УДК 536:24:622:413

А.Ф.ГАЛКИН, *д-р техн. наук, профессор, afgalkin@yandex.ru*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

A.F.GALKIN, *Dr. in eng. sc., professor, afgalkin@yandex.ru*
National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg

ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК В КРИОЛИТОЗОНЕ

Изложены отдельные результаты экспериментальных исследований повышения устойчивости горных выработок в зоне многолетней мерзлоты с помощью теплоизоляции. Рассмотрены проблемы тепловой защиты мерзлых пород при высоких температурах воздуха в выработках.

Ключевые слова: горная выработка, мерзлые породы, теплоизоляция, тепловая защита, Север.

INCREASE OF STABILITY OF MINE WORKINGS IN THE PERMAFROST ZONE

Some experimental results of increase of stability of mine workings are presented in this article. The investigated mine workings are located in the permafrost conditions and the increasing of stability is achieved by insulation. Problems of thermal protection of frozen breeds are considered at high temperatures of air in mine workings.

Key words: mine workings, frozen breeds, insulation, thermal protection, the North.

Для подземных объектов криолитозоны (зоны многолетней мерзлоты), эксплуатирующихся со знакопеременной во времени температурой внутренней среды и существенно изменяющимися прочностными свойствами горных пород при оттаивании, в целях обеспечения безопасности необходимо использовать тепловую защиту [4, 6, 7]. Обычно в качестве теплоизоляции пород используют синтетические материалы на основе пенополиуретанов или легкие бетоны [1, 4, 5]. Проведенные теоретические и экспериментальные исследования показали, что использование пенополиуретановых покрытий является эффективным средством обеспечения нормативных параметров теплового режима в подземных сооружениях криолитозоны и устойчивости горных выработок.

Результаты исследований в экспериментальной выработке на угольной шахте Южной Якутии, где использовалась тепловая защита из пенополиуретана марки ППУ-4н, позволили установить основные закономерности формирования теплового режима в теплоизолированных горных выработках [1, 5]. В частности, установлено, что наличие теплоизоляции существенно снижает интенсивность теплообмена между воздухом и горными породами. Так, температурный перепад воздуха по длине выработки на теплоизолированном участке был равен 0,3 °С/м, а на участке без теплоизоляции – почти в 3 раза больше (0,8 °С/м). Обработка экспериментальных данных показала, что наличие теплоизоляции снижает температурный перепад по длине выработки в среднем на 0,2 °С/м. При этом с повышением начальной температуры воздуха роль теплоизоляции значительно возрастает. Тепловую эффективность проветривания экспериментальной выработки можно охарактеризовать количеством тепла, вы-

Интенсивность теплообмена на различных участках экспериментальной выработки

Характеристика участков	Расход воздуха, кг/с	Температура, °С		Относительная влажность, %		Интенсивность теплообмена, Дж/с
		в начале участка	в конце участка	в начале участка	в конце участка	
С теплоизоляцией	1,04	6	4,7	60	70	861
	1,01	16	13,8	58	62	2121
	1,95	22	19,1	42	44	4907
	1,62	28	24,5	24	24	10904
Без теплоизоляции	1,04	6	4,3	70	94	1309
	1,01	16	12,5	62	76	4650
	1,95	22	18,2	50	62	14840
	1,62	28	21,6	28	36	14350

ражающим разность теплосодержания входящей и исходящей вентиляционных струй (Q_J) на различных участках.

Расчетные значения Q_J для участков выработки с теплоизоляцией и без нее (см.таблицу) существенно отличаются друг от друга, что свидетельствует о более интенсивном прогреве мерзлых пород на участках без теплоизоляции.

Для оценки влияния изоляционного слоя на температурный режим горных пород были проведены наблюдения за формированием температурного поля вокруг экспериментальной выработки. Установлено, что теплоизоляция значительно снижает интенсивность процесса аккумуляции тепла горными породами и препятствует распространению положительных температур в глубь массива. Наличие теплоизоляции на стенке выработки толщиной 5-7 см снижает глубину ореола оттаивания почти в 2 раза. При этом температурные колебания пород практически затухают уже в 1,5-2 м от стенки выработки.

Сравнительная оценка данных показывает, что наличие теплоизоляции увеличивает время начала оттаивания пород, окружающих выработку, причем время наступления положительной температуры на стенке выработки зависит от толщины теплоизоляции и естественной температуры мерзлых пород. Так, при толщине теплоизоляции 3 см (T_e = –0,68 °С) оттаивание пород начинается через сутки, а при толщине 5-7 см (T_e = –1,1 °С) – через трое суток после начала проветривания. На участке без теплоизоляции (T_e = –1,5 °С) оттаивание пород началось через 16 ч.

Результаты экспериментальных исследований также показали, что скорость оттаивания пород за теплоизоляцией ниже, чем на неизолированных участках: скорость движения ореола оттаивания за теплоизоляцией толщиной 6 см в 2 раза ниже, чем на участке без теплоизоляции. Следует отметить, что скорость изменения ореола оттаивания велика лишь в первые 10-12 суток проветривания выработки воздухом с положительной температурой. С течением времени она резко уменьшается, причем темп понижения скорости на теплоизолированных участках значительно выше.

По результатам натурных исследований можно сделать следующие выводы:

1. На теплоизоляционных участках колебания температуры воздуха незначительны, так как интенсивность теплообмена с породами резко уменьшается.

2. Наличие изоляции на стенках выработки существенно снижает интенсивность массообменных процессов, так как исключается прямой контакт воздуха с увлажненными поверхностями выработки.

3. При проветривании выработок наличие теплоизоляционного слоя на стенках существенно снижает процесс аккумуляции тепла мерзлыми породами. Так, теплоизоляция толщиной 5-7 см уменьшает глубину оттаивания в 2 раза, при этом скорость изменения ореола оттаивания за теплоизоляцией в 2 раза ниже, чем на участках без теплоизоляции.

4. Теплоизоляция горных выработок является эффективным средством кондиционирования рудничного воздуха, позво-

ляющим обеспечить заданные термовлажностные параметры вентиляционной струи и уменьшить глубину оттаивания пород, окружающих выработку.

Недостатком покрытий из пенополиуретана являются их невысокие прочностные характеристики и сложность нанесения в подземных условиях из-за выделения большого объема вредных газов в период твердения. В связи с этим нами были разработаны новые несущие теплозащитные покрытия на основе легкого набрызг-бетона [2, 3, 5], отличительной особенностью которых является повышенное термическое сопротивление при постоянной прочности. Последнее достигается тем, что теплозащитное покрытие выполняется слоистым, когда несущие прочные слои чередуются с легкими теплоизоляционными слоями. Набрызг-бетонная технология позволяет создать такую конструкцию даже в течение одного цикла простым изменением содержания пористого заполнителя и тяжелой фракции в загружаемой смеси.

Существенным недостатком большинства теплоизоляционных материалов и защитных конструкций на их основе является практически постоянный коэффициент теплопроводности, изменение которого в зависимости от наружной температуры незначительно. В период эксплуатации объекта с положительной температурой теплоизоляция обеспечивает мерзлое состояние горных пород и, как следствие, их устойчивость, но при эксплуатации с температурой ниже фазовых переходов влаги в породах и естественной температуры горных пород – препятствует их охлаждению. Выполненные исследования показали [4, 6], что толщина теплоизоляции, обеспечивающая безопасный режим эксплуатации объекта при положительной температуре воздуха, будет тем меньше, а следовательно, и экономически более эффективной, чем ниже температура окружающих пород.

Таким образом, очевидно, что традиционная тепловая защита выполняет в рассматриваемых условиях эксплуатации объектов как положительную, так и отрицательную роль. На практике это приводит к необходимости существенного увеличения толщины теплоизоляции или использования усиленных видов крепи, что ведет к дополнительным экономическим затратам. Наиболее целесообразным в таких случаях является использование универсальных теплозащитных покрытий с переменным термическим сопротивлением. При отрицательной температуре воздуха в сооружении термическое сопротивление покрытия минимально, что обеспечивает эффективное охлаждение горных пород, а при эксплуатации с положительной температурой внутренней среды термическое сопротивление покрытия возрастает, причем тем больше, чем выше температура воздуха. При обратном изменении температуры, с плюса на минус, термическое сопротивление защитного покрытия уменьшается и достигает своего первоначального расчетного значения.

Для реализации данной идеи нами предложена оригинальная конструкция элементарной ячейки покрытия, которая состоит из слоистых элементов, соединенных между собой определенным образом, и элементов с существенно изменяющимся от температуры коэффициентом линейного расширения. При отрицательной температуре ячейка покрытия представляет собой достаточно плотный слоистый материал, количество слоев которого определяется диапазоном возможного изменения эксплуатационной температуры. При повышении температуры происходит разуплотнение слоистого материала за счет образования между слоями воздушных зазоров, размер которых тем больше, чем больше тепловой поток, действующий на покрытие. При этом воздушные зазоры уменьшаются или увеличиваются пропорционально поперечному градиенту температуры в покрытии. Соответственно, термическое сопротивление ячейки такого покрытия будет тем больше, чем выше температура воздуха в сооружении. При понижении температуры воздушные промежутки уменьшаются, отдельные слои смыкаются между собой и термическое сопротивление покрытия резко уменьшается, что позволяет эффективно осуществлять охлаждение горных пород.

Разработана методика расчета элементарной ячейки универсального покрытия, позволяющая определять изменение термического сопротивления в зависимости от плотности теплового потока и температуры в сооружении, а также устанавливать конструктивные оптимальные параметры ячейки покрытия.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Авксеньтьев И.В.* Теплоизоляция горных выработок в условиях многолетней мерзлоты / И.В.Авксеньтьев, В.Н.Скуба. Новосибирск: Наука, 1984. 176 с.

2. *Галкин А.Ф.* Набрызгбетонная теплозащитная крепь / А.Ф.Галкин, В.В.Киселев, А.С.Курилко. Якутск: ЯНЦ СО РАН, 1992. 164 с.

3. *Галкин А.Ф.* Новая технология крепления горных выработок в криолитозоне // Техника и технология. 2011. № 3. С.46-47.

4. *Галкин А.Ф.* Расчет параметров теплозащитных покрытий подземных сооружений криолитозоны // Изв. вузов. Горный журнал. 2008. № 6. С.81-89.

5. *Галкин А.Ф.* Тепловой режим подземных сооружений Севера. Новосибирск: Наука, 2000. 304 с.

6. *Скуба В.Н.* Исследование устойчивости горных выработок в условиях многолетней мерзлоты. Новосибирск: Наука, 1974. 118 с.

7. *Шувалов Ю.В.* Теория и практика оптимального управления тепловым режимом подземных сооружений криолитозоны / Ю.В.Шувалов, А.Ф.Галкин // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2010. № 8. С.365-370.

REFERENCES

1. *Avksentyev I.V., Scuba V.N.* Insulation of mining in permafrost conditions. Novosibirsk: Nauka, 1984. 176 p.

2. *Galkin A.F, Kiselev V.V., Kurilko A.S.* Thermal protective shotcrete lining. Yakutsk: YaNTs of the Siberian Branch of the Russian Academy of Science, 1992. 164 p.

3. *Galkin A.F.* The new technology of fixing mines in permafrost // Technique and Technology. 2011. № 3. P.46-47.

4. *Galkin A.F.* Calculation of parameters thermal barrier coatings underground structures permafrost // News of the Higher Institutions. Mining Journal. 2008. № 6. P.81-89.

5. *Galkin A.F.* Thermal regime of underground structures of the North. Novosibirsk: Nauka, 2000. 304 p.

6. *Scuba V.N.* Investigation of the stability of mine workings in permafrost conditions. Novosibirsk: Nauka, 1974. 118 p.

7. *Shuvalov Y.V., Galkin A.F.* The theory and practice of optimal thermal management of underground facilities permafrost // Mining informational and analytical bulletin. 2010. № 8. P.365-370.