© М.В. Каймонов, С.В. Панишев, 2015

УДК 6222.357.1:622.244.6:551.34

М.В. Каймонов, С.В. Панишев

ПРОГНОЗ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ВСКРЫШНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД КАРЬЕРОВ КРИОЛИТОЗОНЫ[*]

На примере Кангаласского буроугольного месторождения проведены расчеты прогноза температурного режима массива многолетнемерзлых горных пород до и после взрывной отбойки. Показано, что на формирование температурного поля во взорванном массиве горных пород оказывает влияние дата (температурно-климатический период, сезон) проведения взрывных работ. Полученные результаты свидетельствуют о том, что схемы отработки взорванного массива драглайном могут отличаться в различные периоды года.

Ключевые слова: многолетнемерзлые породы, смерзание, температура пород, драглайн, математическое моделирование.

Температурный режим взорванных вскрышных пород на карьерах расположенных в зонах распространения многолетней мерзлоты в значительной степени определяет эффективность работы выемочного оборудования и стабильность работы предприятия.

В условиях больших мощностей вскрышных пород на пластовых месторождениях основным оборудованием являются экскаваторы-драглайны, которые благодаря гибкой подвеске рабочего органа обеспечивают большую дальность перемещения породы. Несмотря на значительные экономические преимущества по сравнению с другим выемочно-погрузочным оборудованием, недостатком драглайна является отсутствие напорного усилия, создаваемое ковшом. Это предопределяет высокую зависимость показателей его работы от свойств разрабатываемого массива.

Разработка многолетнемерзлых вскрышных пород с предварительным буровзрывным рыхлением в условиях месторождений криолитозоны осложняется повторным смерзанием кусков отбитых горных пород, причем прочность смерзания может достигать нескольких МПа, что является большим препятствием для ковша драглайна [1, 2].

Процесс формирования температурного режима взорванных вскрышных пород многоэтапный и определяется температурно-климатическими условиями, качеством взрывной подготовки и технологией отработки блока. Первое значительное техногенное воздействие на породный массив оказывается при проведении взрывных работ. При этом происходит разрушение породного массива, изменение его плотности, пустотности, теплофизических параметров. Второй и третий этапы определяются особенностью работы драглайна и технологической схемой отработки блока [3].

В связи с этим большой практический интерес представляет изучение температурного режима развала многолетнемерзлых горных пород. С этим связано решение следующих задач:

- определение закономерностей распределения температуры в целике уступа карьера в различное время года;
- определение закономерностей распределения температуры в разва-

* Работа выполнена при поддержке РФФИ № 12-05-98520-р_восток_а.

ле многолетнемерзлых горных пород, сформированного в различное время года;

• исследование влияния технологии отработки блока на температурный режим развала многолетнемерзлых горных пород.

Исходя из решения этих задач, будет возможно определение оптимальной длины экскаваторного блока, определяемой исходя из величины сменного подвигания забоя и обоснование производительности драглайна в условиях повторного смерзания взорванных пород. Величина сменного подвигания забоя рассчитывается на основе установленной взаимосвязи между временем цикла драглайна и температурой пород в забое. При увеличении длины экскаваторного блока выше оптимальной многократно увеличивается вероятность смерзания взорванных пород в прочный монолит и, соответственно, падает производительность экскаватора, связанная с увеличением его времени цикла [4]. В дальнейшем это послужит основой для установления нормативов, обеспечения большей достоверности показателей недельно-суточного плана-графика горных работ.

Существует большое количество публикаций по различным аспектам взрывных работ на карьерах. Тем не менее, до сих пор нет удовлетворительной схемы для описания трансформации внутренней структуры массива под воздействием взрыва и связано это с недостаточной изученностью кинематики этого процесса. На сегодняшний день наибольшее распространение получила схема А.В. Гальянова [5].

Согласно этой схеме имеют место следующие закономерности формирования развала при буровзрывных работах (рис. 1):

• наибольшая деформация внутренней структуры массива происходит при однорядном взрывании скважин;

• в деформации массива отмечается расширение, сдвиг и ротация, она происходит неравномерно и имеет дифференциальный характер: нижние слои перемещаются в меньшей степени, чем верхние слои пород, прилегающие к середине откоса уступа, они «забрасываются» вперед и как бы заваливают нижние слои; поверхностный слой развала образован породами тех же зон, что и в целике, которые претерпевают деформацию сдвига и расширения;

• плотность рудной массы в развале не является постоянной, а увеличивается к границе развала;

• геометрические параметры зарядов определяют начальные условия движения среды под действием энергии газообразных продуктов взрыва.

Для прогноза температурного режима породного развала после взрывной отбойки и в процессе его отработки разработана математическая модель, которая учитывает тепло-

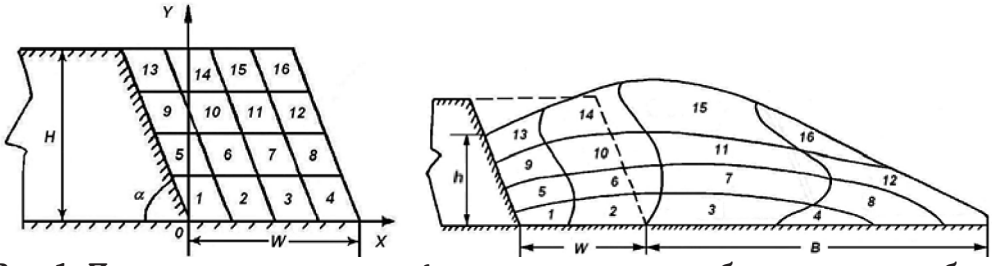

Рис. 1. Принципиальная схема деформации массива при буровзрывных работах в карьере (схема А.В. Гальянова)

физические характеристики пород, фазовые переходы влаги, изменение температуры атмосферного воздуха, температуру, влажность и плотность пород, мощность вскрыши, углы формируемых откосов и размеры отрабатываемого блока. Математическая модель описывается нелинейным нестационарным уравнением в частных производных. Численные расчеты температурного режима выполнялись методом конечных разностей [6].

На основе разработанной программы для ПЭВМ, были проведены численные расчеты теплового режима уступа и развала горных пород карьера криолитозоны для условий Кангаласского буроугольного месторождения расположенного на территории Якутского района Республики Саха (Якутия).

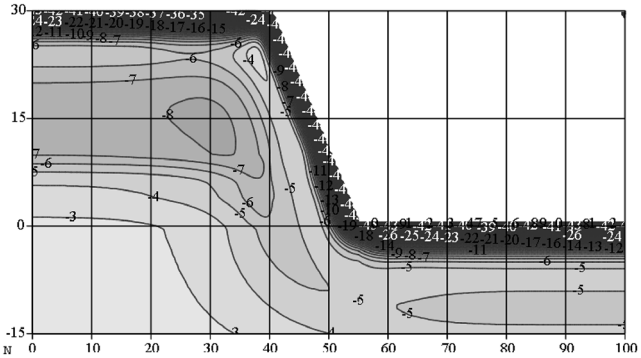

Рис. 2. Изолинии температур в блоке вскрышных пород на 1 января до взрывной отбойки

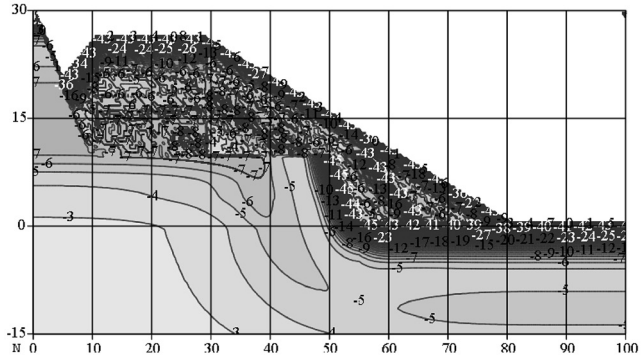

Рис. 3. Изолинии температур в блоке вскрышных пород на 1 января после взрывной отбойки

На рис. 2–7 представлены изолинии температур в блоке вскрышных пород до и после взрывной отбойки для некоторых вариантов численных расчетов.

На рис. 2 представлены изолинии температур в блоке вскрышных пород до взрывной отбойки на 1 января. Температура воздуха составляет tв = –46,7 °С. Видно, что в целике уступа сформирована зона охлажденных горных пород $t_п$ = –8 °С. Наличие более низких значений температур пород уступа в сравнении с естественной температурой массива подтверждается и натурными данными [1, 3]. В зоне расположения угольного пласта температура пород составляет в среднем $t_{у.пл.}$ = –3÷–4 °С внутри массива и $t_{у.пл.}$ = –14÷–35 °С со стороны склона.

На рис. 3 представлены изолинии температур в блоке вскрышных пород после взрывной отбойки 1 января. Как видно из рис. 3, вскрышные породы слагающие нижнюю часть склона уступа в результате действия взрыва (по схеме А.В. Гальянова) перемещаются вправо и заваливают склон уступа угольного пласта и дно карьера (*x* = от 50 до 80 м, *h* = от 0 до 15 м), формируя переохлажденную область угольного пласта и взорванного массива. Согласно технологической схеме отработки блока Кангаласского буроугольного месторождения, вскрышные породы, перемещенные действием взрыва на дно карьера (на рис. 3 – это область *x* = от 50 до 60 м, *h* = от 0 до 15 м), являются нижней частью предотвала, который

формируется при отработке вскрышного уступа и в дальнейшем экскавируются драглайном в конечный контур отвала [3].

На рис. 4 представлены изолинии температур в блоке вскрышных пород через месяц после взрывной отбойки 1 января. Как видно из рис. 4, температура взорванных вскрышных пород над угольным пластом в целом сохраняет среднее значение $t_п$ = –3÷–4 °С. Имеет место локальное понижение температуры взорванных пород в глубь массива в месте их сопряжения с уступом (x = от 5 до 10 м, h = от 15 до 20 м). Из вскрышных пород, на дне карьера попадающих в проектный контур предотвала (x = от 50 до 60 м, h = от 0 до 13 м), формируется зона устойчивых отрицательных температур ($t_п$ = –7÷–20 °С), которая в условиях склонности пород к вторичному смерзанию может представлять трудность для экскавации драглайном.

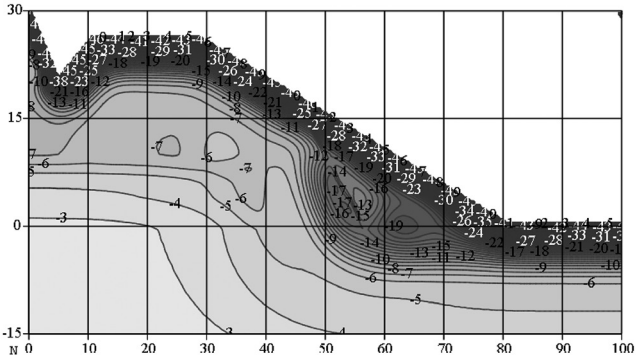

Рис. 4. Изолинии температур в блоке вскрышных пород через месяц после взрывной отбойки 1 января

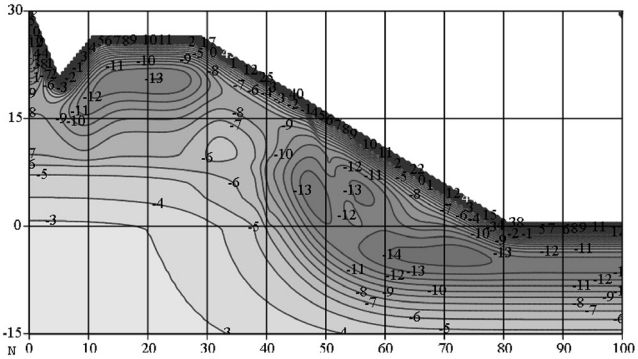

Рис. 5. Изолинии температур в блоке вскрышных пород через месяц после взрывной отбойки 1 мая

Так же формируется зона устойчивых отрицательных температур в угольном пласте и породном пропластке ($t_{у.пл.}$ = –7÷–16 °С со стороны склона), накрытыми сброшенной взрывом породой вскрышного уступа.

Проведенные расчеты по различным вариантам даты проведения взрывных работ показали, что при взрывной отбойке в первой половине года, когда поверхностный слой пород вскрыши на глубину до двух и более метров имеет отрицательную температуру ниже 10 °С, после взрыва и перемещения пород на дно карьера в контур предотвала здесь формируется зона устойчивых отрицательных температур. Данная зона сохраняется достаточно значительное время (несколько месяцев).

При взрывной отбойке во второй половине года, когда поверхностный слой пород вскрыши прогревается под действием солнечной инсоляции и температуры атмосферного воздуха и имеет температуру выше 0 °С, после взрыва и перемещения пород на дно карьера в контур предотвала здесь формируется зона устойчивых положительных температур, которая сохраняется достаточно значительное время.

На рис. 5–7 представлены изолинии температур в блоке вскрышных пород через месяц после взрывной отбойки 1 мая, 1 августа, 1 октября со-

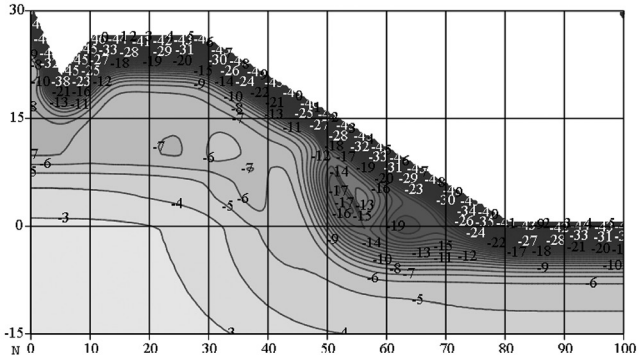

Рис. 6. Изолинии температур в блоке вскрышных пород через месяц после взрывной отбойки 1 августа

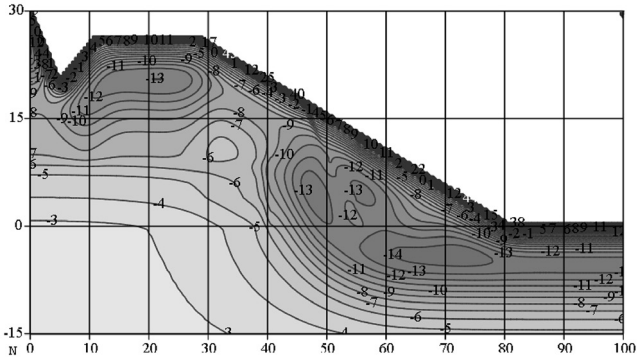

Рис. 7. Изолинии температур в блоке вскрышных пород через месяц после взрывной отбойки 1 октября

ответственно. Как видно из рис. 4–7, прослеживается четкая закономерность формирования температур вскрышных пород, перемещенных под действием взрыва на дно карьера в контур предотвала (x = от 50 до 80 м, h = от 0 до 13 м).

Разработана математическая модель прогноза температурного режима породного целика и развала многолетнемерзлых горных пород после взрывной отбойки, которая учитывает изменение физико-технических свойств пород в результате взрывной отбойки (теплофизические характеристики, пористость, плотность), геометрию рабочей зоны (геометрические размеры, углы откоса вскрышного уступа и поверхности развала взорванной горной массы), природно-климатические (динамика изменения температуры атмосферного воздуха, толщина снега, скорость ветра) и технологические факторы в процессе ведения открытых горных работ (дата начала и продолжительность ведения вскрышных работ, интенсивность и схему отработки взорванного массива многолетнемерзлых пород драглайном).

На базе математической модели разработана методика, позволяющая определить и вычислить геометрические параметры зон с высокой вероятностью смерзания в образованном породном навале, а также выявить особенности и динамику их образования.

На примере Кангаласского буроугольного месторождения проведены расчеты прогноза температурного режима массива многолетнемерзлых горных пород до и после взрывной отбойки.

Показано, что на формирование температурного поля во взорванном массиве горных пород оказывает влияние дата (температурно-климатический период, сезон) проведения взрывных работ. Полученные результаты свидетельствуют о том, что схемы отработки взорванного массива драглайном могут отличаться в различные периоды года.

Разработанная методика и математическая модель позволят обосновать период эффективной работы драглайна, схему отработки развала взорванной горной массы, а также рациональные параметры бестранспортной разработки взорванной горной массы в различные периоды года в условиях месторождений области многолетней мерзлоты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Панишев С.В., Ермаков С.А., Каймонов М.В.* Исследование влияния температурного режима взорванных многолетнемерзлых пород Кангаласского месторождения на производительность драглайна // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2010. – № 7. – С. 146–150.

2. *Курилко А.С., Каймонов М.В.* Экспериментальные исследования прочности смерзшихся сыпучих горных пород // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2004. – № 12. – С. 69–71.

3. *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 // Горный информационно-аналитический бюллетень – 2013. – № 9. – С. 62–69.

4. *Панишев С.В., Каймонов М.В., Козлов Д.С., Максимов М.С.* Рекомендации по отработке драглайном взорванного многолетнемерзлого массива // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 10. – С. 66–71.

5. *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.

6. *Каймонов М.В., Панишев С.В., Ермаков С.А.* Моделирование температурного режима взорванных многолетнемерзлых горных пород // Проблемы инженерного мерзлотоведения: материалы IX Международного симпозиума, г. Мирный, 3–7 сент. 2011 г. – Якутск: Из-во Ин-та мерзлотоведения, 2011. – С. 127–131. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Каймонов Михаил Васильевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, e-mail: gtf@igds.ysn.ru,
Панишев Сергей Викторович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, e-mail: s.v.panishev@igds.ysn.ru,
Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН.

UDC 6222.357.1:622.244.6:551.34

FORECAST TEMPERATURE REGIME STRIPPING ROCK QUARRIES CRYOLITHOZONE

Kaimonov M.V.[1], Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, e-mail: gtf@igds.ysn.ru,
Panishev S.V.[1], Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, e-mail: s.v.panishev@igds.ysn.ru,
[1] N.V. Chersky Institute of Mining of the North, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, 677980, Yakutsk, Russia.

On the example of lignite deposit Kangalassky conducted calculations forecast temperature array permafrost rocks before and after blasting. It is shown that the formation of the temperature field in the exploded rock mass influenced date (temperature and climatic period, season) blasting. The results indicate that the scheme mining dragline exploded array may vary at different times of the year.

Key words: permafrost, freezing together, the rock temperature, dragline, mathematical modeling.

ACKNOWLEDGEMENTS

The work was supported by the Russian Foundation for Basic Research, Project No. 12-05-98520-р_восток_а.

REFERENCES

1. Panishev S.V., Ermakov S.A., Kaimonov M.V. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*. 2010, no 7, pp. 146–150.

2. Kurilko A.S., Kaimonov M.V. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*. 2004, no 12, pp. 69–71.

3. Panishev S.V., Ermakov S.A., Kaimonov M.V., Kozlov D.S., Maksimov M.S. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*. 2013, no 9, pp. 62–69.

4. Panishev S.V., Kaimonov M.V., Kozlov D.S., Maksimov M.S. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*. 2014, no 10, pp. 66–71.

5. Gal'yanov A.V., Rozhdestvenskii V.N., Blinov A.N. *Transformatsiya struktury gornykh massivov pri vzryvnykh rabotakh na kar'erakh* (The transformation of the structure of mountain ranges from blasting at quarries), Ekaterinburg, IGD UrO RAN, 1999. 139 c.

6. Kaimonov M.V., Panishev S.V., Ermakov S.A. *Problemy inzhenernogo merzlotovedeniya: materialy IX Mezhdunarodnogo simpoziuma*, g. Mirnyi, 3–7 sent. 2011 g. (Permafrost Engineering, Proceedings of the 9th International Symposium, 3–7 September 2011, Mirny), Yakutsk, Iz-vo In-ta merzlotovedeniya, 2011, pp. 127–131.