., Sandrigailo I. N., Arefiev S. A., Chebotarev S. I. Evaluation of the possibility of using and operating modes of surface miners in the development of marble deposits. *News of the Tula state university. Sciences of Earth*. 2020, no. 2, pp. 88 — 99. [In Russ].

8. Burkhardt M., Kim E., Nelson P. P. EMI database analysis focusing on relationship between density and mechanical properties of sedimentary rocks. *Geomechanics and Engineering*. 2018, vol. 14, no. 5, pp. 491 — 498. DOI: 10.12989/gae.2018.14.5.491.

9. Ditlef A., Lima H. M., Cunha E. R., Souza F. R. A feasibility study of surface miner. *Research, Society and Development*. 2022, vol. 11, no. 13, article e307111335619. DOI: 10.33448/rsd-v11i13.35619.

10. Kumar C., Kumaraswamidhas L. A., Murthy V. M. S. R., Prakash A. Experimental investigations on thermal behavior during pick-rock interaction and optimization of operating parameters of surface miner. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2020, vol. 133, article 104360. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2020.104360.

11. Klement'eva I. N., Kuziev D. A. Actual status and prospects for future development of surface miners, designed for for blastless lit-by-lit excavation of solid rock. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019, no. 2, pp. 123 — 128. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-02-0-123-128.

12. Ocak I., Seker S. E., Rostami J. Performance prediction of impact hammer using ensemble machine learning techniques. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2018, vol. 80, pp. 269–276. DOI: 10.1016/j.tust.2018.07.030.

13. Pikhler M., Guskov V. A., Pankevich Yu. B., Pankevich M. Yu. Wirtgen Surface Miner 2200SM combine harvester at the Kuvmogorsky limestone quarry of JSC Mikhailovsky Cement Plant. *Russian Mining Industry Journal*. 2006, no. 1, pp. 23–28. [In Russ].

14. Pikhler M., Pankin A. N., Filippov A. A., Pankevich Yu. B., Pankevich M. Yu. Thin-layer non-explosive technology for the extraction of non-metallic building materials using a Wirtgen 2200SM combine at Kovrovskoye Quarry Administration OJSC. *Russian Mining Industry Journal*. 2011, no. 6, pp. 44-53. [In Russ].

15. Cheban A. Yu. On determination of the capacity level of surface miners under various operating conditions. *Sistemy. Methods. Technologies*. 2014, no. 3, pp. 145–148. [In Russ].

16. Latyshev O. G., Kornilkov M. V. *Napravlennoe izmenenie fraktal'nykh kharakteristik, svoystv i sostoyaniya porod poverkhnostno-aktivnymi veshchestvami v protsessakh gornogo proizvodstva* [Directed change of fractal characteristics, properties and state of rocks by surface-active substances in mining processes], Ekaterinburg, Izd-vo UGGU, 2016, 407 p.

17. Rasskazov I. Yu., Sekisov A. G., Cheban A. Yu. Enhancement of mining efficiency at structurally complex deposits with advanced extraction of very high-grade ore. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2023, no. 4, pp. 5–19. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2023\_4\_0\_5.

18. Panishev S. V., Khosoev D. V., Matveev A. I. Improving the efficiency of development of overburden rocks and coals of the Elga deposit in Yakutia by softening them using surfactants. *Russian Mining Industry Journal*. 2021, no. 1, pp. 98–104. [In Russ]. DOI: 10.30686/1609-9192-2021-1-98-104.

19. Cheban A. Yu. Improvement of technology for the development of complex-structured fields with the application of layered milling machines. *News of the Tula state university. Sciences of Earth*. 2023, no. 2, pp. 357–367. [In Russ].

20. Yucong P., Quansheng L., Qi L. Full-scale linear cutting tests to check and modify a widely used semi-theoretical model for disc cutter cutting force prediction. *Acta Geotechnical*. 2020, vol. 15, no. 6, pp. 1481–1500. DOI: 10.1007/s11440-019-00852-4.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Чебан Антон Юрьевич – канд. техн. наук,  
ведущий научный сотрудник, e-mail: chebanay@mail.ru,  
Институт горного дела Дальневосточного отделения РАН,  
ORCID ID: 0000-0003-2707-626X.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

A. Yu. Cheban, Cand. Sci. (Eng), Leading Researcher,  
e-mail: chebanay@mail.ru, Institute of Mining of Far East Branch  
of the Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, Russia,  
ORCID ID: 0000-0003-2707-626X.

Получена редакцией 27.10.2023; получена после рецензии 30.11.2023; принята к печати 10.06.2024.  
Received by the editors 27.10.2023; received after the review 30.11.2023; accepted for printing 10.06.2024.

