

УДК 622.357.1:622.244.6:551.34

**ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА
НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАЗРАБОТКИ ВСКРЫШНЫХ ПОРОД
МЕСТОРОЖДЕНИЙ КРИОЛИТОЗОНЫ**

С. В. Панишев, С. А. Ермаков

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

На примере разреза “Кангаласский” изложены результаты натуральных наблюдений температурного режима по поверхности развала взорванных вскрышных пород в условиях последовательного обнажения забоя драглайна. Показана взаимосвязь производительности драглайна с температурой поверхностного слоя и размером среднего куска в экскаваторном забое.

Многолетнемерзлые породы, смерзание, температура пород, размер среднего куска, драглайн, производительность

Для условий горизонтального и пологого залегания угольных пластов при бестранспортной системе разработки вскрышных пород оправдано широкое применение шагающих драглайнов, обладающих большой технологической гибкостью и способностью эффективно перемещать большие объемы вскрыши на значительное расстояние. Негативным фактором, влияющим на работу драглайна при разработке многолетнемерзлых пород, является повторное смерзание взорванного массива, ведущее к снижению его производительности.

В технической литературе основным способом борьбы со смерзанием породы на горных работах рекомендовано ограничение объема взрываемого блока. Для бестранспортной технологии вскрышных работ предложен способ разработки, позволяющий снизить влияние смерзания взорванной горной массы на работу драглайна, включающий ограничение длины экскаваторного блока и специальную организацию работ, что технически осуществляется перемещением пород предотвала в конечный контур отвала сразу после окончания работ на первой заходке [1]. Однако конкретных данных прогнозируемого снижения производительности драглайна в зависимости от состояния взорванного массива многолетнемерзлых пород в литературе не известно.

Изложенное предопределяет необходимость исследования процесса повторного смерзания горной массы в натуральных условиях и актуальность этого вопроса при выборе параметров бестранспортной системы разработки вскрышных пород пластовых месторождений криолитозоны.

Основными факторами, обуславливающими процесс повторного смерзания пород, являются их отрицательная температура и высокая влажность на поверхности кусков горной массы. Кроме того, в различной мере оказывают влияние температура и влажность воздуха, теплофизические свойства пород, а также гранулометрия горной массы. Исследованиями [2] установлено, что ледяные образцы смерзаются уже при температуре $-0.0005 \dots -0.001^\circ\text{C}$.

Процесс формирования температурного режима в развале взорванных многолетнемерзлых пород сложен и определяется многими факторами, такими, как: теплофизические характеристики пород, фазовые переходы влаги, изменение температуры атмосферного воздуха, температура, влажность и плотность пород, мощность вскрыши, углы формируемых откосов, а также качество взрывной подготовки. Следует также отметить, что имеет место принципиальное различие в характере протекающих теплофизических процессов как в ненарушенном массиве, так и в развале взорванной горной массы в различные периоды года, обусловленное температурным режимом массива многолетнемерзлых горных пород.

Если в весенне-летний период на температуру поверхностного слоя оказывает влияние отрицательная температура в массиве, накопленная в зимний период, положительная температура окружающего воздуха и солнечная инсоляция, то в осенне-зимний период температура в этом слое формируется за счет тепловой инерции массива, накопленной летом, и воздействия низких температур окружающего воздуха, что показано в работах [3–6].

Как указывалось выше, одним из основных факторов, оказывающих влияние на прочность смерзания, является температура породы. На рис. 1 показаны результаты лабораторных экспериментов по исследованию прочности смерзания образцов от влияющих факторов, выполненные в ИГДС СО РАН. Видно, что в интервале температуры породы от -5 до -20°C прочность смерзания кусков породы в развале может составить от 0.7 до 2.8 МПа.

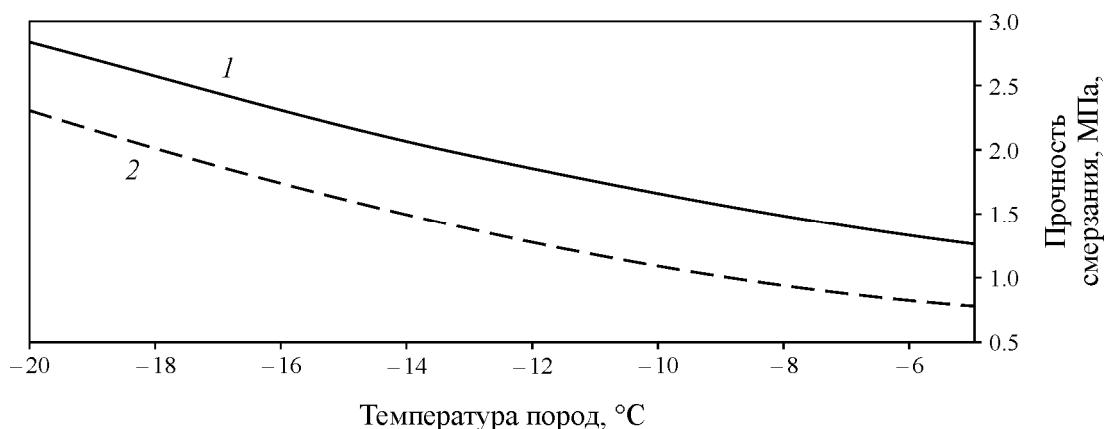


Рис. 1. Изменение прочности смерзания образцов от температуры породы: 1 — при влажности породы 20%; 2 — при влажности породы 15%

На протяжении ряда лет ИГДС СО РАН ведет исследования на Кангаласском буроугольном месторождении (разрез “Кангаласский”). Выполняется мониторинг температурного режима массива многолетнемерзлых горных пород по наблюдательным скважинам (рис. 2).

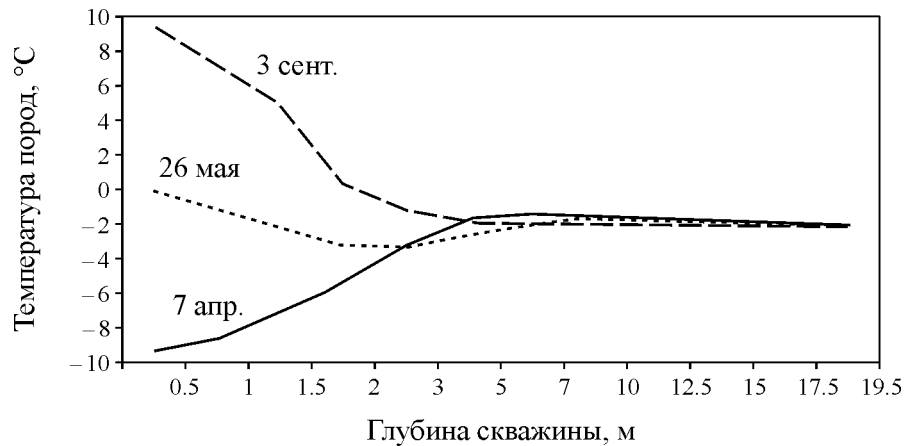


Рис. 2. Температура массива многолетнемерзлых пород по глубине наблюдательной скважины в течение года

Для оценки влияния температурного режима взорванного массива на производительность драглайна выполнен комплекс работ, включающий мониторинг температуры взорванных пород при последовательном обнажении забоя, видеосъемку рабочего процесса с последующим определением времени цикла и производительности экскаватора, сбор данных о фактической производительности драглайна.

Получена зависимость изменения температуры пород в забое в течение сезона вскрышных работ (рис. 3).

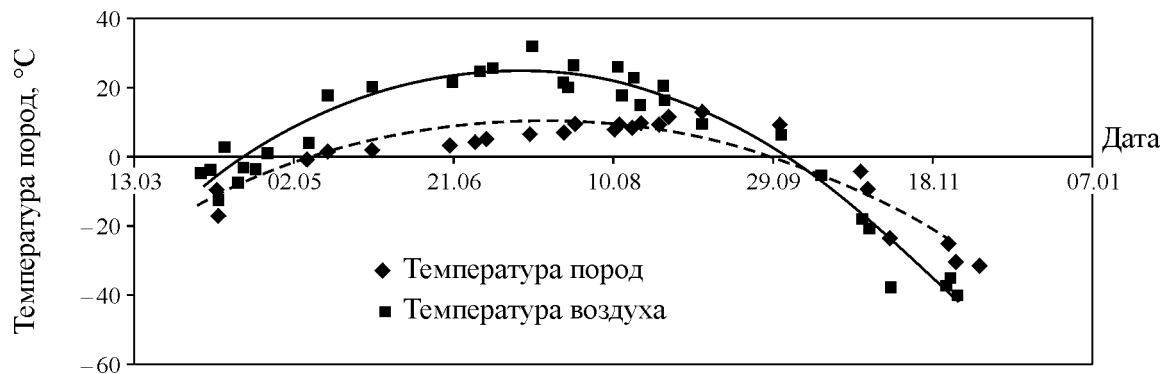


Рис. 3. Температура пород в забое в течение сезона вскрышных работ

Данные наблюдений за весенне-летний период показывают, что отрицательная температура в поверхностном слое смерзшихся горных пород при последовательном обнажении экскаваторного забоя сохраняется до первой декады мая, что связано с низкими температурами обнажаемого массива пород. В дальнейшем, уже в период летних высоких температур окружающего воздуха за счет значительной зимней тепловой инерции взорванного массива многолетнемерзлых пород, температура поверхности забоя сохраняется на уровне 5–10°C. Накопленное за лето тепло в массиве горных пород способствует тому, что в осенне-зимний период температура поверхностного слоя породы в забое в среднем на 10–14°C выше, чем температура воздуха.

В различные температурно-климатические периоды гранулометрический состав взорванных многолетнемерзлых пород неодинаков, что связано с температурой и, как следствие, прочностью горных пород в массиве. При повышении температуры доля крупных фракций более 500 мм существенно (до 3 раз) снижается, а фракций 201–300 и 301–400 мм возрастает в 1.5–2 раза (таблица). При этом содержание фракций 101–200 мм почти не изменяется. Диаметр среднего куска уменьшается примерно на 20 %.

Гранулометрический состав взорванного массива многолетнемерзлых пород, %

Дата взрыва	Средняя температура массива породы, °С	Размер фракций, мм						
		0–100	101–200	201–300	301–400	401–500	501–800	Более 800
10.05.10	–2.1	8.9	20.4	17.4	10.6	9.6	30.8	2.2
02.06.10	–1.1	5.1	20.8	17.2	20.5	14.6	18.6	3.1
22.07.10	+1.2	5.9	22.5	28.3	22.1	11.3	9.8	0

Установлен характер изменчивости состава кусков породы в забое драглайна при отработке взорванного массива (рис. 4). Как следует из зависимостей, с момента начала работ на блоке до конца его отработки наблюдаются три этапа, характеризующие гранулометрический состав кусков в забое драглайна. Первый этап характеризуется максимальным содержанием кусков большого размера (кривая 1 апреля), второй этап — выравниванием фракционного состава кусков в забое — содержание мелких, средних и крупных фракций примерно одинаково (кривая 11 апреля). На последнем, третьем этапе, в забое преобладают в основном мелкие фракции (кривая 27 апреля).

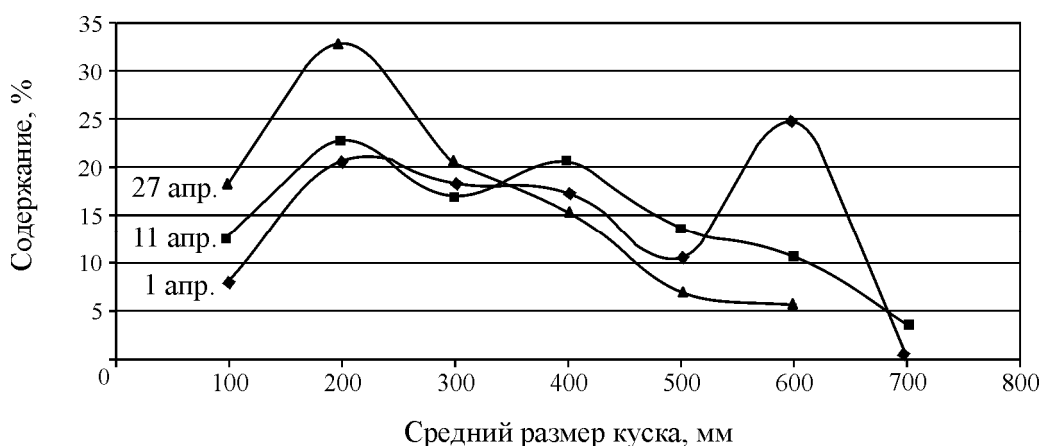


Рис. 4. Гранулометрический состав кусков в процессе отработки забоя

С уменьшением размера среднего куска в экскаваторном забое с 300 до 135 мм производительность драглайна увеличивается почти в 3 раза. При этом с увеличением доли крупных фракций (400–800 мм) от 3 до 15 % производительность драглайна снижается в 3 раза, а с увеличением доли мелких фракций (до 200 мм) вдвое, от 15 до 30 %, повышается в 3 раза.

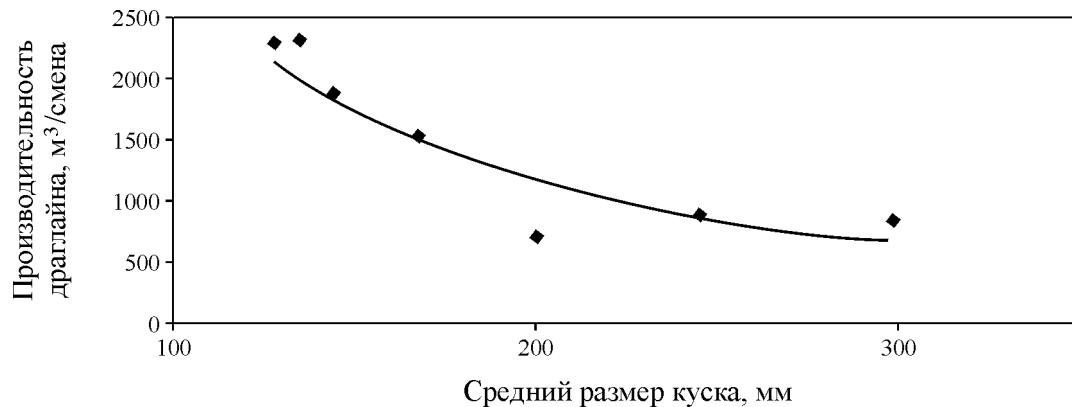


Рис. 5. Взаимосвязь размера среднего куска в забое с производительностью драглайна: \blacklozenge — экспериментальные данные; — — аппроксимационная кривая

Проведенными исследованиями установлен характер изменения температуры поверхностного слоя смерзшихся горных пород взорванного массива при последовательном обнажении забоя и ее взаимосвязь с производительностью драглайна (рис. 6).

Показано, что фактическое время цикла с понижением температуры увеличивается в несколько раз и соответственно резко снижается производительность экскаватора.

Из полученных данных следует, что снижение и последующая стабилизация времени рабочего цикла драглайна происходит в период, когда температура поверхностного слоя горных пород последовательно обнажаемого забоя повышается до $5 - 7^{\circ}\text{C}$.

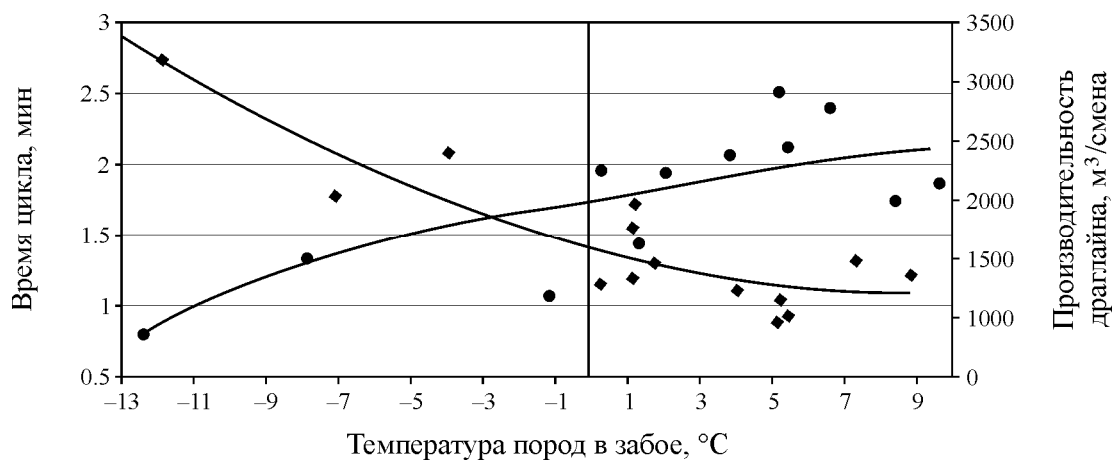


Рис. 6. Изменение времени цикла (\blacklozenge) и производительности драглайна (\bullet) от температуры пород в забое

Для условий разреза “Кангаласский” это соответствует обычно первой декаде мая. При более низких температурах породы в забое время рабочего цикла драглайна весьма велико, что обуславливает в этот период его низкую производительность.

Снижение производительности драглайна и плохой разбор забоя возможны и летом. Связано это с тем, что взорванная горная масса, несмотря на положительную температуру поверхностного слоя, внутри имеет отрицательную температуру, что при высокой влажности породы способствует ее смерзанию. В таких условиях время цикла драглайна может превышать паспортное значение в $1.5 - 3.5$ раза, а обработка забоя ведется неритмично, с вынуж-

денной тратой времени на “выкапывание” отдельных кусков, формирование объемов породы, обеспечивающих минимальную длину наполнения ковша при его максимальной загрузке. Например, в сезон вскрышных работ 2010 г. такие условия отработки забоя наблюдались до середины июля.

Результаты натурных наблюдений в осенне-зимний период показывают, что работа драглайна с хорошим наполнением ковша и соблюдением паспортного времени цикла возможна и при достаточно низких температурах пород в забое. Так, например, при температуре пород в забое до $-8 \dots -9^\circ\text{C}$ время цикла составило 0.9 мин, которое было зафиксировано 29 октября, когда работы по взорванному блоку велись по верхней части развала, представленной в основном мелкой фракцией. В дальнейшем при понижении температуры пород в забое до -30.5°C увеличение времени цикла составило 2.4 раза.

Установлена взаимосвязь времени цикла драглайна (мин) с температурой пород в забое. Для периода весна – лето она описывается эмпирическим выражением

$$T_{\text{ц}} = e^{0.34 - 0.044T_{\text{п}} + 9.58 \cdot 10^{-4} T_{\text{п}}^2},$$

для периода осень – зима

$$T_{\text{ц}} = 0.63e^{-0.03T_{\text{п}}},$$

где $T_{\text{п}}$ — температура пород в забое, $^\circ\text{C}$.

Полученные зависимости для разных периодов года свидетельствуют о том, что температурный режим в развале взорванных горных пород в разные периоды года имеет различный характер — в эти периоды в горных породах происходят разнонаправленные процессы промерзания – протаивания. Весной многолетнемерзлые горные породы под воздействием положительной температуры воздуха и инсоляции начинают оттаивать, глубина оттаивания горных пород постепенно увеличивается и достигает максимума в августе. В зависимости от типа горных пород и их влажности глубина оттаивания составляет 1.5 – 3 м. В сентябре, с понижением температуры воздуха, температурный режим взорванных горных пород меняется на противоположный. Обратный процесс промерзания горных пород начинается с поверхности, и его интенсивность зависит от температуры воздуха, скорости ветра и величины снежного покрова. По данным натурных наблюдений в зимний период температура пород в забое может достигать $T_{\text{п}} = -35^\circ\text{C}$.

Экспериментальные данные по взаимосвязи производительности экскаватора от температуры поверхностного слоя горных пород последовательно обнажаемого забоя послужили основой для построения математической модели и пакета программ расчета оптимальных параметров бестранспортной технологии внутреннего отвалообразования, которая позволяет обосновать требуемую производительность экскаватора и оптимальную длину разрабатываемого блока с учетом фактора вторичного смерзания в разные временные периоды производства вскрышных работ.

Величину сменного подвигания забоя драглайна рекомендуется определять на основе установленной взаимосвязи между временем цикла драглайна и температурой пород в забое по формуле

$$L = \frac{60T_{\text{см}}EK_{\text{нк}}K_{\text{из}}}{T_{\text{ц}}BhK_{\text{р}}^2(1-K_{\text{с}})(1+K_{\text{п}})},$$

где $T_{\text{см}}$ — время смены, ч; E — емкость ковша, м³; $K_{\text{нк}}$ — коэффициент наполнения ковша; $K_{\text{из}}$ — коэффициент использования экскаватора во времени; B — ширина экскаваторной заходки, м; h — высота вскрышного уступа, м; $K_{\text{р}}$, $K_{\text{с}}$, $K_{\text{п}}$ — коэффициенты разрыхления, сброса и переэкскавации соответственно.

ВЫВОДЫ

1. Прочность смерзания существенно зависит от температуры и влажности горных пород. Так, при понижении температуры породы от -5 до -20°C и увеличении влажности с 15 до 20% прочность смерзания возрастает в 4 раза.

2. В различные температурно-климатические периоды гранулометрический состав взорванных многолетнемерзлых пород неодинаков, что связано с их температурой и прочностью в массиве.

3. В период отработки блока взорванного многолетнемерзлого массива гранулометрический состав кусков в забое драглайна существенно изменяется в сторону увеличения доли мелких фракций. При этом с уменьшением размера среднего куска в забое с 300 до 135 мм производительность драглайна ЭШ-10.70 увеличивается почти в 3 раза.

4. Время рабочего цикла драглайна зависит от температуры породы в забое и определяется по эмпирическим зависимостям, полученным для различных температурно-климатических периодов: весна – лето и осень – зима.

Полученные результаты исследований позволяют обосновать рациональные параметры бестранспортной системы разработки смерзающихся вскрышных пород в различные периоды года на месторождениях криолитозоны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.с. № 1624152, Кл. Е 21 С 41/00 СССР. Способ разработки вскрышных пород / И. И. Заудальский, А. С. Марченко, С. Н. Петров и др. // Оpubл. в БИ. — 1991. — № 4.
2. Бондарев Э. А., Файко Л. И. О теплофизических критериях процесса смерзания // Физика льда и льдотехника. — Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1974.
3. Слепцов В. М., Курилко А. С. Расчет динамики осыпания борта карьера для карбонатных пород разной морозостойкости // ФТПРПИ. — 2013. — № 1.
4. Павлов А. В., Оловин Б. А. Искусственное оттаивание мерзлых пород теплом солнечной радиации при разработке россыпей. — Новосибирск: Наука, 1974.
5. Перльштейн Г. З. Водно-тепловая мелиорация мерзлых пород на Северо-востоке СССР. — Новосибирск: Наука, 1979.
6. Гаврильев Р. И. Теплофизические свойства компонентов природной среды в криолитозоне. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004.

Поступила в редакцию 21/VII 2012