

Применение профилактической жидкости для борьбы с адгезией опорных поверхностей шагающих экскаваторов

И. И. Демченко¹, Н. А. Попов^{1✉}, О. С. Игнатова¹,
В. И. Брагин¹, Е. А. Антонов²

¹Институт цветных металлов ФГАО ВО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск,
Российская Федерация

²Балахтинский филиал ООО «Сибуголь» разрез «Большеусьский», с. Большие Сыры, Российская Федерация
✉ marovina@mail.ru

Резюме. Рассмотрена проблема с прилипанием и намерзанием горных масс на рабочие поверхности горной техники. Для борьбы с высокой адгезией рабочих поверхностей горнотранспортного оборудования применяется профилактическая жидкость. Приведены схемы устройства, позволяющего наносить профилактическую жидкость на опорные поверхности шагающих экскаваторов. Выполнено обоснование основных параметров устройства для борьбы с налипанием и намерзанием горных масс на опорные поверхности шагающих экскаваторов, составлена математическая модель для их определения, рассчитаны и представлены в виде таблицы полученные значения массогабаритных параметров для рассматриваемых типоразмеров экскаваторов.

Ключевые слова: шагающий экскаватор, опорные поверхности, адгезия, налипание горной массы, профилактическая жидкость, борьба с адгезией, орошение, очистка рабочих поверхностей

Для цитирования: Демченко И.И., Попов Н.А., Игнатова О.С., Брагин В.И., Антонов Е.А. Применение профилактической жидкости для борьбы с адгезией опорных поверхностей шагающих экскаваторов. *Маркшейдерия и недропользование*. 2026; 26 (2): 19-25. <https://doi.org/10.56195/20793332-2026-26-2-19-25>.

Use of preventive liquid to combat adhesion of support surfaces of stepper excavators

I. I. Demchenko¹, N. A. Popov^{1✉}, O. S. Ignatova¹,
V. I. Bragin¹, E. A. Antonov²

¹Siberian Federal University, Institute of Non-Ferrous Metals, Krasnoyarsk, Russian Federation

²Sibugol LLC, Balakhta branch, Bolshiesyrsky Mine, Bolshie Siry village, Russian Federation
✉ marovina@mail.ru

Abstract. The problem of rock masses sticking and freezing on the working surfaces of mining equipment has been a common issue for many years. Ignoring these problems often leads to equipment and machinery breakdowns, resulting in costly repairs and financial losses for businesses. In practice, the use of preventive liquid has been widely used to combat high adhesion of working surfaces of mining and transport equipment. For example, in quarrying railway transport, when transporting goods prone to freezing and sticking to the surfaces of gondola cars or dump cars, portal structures are used, designed for spraying preventive liquid “top-down”. In this case, to apply a proven method of adhesion control on the support surfaces of walking excavators (support base and skis), it is necessary to change the spraying direction to “bottom-up”. This paper presents the schemes of the proposed device that allows you to apply a preventive liquid to the support surfaces of walking excavators. The paper provides justification of the main parameters of the device for combating the adhesion and freezing of rock masses on the support surfaces of walking excavators, as well as a mathematical model for their determination. The paper also calculates and presents the mass and dimensional parameters of the excavators in the form of a table.

Keywords: walking excavator, support surfaces, adhesion, adhesion of rock mass, preventive liquid, methods of adhesion control, irrigation, cleaning of work surfaces

For citation: Demchenko I.I., Popov N.A., Ignatova O.S., Bragin V.I., Antonov E.A. Use of preventive liquid to combat adhesion of support surfaces of stepper excavators. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2026; 26 (2): 19-25. (In Russ.). <https://doi.org/10.56195/20793332-2026-26-2-19-25>.

Введение

Проблема с прилипанием и намерзанием горных масс на рабочие поверхности горной техники является распространенной. Игнорирование данных проблем зачастую приводит к поломкам техники и оборудования, что влечет за собой дорогостоящий ремонт и финансовые потери предприятий.

На практике для борьбы с высокой адгезией рабочих поверхностей горнотранспортного оборудования используется профилактическая жидкость. Например, на карьерном железнодорожном транспорте при перевозке грузов, склонных к примерзанию и прилипанию к поверхностям полувагонов или думпкаров, применяют порталные сооружения, предназначенные для орошения профилактической жидкостью сверху вниз. Для применения проверенного способа борьбы с адгезией на опорных поверхностях шагающих экскаваторов (опорную базу и лыжи) необходимо изменить направление опрыскивания на снизу вверх.

Цель работы: определение основных количественных и массогабаритных параметров устройства с применением профилактической жидкости для орошения опорных поверхностей шагающих экскаваторов различных типоразмеров.

Методы исследований

В ходе исследований, проведенных в Институте цветных металлов Сибирского федерального университета, методом прямого измерения силы отрыва горных масс от различных конструкционных материалов оценивалась эффективность выбранной профилактической жидкости. Испытания проводились в различных температурных диапазонах с фиксацией усилия отрыва посредством тензометрических датчиков на специальной установке. Результаты подтвердили высокую эффективность профилактической жидкости во всем исследуемом температурном интервале при различной влажности грунта.

Результаты исследований

В данной работе приведены схемы устройства, позволяющего наносить профилактическую жидкость на опорные поверхности шагающих экскаваторов.

Опорная база шагающего экскаватора представляет собой несущий элемент конструкции, на который опирается машина при работе или передвижении. Она служит для распределения нагрузки на подошву уступа, а также установки на нее поворотного устройства. Представляет собой круглую сварную металлическую конструкцию, состоящую из верхнего и нижнего настилов, кольцевых и радиальных диафрагм (рис. 1).

Наличие пустот позволяет разместить оборудование для нанесения профилактической жидкости, состоящее из емкости для профилактической жидкости, насоса, электродвигателя, трубопроводов, форсунок с направлением опрыскивания вверх. Для этого на нижнем настиле опорной базы выполняются отверстия, которые с внутренней стороны опорной базы закрыты стаканами (рис. 2), снабженными полым штоком с подпружиненной крышкой, на обратной стороне которой размещены форсунки с возможностью опрыскивания профилактической жидкости вверх [1–5].



Рис. 1. Фрагмент опорной базы шагающего экскаватора:

1 – верхний настил базы; 2 – нижний настил базы /
Fig. 1. Fragment of the walking excavator support base:
1 – upper base deck; 2 – lower base deck

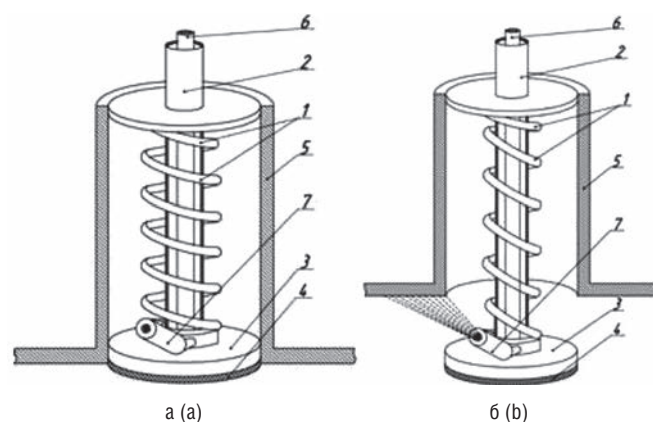


Рис. 2. Вид стаканов в разрезе при задвинутом штоке (а)

и при выдвинутом штоке (б): 1 – пружина;
2 – полый шток; 3 – крышка; 4 – резиновая накладка; 5 – стакан; 6 – трубки
подачи жидкости; 7 – форсунка /
Fig. 2. View of the cups in section with the stem retracted (a), with the stem
extended (b): 1 – spring; 2 – hollow stem; 3 – cover; 4 – rubber cover; 5 – cup;
6 – liquid supply tubes; 7 – nozzle

Работа устройства

До момента, когда экскаватор начинает движение, его лыжи находятся в поднятом положении, а опорная база остается на подошве уступа. При начале движения лыжи опускаются, а опорная база поднимается. При этом пружина 1, расположенная на полом штоке 2, распрямляется и тем самым выталкивает соединенную со штоком крышку 3. Крышка выполнена в форме круга и имеет резиновую накладку 4 со стороны контакта с грунтом для уменьшения риска налипания и намерзания породы в области стыка со стаканом 5. После того как крышка оказалась в выдвинутом положении, машинист экскаватора включает насос для подачи профилактической жидкости (РПС-67, КОС и др.) по трубопроводу к трубке 6, расположенной внутри штока. После чего форсунка 7 распыляет поступившую профилактическую жидкость под давлением на опорную поверхность в виде водовоздушной смеси (рис. 2). Для предотвращения избыточного расхода жидкости перед форсункой предусмотрен обратный клапан, который при отсутствии давления в системе будет закрываться.

Закончив распыление, машинист прекращает подачу

жидкости путем выключения насоса. Далее происходит передвижение и опускание экскаватора и подъем лыж в исходное положение. При опускании сжимается пружина в стакане расположенного на опорной базе, а шток в свою очередь проходит через отверстие, расположенное в верхней части стакана. Опорная база, опускаясь на грунт, закрывает крышкой отверстие в стакане. Устройство, расположенное в лыжах экскаватора, прodelывает аналогичные операции, что и на опорной базе [6–9].

Обоснование основных параметров устройства

Для расчета основных параметров учитываются площади опорных поверхностей шагающих экскаваторов, а также кинематическая вязкость профилактической жидкости. Зная площади опорных поверхностей шагающих экскаваторов разных типоразмеров, определим количество стаканов и тип форсунок для полного орошения днища и лыж, а также всю сопутствующую арматуру для обеспечения работы устройства, к которому относят трубопровод, насос для подкачки жидкости, электродвигатель для работы насоса, а также бак для профилактической жидкости. Также для расчетов общей массы конструкции учтем массу дополнительного оборудования, а именно полого штока, пружины и крышки для затвора отверстия.

Определение основных параметров устройства

При оборудовании опорных поверхностей шагающих экскаваторов предлагаемым устройством первостепенное значение имеет определение характеристик форсунки. Для выполнения данной задачи была выбрана форсунка с полноконусным факелом распыления. Преимуществом таких форсунок является широкий диапазон угла распыления и рабочего давления, что способствует регулированию процесса орошения, а также сравнительно небольшой расход при непрерывном использовании.

Для максимально эффективного использования форсунок был выбран угол распыления = 120°, а использование четырех форсунок вместо трех позволило достичь перекрытия периферийных зон опрыскивания (заштрихованная область) опорной базы профилактической жидкостью (рис. 3).

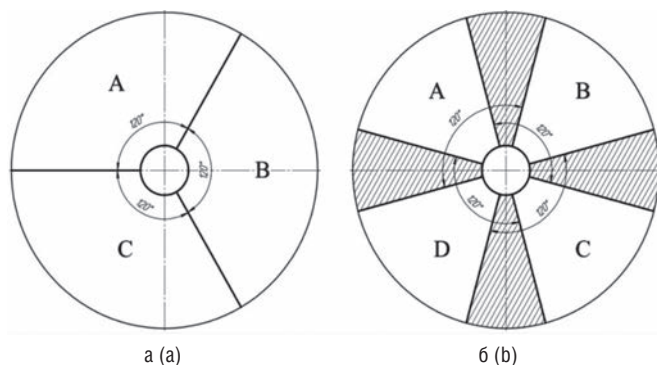


Рис. 3. Схемы распыления при угле = 120° тремя (а) и четырьмя (б) форсунками. А, В, С, D – секторы покрытия профилактической жидкости / Fig. 3. Spray patterns at an angle of 120° with three (a) and four (b) nozzles. A, B, C, and D – are the coverage sectors of the preventive liquid

Количество стаканов на опорной базе определялось графически, применялось параллельно-последовательное соединение форсунок с окружным расположением (рис. 4).

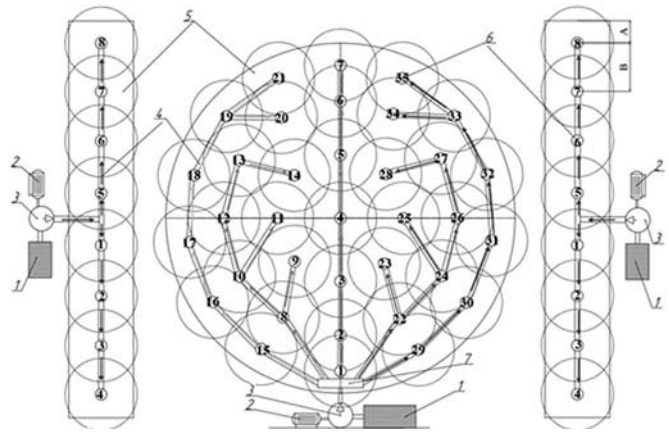


Рис. 4. Окружная с разными диаметрами схема размещения стаканов с зонами распыления для ЭШ-10/70: 1 – бак для жидкости; 2 – электродвигатель; 3 – насос; 4 – трубопровод; 5 – зоны распыления; 6 – стаканы с форсунками; 7 – распределитель; А – расстояние крайнего стакана от кромки лыжи = 60 см; В – расстояние между стаканами В = 140 см /

Fig. 4. Circular layout of cups with spray zones for the ESH-10/70: 1 – liquid tank; 2 – electric motor; 3 – pump; 4 – pipeline; 5 – spray zones; 6 – cups with nozzles; 7 – distributor; A – distance of the outermost cup from the ski edge = 60 cm; B – distance between cups B = 140 cm

Для примера представлен на схеме экскаватор ЭШ-10/70. Отметим, что расположение стаканов на лыжах будет рядным, также параллельно-последовательным. На экскаваторах ЭШ 20/90 и ЭШ 40/85 ввиду большей ширины лыжи стаканы расположены в два ряда. Также каждая лыжа экскаватора снабжена собственным оборудованием для опрыскивания, включающим двигатель, насос и бак.

Для определения расхода профилактической жидкости сначала рассчитаем общее количество форсунок, установленных в стаканах, из расчета четыре форсунки на стакан:

$$y = 4 \sum_{i=1}^{a=\max} n_i = n_1 + n_2 + \dots + n_s, \quad (1)$$

где y – количество форсунок на опорной базе/лыже шагающего экскаватора, шт.;

a – максимальное количество стаканов на опорной базе/лыже, шт.;

n_i – количество стаканов на опорной поверхности, шт.

Определив количество форсунок, находим расход жидкости

$$Q = q \cdot n, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (2)$$

где Q – расход форсунки = 0,072, м³/ч;

n – общее количество форсунок на опорной поверхности, шт.

Так как расход жидкости остается неизменным для выбранного типа форсунок, диаметр трубопровода будет регулироваться за счет изменений скорости потока жидкости. Для того чтобы уменьшить диаметр труб, а соответственно, значительно снизить вес, необходимо увеличивать скорость потока жидкости, что в свою очередь влечет за собой потери давления в системе. Скорость движения жидкости по трубопроводу для разных моделей экскаваторов, а также в зависимости от типа опорной поверхности (лыжи или опорная база) будет приниматься от 0,5 до 2,5 м/с.

Расчет диаметра трубопровода проводим по формуле

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{3600 \cdot \pi \cdot v}}, \text{ мм}, \quad (3)$$

где Q – расход жидкости, м³/ч;

v – скорость движения жидкости, м/с.

Рассчитав внутренний диаметр трубы, принимаем трубу необходимого диаметра и нужной толщиной стенки по ГОСТ-32528-2013.

После определения диаметров трубопровода необходимо произвести расчет мощности насоса по формуле

$$N = \frac{P \cdot Q}{600 \cdot \eta}, \text{ кВт}, \quad (4)$$

где P – необходимое давление, бар;

Q – расход жидкости, м³/ч;

$\eta = 0,8$ – КПД насоса.

Рабочее давление в таком случае необходимо принять 10,5 бар. Давление выбирается с резервом = 5 % для того, чтобы нивелировать потери в трубопроводе.

Взяв за основу время опрыскивания, равную двум секундам, а также зная расход жидкости, потребляемый форсунками, выбирается бак необходимого объема как для лыж, так и для опорной базы с возможностью дозаправки в процессе работы техники, если жидкость закончится в течение смены. Высота бака внутри опорной базы ограничивается ее внутренней высотой, для увеличения объема возможно размещение нескольких сообщающихся баков в смежных секторах.

Объем расходуемой профилактической жидкости рассмотрим на примере ЭШ-10/70. Зная среднюю скорость движения экскаватора и длину шага, находим количество шагов за час передвижения по формуле

$$N_{\text{ш}} = \frac{S}{l}, \quad (5)$$

где S – расстояние передвижения экскаватора за час работы, м;

l – длина шага экскаватора, м.

Зная количество шагов экскаватора, можно найти общее время опрыскивания опорных поверхностей за час передвижения из расчета 2 с/шаг экскаватора. По техническим характеристикам производителя, расход форсунки составляет 0,02 л/сек или же 1,2 л/мин.

Исходя из этого значения находим расход жидкости для одной форсунки за один час движения экскаватора по формуле

$$q_1 = q \cdot t, \text{ л}, \quad (6)$$

где q – расход форсунки = 1,2 л/мин.;

t – время работы форсунки за час движения экскаватора, мин.

Общее количество жидкости для опорной базы и лыж находим по формуле

$$Q = \frac{q_1 \cdot n_{\phi}}{1000}, \text{ м}^3, \quad (7)$$

где q_1 – расход жидкости форсунки на час передвижения, л;

n_{ϕ} – количество форсунок на опорной базе/лыже экскаватора, шт.

Получив необходимые значения по расходу профилактической жидкости, можно рассчитать емкости для ее хранения. Бак будет выполняться индивидуально для каждой опорной базы и лыжи экскаваторов. Высота емкости ограничивается высотой опорной рамы. На лыжах прямоугольная форма емкости ограничивается шириной лыжи и свободным пространством длины лыжи.

Анализируя схемы трубопроводов, заметим, что их длины в окружной схеме равны либо диаметру $2R$ либо $2R - \Delta$, где Δ – максимальное расстояние наложения зон распыления от форсунок соседних стаканов (рис. 5).

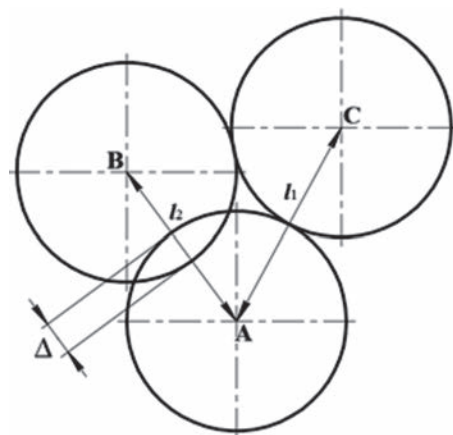


Рис. 5. Схема для расчета длины отрезков трубопровода между стаканами в окружной схеме /

Fig. 5. Diagram for calculating the length of pipeline sections between cups in a circular diagram

В этом случае длину отрезков трубопровода между стаканами для окружной и квадратной схем найдем по формулам

$$AC = l_1 = 2R, \text{ м}, \quad (8)$$

где $AC (l_1)$ – расстояние между стаканами, м;

R – радиус зоны орошения, м.

$$AB = l_2 = 2R - \Delta, \text{ м}, \quad (9)$$

где $AB (l_2)$ – расстояние между стаканами, м;

R – радиус зоны орошения, м;

Δ – расстояние наложения зон = 0,4 м.

Для расчета общей длины трубопровода необходимо определить количественный показатель отрезков l_1 и l_2 для каждого из рассматриваемых типоразмеров экскаваторов, ориентируясь на представленные выше схемы, по формуле

$$L = \sum_{i=1}^{n=\max} l_1 + \sum_{i=1}^{n=\max} l_2, \text{ м}, \quad (10)$$

где n – количество стаканов, шт.;

l_1 – длина отрезка без учета длины наложения Δ , м;

l_2 – длина отрезка с учетом длины наложения Δ , м.

Заключительным этапом становится расчет массы вспомогательных элементов, расположенных на лыжах и опорной базе. Для этого достаточно рассчитать массу элементов, находящихся в одном стакане, и умножить на количество стаканов, находящихся на опорных поверхностях рассматриваемых моделей экскаваторов.

Массу элементов m , находящихся в одном стакане, определим по формуле

$$m = 2m_1 + m_2 + m_3 + m_4, \text{ кг}, \quad (11)$$

где m_1 – масса крышки = 0,4 кг;

m_2 – масса штока = 0,92 кг;

m_3 – масса пружины = 0,5 кг;

m_4 – масса стакана = 0,88 кг.

Полученные значения для каждого из параметров представлены в таблице.

Таблица / Table

**Основные параметры устройства
для рассматриваемых типоразмеров экскаватора /
Main device parameters for the excavator sizes under consideration**

Параметр	ЭШ-6/45	ЭШ-10/70	ЭШ-11/75	ЭШ-20/90	ЭШ-40/85
Количество форсунок на одной / двух лыжах	20 / 40	32 / 64	32 / 64	64 / 128	112 / 224
Количество форсунок на опорной базе	84	140	152	248	368
Общее количество форсунок	124	204	216	376	592
Суммарный расход жидкости на опорные поверхности, м³/ч	8,93	14,68	15,55	27,06	42,5
Скорость передвижения, м/с	0,133	0,055	0,055	0,023	0,014
Длина шага, м	1,5	1,5	1,5	2	2,4
Количество шагов в час	320	132	132	40	21
Расход жидкости на опорной базе при окружном варианте, м³/ч	1,079	0,740	0,803	0,397	0,309
Расход жидкости на одной лыже, м³/ч	0,257	0,169	0,169	0,103	0,094
Суммарный объем жидкости, м³	1,593	0,972	1,12	0,648	0,514

Продолжение таблицы / Continuation of the table

Параметр	ЭШ-6/45	ЭШ-10/70	ЭШ-11/75	ЭШ-20/90	ЭШ-40/85
Длина трубопровода опорной базы, м	33	58,2	60,8	103,1	155,05
Масса трубопровода опорной базы, кг	124,41	232,22	242,6	495,9	745,8
Общая масса трубопровода, кг	142,61	275,62	286	649,72	904,02
Масса вспомогательных элементов опорной базы, кг	65,1	108,5	117,8	192,2	285,2
Общая масса конструкции, кг	238,71	433,72	453,4	941,12	1362,82

Общая масса конструкции рассчитана без учета массы электродвигателя и насоса, так как они могут быть заменены на аналоги, отчего будет изменяться и общая масса предлагаемого устройства. Емкость бака для профилактической жидкости может быть увеличена за счет размещения в соседних секторах опорной базы дополнительных сообщающихся емкостей. Поэтому конечная масса устройства будет варьироваться в зависимости от установленных на экскаваторе электродвигателя и насоса, а также параметрами емкостей с профилактической жидкостью [10–15].

Таким образом, определены основные количественные и массогабаритные параметры устройства с применением профилактической жидкости для орошения опорных поверхностей шагающих экскаваторов различных типоразмеров.

Заключение

В данной работе для борьбы с высокой адгезией опорных поверхностей шагающих экскаваторов предложено устройство по орошению профилактической жидкостью.

Представлены схемы устройства с применением форсунок и обоснованы основные параметры устройства. Рассчитаны количественные характеристики и установлены зависимости расхода материала для рассматриваемых моделей шагающих экскаваторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Rahimi B., Sharifzadeh M., Feng X.-T. Ground behaviour analysis, support system design and construction strategies in deep hard rock mining – Justified in Western Australian's mines. *Journal of rock mechanics and geotechnical engineering*. 2020; 12 (1): 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2019.01.006>.
2. Gell E.M., Walley S.M., Braithwaite C.H. Review of the validity of the use of artificial specimens for characterizing the mechanical properties of rocks. *Rock Mechanics and Rock engineering*. 2019; 3: 1-13. <https://doi.org/10.1007/s00603-019-01787-8>.
3. Киргизов Р.С., Минеев Д.А. Обзор полимерных покрытий для снижения адгезии грунтов к рабочим органам машин. *Аспирант*. 2015; 9: 36-39.
Kirgizov R.S., Mineev D.A. Review of Polymer Coatings for Reducing Soil Adhesion to Machine Components. *Graduate Student*. 2015; 9: 36-39. (In Russ.).
4. Ismael M., Abdelghafar K., Sholqamy M., Elkarmoty M. Performance prediction of hydraulic breakers in excavation of a rock mass. *Rudarsko-geološko-naftni zbornik (The Mining-Geology-Petroleum Engineering Bulletin)*. 2021; 36 (4): 107-119. <https://doi.org/10.17794/rgn.2021.4.9>.
5. Корнилов С.В., Кравчук И.Л., Пикалов В.А. О прогнозе возникновения опасных производственных ситуаций на угольных разрезах. *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*. 2024; 6: 59-71. <https://doi.org/10.21440/0536-1028-2024-6-59-71>.
Kornilov S.V., Kravchuk I.L., and Pikalov V.A. On the Prediction of Dangerous Production Situations at Coal Deposits. *News of Higher Education Institutions. Mining Journal*. 2024; 6: 59-71. (In Russ.). <https://doi.org/10.21440/0536-1028-2024-6-59-71>.
6. Суслов Н.М., Суслов Д.Н. Совершенствование шагающего ходового оборудования с гидроприводом. *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*. 2015; 8: 90-94.
Suslov N.M., Suslov D.N. Improvement of Stepping Walking Equipment with a Hydraulic Drive. *News of Higher Education Institutions. Mining Journal*. 2015; 8: 90-94. (In Russ.).

7. Авт. свид. 1081299 СССР, МПК E02F 9/04. Шагающий экскаватор / Э.П. Жиронкин, Л.Л. Сырнева, Ю.В. Лавренко. Заявка №3471206 от 04.06.82; опубл. 23.03.1984, Бюл. № 11.
A.S. 1081299 USSR, IPC E02F 9/04. Walking excavator / E.P. Zhironkin, L.L. Syrneva, Yu.V. Lavrenko. Application No. 3471206 dated 04.06.82; published on 23.03.1984, Bulletin No. 11. (In Russ.).
8. Подэрни Р.Ю. Шагающие драглайны на открытых разработках. Москва, 1980: 70.
Poderny R.Yu. Walking Draglines in Open-Pit Mining. Moscow, 1980: 70.
9. Дунаевская М.П. Разработка и обоснование эффективных средств защиты емкостей транспортного и перегрузочного оборудования от прилипания и примерзания горной массы. Москва, 1984: 17.
Dunaevskaya M.P. Development and substantiation of effective means of protecting the containers of transport and handling equipment from sticking and freezing of rock mass. Moscow, 1984: 17. (In Russ.).
10. Демченко И.И., Васильев С.Б., Косолапов А.И. Способы и средства борьбы с налипанием и намерзанием породы на карьерных автосамосвалах: монография. Москва, 2008: 164.
Demchenko I.I., Vasilyev S.B., Kosolapov A.I. Methods and Means of Combating Adherence and Freezing of Rock on Quarry Dump Trucks: Monograph. Moscow, 2008: 164. (In Russ.).
11. Лагунова Ю.А., Комиссаров А.П., Шестаков В.С. Проектирование карьерных экскаваторов. Москва, 2017: 228.
Lagunova Yu.A., Komissarov A.P., and Shestakov V.S. Design of Quarry Excavators. Moscow, 2017: 228. (In Russ.).
12. Авт. свид. 1407874 СССР. Способ предотвращения налипания и намерзания горной массы на ленту конвейера и устройство для его осуществления / В.И. Мочалов, С.А. Гончаров, А.Ф. Алексеев, Л.Д. Гольдис, А.М. Смородов, А.В. Сытник, Г.А. Янченко, Т.И. Янченко. Заявка № 3986504 от 10.12.85; опубл. 07.07.1988. Бюл. № 25.
Autor. svid. 1407874 USSR. A method for preventing the adhesion and freezing of rock mass on a conveyor belt and a device for implementing it / V.I. Mochalov, S.A. Goncharov, A.F. Alekseev, L.D. Goldis, A.M. Smorodov, A.V. Sytnik, G.A. Yanchenko, and T.I. Yanchenko. Application No. 3986504 dated 10.12.85; published on 07.07.1988. Bulletin No. 25. (In Russ.).
13. Патент 2828513 РФ. Устройство для предотвращения налипания и намерзания горной массы к днищу опорной базы и лыжам шагающего экскаватора / И.И. Демченко, Д.Ю. Крицкий, А.И. Демченко, Н.А. Попов. Заявка № 2024105439 от 04.03.2024; опубл. 14.10.2024. Бюл. № 29.
Patent 2828513 of the Russian Federation. Device for preventing sticking and freezing of rock mass to the bottom of the support base and skis of a walking excavator / I.I. Demchenko, D.Yu. Kritsky, A.I. Demchenko, N.A. Popov. Application No. 2024105439 dated 04.03.2024; published 14.10.2024. Bulletin No. 29.
14. Груздев А.В., Бойко Г.Х. Шагающие экскаваторы-драглайны производства корпорации ОМЗ. Горная промышленность. 2003; 3: 16–20.
Gruzdev A.V., Boyko G.Kh. Walking dragline excavators manufactured by the OMZ Corporation. Mining Industry. 2003; 3: 16-20. (In Russ.).
15. Суслов Н.М. Эксплуатационные характеристики существующих шагающих механизмов одноковшовых экскаваторов. Горное оборудование и электромеханика. 2013; 8: 11-14.
Suslov N.M. Operating Characteristics of Existing Walking Mechanisms of Single-Bucket Excavators. Mining Equipment and Electromechanics. 2013; 8: 11-14. (In Russ.).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Игорь Иванович Демченко –

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры горных машин и комплексов, Сибирский федеральный университет, институт цветных металлов, г. Красноярск, Российская Федерация

Никита Анатольевич Попов –

аспирант, ассистент кафедры горных машин и комплексов, Сибирский федеральный университет, институт цветных металлов, г. Красноярск, Российская Федерация; e-mail: marovina@mail.ru

Ольга Сергеевна Игнатова –

кандидат технических наук, доцент кафедры горных машин и комплексов Сибирский федеральный университет, институт цветных металлов, г. Красноярск, Российская Федерация

Виктор Игоревич Брагин –

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры обогащения полезных ископаемых, Сибирский федеральный университет, институт цветных металлов, г. Красноярск, Российская Федерация

Егор Анатольевич Антонов –

заместитель главного механика, Балахтинский филиал ООО «Сибуголь» разрез «Большеесырский», с. Большие Сыры, Российская Федерация

ABOUT THE AUTHORS

Igor I. Demchenko –

Dr. Sci. (Eng.), Professor, Professor of the Department of Mining Machines and Complexes, Siberian Federal University, Institute of Non-Ferrous Metals, Krasnoyarsk, Russian Federation

Nikita A. Popov –

Postgraduate Student, Assistant of the Department of Mining Machines and Complexes, Siberian Federal University, Institute of Non-Ferrous Metals, Krasnoyarsk, Russian Federation; e-mail: marovina@mail.ru

Olga S. Ignatova –

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Mining Machines and Complexes, Siberian Federal University, Institute of Non-Ferrous Metals, Krasnoyarsk, Russian Federation

Viktor I. Bragin –

Dr. Sci. (Eng.), Professor, Professor of the Department of Mineral Processing, Siberian Federal University, Institute of Non-Ferrous Metals, Krasnoyarsk, Russian Federation

Egor A. Antonov –

Deputy Chief Mechanic, Balakhtinsky Branch of Sibugol LLC, Bolshosirsky Mine, Krasnoyarsk region, Balakhtinsky District, Bolshie Siry village, Russian Federation

Критерии авторства:

Авторы внесли равный вклад в проведение исследования и подготовку статьи.

Конфликт интересов:

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о статье

Поступила в редакцию: 13.03.2026

Поступила после рецензирования: 29.03.2026

Принята к публикации: 05.04.2026

Contribution:

The authors contributed equally to the research and preparation of the manuscript.

Conflict of interest:

The authors declare no conflict of interest.

Article info

Received: 13.03.2026

Revised: 29.03.2026

Accepted: 05.04.2026