

ISSN 1995-2732 (Print), 2412-9003 (Online)
УДК 622.271.7:621
DOI: 10.18503/1995-2732-2026-24-2-40-46



БЕСТРАНСПОРТНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ВСКРЫШНЫХ РАБОТ ДЛЯ ПЛАСТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В ЗОНЕ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ

Максимов М.С.

Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского Сибирского отделения РАН, Якутск, Россия

Аннотация. В статье изложены результаты исследований по адаптации бестранспортной технологии разработки вскрышных пород к условиям криолитозоны, ведущиеся в ИГДС СО РАН, г. Якутск. В научных исследованиях значительное внимание уделяется вопросам улучшения бестранспортной разработки месторождений. Как известно, бестранспортная технология разработки является наиболее экономичной в сравнении с другими технологиями. Однако в основном исследования сосредоточены на условиях разработки месторождений, расположенных в умеренных широтах, а не в территориях, где присутствует вечная мерзлота. Отрицательная температура горных пород на таких месторождениях придает им высокую прочность, что делает буровзрывное рыхление обязательным технологическим процессом по подготовке пород к выемке. Однако после взрыва взорванная горная масса склонна к повторному смерзанию, что значительно затрудняет экскавацию и снижает эффективность бестранспортной технологии. В результате разработка таких повторно смерзшихся многолетнемерзлых горных пород драглайном в разы увеличивает его время рабочего цикла и приводит к значительному снижению общей производительности экскаватора. Данная проблема является общей для угольных предприятий Арктического региона и предопределяет необходимость поиска и разработки специальных технологических решений. В статье представлены проведенные исследования особенностей бестранспортной технологии разработки многолетнемерзлых горных пород (на примере Кангаласского бурогоугольного месторождения) в суровых природно-климатических условиях Севера, которые направлены на решение задач по оптимизации и адаптации существующих, а также новых эффективных способов разработки угольных месторождений криолитозоны. Разработанные способы и технологические решения направлены на снижение нежелательных последствий повторного смерзания взорванных многолетнемерзлых горных пород, а также обеспечение эффективной работы выемочной техники в условиях месторождений в зоне вечной мерзлоты.

Ключевые слова: бестранспортная технология, драглайн, криолитозона, многолетнемерзлые горные породы, повторное смерзание

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № FWRS-2026-0052, регистрационный номер в ЕГИСУ НИОКТР 126021217278-1).

© Максимов М.С., 2026

Для цитирования

Максимов М.С. Бестранспортная технология вскрышных работ для пластовых месторождений в зоне вечной мерзлоты // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2026. Т. 24. №2. С. 40-46. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2026-24-2-40-46>



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

NON-TRANSPORT OVERBURDEN MINING TECHNOLOGY FOR STRATIFIED DEPOSITS IN THE PERMAFROST ZONE

Maksimov M.S.

N.V. Chersky Mining Institute of the North of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russia

Abstract. The article presents the results of research on adapting the non-transport overburden mining technology to the conditions of the cryolithozone, conducted at the Mining Institute of the North of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (MIN SB RAS), Yakutsk. Considerable attention in scientific research is devoted to improving non-transport mining methods. As is well known, non-transport mining technology is the most cost-effective compared to other mining technologies. However, most studies are focused on deposits located in temperate latitudes rather than in permafrost regions. The negative temperature of rocks at such deposits gives them high strength, making drilling and blasting operations a mandatory technological process for rock preparation prior to excavation. However, after blasting, the fragmented rock mass tends to refreeze, which significantly complicates excavation and reduces the efficiency of non-transport mining technology. As a result, the development of such refrozen permafrost rocks by dragline considerably increases the operating cycle time and leads to a substantial decrease in the overall productivity of the excavator. This problem is common for coal enterprises in the Arctic region and determines the need for the search and development of special technological solutions. The article presents studies of the specific features of non-transport mining technology for permafrost rocks (using the Kangalassky brown coal deposit as an example) under the severe natural and climatic conditions of the North. These studies are aimed at solving problems related to the optimization and adaptation of existing as well as new efficient methods for mining coal deposits in the cryolithozone. The developed methods and technological solutions are intended to reduce the adverse effects of the refreezing of blasted permafrost rocks and to ensure the efficient operation of excavation equipment under permafrost conditions.

Keywords: non-transport technology, dragline, cryolithozone, permafrost rocks, refreezing

The research was carried out within the state assignment of Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (theme No. FWRS-2026-0052, registration No. 126021217278-1).

For citation

Maksimov M.S. Non-Transport Overburden Mining Technology for Stratified Deposits in the Permafrost Zone. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2026, vol. 24, no. 2, pp. 40-46. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2026-24-2-40-46>

Введение

Бестранспортная технология вскрышных работ как наиболее экономичная нашла широкое применение на многих месторождениях твердых полезных ископаемых в самых разных горно-геологических условиях. Суть бестранспортной технологии экскаваторной перевалки пород в отработанное пространство заключается в следующем: экскаваторы перемещают вскрышные породы, извлеченные из массива, на ближайшую свободную площадку по кратчайшему расстоянию. Эта площадка образовывается после добычи полезного ископаемого.

Обычно выделяют два основных типа таких технологических схем перевалки вскрышных пород: простые и усложненные. Основным технологическим признаком бестранспортных схем горных работ является наличие вторичного отвала. По этому признаку схемы подразделяются на простые (без перевалки вскрышных пород) и усложненные (с одной или несколькими перевалками части или всего объема первичного отвала). При этом степень засыпки первич-

ным отвалом выработанного пространства является вторичным технологическим признаком, по которому выделяются семь вариантов простых и усложненных бестранспортных схем, согласно классификации М. П. Васильева [1].

Например, для простых бестранспортных схем это схема с оставлением площадки на почве пласта, схема без оставления площадки на почве пласта, схема с частичной подвалкой добычного уступа, схема с подвалкой всего добычного уступа, схема с частичной засыпкой транспортной площадки на кровле пласта, схема с засыпкой всей транспортной площадки на кровле пласта и схема с подвалкой вскрышного уступа.

Наиболее экономичным из существующих схем экскавации является схема с простой или кратной экскаваторной перевалкой вскрышных пород в отработанное пространство. Такие схемы эффективны при разработке месторождений с горизонтальным или пологим залеганием пласта, при этом мощность залежи не должна превышать 20-30 м, а мощность вскрышных пород – 40-45 м. С учетом ухудшения

горнотехнических условий отработки месторождений, ростом глубины карьеров, возрастания мощности вскрышных пород наибольшее развитие в настоящее время бестранспортная технология находит также в комбинированных системах разработки.

Основные направления исследований и усовершенствования бестранспортной технологии сосредоточено на следующих аспектах:

- расширение области применения: увеличение использования бестранспортной технологии вскрышных работ на месторождениях открытой разработки твердых полезных ископаемых [2];
- оптимизация перемещения породы: совершенствование технологических схем для минимизации объемов переэкскавации [3];
- изменение конструктивных параметров угла откоса: повышение угла откоса борта разреза в зоне бестранспортной технологии за счет увеличения высоты и углов откосов вскрышных уступов [4];
- улучшение применяемого оборудования: оптимизация параметров драглайна и производительности [5-8];
- повышение эффективности взрывных работ: использование более дешевых ВВ и совершенствование схем взрывания [9];
- модернизация драглайнов: обновление конструкции, механизмов и рабочего органа [10, 11];
- автоматизация: внедрение автоматизации технологического процесса драглайна, автоматического управления им и процессом транспортирования ковшом, а также разработка современных интеллектуальных алгоритмов для управления транспортными операциями [12, 13].

Основная часть

Республика Саха (Якутия) играет важнейшую роль в горнодобывающей промышленности Российской Федерации, где разработка месторождений полезных ископаемых ведется в экстремальных природно-климатических условиях вечной мерзлоты. На таких месторождениях мерзлые горные породы имеют отрицательную температуру, что придает им по-

вышенную прочность и требует обязательного предварительного буровзрывного рыхления. Однако даже после взрывания, особенно в весенне-летний период года, взорванная горная масса склонна к повторному смерзанию. Это явление значительно затрудняет процесс экскавации, резко снижает производительность выемочной техники, делая невозможным черпание горной породы, что приводит к простоям. Несмотря на обширные исследования по оптимизации бестранспортной разработки пластовых месторождений, большая часть этих работ ориентирована на месторождениях умеренных широт с мягким климатом. Таким образом, специфика повторного смерзания взорванных многолетнемерзлых горных пород в условиях месторождений криолитозоны остается недостаточно изученной.

В ИГДС СО РАН на протяжении многих лет ведутся исследования, направленные на адаптацию бестранспортной технологии разработки вскрышных пород к условиям криолитозоны. Для решения поставленной задачи были проанализированы закономерности формирования температурного режима горной породы в рабочем забое драглайна. Особое внимание уделялось условиям экскавации взорванных вскрышных пород, склонных к повторному смерзанию, в различные периоды года. В результате этих работ была установлена зависимость между производительностью драглайна и температурой породы в забое в течение календарного года (рис. 1).

Исследования выявили, что в весенне-летний период года температура верхнего слоя отбитой породы определяется двумя ключевыми факторами: объемом холода, аккумулированного за зиму, и интенсивностью солнечного излучения. В осенне-зимний период, напротив, температурный режим поверхностного слоя формируется под влиянием тепловой инерции массива, прогретого в летние месяцы, а также воздействия низких температур окружающей среды. Кроме того, было установлено, что продолжительность рабочего цикла драглайна в течение года варьируется в зависимости от температуры горных пород в забое (рис. 2).

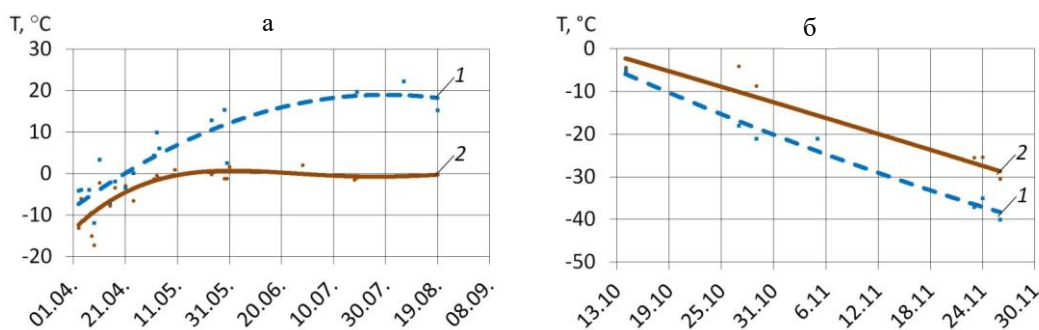


Рис. 1. Графики изменения температуры пород в забое в различные периоды года: а – весенне-летний; б – осенне-зимний; 1 – температура воздуха; 2 – температура пород в забое

Fig. 1. Graphs of rock temperature variation in the working face during different periods of the year: a is spring-summer period; б is autumn-winter period; 1 is air temperature; 2 is rock temperature in the working face

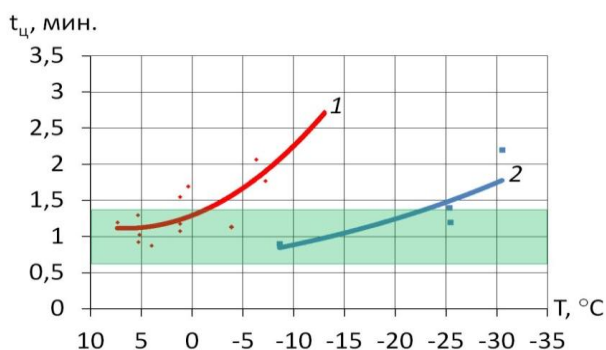


Рис. 2. Изменение продолжительности рабочего цикла драглайна от температуры горных пород в забое: 1 – весенне-летний период; 2 – осенне-зимний период

Fig. 2. Variation in dragline operating cycle duration depending on rock temperature in the working face: 1 is spring-summer period; 2 is autumn-winter period

Согласно данным, полученным в ходе натурных исследований, снижение производительности работ особенно происходит в летний период. Это явление обусловлено тем, что, несмотря на положительные значения температуры поверхностного слоя породы, внутри забоя экскаватора температура имеет отрицательные значения. Создаются тем самым благоприятные условия для повторного смерзания взорванной горной массы. В таких условиях экскаватор вынужден вести отработку забоя по всей ширине заходки, что влечет за собой вынужденные потери времени на «выкапывание» отдельных кусков и горной массы, а также частое холостое черпание для наполнения ковша и периодическое изменение угла работ.

Исходя из вышеизложенного, для определения времени рабочего цикла драглайна для этих периодов было предложено использовать отдельные эмпирические зависимости:

– весна-лето:

$$T_{ц} = e^{0,34 - 0,044T_{п} + 9,58 \cdot 10^{-4} T_{п}^2} \text{ мин};$$

– осень-зима:

$$T_{ц} = 0,63e^{-0,03T_{п}} \text{ мин},$$

где $T_{п}$ – температура горных пород в забое, °C.

При прочих равных условиях эффективность применения бестранспортной технологии в значительной степени определяется горно-геологическими и горнотехническими условиями разрабатываемого месторождения, конструктивными параметрами отвала, физико-механическими свойствами складываемой породы, технологическими схемами экскавации породной массы. Для условий разреза «Кангаласский» предложены технологические схемы ведения горных работ, включающие отработку внешней и внутренней вскрыши (междупластья) по бестранспортной технологии [14].

На основе анализа температурных полей и прочностных характеристик взорванного смерзающегося массива горных пород разработана новая схема отработки экскаваторного блока. Она предусматривает последовательное удаление оттаявшего слоя породы по всей длине блока (рис. 3). Для этого драглайн размещается либо на временном отвале, либо у границы выработанного пространства, что позволяет экскаватору перемещать породу на большее расстояние. При расположении на временном отвале драглайн сначала последовательно удаляет оттаявший слой, создавая себе горизонтальную площадку, а затем перегружает оставшуюся породу во внутренний отвал. По этой подготовленной площадке экскаватор перемещается, также удаляя оттаявший слой по всей длине блока, после чего возвращается на исходную позицию для снятия следующего слоя. Преимуществами такого метода являются снижение коэффициента переэкскавации, увеличение приемной способности отвалов и объема обрабатываемой вскрыши. Однако недостатком является увеличение продолжительности рабочего цикла драглайна из-за необходимости поворота на 180°.

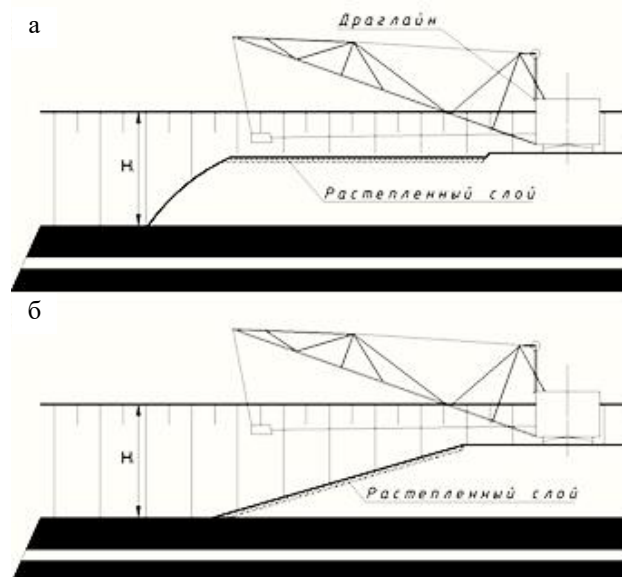


Рис. 3. Схемы с послойным снятием растепленного слоя породы по всей длине экскаваторного блока: а – на расстоянии максимального радиуса копания от верхней бровки откоса развала; б – на расстоянии у кромки откоса развала

Fig. 3. Schemes of layer-by-layer removal of the melted rock layer along the entire length of the excavator block: a is at the maximum digging radius from the upper edge of the spoil slope; б is near the crest of the spoil slope

Для повышения эффективности работы драглайна на развале, особенно в условиях мерзлых пород, предлагается следующая стратегия. Экскаватор может располагаться либо вблизи кромки откоса разва-

ла, либо на максимальном расстоянии копания от его верхней бровки. Это позволяет ему одновременно с разработкой поверхности развала снимать оттаявший слой породы с откоса. Драглайн последовательно перемещается вдоль взорванного блока, снимая оттаявший слой, затем возвращается на начальную позицию для снятия следующего. Отработанный участок блока оставляется для растепления и разупрочнения его поверхностного слоя. Этот процесс происходит под воздействием солнечной радиации в ходе дальнейшей разработки блока. Объем последующего растепленного слоя определяется характеристиками блока, температурой поверхности слоя породы и интенсивностью солнечного излучения. Такой подход минимизирует угол поворота при разгрузке, сокращает продолжительность рабочего цикла драглайна.

Таким образом, такая технология послойной отработки по всей длине блока обеспечивает максимальную производительность при работе в условиях взорванного смерзающегося массива горных пород в весенне-летний период. Она обеспечивает необходимое растепление и разупрочнение породы по всей рабочей площади забоя, что делает ее наиболее эффективной для драглайна. На данную технологию получен патент РФ [15].

Угольный пласт «Нижний» имеет среднюю мощность 5,36 м, увеличивается до 6 м при погружении на север под углом 1-2°. Его кровля и почва состоят преимущественно из глины с примесью песка. Выше на 1,5-3 м расположен пласт «Верхний», являющийся верхней частью угольной залежи. Оба пласта совместно погружаются на север, при этом мощность «Верхнего» возрастает с 8,9 до 13,3 м. Для разработки месторождения применяется комбинированная система: бестранспортная схема с экскаватором ЭШ-10/70 для вскрыши и транспортная схема с ЭКГ-5А. Бурение осуществляется станками СБШ-250МН, ЗСБШ-200-60, СБР-160-А-24 и СВБ-2М. Междупластье разрабатывается экскаваторами ЭКГ-5А с последующей транспортировкой автосамосвалами во внутренние отвалы.

В условиях криолитозоны, где требуется обязательная буровзрывная подготовка, породы повторно смерзаются после взрыва, невозможно верхнее черпание, а отвалы максимально приближены к рабочей зоне, отработка междупластья возможна только транспортным способом из-за отсутствия отвальных емкостей. Это приводит к высоким затратам и загрязнению воздуха. Для снижения себестоимости угля предлагается модернизировать вскрышные работы, максимально используя бестранспортную технологию для отработки междупластья, которая позволит значительно сократить расходы, исключив затраты на экскаваторы ЭКГ и автотранспорт. ИГДС СО РАН разработал новый метод разработки многолетнемерзлых вскрышных пород, который позволяет перевести объемы транспортной вскрыши (междупластья) на бестранспортную схему за счет создания специальных отвальных емкостей внутри контура внутреннего отвала. Предлагаемая технология приведена на **рис. 4**.

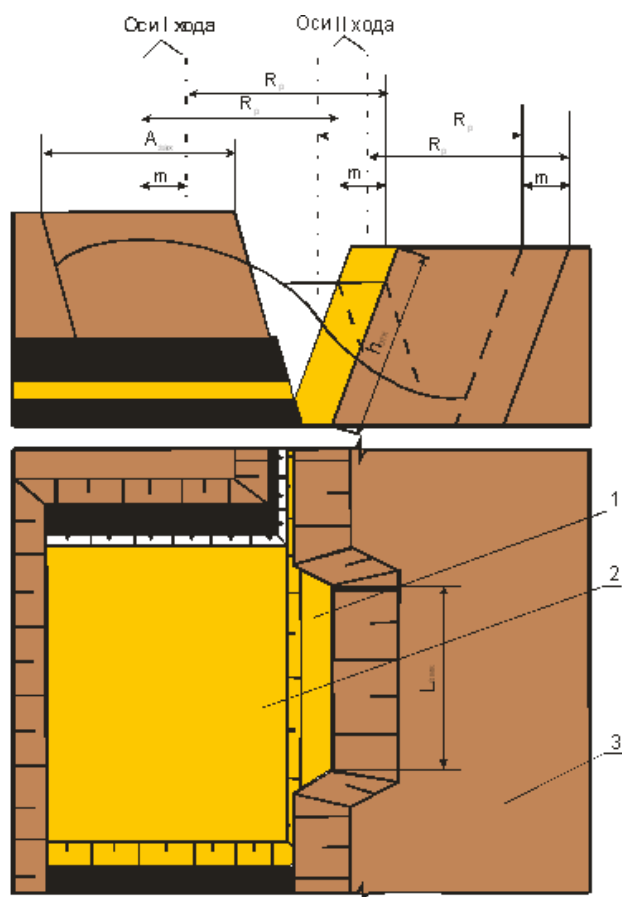


Рис. 4. Способ разработки многолетнемерзлых вскрышных пород: 1 – формируемая отвальная емкость; 2 – внутренняя вскрыша (междупластье); 3 – отвал внешней вскрыши
 Fig. 4. Method for mining permafrost overburden rocks: 1 is formed dump tank; 2 is internal overburden (interburden); 3 is external overburden dump

Процесс начинается с буровзрывных работ на уступе вскрыши. После проведения буровзрывных работ на уступе внешней вскрыши экскаватор осуществляет выемку разрыхленной породы, направляя ее в проектные контуры отвала. На участках, где предусмотрена бестранспортная технология отработки междупластья, драглайн выполняет перемещение породы в специально сформированные отвальные емкости. В тех случаях, когда создание таких емкостей технически невозможно, отсыпка отвала производится по традиционной схеме, без смещения оси экскаватора. Далее следует этап отработки верхнего пласта полезного ископаемого, за которым следует разработка междупластья. На участках, где были предварительно созданы отвальные емкости, драглайн осуществляет экскавацию междупластья непосредственно в конечный контур отвала. На остальных участках междупластье разрабатывается с использованием транспортной технологии. Завершающим этапом является отработка нижнего пласта полезного ископаемого. Данный метод разработки вскрышных

пород, разработанный в кооперации с персоналом разреза «Кангаласский», является запатентованным изобретением РФ [16].

Заключение

Таким образом, приведенные особенности ведения горных работ на разрезе «Кангаласский» в условиях криолитозоны наглядно демонстрируют, что ведение горных работ в условиях криолитозоны сопряжено с опасностью вторичного смерзания развала горных пород. Данная проблема является общей для угольных предприятий Арктического региона и предопределяет необходимость поиска и разработки специальных технологических решений.

Проведенные исследования особенностей бестранспортной технологии разработки многолетнемерзлых горных пород в суровых природно-климатических условиях Севера направлены на решение задач по оптимизации и адаптации существующих, а также новых эффективных способов разработки угольных месторождений криолитозоны.

Список источников

1. Васильев М. П. Бестранспортные системы разработки карьеров драглайнами. М.: Недра, 1971. 288 с.
2. Гвоздкова Т. Н. О повышении эффективности бестранспортной технологии на разрезах южного Кузбасса // Современные тенденции и инновации в науке и производстве: материалы XIII международной научно-технической конференции. Междуреченск, 2024. С. 1.02-1-1.02-8.
3. Исследование структур схем экскавации при отсыпке внутренних многоярных бестранспортных отвалов / М.А. Тюленев, С.О. Марков, Н.С. Сурадеев [и др.] // Техника и технология горного дела. 2022. № 4(19). С. 4-34. DOI: 10.26730/2618-7434-2022-4-4-34. EDN XFQSQJ.
4. A Stability Classification System for the Dragline Dump Slope / A. K. Bharati, A. Ray, R. Rai, B. K. Shrivastva // Mining, Metallurgy & Exploration. 2021, vol. 38, pp. 1047–1060. DOI: 10.1007/s42461-021-00409-8.
5. Сташко К.В., Стариков К.А. Повышение производительности драглайнов за счет уменьшения времени цикла экскавации // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2016. №5. С. 121-126.
6. Erdem B. Duzgun H. Dragline cycle time analysis // Journal of scientific and industrial research. 2005, vol. 64, pp. 19-29.
7. Coetzee C. J., Els D. N. J., Dymond G. F. Discrete element parameter calibration and the modeling of dragline bucket filling // Journal of Terramechanics. 2010, vol. 47, pp. 33-44.
8. Rai P. Performance assessment of draglines in opencast mines // Indian Journal of Engineering and Materials Sciences. 2004, vol.11, pp. 493-498.
9. Ческидов В.И., Цымбалюк Т.А., Резник А.В. Повышение эффективности бестранспортной технологии отработки массивов вскрышных пород с использованием взрывов на сброс // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2020. № 2. С. 96-102. DOI: 10.15372/FTPRPI20200211. EDN QLABMW.
10. Чернухин С.А. Повышение эффективности шагающих экскаваторов-драглайнов за счет совершенствования механизма шагания : специальность 05.05.06 «Горные машины»: дис. ... канд. техн. наук / Чернухин Станислав Алексеевич. 2022. 110 с. EDN VSCNET.
11. Влияние геометрических параметров механизма шагания на эффективность передвижения экскаватора-драглайна / Н.М. Суслов, С.А. Чернухин, О.А. Лукашук, М.Д. Лукашук // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2023. № 4. С. 580-589.
12. Певзнер Л.Д., Киселев Н.А. Система автоматического управления процессом черпания шагающего экскаватора-драглайна // Горные науки и технологии. 2022. № 7(1). С. 57-65. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2022-1-57-65>.
13. Хтэй В.Зо, Певзнер Л.Д., Темкин И.О. Алгоритмическое и аппаратное обеспечение бортовой информационной системы шагающего драглайна // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2019. №2. С. 190-196.
14. К вопросу прогноза производительности драглайна при экскавации смерзающейся взорванной горной массы в условиях месторождений криолитозоны / С.В. Панишев, М.В. Каймонов, М.С. Максимов, Е.Л. Алькова // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. 2022. Т. 9, № 3. С. 136-140. DOI: 10.15372/FPVGN2022090318. EDN SIEFXC.
15. Патент на изобретение № 2542007 Российская Федерация, МПК Е 21 С 41/26. Способ разработки смерзающихся вскрышных пород: № 2013159241/03 : заявл. 30.12.2013 : опубл. 20.02.2015 / Панишев С. В., Ермаков С. А., Каймонов М. В., Зарубин В. А., Зедгенидзе А. И., Максимов М. С., Козлов Д. С. ; заявитель и патентообладатель ФГБУН «Институт горного дела Севера им. Н. В. Черского СО РАН» // Бюл. № 5.
16. Пат. 2299985 Российская Федерация МПК Е 21 С 41/26. Способ разработки вскрышных пород / Панишев С. В., Сердобинцев В. В., Аксёненко С. А., Стриганов В. В.; заявитель и патентообладатель Институт горного дела Севера им. Н. В. Черского СО РАН. № 2005117488/03; заявл. 07.06.2005; опубл. 27.05.2007, Бюл. № 15. 6 с.: ил.

References

1. Vasilev M.P. *Bestransportnye sistemy razrabotki karerov draglainami* [Transportless systems of open-pit mining by draglines]. Moscow: Nedra, 1971, 288 p. (In Russ.)
2. Gvozdikova T.N. On increasing the efficiency of transportless technology at the coal mines of Southern Kuzbass. *Sovremennye tendentsii i innovatsii v nauke i proizvodstve: materialy XIII mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Modern trends and innovations in science and production. Proceedings of the XIII International Scientific and Technical Conference]. Mezhdurechensk, 2024, pp. 1.02-1-1.02-8. (In Russ.)
3. Tyulenev M.A., Markov S.O., Suradeev N.S. et al. Study of excavation scheme structures during dumping of internal multitier transportless dumps. *Tekhnika i tekhnologiya gornogo dela* [Mining Engineering and Technology].

- 2022;(4(19)):4-34. (In Russ.) DOI: 10.26730/2618-7434-2022-4-4-34.
4. Bharati A.K., Ray A., Rai R., Shrivastva B.K. A Stability Classification System for the Dragline Dump Slope. *Mining, Metallurgy & Exploration*. 2021;38:1047-1060. DOI:10.1007/s42461-021-00409-8.
 5. Stashko K.V., Starikov K.A. Increasing dragline productivity by reducing excavation cycle time. *Gornyi informatsionno-analiticheskiy byulleten* [Mining Informational and Analytical Bulletin]. 2016;(5):121-126. (In Russ.)
 6. Erdem B., Duzgun H. Dragline cycle time analysis. *Journal of Scientific and Industrial Research*. 2005;64:19-29.
 7. Coetzee C.J., Els D.N.J., Dymond G.F. Discrete element parameter calibration and the modeling of dragline bucket filling. *Journal of Terramechanics*. 2010;47:33-44.
 8. Rai P. Performance assessment of draglines in opencast mines. *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences*. 2004;11:493-498.
 9. Cheskidov V.I., Tsymbalyuk T.A., Reznik A.V. Improving the efficiency of transportless overburden mining technology using cast blasting. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh* [Journal of Mining Science]. 2020;(2):96-102. (In Russ.) DOI: 10.15372/FTPRPI20200211.
 10. Chernukhin S.A. *Povyshenie effektivnosti shagayushchikh ekskavatorov draglainov za schet sovershenstvovaniya mekhanizma shaganiya: diss. kand. tekhn. nauk* [Improving the efficiency of walking dragline excavators through совершенствование walking mechanism. Ph.D. dissertation]. 2022, 110 p. (In Russ.)
 11. Suslov N.M., Chernukhin S.A., Lukashuk O.A., Lukashuk M.D. Influence of geometric parameters of the walking mechanism on dragline excavator movement efficiency. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle* [News of the Tula State University. Earth Sciences]. 2023;(4):580-589. (In Russ.)
 12. Pevzner L.D., Kiselev N.A. Automatic control system of the digging process of a walking dragline excavator. *Gornye nauki i tekhnologii* [Mining Science and Technology]. 2022;7(1):57-65. DOI: 10.17073/2500-0632-2022-1-57-65. (In Russ.)
 13. Khteil V.Zo., Pevzner L.D., Temkin I.O. Algorithmic and hardware support of the onboard information system of a walking dragline. *Gornyi informatsionno-analiticheskiy byulleten* [Mining Informational and Analytical Bulletin]. 2019;(2):190-196. (In Russ.)
 14. Panishev S.V., Kaimonov M.V., Maksimov M.S., Alkova E.L. On forecasting dragline performance during excavation of frozen blasted rock mass in cryolithozone deposits. *Fundamentalnye i prikladnye voprosy gornykh nauk* [Fundamental and Applied Problems of Mining Sciences]. 2022;9(3):136-140. DOI:10.15372/FPVGN2022090318. (In Russ.)
 15. Panishev S.V., Ermakov S.A., Kaimonov M.V., Zarubin V.A., Zedgenidzev A.I., Maksimov M.S., Kozlov D.S. *Sposob razrabotki smerzayushchikhsya vskryshnykh porod* [Method for mining frozen overburden rocks]. Patent RU, no. 2542007, 2015.
 16. Panishev S.V., Serdobintsev V.V., Aksenenko S.A., Striganov V.V. *Sposob razrabotki vskryshnykh porod* [Method for mining overburden rocks]. Patent RU, no. 2299985, 2007.

Поступила 24.11.2025; принята к публикации 16.03.2026; опубликована 30.06.2026
Submitted 24/11/2025; revised 16/03/2026; published 30/06/2026

Максимов Михаил Саввич – кандидат технических наук, научный сотрудник,
Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН, Якутск, Россия.
Email: mexes_07@mail.ru. ORCID 0000-0002-0452-9791

Mikhail S. Maksimov – PhD (Eng.), Researcher,
N.V. Chersky Institute of Mining of the North of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Yakutsk, Russia.
E-mail: mexes_07@mail.ru ORCID 0000-0002-0452-9791