

УДК 622.357.1:622.244.6:551.34

**ПРОГРАММА РАСЧЕТА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ДРАГЛАЙНА
ПРИ РАЗРАБОТКЕ СМЕРЗАЮЩЕЙСЯ ВЗОРВАННОЙ ГОРНОЙ МАССЫ****Панишев С.В., Миронов Я.В.***Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского, СО РАН, Якутск,
e-mail: bsdpsv@mail.ru, mironoff22ykt@mail.ru*

Разработана программа для расчета показателей бестранспортной усложненной схемы экскавации. Рассмотренная в статье схема экскавации адаптирована к условиям криолитозоны и предназначена для отработки по бестранспортной технологии взорванного массива вскрышных пород, который подвержен повторному смерзанию. Отработка взорванного массива горной породы ведется слоями, по всей длине экскаваторного блока. При этом шагающий экскаватор-драглайн находится на поверхности блока и, перемещаясь вдоль блока, последовательно снимает поверхностный слой породы. Такая схема экскавации и порядок отработки блока обеспечивают максимально возможную производительность экскаватора-драглайна в условиях повторного смерзания взорванной породы, так как экскаватором снимается поверхностный слой, уже подвергшийся некоторой оттайке под воздействием солнечной инсоляции. Для расчета показателей данной бестранспортной усложненной схемы экскавации вначале вводятся параметры экскаваторной заходки в целике, затем задаются параметры буровзрывных работ, определяющие конфигурацию развала взорванной горной массы, и задается модель экскаватора-драглайна. Для расчета объемов экскаваторных работ программой предусмотрены 4 характерных варианта формирования конфигурации развала породы взорванного вскрышного уступа. Влияние вторичного смерзания на эффективность работы экскаватора учитывается специальным алгоритмом расчета производительности драглайна, который предполагает обособленный расчет производительности и времени отработки по каждому обрабатываемому слою экскаваторного блока. Основными вводными данными для расчета производительности драглайна являются размеры экскаваторной заходки, толщина снимаемого слоя породы с поверхности забоя экскаватора за определенный промежуток времени и средняя температура породы в каждом выемочном слое. Для расчета производительности экскаватора при отработке каждого слоя используются ранее установленные зависимости между температурой породы в забое и временем рабочего цикла драглайна. Во взаимосвязи с температурно-климатическим периодом ведения горных работ рассчитываются производительность экскаватора, время отработки каждого выемочного слоя, а затем и время отработки экскаваторного блока.

Ключевые слова: математическая модель, температура породы режим, драглайн, смерзание, производительность**PROGRAM FOR CALCULATING DRAGLINE PERFORMANCE
IN THE DEVELOPMENT OF FROZEN BLASTED ROCK MASS****Panishev S.V., Mironov Ya.V.***Mining Institute of the North named N.V. Cherskiy, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
Yakutsk, e-mail: bsdpsv@mail.ru, mironoff22ykt@mail.ru*

A program has been developed for calculating the indices of a non-transport complicated excavation scheme. The excavation scheme considered in the article is adapted to the conditions of the permafrost zone and is intended for development of the blasted overburden massif, which is subject to repeated freezing, using the non-transport technology. The blasted rock mass is worked out in layers along the entire length of the excavator block. At the same time, a walking dragline excavator is located on the surface of the block, and moving along the block, sequentially removes the surface layer of the rock. This excavation scheme and the block mining procedure ensure the maximum possible performance of the dragline excavator in conditions of repeated freezing of the blasted rock, since the excavator removes the surface layer that has already undergone some thawing under the influence of solar insolation. To calculate the indicators of this non-transport complicated excavation scheme, the parameters of the excavator entry in the pillar are first entered, then the parameters of drilling and blasting operations are set, which determine the configuration of the breakup of the blasted rock mass, and the model of the dragline excavator is set. To calculate the volume of excavation work, the program provides 4 typical options for the formation of the configuration of the rock breakup of the blown overburden ledge. The effect of secondary freezing on the efficiency of the excavator is taken into account by a special algorithm for calculating the dragline performance, which assumes a separate calculation of the productivity and operating time for each excavator block being worked out. The main input data for calculating the dragline performance are the dimensions of the excavator entry, the thickness of the rock layer removed from the bottom of the excavator for a certain period of time, and the average temperature of the rock in each excavation layer. To calculate the performance of an excavator during the development of each layer, the previously established relationships between the temperature of the rock in the bottom hole and the time of the dragline's working cycle are used. In connection with the temperature and climatic period of mining, the performance of the excavator, the time for working out each excavation layer, and then the time for working out the excavator block are calculated.

Keywords: mathematical model, rock temperature regime, dragline, freezing, productivity

Характерными признаками бестранспортной системы разработки являются экскавация, перемещение и укладка вскрышных пород непосредственно в выработанное

пространство одним или несколькими экскаваторами, а основным оборудованием здесь являются экскаваторы-драглайны. Шагающие экскаваторы-драглайны — мощ-

ная и дорогостоящая техника, что требует особого, внимательного подхода к самым различным вопросам ее применения в условиях открытых разработок.

Наиболее значимые исследования в области бестранспортной технологии связаны с расширением области применения бестранспортной технологии на открытых горных работах, обоснованием параметров бестранспортной системы разработки, совершенствованием технологических схем, исследованием эффективности работы экскаватора-драглайна во взаимосвязи с различными факторами, автоматизацией технологических процессов экскаватора, оптимизацией параметров бестранспортной технологии с помощью экономико-математического моделирования и др.

Так, например, вопросы оптимизации и управления временем рабочего цикла драглайна рассмотрены в работах [1, 2], а авторами [3] моделировалась и исследовалась динамика наполнения ковша драглайна во взаимосвязи с его размерам и крупностью материала.

В настоящее время актуальны исследования в области автоматизации технологического процесса драглайна, а также связанные с созданием современных интеллектуальных алгоритмов управления технологическими операциями шагающих экскаваторов-драглайнов [4–6].

В области программного обеспечения заслуживает внимания информационно-программный комплекс Minescal, основной задачей которого является моделирование бестранспортной технологии отработки взорванного массива горной породы [7, 8].

Особенностями ведения открытых горных работ в криолитозоне являются наличие многолетней мерзлоты и суровые климатические условия, которые оказывают значительное влияние на эффективность горнодобывающих предприятий. По результатам исследований, ранее выполненных в ИГДС СО РАН, установлено, что наличие мерзлоты и склонность взорванной горной массы ко вторичному смерзанию значительно осложняют работу экскаваторов-драглайнов, ведут к увеличению времени рабочего цикла и соответственно к снижению производительности. При этом производительность экскаватора-драглайна в различные природно-климатические периоды также значительно изменяется.

Поэтому адаптация бестранспортной технологии к условиям криолитозоны, достоверный прогноз эффективности работы

оборудования являются актуальными научными задачами в области планирования показателей открытой разработки.

Целью исследования, представленного в данной статье, является разработка специализированной программы расчета параметров бестранспортной системы разработки, позволяющей вычислять производительность экскаватора-драглайна в зависимости от температуры породы в забое.

Материалы и методы исследования

Для прогноза производительности драглайна ранее была разработана программа расчета параметров бестранспортной системы разработки. Основой для разработки программы послужили исследования влияния смерзания взорванных вскрышных пород на производительность экскаватора. Это позволяло приближенно оценить производительность драглайна во взаимосвязи со средней температурой породы. Современная версия программы, о которой идет речь в данной статье, позволяет более точно вычислить производительность экскаватора, так как учитывает эффективную технологию отработки смерзающей горной массы и распределение температуры по высоте развала взорванной породы.

Основные методы, используемые для решения поставленной задачи: натурные наблюдения (исследования), математическое моделирование и расчеты температурного режима в целике вскрышного уступа и развале взорванной породы.

Результаты исследования и их обсуждение

Исходными данными для оценки производительности драглайна являются результаты предварительного расчета температуры в развале взорванной породы на конкретную дату взрыва. Для расчетной модели прогноза температурного режима при описании деформации массива породы при взрывных работах была принята схема А.В. Гальянова [9] (рис. 1).

Для получения необходимых данных о температурном режиме в развале взорванной породы была разработана специальная программа расчета, учитывающая теплофизические показатели породы и параметры технологической схемы работы экскаватора.

Характерный результат расчета теплового режима в развале взорванной породы применительно к условиям Кангаласского бурогоугольного месторождения представлен на рис. 2.

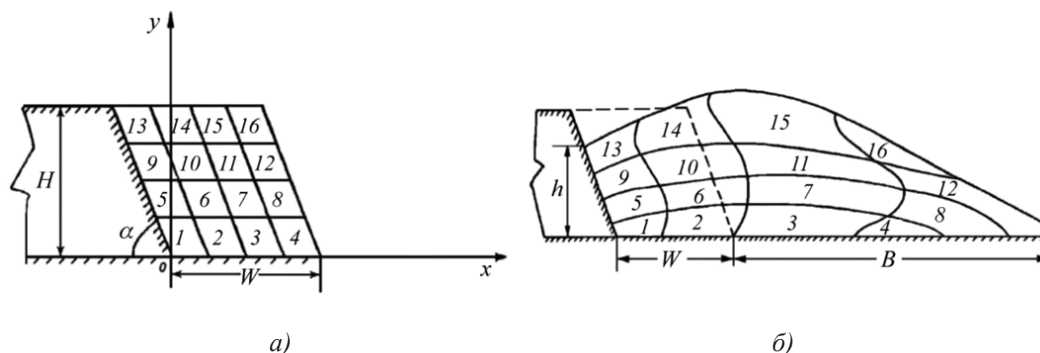


Рис. 1. Схема деформации вскрышного уступа при взрывных работах: а) до взрыва; б) после взрыва

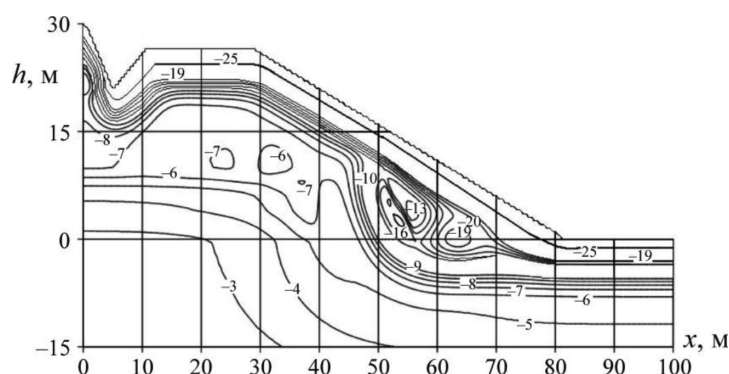


Рис. 2. Расчетные изолинии температур в развале взорванных пород вскрышного уступа

Эти данные служат основой для определения средней температуры породы в выемочном слое при работе экскаватора-драглайна. Как видно из рисунка, температура по высоте развала различна, что и определяет эффективность работы экскаватора на каждом выемочном слое.

Первое и второе рабочие окна программы служат для ввода исходных данных геометрических параметров рабочей зоны и свойств пород, что является основой графического представления схемы расчета бестранспортной технологии вскрышных работ (рис. 3 и 4).

Вначале осуществляется ввод геометрических параметров экскаваторной заходки, включающих поперечное сечение рабочей зоны. Вводятся следующие данные: ширина выработанного пространства, ширина вскрышной заходки, угол откоса и высота вскрышного уступа, мощность верхнего и нижнего пластов полезного ископаемого, мощность породного прослоя, угол отсыпки предотвала, угол откоса пластов полезного ископаемого, угол залегания угольных пластов, берма безопасности для технологической схемы экскавации, угол откоса отвала,

а также на установленную дату задается толщина выемочного слоя, характеризующая понижение поверхности забоя драглайна. Здесь же вводятся следующие показатели: категория пород по крепости, расчетная плотность пород, коэффициенты разрыхления, наполнения ковша и экскавации.

На втором этапе ввода расчетных данных задаются параметры буровзрывных работ, такие как: удельный расход ВВ, плотность ВВ, длина скважины, длина забойки, высота колонки заряда, высота недобура, угол скважины к горизонту, угол откоса пласта, коэффициент разрыхления породы. После ввода параметров забоя и параметров БВР из базы данных задается модель экскаватора.

Программой предусмотрены 4 характерных варианта формирования конфигурации развала породы взорванного вскрышного уступа для расчета объемов экскаваторных работ: с подсыпкой контура отвала, без подсыпки контура отвала, с открытой поверхностью откоса уступа и без подсыпки внутреннего отвала, с открытой поверхностью откоса уступа и подсыпкой внутреннего отвала.

Повтор решения База экскаваторов Выход из программы Справка

Метод решения: Период работ: Используемый экскаватор: Температура пород:

ДАЛЕЕ

Параметры расчета: Экскаватор, БВР Графическая модель Таблица с результатами расчета

Лаборатория ОГР

Геометрические параметры:

Ширина выработанного пространства: 45 Угол откоса яруса отвала: 45 Не равная 0

Ширина вскрышной заходки: 50 Берма безопасности: 7,5

Угол откоса вскрышного уступа: 65 Угол залегания угольных пластов: 5

Высота вскрышного уступа: 20 Слой (м): 1

Мощность верхнего пласта полезного ископаемого: 5

Мощность породного прослоя: 5

Мощность нижнего пласта полезного ископаемого: 5

Длина фронта работ: 300

Угол отсыпки предотвала: 45

Угол откоса пластов полезного ископаемого: 77

Внести данные предыдущего расчета

Временные показатели:

Категория пород по крепости	Расчетная плотность породы	Коэффициент разрыхления	Коэффициент наполнения ковша, k_n	Коэффициент экскавации $k_{э-кп}/k_p$
I	1600	1,15	1,05/1,00	0,91/0,87
II	1800	1,25	1,05/1,00	0,84/0,80
III	2000	1,35	0,95/0,90	0,70/0,67
IV	2500	1,50	0,90/0,85	0,60/0,57
V	3500	1,60	0,90/—	0,56/—

Расчетная плотность породы: 1600 Коэффициент разрыхления: 1,15 Решить

Коэффициент наполнения: 1,05 Коэффициент экскавации: 0,91

Период работы:

МЕСЯЦ	ВРЕМЯ СМЕРЗАНИЯ
<input type="radio"/> Март-Апрель	0,5
<input type="radio"/> Май-Июнь	1
<input checked="" type="radio"/> Июль-Август	1,5
<input type="radio"/> Сентябрь-Октябрь	2
<input type="radio"/> Ноябрь-Декабрь	1,5
<input type="radio"/> Январь-Февраль	1

Рис. 3. Первое рабочее окно ввода данных программы расчета производительности драглайна

Повтор решения База экскаваторов Выход из программы Справка

Метод решения: Период работ: Используемый экскаватор: Температура пород:

ДАЛЕЕ

Параметры расчета: Экскаватор, БВР Графическая модель Таблица с результатами расчета

Лаборатория ОГР

Экскаваторы:

- ЭЭ-5-5457
- ЭЭ-11170
- ЭЭ-5-6455
- ЭЭ-11500
- ЭЭ-2005
- ЭЭ-10100
- ЭЭ-2090
- ЭЭ-2590
- ЭЭ-15100
- ЭЭ-30100
- ЭЭ-40100
- ЭЭ-30110
- ЭЭ-25120
- ЭЭ-100125
- ЭЭ-1010

Тех. характеристики ЭЭ-15/90:

Радиус разворота 76,5 м

Высота разворота 32 м

Радиус черпания 76,5 м

Высота черпания 40 м

Проклет под поворотной платформой 1,45 м

Расстояние от оси платформы до оси вращения 6,20 м

Радиус вращения восточной части 17,5 м

Емкость ковша 15 м³ куб.

С выведением ковша экскаватора

Параметры БВР:

Порода: 2570

Удельный расход БВ: 60,8

Плотность БВ: 900

Длина скажины: 18

Длина рабочей: 5

Высота клина заряды: 17

Высота надбуря: 2

Угол откоса скажины к горизонту: 69

Угол откоса отвала: 6

Коэффициент разрыхления породы: 1,3

Рис. 4. Второе рабочее окно ввода данных программы расчета производительности драглайна

Принятая в программе для расчета производительности драглайна усложненная схема экскавации адаптирована к условиям криолитозоны и предназначена для отработки по бестранспортной технологии взорванного массива вскрышных пород, который подвержен повторному смерзанию [10] (рис. 5).

Отработка взорванного массива горной породы ведется слоями, по всей длине экскаваторного блока. При этом шагающий экскаватор-драглайн находится на поверхности блока и, перемещаясь вдоль блока,

последовательно снимает поверхностный слой породы. Производительность экскаватора при отработке каждого слоя и время отработки каждого слоя зависят от температуры породы в этих слоях.

Такой порядок отработки блока позволяет обеспечить максимально возможную производительность экскаватора-драглайна в условиях повторного смерзания взорванной породы, так как экскаватором снимается поверхностный слой, уже подвергшийся некоторой оттайке под воздействием солнечной инсоляции.

Для расчета показателей данной бестранспортной усложненной схемы экскавации вначале вводятся параметры экскаваторной заходки в целике, затем задаются параметры буровзрывных работ, определяющие конфигурацию развала взорванной горной массы, и задается модель экскаватора-драглайна.

Влияние вторичного смерзания на эффективность работы экскаватора учитывается специальным алгоритмом расчета производительности драглайна, который предполагает обособленный расчет производительности и времени отработки по каждому обрабатываемому слою экскаваторного блока.

Основными вводными данными для расчета производительности драглайна яв-

ляются размеры экскаваторной заходки, толщина снимаемого слоя породы с поверхности забоя экскаватора за определенный промежуток времени и средняя температура породы в каждом выемочном слое. Для расчета производительности экскаватора при отработке каждого слоя используются ранее установленные зависимости между температурой породы в забое и временем рабочего цикла драглайна. Во взаимосвязи с температурно-климатическим периодом ведения горных работ рассчитываются производительность экскаватора, время отработки каждого выемочного слоя, а затем и время отработки экскаваторного блока.

На рис. 6 представлено рабочее окно программы с результатами расчета.

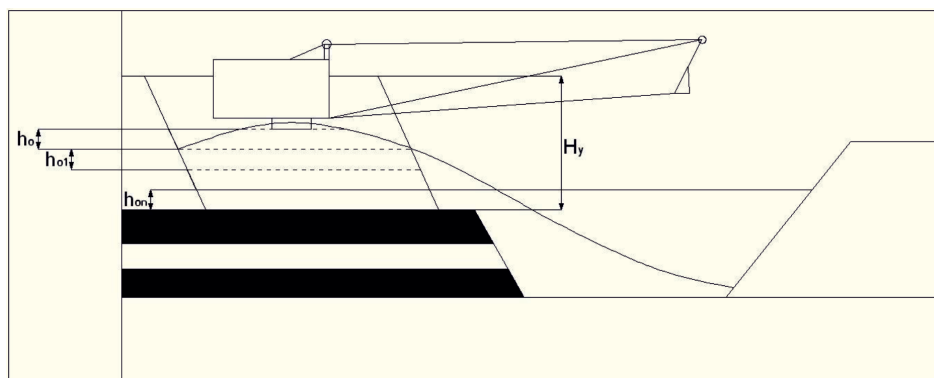


Рис. 5. Схема работы экскаватора на блоке
 H_y – высота уступа; h_0 , h_{01} – выемочные слои

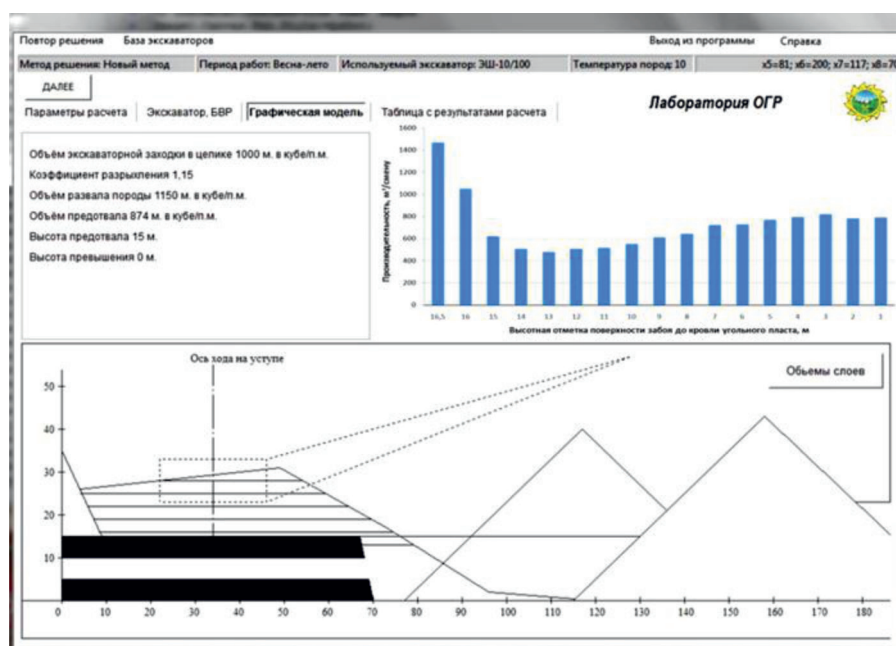


Рис. 6. Рабочее окно программы расчета производительности драглайна

Выводы

Разработана программа расчета производительности драглайна при послойной экскавации смерзающей взорванной горной массы, комплексно сочетающая результаты моделирования температурного режима развала многолетнемерзлых пород и порядок отработки экскаваторного блока. Отличительной особенностью программы является возможность прогноза производительности драглайна на всех стадиях отработки взорванного блока в условиях изменения его температурного режима по глубине.

Список литературы / References

1. 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.
2. Stashko K.V., Starikov K.A. Increasing dragline productivity by reducing excavation cycle time // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tekhnicheskiy zhurnal). 2016. № 5. P. 121–126 (in Russian).
3. Drygin M., Kurychkin N., Bakanov A. Ways of increasing excavator fleet productivity in Russian coal open pits (Kuzbass case study). The 1st Scientific Practical Conference. «International Innovative Mining Symposium (in memory of Prof. Vladimir Pronoza)». E3S Web Conf. 2017. Vol. 15. 7 p. DOI: 10.1051/e3sconf/20171503010.
4. Somua-Gyimah.Godfred, Frimpong. Nyaaba.Wedam, Gbadam.Eric. Formation fragmentation modeling and impact on dragline excavation performance in surface mining operations. International Journal of Mining Science (IJMS). Vol. 5. Issue 1. 2019. P. 11–21. DOI: 10.20431/2454-9460.0501002.
5. Певзнер Л.Д. К проблеме автоматизированного управления шагающим драглайном: программирование процесса экскавации // Горное оборудование и электромеханика. 2009. № 1. С. 59–63.
6. Pevzner L.D. On the problem of automated control of a walking dragline: programming the excavation process // Gornoye oborudovaniye i elektromekhanika. 2009. № 1. P. 59–63 (in Russian).
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. P. 33–44. DOI: 10.1016/j.jterra.2009.03.003.
8. Хтэй Вин 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. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-02-0-190-196.
9. Khte Vin Zo, Pevzner L.D., Temkin I.O. Algorithmic and hardware support of the on-board information system of the walking dragline // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tekhnicheskiy zhurnal). 2019. № 2. P. 190–196 (in Russian).
10. Назаров И.В. Применение численных методов для математического моделирования технологий работы драглайнов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2012. № 4. С. 257–268.
11. Nazarov I.V. Application of numerical methods for mathematical modeling of dragline operating technologies // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tekhnicheskiy zhurnal). 2012. № 4. P. 257–268 (in Russian).
12. Назаров И.В. Численное моделирование перевалки вскрышных пород драглайнами // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. 2013. № 4. С. 148–153.
13. Nazarov I.V. Numerical modeling of overburden transshipment by draglines // Vestnik Baltiyskogo federal'nogo universiteta im. I. Kanta. 2013. № 4. P. 148–153 (in Russian).
14. Гальянов А.В., Рождественский В.Н., Блинов А.Н. Трансформация структуры горных массивов при взрывных работах на карьерах. Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 1999. 139 с.
15. Galyanov A.V., Rozhdestvensky V.N., Blinov A.N. Transformation of the structure of rock massifs during blasting operations in open pits. Yekaterinburg: IGD UrO RAN, 1999. 139 p. (in Russian).
16. Панишев С.В., Ермаков С.А., Каймонов М.В., Зарубин В.А., Зедгенидзе А.И., Максимов М.С., Козлов Д.С. Способ разработки смерзающихся вскрышных пород // Патент 2542007 Российская Федерация МПК Е 21 С 41/26. Заявитель и патентообладатель Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН. № 2013159241/03; заявл. 30.12.2013; опубл. 20.02.2015. Бюл. № 5.
17. Панишев С.В., Ермаков С.А. Влияние температурного режима на эффективность разработки вскрышных пород месторождений криолитозоны // ФТПРПИ. 2013. № 2. С. 132–138.
18. Panishev S.V., Ermakov S.A. Temperature effect on stripping in permafrost zone. Journal of Mining Science. 2013. V. 49. № 2. P. 279–283. DOI: 10.1134/S106273914902010X.