

УДК 536 : 24 : 622.413

А.Ф. Галкин (д-р техн. наук, проф.)

Санкт-Петербургский государственный горный университет, Россия

РАЦИОНАЛЬНЫЙ РЕЖИМ ПРОВЕТРИВАНИЯ ПРИ ПРОХОДКЕ ВЫРАБОТОК В КРИОЛИТОЗОНЕ

Проведено сравнение различных режимов проветривания призабойной зоны горных выработок для обеспечения устойчивого состояния незакрепленной части призабойной зоны. Предложена методика расчета для выбора рациональных параметров температуры и скорости вентиляционной струи, сочетание которых обеспечивает мерзлое состояние горных пород в течение всего проходческого цикла.

Ключевые слова: проветривание, тепловой режим, горная выработка, регулирование, призабойная зона, метод расчета, мерзлые породы.

Введение. Устойчивость горных выработок в криолитозоне во многом определяется зависимостью прочностных свойств пород от температуры. А в дисперсных горных породах это является определяющим фактором. Наиболее ярко эта проблема проявляется при проходке горных выработок в криолитозоне или при строительстве в искусственно замороженных грунтах. Исследования Ю.Д.Дядькина, Н.Г.Трупака, В.Н.Скубы, Ю.М.Либермана, В.А. Шерстова., Г.С.Ушакова и других ученых показали, что регулированием теплового режима можно обеспечить устойчивое состояние мерзлых пород как в закрепленных, так и не закрепленных выработках. В данной работе рассматривается схема регулирования и метод выбора параметров теплового и вентиляционного режимов выработки, которые позволяют обеспечить мерзлое состояние горных пород вокруг незакрепленной части призабойной зоны выработки и тем самым повысить безопасность ведения горных работ [1,2,3].

Постановка задачи. Схема регулирования теплового и вентиляционного режимов заключается в следующем. С позиций регулирования теплового режима весь проходческий цикл разбивается на два этапа:

а) проветривание призабойной зоны воздушной струей с параметрами, обеспечивающими комфортность труда горнорабочих и работу машин и механизмов в соответствии с правилами технической эксплуатации;

б) интенсивное проветривание призабойной зоны после взрывных работ воздушной струей с такими параметрами и столько времени, которое обеспечит мерзлое состояние незакрепленной части призабойной зоны в течение всего первого этапа.

Естественно, что скорость воздушной струи в призабойной зоне и длительность периода проветривания выработки должны удовлетворять нормам, предусмотренным правилами безопасности.

Главным условием для выбора рациональных параметров теплового режима является условие поддержания в течение всего первого этапа проветривания температуры на условной поверхности призабойной зоны ниже или равной некоторой заданной температуры:

$$(T)_{R=\delta^*} \leq T_n \quad (1)$$

Под условной поверхностью призабойной зоны подразумевается поверхность, лежащая на глубине $R_0 + \bar{\delta}^*$, где $\bar{\delta}^*$ - интенсивно-трещиноватый приконтурный слой, образующийся в результате действия взрывных работ, способ-

ность к обрушению которого не зависит от теплового режима. При наличии такого слоя температуру на его внутренней поверхности можно определять по зависимостям, приведенным в работе [2].

Изменение температурного поля горных пород, которое происходит при периодическом изменении параметров вентиляционной струи, может быть учтено с помощью введения понятия средней температуры породного массива [3]. В этом случае предполагается, что к начальному моменту очередного скачкообразного изменения параметров вентиляционной струи температура горных пород имеет величину постоянную и равную некоторой средней температуре по объему, ограниченного радиусом теплового влияния. При таком допущении задачу, подлежащую решению, можно сформулировать так: какая должна быть средняя температура горных пород к концу второго этапа проветривания, чтобы в течение всего первого этапа было выполнено условие нерастепления горной выработки (1). В качестве средней температуры пород принималась Объемная средняя температура массива горных пород вокруг призабойной зоны. За начальный момент в расчетной схеме примем время начала интенсивного проветривания после проведения взрывных работ, в период которого происходит охлаждение массива, имеющего до этого постоянную начальную температуру характерную для данного месторождения.

Анализ результатов. В результате решения задачи получены следующие выражения для определения температурного поля породного массива вокруг призабойной зоны

$$T_{ox}^I = T_e + (t_{ox} - T_e) f_{ox} , \quad (2)$$

где

$$f_{ox} = \frac{B_{iox} (\delta_{ox} - 1)^3 (\delta_{ox} + 3)}{4(\delta_{np}^3 - 1) [B_{iox} (\delta_{ox} - 1)^2 + (\delta_{ox}^2 - 1)]} . \quad (3)$$

δ_{np} , δ_{ox} - значения безразмерного радиуса теплового влияния в конце периода прогрева и охлаждения, соответственно; t_{ox} - температура воздуха в призабойной зоне в период охлаждения, °С; T_e - начальная температура горных пород, °С; B_{iox} - безразмерное число Био в период охлаждения.

Значение температуры пород на условной поверхности призабойной зоны выработки к концу периода прогрева определяется по формуле:

$$(T_{np})_{R=\delta^*} = T_{ox}^I + (t_{np} - T_{ox}^I) \bar{f}_{np} , \quad (4)$$

где

$$\bar{f}_{np} = \frac{B_{inp} (\delta_{np} - \delta^*)^2}{\delta^* [B_{inp} (\delta_{np} - 1)^2 + (\delta_{np}^2 - 1)]} \quad (5)$$

t_{np} - температура воздуха в призабойной зоне в период прогрева, °С;

B_{inp} - безразмерное число Био в период прогрева.

Выражения (2)—(5) и условие (1) дают возможность определить необходимые параметры вентиляционной струи и длительность второго этапа проветривания, обеспечивающие устойчивость незакрепленной части призабойной зоны в те-

чений всего проходческого цикла при условии, что установка временной или постоянной крепи осуществляется после каждого цикла на длине, равной шагу продвижения забоя. После преобразований получим:

$$t_{ox} = T_e + \frac{T_n - T_e + \bar{f}_{np} (T_e - t_{np})}{(1 - \bar{f}_{np}) f_{ox}} \quad (6)$$

В том случае, когда установка крепи производится через цикл, незакрепленная часть призабойной зоны дважды подвергается охлаждению и дважды прогреву, и выражение для определения параметров вентиляционной струи и времени интенсивного проветривания имеет вид:

$$t_{ox} = \left[T_n - t_{np} \bar{f}_{np} - t_{np} f_{np} (1 - f_{ox}) (1 - \bar{f}_{np}) - T_e (1 - f_{ox})^2 (1 - \bar{f}_{np}) (1 - f_{np}) \right] / \left[f_{ox} (1 - \bar{f}_{np}) + f_{ox} (1 - f_{ox}) (1 - \bar{f}_{np}) (1 - f_{np}) \right], \quad (7)$$

где

$$f_{np} = \frac{B_{inp} (\delta_{np} - 1)^3 (\delta_{np} + 3)}{4 (\delta_{np}^3 - 1) [B_{inp} (\delta_{np} - 1)^2 + (\delta_{np}^2 - 1)]} \quad (8)$$

Значения безразмерных параметров δ_{np} и δ_{ox} рассчитываются по формулам из работы [3] при соответствующих значениях чисел F_0 и Vi . Результаты тестовых расчетов, выполненные по предлагаемым формулам (исходные данные: время интенсивного проветривания $1,8 \cdot 10^3$ с; длительность первого этапа $14,4 \cdot 10^3$ с; $Vi_{ox} = 10$; $F_{0ox} = 10^{-3}$; $Vi_{np} = 1; 0,5$; $F_{0np} = 8 \cdot 10^{-3}$; эквивалентный диаметр призабойной зоны — 3 м; начальная температура горных пород -5°C), представлены в таблице.

Таблица – Необходима температура воздуха в период интенсивного проветривания для обеспечения устойчивого состояния пород призабойной зоны

Исходные данные		Значение t_{ox} (формула 6)				Значение t_{ox} (формула 7)			
Значение $t_{np}, ^\circ\text{C}$		5,0	4,0	3,0	2,0	5,0	4,0	3,0	2,0
$T_n = -4^\circ\text{C}$	$Vi_{np} = 1,0$	-11,7	-7,4	-3,0	+1,3	-30,1	-25,8	-21,4	-17,1
	$Vi_{np} = 0,5$	-7,9	10,3	12,2	14,4	-9,4	-7,3	-5,1	-2,9
$T_n = -4,5^\circ\text{C}$	$Vi_{np} = 1,0$	-13,6	-10,8	-8,1	-5,3	-23,1	-20,3	-17,6	-14,8
	$Vi_{np} = 0,5$	-1,1	+0,3	+1,6	+3,0	-9,9	-8,6	-7,2	-5,8

Из таблицы видно, что температура воздуха в период второго этапа (t_{ox}) изменяется в широких пределах и существенно зависит от температуры воздуха на первом этапе и коэффициента теплоотдачи, причем, при соответствующем подборе последнего (Vi_{np}) схема регулирования может быть использована даже при положительной температуре воздуха (t_{ox}) на выходе из трубопровода, что значительно расширяет возможности предлагаемого способа регулирования.

С позиции регулирования теплового режима наиболее рациональным способом проветривания следует считать такой способ, который обеспечит заданные

тепловые условия в призабойной зоне и по всей длине горной выработки [4]. С точки зрения устойчивости пород призабойной зоны и создания комфортных условий труда рабочих, способ проветривания и параметры вентиляционной струи должны быть подобраны таким образом, чтобы обеспечить необходимые значения температуры поверхности горных пород на каждом этапе проветривания. Это может быть достигнуто с помощью регулирования величин коэффициента теплоотдачи от воздуха к горным породам в призабойной зоне, которая зависит от способа проветривания, геометрии призабойной зоны, диаметра трубопровода и скорости воздуха на выходе из него.

В зависимости от значения коэффициента теплоотдачи могут изменяться не только параметры вентиляционной струи, но и сам способ проветривания. Известно, что величина коэффициента теплоотдачи при всасывающем способе проветривания в несколько раз ниже, чем при нагнетательном [5]. Его значение почти не зависит от производительности вентиляторной установки (скорости воздуха на входе в трубопровод), поэтому в случае, когда кратность воздухообмена в призабойной зоне должна быть высокой в течение всего первого этапа проветривания, например, при работе дизельного оборудования, целесообразно применять смешанный способ проветривания: на первом этапе - всасывающий, на втором - нагнетательный. При необходимости поддерживать положительную температуру воздуха в выработке в течение двух этапов, на период второго этапа следует предусмотреть комбинированный способ проветривания.

Выводы

Выполненные теоретические исследования показали, что с помощью рационального подбора параметров вентиляционной струи, в частности температуры и скорости, в различные периоды проходческого цикла, можно обеспечить устойчивое состояние мерзлых горных пород даже при проветривании воздухом с положительной температурой в течение всего времени существования незакрепленной части призабойной зоны. Выбор рационального способа проветривания (всасывающего, нагнетательного или комбинированного) также существенно влияет на формирование температурного режима и, как следствие, устойчивость пород призабойной зоны, и требует в каждом конкретном случае обоснования по предложенной методике, наряду с выбором температуры и скорости вентиляционной струи.

Список литературы

1. Галкин А.Ф. Регулирование теплового режима при проходке выработок в мерзлых породах / А.Ф. Галкин // Безопасность труда в промышленности. – 2008. – № 7. – С. 28-31.
2. Ушаков Г.С. Расчет устойчивого пролета камер при дополнительном промораживании массива горных пород. / Г.С. Ушаков, А.Ф. Галкин. – 1976. – № 4. – С. 18-21.
3. Галкин А.Ф. Тепловой режим подземных сооружений Севера / А.Ф. Галкин. – Новосибирск: ВО Наука, 2000. – 304 с.
4. Галкин А.Ф. Эффективный режим проветривания горных выработок криолитозоны / А.Ф. Галкин // Горный журнал. – 2009. – №4. – С. 65-67.
5. Фрончек Р. Определение приращения температуры воздуха в призабойном пространстве тупиковых выработок / Р. Фрончек // В кн.: Разработка месторождений полезных ископаемых. – К., 1976. – Вып. 43. – С. 58-61.

Надійшла до редколегії 27.04.2012

А.Ф. Галкін

РАЦІОНАЛЬНИЙ РЕЖИМ ПРОВІТРЮВАННЯ ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ ВИРОБОК В КРІОЛІТОЗОНІ

Проведено порівняння різних режимів провітрювання привибійної зони гірських виробок для забезпечення стійкого стану незакріпленої частини привибійної зони. Запропоновано методику розрахунку для вибору раціональних параметрів температури і швидкості вентиляційного струменя, поєднання яких забезпечує мерзлий стан гірських порід протягом всього прохідницького циклу.

Ключові слова: провітрювання, тепловий режим, гірничі виробки, регулювання, привибійна зона, метод розрахунку, мерзлі породи.

A.F. Galkin

RATIONAL MODE OF VENTILATION AT PENETRATION OPENINGS IN PERMAFROST

Comparison of various modes of airing of a face zone of mine developments for providing steady condition of a loose part of a deadlock zone is carried out. The design procedure for a choice of rational parameters of temperature and speed of the ventilating stream is offered.

Keywords: ventilation, thermal regime, mining development, regulation, bottomhole zone, the method of calculation, frozen rock.