

ГЕОТЕХНОЛОГИЯ, ГОРНЫЕ МАШИНЫ/GEOTECHNOLOGY, MINING MACHINES

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.170.107> EDN: RWTZHOТЕХНИЧЕСКОЕ ПРЕДЛОЖЕНИЕ О ПРЕДОТВРАЩЕНИИ АДГЕЗИИ К ОПОРНЫМ ПОВЕРХНОСТЯМ
ШАГАЮЩИХ ЭКСКАВАТОРОВ

Научная статья

Демченко И.И.¹, Попов Н.А.^{2,*}, Игнатова О.С.³, Брагин В.И.⁴¹ORCID : 0009-0009-5103-4773;²ORCID : 0009-0003-1030-1018;³ORCID : 0009-0002-2870-3966;⁴ORCID : 0000-0001-5487-7789;^{1, 2, 3, 4} Сибирский федеральный университет, Красноярск, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (marovina[at]mail.ru)

Предложена: 11.03.2026; Принята: 22.07.2026; Опубликовано: 17.08.2026

Аннотация

В данной статье представлен вариант борьбы с налипанием и намерзанием горной массы на опорные поверхности шагающих экскаваторов при помощи размещения под опорной базой и лыжами армированной полиэтиленовой пленки. За основу взяты полученные экспериментальным путем данные, проведенные в институте цветных металлов Сибирского федерального университета по определению сил отрыва горных масс к различным материалам при различных температурных условиях, которые подтвердили низкую адгезию полиэтилена (0,013 кН против 3,258 кН при температуре -15 С°). В основе предложенного устройства для уменьшения адгезии лежит армированная полиэтиленовая пленка. Представлена схема, на основании которой произведен расчет основных параметров устройства, исходя из габаритов опорных поверхностей рассматриваемых шагающих экскаваторов. Заключительным этапом стал расчет основных параметров элементов конструкции для ряда используемых шагающих экскаваторов и анализ полученных значений.

Ключевые слова: шагающий экскаватор, опорные поверхности, адгезия, налипание горной массы, полиэтиленовая пленка, методы борьбы с адгезией.

TECHNICAL PROPOSAL FOR PREVENTING ADHESION TO THE BEARING SURFACES OF WALKING
EXCAVATORS

Research article

Demchenko I.I.¹, Popov N.A.^{2,*}, Ignatova O.S.³, Bragin V.I.⁴¹ORCID : 0009-0009-5103-4773;²ORCID : 0009-0003-1030-1018;³ORCID : 0009-0002-2870-3966;⁴ORCID : 0000-0001-5487-7789;^{1, 2, 3, 4} Siberian Federal University, Красноярск, Russian Federation

* Corresponding author (marovina[at]mail.ru)

Suggested: 11.03.2026; Accepted: 22.07.2026; Published: 17.08.2026

Abstract

The article presents a method for preventing rock mass from sticking to and freezing onto the bearing surfaces of walking excavators by placing reinforced polyethylene film beneath the support base and tracks. The approach is based on experimental data obtained at the Institute of Non-Ferrous Metals of Siberian Federal University, which determined the forces required to remove rock material from various materials under different temperature conditions; these results confirmed the low adhesion of polyethylene (0.013 kN versus 3.258 kN at a temperature of -15C°). The proposed device for reducing adhesion is based on reinforced polyethylene film. A schematic diagram is presented, based on which the main parameters of the device were calculated, taking into account the dimensions of the bearing surfaces of the walking excavators under consideration. The final stage involved calculating the key parameters of the structural elements for a range of walking excavators in use and analysing the resulting values.

Keywords: walking excavator, bearing surfaces, adhesion, rock mass adhesion, polyethylene film, methods for preventing adhesion.

Введение

На горнодобывающих предприятиях, в частности на вскрышных участках широко используются шагающие экскаваторы. Передвижения шагающих экскаваторов происходит за счет подъемных и тяговых гидроцилиндров опорных лыж, которые, в свою очередь, выдвигаются и опускаются на подошву уступа. Затем подъемными гидроцилиндрами со стороны противоположной стреле опорная рама отрывается от уступа и с помощью тяговых гидроцилиндров происходит сдвиг экскаватора в нужном направлении [1], [2], [3]. Сторона опорной базы со стороны стрелы находится на подошве уступа и скользит по нему. При трении скольжения возникает абразивный износ

нижнего настила опорной базы, а также увеличивается вероятность возникновения трещин в секциях опорной рамы. Жиронкин Э.П. и соавторы [4], [5] предлагают исключить трение скольжения опорной базы о грунт путем размещения по периметру эксцентрично установленных катков (рисунок 1). Что решает проблему износа настила.

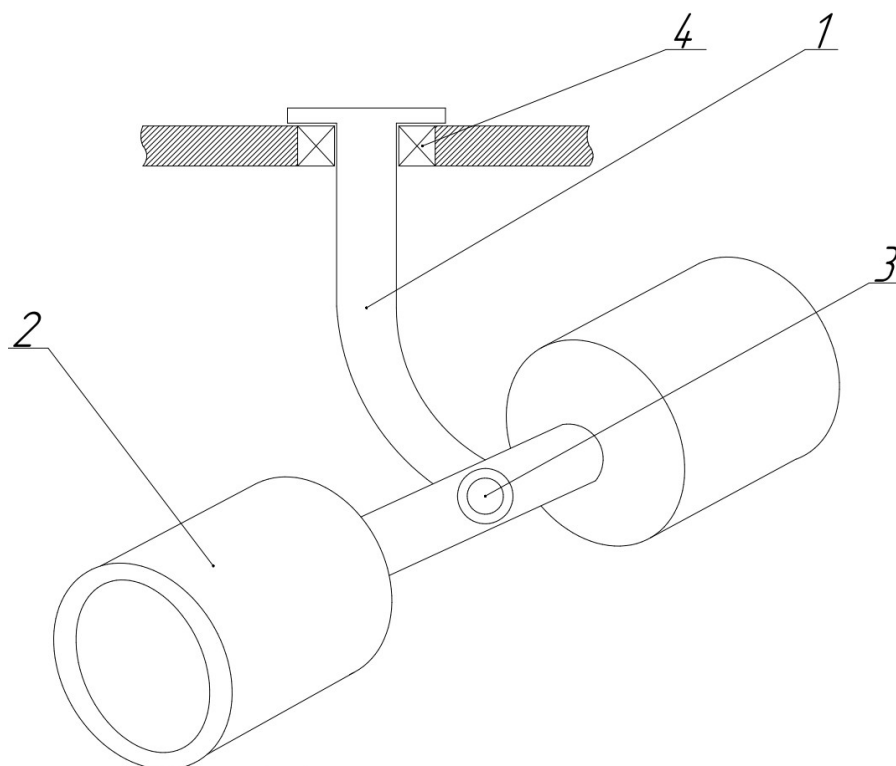


Рисунок 1 - Устройство с применением катков на опорной базе:

1 – кронштейн; 2 – каток; 3 – цапфа, 4 – подшипник

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.170.107.1>

Как известно, для борьбы с налипанием и намерзанием горной массы на рабочие поверхности горнотранспортного оборудования, используют материалы с низкой адгезией. К таким материалам можно отнести и полиэтилен. Для обеспечения изоляции опорной рамы и снижения адгезии, предлагается устройство, в основе которого лежит армированная полиэтиленовая пленка [6], [7], [8]. В таком случае применение опорных катков позволяет разместить под нижним настилом опорной базы выбранный материал с низкими адгезионными свойствами.

Методы и принципы исследования

Как было сказано ранее, для решения задачи прилипания и примерзания горных масс на опорные поверхности шагающего экскаватора предлагается использовать армированную полиэтиленовую пленку. Для этого в нижнем настиле опорной рамы и лыжах выполнены прорезы вдоль продольной оси экскаватора, делящие днище опорной базы на сегменты. Прорезы, в свою очередь, сопряжены с П-образными стальными профилями, полки которых также параллельны продольной оси экскаватора (рис. 2). Важным моментом здесь является то, что ширина прорезы должны соответствовать ширине полки тавровой балке, для достижения ровного стыка.

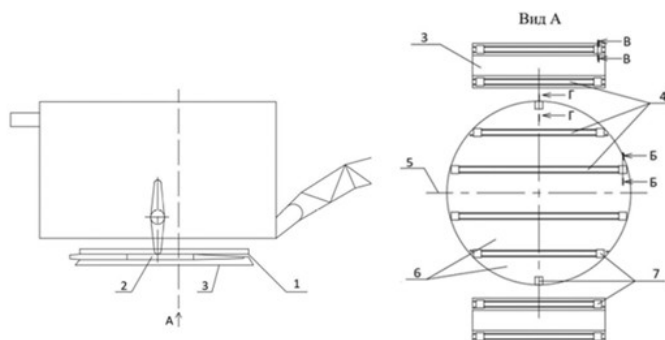


Рисунок 2 - Фронтальный вид экскаватора и вид А с расположением прорезей для балок на лыжах и опорной базе:
1 – опорная база экскаватора; 2 – поворотная платформа; 3 – лыжи; 4 – прорезы; 5 – продольная ось экскаватора; 6 – сегменты днища; 7 – П-образный профиль

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.170.107.2>

В П-образном профиле выполнено отверстие для прохода штока в пространство опорной базы, с одной стороны, а ответная часть штока крепится к стойке тавровой балки. На самом же штоке располагается пружина необходимая для выталкивания тавровой балки из прорези, крепеж пружины осуществлен путем упора в верхней части П-образного профиля.

Данные рамки состоят из стальных уголков меньшего размера, снабженные свободно вращающимися колесами и фиксаторами. Колеса необходимы для упрощения процесса монтажа рамки, а фиксаторы предотвращают произвольные выдвижения конструкции (рис. 3).

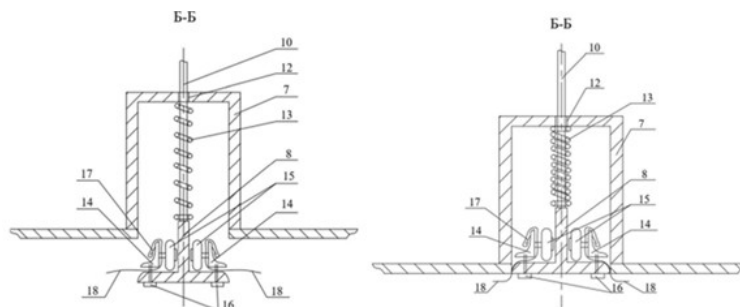


Рисунок 3 - Разрез Б-Б рисунка 1, при выдвинутой и задвинутой тавровой балке:

7 – П-образный профиль; 8 – тавровая балка; 10 – шток; 12 – отверстие; 13 – пружина; 14 – рамка; 15 – колесо; 16 – фиксатор; 17 – крепежный элемент; 18 – материал с низкими адгезионными свойствами

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.170.107.3>

Материал с низкими адгезионными свойствами, в данном случае полиэтиленовая пленка, крепится к рамке при помощи крючков. Для обеспечения большей долговечности, пленку в случае необходимости можно сложить в несколько слоев. Сами рамки, устанавливаемые на полки тавровых балок в прорези днища опорной базы выполнены таким образом, чтобы полностью перекрывать сегменты опорной поверхности базы. Установка рамок осуществляется исключительно при выдвинутых тавровых балках или уголке.

Предлагаемое устройство для предотвращения налипания и намерзания горной массы к опорным поверхностям шагающего экскаватора работает следующим образом. Как было сказано ранее, во время начала движения экскаватора его опорная база находится на подошве уступа, а лыжи находятся в поднятом положении. При этом пружина, находящаяся на штоке внутри П-образного профиля, разжимается и выталкивает тавровую балку с рамками наружу. После опускания лыж на грунт тавровая балка задвигается внутрь прорези, соответственно при поднимании опорной базы, процесс повторяется с днищем экскаватора и чередуется до окончания передвижения [10].

Выбор основных параметров устройства по предотвращению налипания и намерзания горных масс представленных на рисунке 4, осуществляется исходя из площади опорной базы и лыж шагающих экскаваторов различных типоразмеров, а также ширины полиэтиленовой пленки.

Для установки рамок необходимы такие сопутствующие детали как, П-образный профиль, шток, пружина, тавр и уголок. Как сказано выше, пружина предназначена для выталкивания уголка или тавра в случае примерзания горной массы при передвижении по влажной породе и отрицательных температурах. Однако большая сила упругости в данном случае не нужна, так как, при положительных температурах выход уголка и тавра обеспечивается за счет их собственного веса. Если силы от веса уголка и тавра, а также упругости пружины недостаточно, то выход из прорези обеспечивается динамическим воздействием на шток. Для достижения наибольшей износостойкости покрытия, полиэтиленовую пленку допустимо складывать вдвое — это увеличит толщину покрытия и продлит срок службы. В случае нарушения целостности покрытия, возможна частичная замена полотна благодаря конструкции с составными рамками.

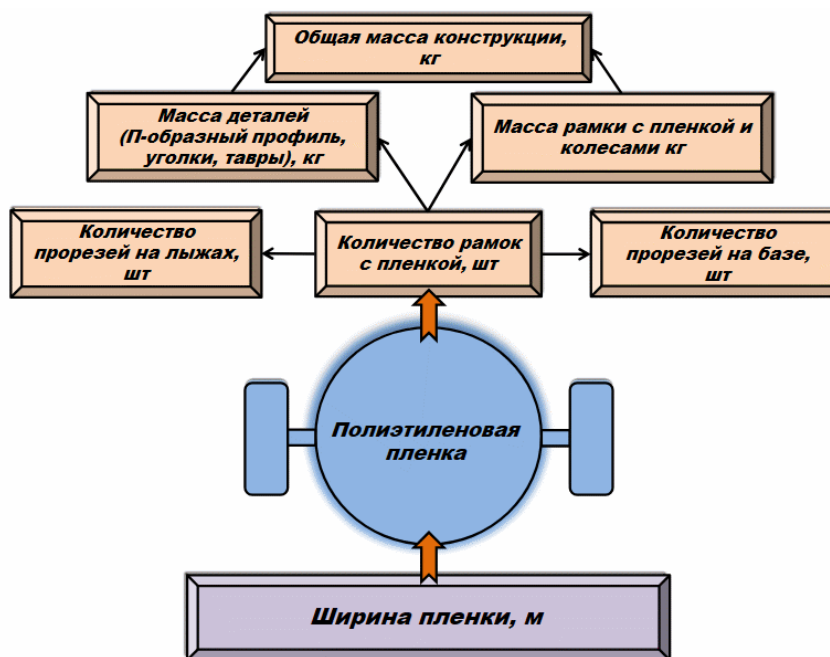


Рисунок 4 - Схема параметров устройства для борьбы с налипанием и намерзанием на опорные поверхности шагающих экскаваторов с применением полиэтиленовой пленки
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.170.107.4>

Определение основных параметров устройства

При оборудовании опорных поверхностей шагающих экскаваторов первостепенное значение имеет определение габаритов и массы рамок, к которым крепится полиэтиленовая пленка, так как монтаж предполагается осуществлять вручную. Для изготовления рамок применим не равнополочный уголок с размерами 40х30 мм массой 2,26 кг на погонный метр. Полиэтиленовая пленка изготавливается разной ширины, за основа принята ширина пленки 3 м, такой размер полотна позволяет исключить частое расположение прорезей, а также позволяет использовать пленку при необходимости в два слоя. Разрешенный вес подъема груза составляет 30 кг согласно правилам охраны труда [11], и исходя из этих критериев, опорные поверхности экскаватора делим на сегменты.

На рисунке 5 представлены схемы расположения прорезей для экскаваторов ЭШ-6/45, ЭШ-10/70 и ЭШ-40/85. На примере ЭШ-40/85 предлагается деление рамок на составные части для экскаваторов с большими диаметрами опорных баз. Расстояние при этом выбиралось таким образом, чтобы соблюдать вышеназванные критерии.

Выбрав оптимальное расстояние между прорезями, определим длину уголка рамки, как длину хорды по формуле 1. Так как оба уголка рамки жестко соединены между собой стальной дугой с фронтальной стороны, то найдем их длины по формуле 2.

$$L = 2R \cdot (\sin \alpha / 2) \quad (1)$$

где, R — радиус опорной базы, м; α — центральный угол, град.

$$L = \pi R \alpha / 180 \quad (2)$$

где, R — радиус опорной базы, м; α — центральный угол, град.

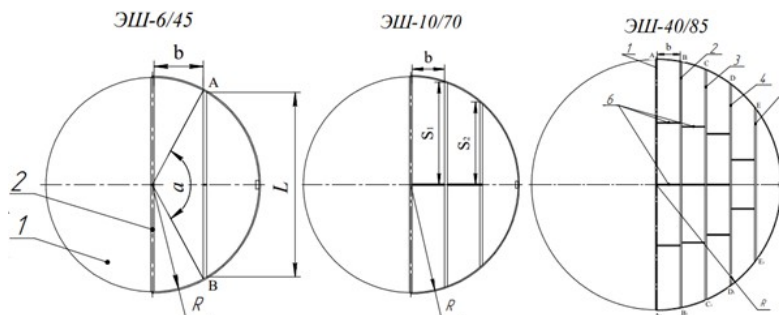


Рисунок 5 - Схема расположения прорезей и расположение составных частей рамок для ЭШ-6/45, ЭШ-10/70 и ЭШ-40/85:

1 – опорная база; 2 – прорезь; α – центральный угол, град.; L – длина хорды (тавра, уголка), м; R – радиус опорной базы $R = 3,85$ для ЭШ-6/45, $R = 4,85$ для ЭШ-10/70, $R = 9$ для ЭШ-40/85, м; b – ширина рамки $b = 1,75$ для ЭШ-6/45, $b = 1,5$ для ЭШ-10/70, $b = 1,67$ для ЭШ-40/85, м; S_1 – длина уголка рамки ближе к центру опорной базы, м; S_2 – длина меньшего уголка рамки, м; 1,2,3,4,5 – номера хорд от центра к периферии; 6 – перемычки; AFA₁, BFB₁, CFC₁, DFD₁, EFE₁ – обозначения дуг

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.170.107.5>

При этом расчет дуг ведется от периферии к центру вдоль горизонтальной оси экскаватора, а для дуг кроме крайней боковой, расчет ведется по формуле 3.

$$L = 0,5 \cdot (\pi R \alpha / 180 - \Sigma L_1) \quad (3)$$

где, R — радиус опорной базы экскаватора, м; α — центральный угол, град;

ΣL_1 — сумма длин предыдущих дуг, м.

Вес одной цельной (от дуги до дуги) рамки получился существенным и превышает допустимый вес ручного подъема. Поэтому на экскаваторах с большой площадью опорной базы предлагается располагать на таврах составные рамки меньшей длины, соединяя уголки рамки в центральной части экскаватора (рис. 5) фигурной пластиной (перемычкой). Полученные значения параметров представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Количественные показатели элементов конструкции с использованием полиэтиленовой пленки

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.170.107.6>

Параметры	ЭШ-6/45	ЭШ-10/70	ЭШ-11/75	ЭШ-20/90	ЭШ-40/85
Количество рамок на опорной базе, шт	8	12	12	22	34
Количество рамок на лыжах, шт	4	4	4	6	6
Масса тавров на опорной базе, кг	113,5	227,6	254,4	466,8	733,6
Масса тавров на лыжах, кг	149,2	234,5	247,3	277,2	351,8
Масса деталей (п-образный профиль, пружина, шток) на опорной базе, кг	67,52	101,3	101,3	135,1	168,8
Масса деталей (п-образный профиль, пружина, шток) на лыжах, кг	67,52				
Масса пленки на опорной базе, кг	10	15	20	35	50



Параметры	ЭШ-6/45	ЭШ-10/70	ЭШ-11/75	ЭШ-20/90	ЭШ-40/85
Масса пленки на лыжах, кг	10	18	20	30	52
Общий вес рамок на опорной базе, кг	144,36	254	283,2	512,12	809,4
Общий вес рамок на лыжах, кг	80,8	113,1	114,16	148,56	201,48
Общий вес конструкции, кг	642,9	1031	1108,32	1672,3	2082,8

Заключение

Для борьбы с адгезией на опорные поверхности шагающих экскаваторов предложено устройство по размещению под опорной базой и лыжами рамок с полиэтиленовой пленкой которое позволит минимализировать возможности налипания и намерзания грунта до 70% по сравнению с необработанной поверхностью. Представлены схемы расположения рамок с антиадгезионным материалом который при своем износе легко заменить на новый, а также математическая модель расчета основных элементов конструкции. Рассчитаны количественные характеристики и установлены зависимости расхода материала для рассматриваемых моделей шагающих экскаваторов. Данное техническое предложение обладает малым весом конструкции, доступными материалами и небольшими затратами при использовании.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Сабиров Н.А., Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, Казань Российская Федерация
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.170.107.7>

Conflict of Interest

None declared.

Review

Sabirov N.A., Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan Russian Federation
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.170.107.7>

Список литературы / References

1. Таразанов И.Г. Итоги работы угольной промышленности России за январь – сентябрь 2021года / И.Г. Таразанов // Уголь. — 2022. — 1. — С. 47–58.
2. Плакиткин Ю.А. Уголь как основа большого цивилизационного «скачка» и новых возможностей мирового развития / Ю.А. Плакиткин, Л.С. Плакиткина, К.И. Дьяченко // Уголь. — 2022. — 8. — С. 77–83.
3. Корнилов С.В. О прогнозе возникновения опасных производственных ситуаций на угольных разрезах / С.В. Корнилов, И.Л. Кравчук, В.А. Пикалов // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. — 2024. — 6. — С. 59–71.
4. Авторское свидетельство 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.
5. Подэрни Р.Ю. Шагающие драглайны на открытых разработках / Р.Ю. Подэрни. — Москва: НИИИнформтяжмаш, 1968. — 71 с.
6. Дунаевская М.П. Разработка и обоснование эффективных средств защиты емкостей транспортного и перегрузочного оборудования от прилипания и примерзания горной массы dis. ...Candidate of Technical Sciences: 05.05.06 / М.П. Дунаевская. — Москва. — 255 с.
7. Демченко И.И. Способы и средства борьбы с налипанием и намерзанием породы на карьерных автосамосвалах : монография / И.И. Демченко, С.Б. Васильев, А.И. Косолапов. — Москва: ИПК Сиб. федер. ун-та, 2008. — 164 с.
8. Лагунова Ю.А. Проектирование карьерных экскаваторов / Ю.А. Лагунова, А.П. Комиссаров, В.С. Шестаков. — Москва: Инновационное машиностроение, 2017. — 228 с.
9. Авторское свидетельство 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 [и др.]. — Заявка № 3986504 от 10.12.85 ; опубл. 07.07.1988, Бюл. № 25.
10. Пат. 2828513 Российская Федерация, МПК E02F 9/24. Устройство для предотвращения налипания и намерзания горной массы к днищу опорной базы и лыжам шагающего экскаватора / Демченко И.И., Крицкий Д.Ю., Попов Н.А. и др.; заявитель и патентообладатель Сибирский федеральный университет. — № 2024105439; заявл. 2024-03-04; опубл. 2024-10-14, — 9 с.
11. Правила по охране труда при погрузочно-разгрузочных работах и размещении грузов : утверждены приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 28.10.2020 № 753н. — URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_370924/ (дата обращения: 05.05.2026).



Список литературы на английском языке / References in English

1. Tarazanov I.G. Itogi raboty ugol'noj promy'shlennosti Rossii za yanvar' – sentyabr' 2021 goda [Results of the Russian Coal Industry in January–September 2021] / I.G. Tarazanov // Coal. — 2022. — 1. — P. 47–58. [in Russian]
2. Plakitkin Yu.A. Ugol' kak osnova bol'shogo civilizatsionnogo «skachka» i novy'x vozmozhnostej mirovogo razvitiya [Coal as the Basis of a Great Civilization “Leap” and New Opportunities for Global Development] / Yu.A. Plakitkin, L.S. Plakitkina, K.I. D'yachenko // Coal. — 2022. — 8. — P. 77–83. [in Russian]
3. Kornilov S.V. O prognoze vozniknoveniya opasny'x proizvodstvenny'x situatsiy na ugol'ny'x razrezax [On the forecast of occurrence of hazardous production situations at coal mines] / S.V. Kornilov, I.L. Kravchuk, V.A. Pikalov // Proceedings of Universities. Mining Journal. — 2024. — 6. — P. 59–71. [in Russian]
4. Avtorskoe svidetel'stvo 1081299 SSSR, MPK E02F 9/04. Shagajushhij jekskavator [Author's certificate 1081299 USSR, IPC E02F 9/04. Walking excavator] / Je.P. Zhironkin, L.L. Syrneva, Ju.V. Lavrenko. — Application No. 3471206 04.06.82 ; publ. 23.03.1984, Bull. No. 11. [in Russian]
5. Pode'rni R.Yu. Shagayushhie draglajny' na otkryty'x razrabotkax [Walking Draglines in Open-Pit Mining] / R.Yu. Pode'rni. — Moscow: NII Informtyazhmash, 1968. — 71 p. [in Russian]
6. Dunaevskaya M.P. Razrabotka i obosnovanie effektivny'x sredstv zashchity' emkostej transportnogo i peregruzochnogo oborudovaniya ot prilipaniya i primerzaniya gornoj massy' [Development and Justification of Effective Means of Protecting the Capacities of Transport and Handling Equipment from Adhering and Freezing of Rock Mass] dis.....of PhD in : 05.05.06 / М.П. Дунаевская. — Moscow. — 255 p. [in Russian]
7. Demchenko I.I. Sposoby i sredstva bor'by s nalipaniem i namerzaniem porody na kar'ernykh avtosamosvalah [Methods and means of combating rock sticking and freezing on mining dump trucks] : monograph / I.I. Demchenko, S.B. Vasil'ev, A.I. Kosolapov. — Moscow: IPK Sib. feder. un-ta, 2008. — 164 p. [in Russian]
8. Lagunova Ju.A. Proektirovanie kar'ernykh jekskavatorov [Design of mining excavators] / Ju.A. Lagunova, A.P. Komissarov, V.S. Shestakov. — Moscow: Innovacionnoe mashinostroenie, 2017. — 228 p. [in Russian]
9. Avtorskoe svidetel'stvo 1407874 SSSR. Sposob predotvrashheniya nalipaniya i namerzaniya gornoj massy na lentu konvejera i ustrojstvo dlja ego osushhestvleniya [Author's certificate 1407874 USSR. Method for preventing sticking and freezing of rock mass on the conveyor belt and device for its implementation] / V.I. Mochalov, S.A. Goncharov, A.F. Alekseev [et al.]. — Application No. 3986504 10.12.85 ; publ. 07.07.1988, Bull. No. 25. [in Russian]
10. Pat. 2828513 Russian Federation, IPC E02F 9/24. Ustrojstvo dlya predotvrashheniya nalipaniya i namerzaniya gornoj massy' k dnishhu opornoj bazy' i ly'zham shagayushhego e'kskavatora [Device for preventing the adhesion and freezing of rock mass to the bottom of the support base and skis of a walking excavator] / Demchenko I.I., Kriczkij D.Yu., Popov N.A. et al.; the applicant and the patentee Siberian Federal University. — № 2024105439; appl. 2024-03-04; publ. 2024-10-14, — 9 p. [in Russian]
11. Pravila po ohrane truda pri pogruzochno-razgruzochnykh rabotah i razmeshhenii gruzov [Rules on labour protection during loading and unloading operations and placement of goods] : approved by order of the Ministry of Labour and Social Protection of the Russian Federation No. 753n of 28.10.2020. — URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_370924/ (accessed: 05.05.2026). [in Russian]