

ТЕХНОЛОГИЯ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 622.357.1:622.244.6:551.34

МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ПРОГНОЗУ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ДРАГЛАЙНА ПРИ РАЗРАБОТКЕ ВЗОРВАННОЙ ГОРНОЙ МАССЫ В КАРЬЕРАХ КРИОЛИТОЗОНЫ

С. В. Панишев, М. В. Каймонов

*Институт горного дела Севера им. Н. В. Черского СО РАН,
E-mail: s.v.panishev@igds.ysn.ru, bsdpsv@mail.ru, просп. Ленина 43, 677980, г. Якутск, Россия*

Изложен методический подход к обоснованию эффективных режимов и технологических схем работы драглайна при открытой разработке месторождений криолитозоны, комплексно сочетающий результаты моделирования температурного режима многолетнемерзлых горных пород после взрывной подготовки, геометрические параметры забоя экскаватора и взаимосвязь времени рабочего цикла с температурой пород в забое в различные периоды года. Показано, что при послышной отработке развала взорванной горной массы с отрицательной температурой производительность экскаватора существенно снижается.

Карьер, криолитозона, многолетнемерзлые породы, смерзание, температура пород, драглайн, математическое моделирование

Территории Дальневосточного федерального округа обладают мощной сырьевой базой, при этом значительная часть месторождений находится в зоне распространения многолетней мерзлоты, что обуславливает отрицательную температуру пород, их повышенную прочность и требует взрывной подготовки горной массы в карьерах к выемке. В этих условиях взорванная горная масса, находясь в развале, при определенной влажности (льдистости) зачастую снова смерзается, что приводит к необходимости повторного рыхления и усложнению ведения горных работ.

Прочность вторичного смерзания взорванных пород может оказаться выше усилий, создаваемых экскаваторами или другой техникой, и тогда смерзшийся массив представляет собой почти непреодолимое препятствие для выемочного оборудования. Это касается в первую очередь экскаваторов-драглайнов, которые в условиях горизонтального и пологого залегания угольных пластов нашли широкое применение в бестранспортной системе разработки благодаря большой технологической гибкости и способности эффективного перемещения вскрышных пород в выработанное карьерное пространство.

Следует отметить, что полностью исключить смерзание отбитой породы в блоке невозможно, так как этот естественный процесс начинается уже через небольшой промежуток времени после взрыва вне зависимости от времени года.

В качестве основного способа, предотвращающего смерзание отбитой породы в карьерах, рекомендуется ограничение объема взрываемого блока [1]. Для снижения негативного влияния смерзания взорванной горной массы на работу драглайна при бестранспортной технологии ведения вскрышных работ предложен способ разработки, включающий ограничение длины экскаваторного блока и специальную организацию работ, предусматривающую перемещение пород отвала в конечный контур отвала сразу после окончания работ на первой заходке [2]. Однако методики прогноза производительности драглайна в зависимости от состояния (степени смерзания) взорванного массива многолетнемерзлых горных пород (ММГП) в литературе нет, что, безусловно, крайне отрицательно сказывается на достоверности планирования горных работ. Разработка такой методики стала основной целью проведения исследований. Для достижения поставленной цели — прогноза производительности драглайна при разработке взорванной горной массы, склонной к вторичному смерзанию, необходимо решение следующих задач:

- установление закономерностей распределения температуры в массиве горных пород уступа карьера в различное время года;
- исследование температурного режима поверхностного слоя забоя экскаватора в условиях его последовательного обнажения в натуральных условиях и его влияния на производительность драглайна;
- разработка математической модели прогноза динамики температурного поля в развале взорванных пород вскрыши в процессе ведения горных работ;
- выявление закономерностей распределения температуры в развале многолетнемерзлых горных пород, сформированном в различные периоды года;
- создание методики прогноза производительности драглайна в условиях месторождений криолитозоны при разработке взорванной горной массы.

Решение этих задач представляет большой практический интерес для горных предприятий.

ИГДС СО РАН на протяжении ряда лет на Кангаласском бурогольном месторождении (разрез “Кангаласский”), расположенном на территории Республики Саха (Якутия), в 45 км севернее Якутска, осуществляет мониторинг температурного режима массива вскрышных пород для оценки его влияния на производительность драглайна [3]. Кроме того, выполнен комплекс работ, включающий мониторинг температур взорванных пород при последовательном обнажении забоя; проведена видеосъемка процесса экскавации отбитых пород с последующим определением времени цикла и производительности экскаватора [4–6].

Натурными исследованиями выявлены особенности формирования температурного режима в развале вскрышных пород в периоды весна–лето, осень–зима при последовательном обнажении забоя (рис. 1).

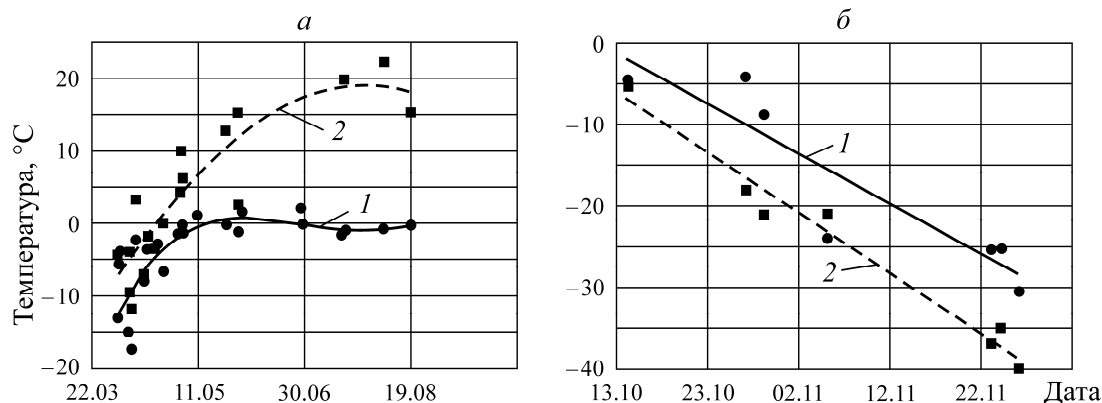


Рис. 1. Температура вскрышных пород в забое драглайна в различные периоды года: а — весна–лето; б — осень–зима; 1 — температура породы в забое; 2 — температура воздуха

Установлено, что в весенне-летний период решающим фактором, определяющим температуру поверхностного слоя породного развала, является естественный холод, накопленный породным массивом в зимний период, и солнечная инсоляция — в летний. В условиях высоких положительных температур атмосферного воздуха (до +20°C и выше) в летнее время, при высокой влагонасыщенности и отрицательной температуре пород в периодически обнажаемом забое наблюдается интенсивная конденсация влаги на поверхности отбитых кусков породы, способствующая повторному их смерзанию за счет аккумулированного холода. В осенне-зимний период температурные условия в этом слое формируются благодаря тепловой инерции массива, частично растепленного летом, и воздействия низких температур окружающего воздуха. При этом отрицательная температура поверхностного слоя развала в условиях его обнажения хотя и выше в среднем на 10–14°C температуры окружающего воздуха, но совпадает с ней по знаку, что существенно замедляет процесс смерзания взорванного массива в сравнении с летним периодом.

Таким образом, в течение обоих периодов во взорванном многолетнемерзлом массиве происходят различные по своей физической природе процессы промерзания-протаивания, обуславливающие интенсивность смерзания и, как следствие, определяющие эффективность экскавации горных пород. Время цикла драглайна $T_{ц}$ для этих периодов предложено определять по отдельным эмпирическим зависимостям [3]:

$$\text{весна – лето: } T_{ц} = e^{0.34 - 0.044T_n + 9.58 \cdot 10^{-4} T_n^2},$$

$$\text{осень – зима: } T_{ц} = 0.63e^{-0.03T_n},$$

где T_n — температура пород в забое, °C.

Для прогноза температурного режима породного целика и развала после взрывной отбойки разработана математическая модель, которая учитывает теплофизические характеристики пород, фазовые переходы влаги, изменение температуры атмосферного воздуха, температуру, влажность и плотность пород, мощность вскрыши, технологическую схему отработки блока, углы формируемых откосов уступов, а также особенности технологии ведения буровзрывных работ в карьере [7].

Для условий Кангаласского буроугольного месторождения на основе разработанной программы для ПЭВМ [8] проведены численные расчеты теплового режима уступа и развала взорванной горной массы, которые показали, что при взрывной отбойке в первой половине года поверхностный слой пород вскрыши на глубине до 2 м и более имеет температуру ниже –10°C. После взрыва и перемещения пород драглайном во внутренний отвал в контуре предотвала формируется зона низких отрицательных температур, которая сохраняется несколько месяцев. При взрывной отбойке во второй половине года, когда поверхностный слой пород вскрыши прогревается под действием солнечной инсоляции и атмосферным теплом и имеет температуру выше 0°C, после взрыва и перемещения пород в контуре предотвала формируется зона устойчивых положительных температур, которая сохраняется длительное время.

Фильтрация дождевой воды на эту глубину приведет к смерзанию отбитой мерзлой породы. Вскрышные породы, взорванные в конце теплого периода года, с наступлением холодов начинают интенсивно промерзать с поверхности, а некоторые зоны отвала могут оставаться в талом состоянии до ноября. Поскольку повторно смерзшаяся порода трудно поддается рыхлению ковшом драглайна, схема его работы на блоке должна учитывать закономерности формирования температурного поля взорванного массива.

На основании полученных результатов исследований сформулирована главная идея предлагаемого подхода к определению производительности драглайна при разработке взорванной горной массы, склонной к повторному смерзанию: решать эту задачу необходимо на основе сочетания существующих аналитических и эмпирических зависимостей, отражающих теоретические, практические наработки в области моделирования температурного режима массива многолетнемерзлых горных пород до и после взрывной отбойки, наблюдений за температурным режимом в массиве ММГП и результатов мониторинга производительности драглайна во взаимосвязи с температурным режимом в забое при отработке экскаваторного блока.

Отметим, что обычный расчет производительности экскаватора, даже с учетом полученных взаимосвязей между временем рабочего цикла и температурой породы, невозможен без задания основных начальных переменных — периода взрывания и геометрических параметров блока. Геометрические размеры развала взорванных многолетнемерзлых горных пород, сформированного в различные периоды года, определяют закономерности распределения температуры в нем.

Необходимо определить текущие объемы экскавируемой горной массы (возможную производительность экскаватора) в условиях изменчивости температурного режима в навале в процессе его разработки с учетом динамики пространственных координат забоя и времени, прошедшего с момента производства взрывных работ.

В горном деле классическим примером подсчета объемов горной массы в условиях динамики формирования рабочей зоны, выбора рационального направления и прогноза сроков отработки месторождений являются методы горно-геометрического анализа карьерных полей, на основе которых разрабатываются календарные графики. Теоретические основы геометрического анализа карьерных полей, режима горных работ представлены в [9]. В практике проектирования получил применение термин “режим горных работ”, под которым понимается последовательность выполнения во времени и пространстве вскрышных и добычных работ в карьере.

Рассмотрим кратко суть методик горно-геометрического анализа карьерных полей.

Для горизонтальных и пологих залежей предложен следующий метод. На топографических планах с нанесенными изомощностями вскрышных пород, полезного ископаемого и границами карьера для всех возможных вариантов развития горных работ устанавливаются начальное положение фронта горных работ (ФГР), ряд промежуточных положений и конечное. Для каждого положения ФГР определяют извлекаемые объемы вскрыши и полезного ископаемого при продвижении фронта на единицу длины, т. е. находят элементарные приращения объемов, с помощью которых строится график режима. Полученный результат достигается путем разбиения карьерного поля на отдельные этапы работ, в пределах которых выполняются необходимые расчеты. Этапы обобщенно характеризуют динамику рабочей зоны карьера.

Для крутых и наклонных залежей при расчетах объемов извлекаемого полезного ископаемого и пустых пород в сложных условиях залегания предложено использовать не поперечные разрезы, а погоризонтные планы карьерного поля с нанесенными на них геологическими данными и контурами карьера.

Каждый погоризонтный план развития горных работ позволяет оценить объемы вскрышных и добычных работ в конкретных условиях. Здесь также полученный результат достигается путем разбиения карьерного поля на отдельные этапы, характеризующие обобщенно направление продвижения работ и динамику развития рабочей зоны.

В горно-геометрическом анализе карьерных полей при разработке наклонных и крутых залежей известны еще два метода: метод трапеций на поперечных сечениях и менее трудоемкий, обеспечивающий допустимую для сравнения вариантов погрешность расчетов, линейный метод. В них также применяется указанный выше подход с разбиением карьерного поля на отдельные этапы работ.

Взорванный экскаваторный блок в бестраншейной технологической схеме можно представить как карьер с постоянно изменяющимися пространственными и временными координатами (глубина и контуры — для карьера; ширина, длина и высота — для блока взорванной горной массы), в нашем случае — забоя драглайна.

Очевидна сопоставимость решаемых задач (подсчет текущих объемов горной массы в условиях динамики рабочей зоны, выбор рационального направления и сроков отработки месторождения) с задачей оценки производительности драглайна при разработке взорванного многолетнемерзлого массива, склонного к повторному смерзанию.

Для решения предлагается использовать основной принцип горно-геометрического анализа карьерных полей — деление объекта разработки (развал взорванных многолетнемерзлых пород) на отдельные этапы работ, в пределах которых выполняются необходимые теплофизические и технологические расчеты. По их результатам будет возможно оценить производительность драглайна на каждом этапе отработки многолетнемерзлого смерзающегося массива, а также время отработки взорванного блока.

Технологически порядок отработки взорванного блока, склонного к повторному смерзанию, реализован в способе разработки вскрышных пород [10], суть которого заключается в последовательной выемке экскаватором слоя взорванной горной массы определенной мощности. Каждый слой характеризует свой этап горных работ, а интенсивность его отработки будет зависеть от температуры породы с учетом установленной взаимосвязи между временем рабочего цикла и температурой слоя.

Исходным материалом для оценки производительности служат поперечные разрезы рабочей зоны и профили развала взорванной горной массы с расчетными изотермами породы по глубине (рис. 2).

Порядок отработки взорванного блока многолетнемерзлых вскрышных пород предполагает последовательное снятие некоторого слоя с верхней поверхности развала, что позволяет вскрыть зону отрицательных температур, в которой риск повторного смерзания наиболее вероятен, и обеспечить растепление взорванной породы в блоке на определенную глубину с соответствующим снижением ее прочности. Для каждого из вариантов отработки блока устанавливают его размеры, высоту уступа, ширину и длину экскаваторной заходки, мощность подсчетного слоя. За мощность подсчетного слоя принимается глубина понижения забоя драглайна при послойном снятии навала взорванной горной массы.

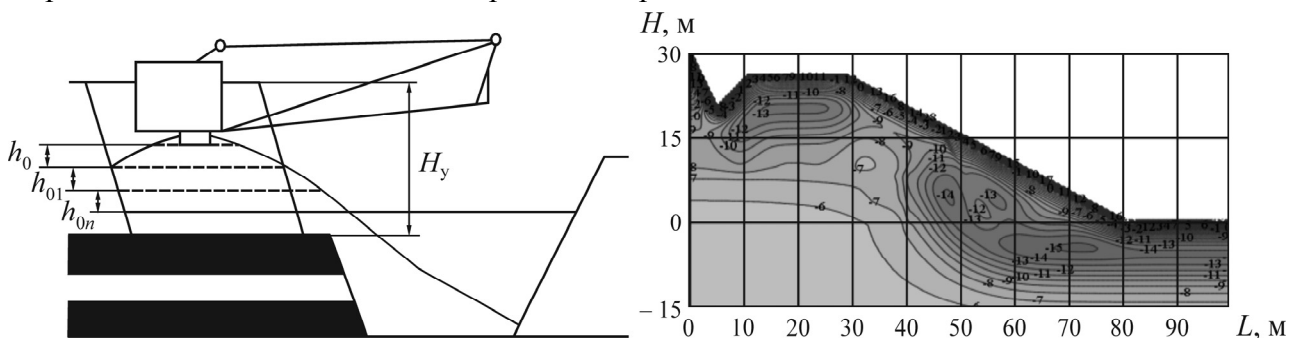


Рис. 2. Рабочая зона драглайна и профиль развала взорванной горной массы с расчетными изотермами по глубине: H_y — высота уступа; h_0 , h_{01} — подсчетные слои

Рассмотрим на конкретном примере методику расчета производительности драглайна ЭШ-10.70 для взорванного блока длиной 100 м, с шириной вскрышной заходки 40 м и высотой вскрышного уступа 20 м. За исходные данные принимаются средние для района расположения месторождения значения показателей температуры воздуха, толщина снежного покрова, скорость ветра, естественная температура пород, влажность и др. [11]. По разработанной программе рассчитывается температурное поле в развале взорванной горной массы на установленную дату. По полученным изотермам с глубиной развала определяется средняя температура породы в каждом подсчетном слое. Данные средних температур по глубине развала породы представлены ниже:

Глубина развала породы, м	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Температура породы, град	+4	-8.2	-14	-15.5	-16	-14.5	-14.5	-13.5	-14.2	-12.2	-10.6	-10.2	-9	-7	-7	-6

На рис. 3 приведен график расчетной производительности драглайна при отработке каждого слоя толщиной 0.5 м.



Рис. 3. Зависимость производительности драглайна от высоты развала вскрышных пород

ВЫВОДЫ

Для прогноза производительности драглайна в условиях нестационарного температурного режима горной массы взорванного блока экскавацию развала вскрышных пород необходимо разделить на отдельные этапы работ, в пределах которых выполняются необходимые теплофизические и технологические расчеты, позволяющие оценить производительность драглайна на каждом этапе, а также время отработки взорванного блока.

Достоверность прогноза производительности драглайна может быть существенно повышена за счет учета закономерностей распределения температуры в развале многолетнемерзлых горных пород, разделения развала взорванного блока на подсчетные слои по высоте с характерной температурой породы и использования для расчетов установленной взаимосвязи времени цикла экскаватора с температурным режимом в забое.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Басистов А. М., Семин А. П., Фазылов Р. Г., Букин С. Н. Буровзрывные работы при рыхлении мерзлых грунтов на строительстве БАМа // Взрывное дело. Вып. № 86/43. — М.: Недра, 1984. — С. 149–157.
2. А. с. 1624152, Кл. Е 21 С 41/00. Способ разработки вскрышных пород / И. И. Заудальский, А. С. Марченко, С. Н. Петров и др. (СССР); заявл. 17.10.1998; опубл. 01.10.1990 // Открытия, изобретения. — 1991. — № 4. — С. 89.

3. Панишев С. В., Ермаков С. А. Влияние температурного режима на эффективность разработки вскрышных пород месторождений криолитозоны // ФТПРПИ. — 2013. — № 2. — С. 132–138.
4. Панишев С. В., Ермаков С. А., Каймонов М. В., Козлов Д. С., Максимов М. С. Комплексный мониторинг температурного режима многолетнемерзлых горных пород Кангаласского угольного разреза // ГИАБ. — 2013. — № 9. — С. 62–69.
5. Панишев С. В., Ермаков С. А., Козлов Д. С., Максимов М. С., Васильев И. В. Мониторинг производительности драглайна с использованием тепловизионной съемки забоя и системы лазерного сканирования в условиях пластового месторождения криолитозоны // ГИАБ. — 2014. — № 4. — С. 117–122.
6. Панишев С. В., Ермаков С. А., Козлов Д. С., Максимов М. С., Васильев И. В. Применение методов тепловизионной съемки и наземного лазерного сканирования при исследовании процесса экскавации смерзающихся вскрышных пород // Тр. II Всерос. науч.-практ. конф. — Якутск: Изд-во ИМЗ СО РАН, 2014. — С. 153–158.
7. Каймонов М. В., Панишев С. В. Моделирование динамики температурного поля многолетнемерзлых горных пород карьеров после взрывной отбойки // ФТПРПИ. — 2016. — № 3. — С. 185–191.
8. Свидетельство № 2015619831 о государственной регистрации программ для ЭВМ. Программа распределения температурного поля многолетнемерзлых горных пород карьеров криолитозоны после взрывной отбойки, заявл. 22.07.15; опубл. 20.10.15, Бюл. № 10.
9. Хохряков В. С. Проектирование карьеров. — М.: Недра, 1969. — 216 с.
10. Пат. 2542007 РФ, МПК E 21 C 41/26. Способ разработки смерзающихся вскрышных пород / С. В. Панишев, С. А. Ермаков, М. В. Каймонов, В. А. Зарубин, А. И. Зедгенидзе, М. С. Максимов, Д. С. Козлов // Опубл. в БИ. — 2015. — Бюл. № 5.
11. Варламов С. П., Скачков Ю. Б., Скрябин П. Н. Температурный режим грунтов мерзлотных ландшафтов Центральной Якутии. — Якутск: Изд-во ИМЗ СО РАН, 2002. — 218 с.

Поступила в редакцию 24/V 2017