УДК 622:536

С.Г.ГЕНДЛЕР
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ БЕЗОПАСНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИ ДОБЫЧЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ В СУРОВЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Суровый климат и залегание многолетнемерзлых пород характеризуют почти 2/3 территории России. Значительная амплитуда колебаний температуры атмосферного воздуха, составляющая 70-100 °С, определяет знакопеременный характер тепло- и массообменных процессов в горных выработках. Эти процессы оказывают влияние на многие аспекты безопасности и эффективности добычи полезных ископаемых, а также эксплуатации подземных сооружений. Дана характеристика влияния термодинамических параметров рудничного воздуха и горного массива на здоровье людей и производительность труда, запыленность воздуха, устойчивость горных пород, образование наледей, проветривание и т.д. Отмечается разница в принципах регулирования теплового режима подземных выработок в условиях многолетнемерзлых пород и при высоких температурах горного массива. Дан анализ причин, затрудняющих эксплуатацию подземных сооружений. Описаны особенности формирования и управления тепловым режимом железнодорожных тоннелей. Отмечен вклад ученых и выпускников горного факультета института в разработку теплофизических основ обеспечения безопасности и эффективности добычи полезных ископаемых и эксплуатации подземных сооружений.

Severe climate and the permafrost rocks characterize almost 2/3 terrains of Russia. Considerable temperature of atmospheric air amplitude oscillation equal 70-100 °C determines alternating-sign nature of the heat and mass-transfer in workings. These processes influence on many aspects safety and efficiency of minerals mining and operating underground structures. In the paper the characteristic of mine air and rock massif thermodynamic parameters influence on health of the people and labor productivity, dustiness of air, stability of rocks, formation of ice coatings, ventilation and etc. is given. Difference in principles of regulation of workings heat regime in permafrost rocks and at high rock temperature heats is marked. The analysis of the causes complicating operating of underground structures is given. The features of formation and control of railway tunnels heat regime are described. The contribution of the mining faculty scientists and graduates in elaboration of thermal bases both the safety and efficiency of minerals mining and operating of underground structures is marked.

Целенаправленное изучение теплофизических аспектов безопасности и эффективности при ведении горных работ началось с оценки влияния микроклимата на здоровье и работоспособность горнорабочих при температуре пород, превышающей 35-40 °С. В нашей стране такие исследования стали развиваться с 30-х гг. XX в. на базе глубоких шахт Донецкого угольного бассейна по инициативе А.А.Скочинского.

Для разработки шахт и рудников Севера и Северо-Востока России необходимо решение проблем, связанных с оценкой влияния термодинамических параметров воздушной среды и горного массива не только на самочувствие рабочих, но и на проветривание горных выработок, уровень запыленности, интенсивность газовыделений и протекания окислительных процессов, возможность самовозгорания углей и руд, организацию пожарного водоснабжения и

защитного заземления электрооборудования, образование наледей и другие процессы, определяющие безопасность и эффективность горных работ.

Ведущая роль в исследованиях, направленных на решение этих проблем, принадлежала ученым горного факультета Санкт-Петербургского государственного горного института (технического университета). Под руководством Заслуженного деятеля науки и техники РФ, профессора Ю.Д.Дядькина была обоснована процедура вычисления предельно допустимых отрицательных температур воздуха, разработаны методы расчета теплового режима горных выработок в зоне многолетнемерзлых пород, выявлены и объяснены закономерности воздействия знакопеременной температуры рудничного воздуха на изменение устойчивости и несущей способности горного массива, окружающего выработки, установлена связь тепло- и массообменных процессов с запыленностью воздуха и направлением движения вентиляционной струи [8].

В работах учеников Ю.Д.Дядькина эти исследования получили логическое продолжение. Так, в работах Ю.В.Шувалова и А.Ф.Галкина была уточнена модель теплового взаимодействия человека с окружающей средой в горных выработках при отрицательной температуре воздуха и вычислены предельные параметры подземного микроклимата [4, 12]. Значения этих параметров были включены в предпоследнюю редакцию Правил безопасности в угольных и сланцевых шахтах и сыграли положительную роль в обеспечении безопасности труда на угольных шахтах Севера [10]. Исследования, проведенные Э.М.Прониным для условий рудника А.Матросова Наталкинского месторождения, позволили уточнить и распространить ранее разработанные методы расчета устойчивых пролетов обнажений горных пород, залегающих на небольшой глубине и имеющих достаточно высокую равномерно распределенную льдистость [8], на глубину 100-150 м и породные массивы, характеризующиеся наличием ледяных прослоек и включений [11].

При использовании современных погрузочно-доставочных машин с дизельным двигателем в выработки необходимо подавать значительные количества воздуха. Отсутствие его подогрева в зимний период времени может привести к снижению температуры воздуха в сети горных выработок до величины, при которой резко ухудшаются эксплуатационные характеристики горного оборудования. Кроме того, интенсивное проветривание вызывает рост числа простудных заболеваний. В то же время в летний период при отрицательной температуре горных пород в результате теплообмена с поступающим воздухом происходит их оттаивание, сопровождающееся снижением прочности пород. Очевидно, что подогрев воздуха зимой, с одной стороны, повысит эффективность работы оборудования и сократит рост числа простудных заболеваний, а с другой, увеличит глубину оттаивания пород летом, что потребует использования специальных мероприятий по повышению устойчивости горного массива.

Ряд таких мероприятий предложен в работах [4, 8]. Некоторые из них к настоящему моменту уже устарели. Например, предложенная еще в 1960 г. рециркуляционная схема проветривания россыпных шахт, при которой в летнее время исходящая воздушная струя с отрицательной температурой вновь подается в ствол, в современных условиях потребует значительных затрат на очистку исходящей воздушной среды от газов, выделяющихся при работе машин и оборудования. Более перспективным вариантом следует считать осуществление интенсивного промораживания массива горных пород в зимний период времени, что способствует снижению его оттаивания летом. По оценкам А.Ф.Галкина, это достигается в результате реверсирования вентиляционной струи, что позволяет повысить аккумуляцию холода в породах. Дополнительным средством для уменьшения оттаивания пород следует считать нанесение на поверхность выработок теплоизоляционного покрытия. В качестве таких покрытий могут применяться, например, пенополиуретаны [1], легкие бетоны [3] или

другие материалы с низким коэффициентом теплопроводности. Методики выбора параметров теплоизоляционного покрытия предложены в работах [3, 12, 13].

Переход горных работ на подмерзлотные горизонты изменил принципиальные подходы к регулированию теплового режима в подземных выработках. В наибольшей степени это отразилось на выборе систем регулирования микроклимата в рудниках Норильска, где горные работы ведутся на глубине 1000-1500 м в породах с начальной температурой 30-40 °С. Влияние на тепловой режим теплоты гидратации бетонных твердеющих массивов, от окисления руды, от работающих машин и оборудования в ряде случаев приводит к превышению предельно допустимых значений температуры воздуха в выработках. Этот факт был подтвержден комплексом теоретических и натурных исследований, результаты которых изложены в работах Ю.В.Шувалова, С.Г.Гендлера, В.Н.Бобровникова, П.Я.Богинского, Ю.М.Смирнова, В.И.Хуцишвили [2, 5, 12]. Создается парадоксальная ситуация, при которой в зимний период времени воздух вначале необходимо подогревать до положительной температуры, а, затем, при подаче его в очистные и подготовительные забои охлаждать до температуры, обеспечивающей на рабочих местах климатические условия, регламентированные Правилами безопасности. Возможность разрешения этой ситуации связана с внедрением систем регулирования, основанных на использовании природных и вторичных источников теплоты и холода. Научные основы проектирования таких систем разработаны Ю.В.Шуваловым [12].

Возможность повышения защищенности объектов производственно-складского и транспортного назначения от внешних воздействий, обеспечения в них требуемых параметров микроклимата с меньшими энергозатратами и при значительном сокращении расходов строительных и теплоизоляционных материалов по сравнению с наземными аналогами, обусловили в последние годы рост числа и номенклатуры подземных сооружений. Эта тенденция не могла не коснуться и районов с суровым климатом. В отличие от горно-добывающих предприятий, в подземных сооружениях производственно-складского помещения необходимо поддерживать постоянные значения термодинамических параметров воздушной среды, допуская лишь незначительные колебания в течение всего периода эксплуатации. Исследованию теплового режима некоторых типов подземных сооружений производственно-складского назначения и определению параметров их систем регулирования посвящены работы А.Ф.Зильберборда [9], А.Ф.Галкина [4], С.Г.Гендлера [6].

Особенностью формирования теплового режима транспортных подземных сооружений является его более значительная, чем для сооружений производственно-складского назначения, зависимость от комплекса природных факторов. Кроме того, существенное влияние на тепловой режим оказывает периодическое движение транспортных средств, приводящее к поступлению в выработки значительных количеств наружного воздуха. В зимний период тепловое взаимодействие холодного наружного воздуха, бетонной обделки и воды обуславливает процессы термического разрушения обделки тоннеля и образования наледей. Необходимые и достаточные условия развития этих процессов изучены в работе [7]. Там же предложены мероприятия по предотвращению или минимизации интенсивности процесса образования наледей, наиболее радикальным из которых является создание в транспортных выработках положительного теплового режима за счет подогрева наружного воздуха. Это техническое решение было реализовано на Байкальском тоннеле (длина 6,7 км), причем для подогрева воздуха использовались не только электрическая энергия, но и теплота горных пород и исходящей воздушной струи. Опыт эксплуатации системы подогрева на Байкальском тоннеле был использован для организации подогрева наружного воздуха на Северо-Муйском тоннеле (длина 15 км). При этом были реализованы технические решения, некоторые из которых не имеют

аналогов в мировой практике. В частности, на порталах тоннеля были установлены оригинальной конструкции раздвижные вентиляционные ворота для управления количеством воздуха, поступающего в тоннель. Первые результаты эксплуатации системы подогрева воздуха на Северо-Муйском тоннеле подтвердили правомерность основных принципов, использованных при ее создании, и продемонстрировали достаточно высокую эффективность системы.

Таким образом, обеспечение безопасности и эффективности процесса добычи полезных ископаемых и эксплуатации подземных сооружений в условиях сурового климата может быть достигнуто только при учете теплофизических аспектов, определяемых термодинамическими параметрами воздуха и горного массива и их динамикой.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Авксентьев И.В.* Теплоизоляция горных выработок в условиях многолетней мерзлоты / И.В.Авксентьев, В.Н.Скуба. Новосибирск: Наука, 1984. 152 с.

2. *Богинский П.Я.* Исследование процесса нестационарного теплообмена при нагнетательном проветривании тупиковых выработок / П.Я.Богинский, С.Г.Гендлер, В.И.Хуцишвили // Физические процессы горного производства / ЛГИ. Л.,1977. Вып.4. С.40-44.

3. *Галкин А.Ф.* Набрызг-бетонная теплозащитная крепь / А.Ф.Галкин, В.В.Киселев, А.С.Курилко; ЯНЦ СО РАН. Якутск, 1992. 164 с.

4. *Галкин А.Ф.* Тепловой режим подземных сооружений Севера. Новосибирск: Наука, 2000. 303 с.

5. *Гендлер С.Г.* Особенности тепловых расчетов горных выработок при системах разработки с твердеющей закладкой // Известия вузов. Горный журнал. 1981. № 11. С.19-22.

6. *Гендлер С.Г.* Тепловой режим подземных сооружений / ЛГИ. Л., 1987. 101 с.

7. *Гендлер С.Г.* Прогноз и методы борьбы с наледеобразованием в транспортных тоннелях, расположенных в суровых климатических условиях // Доклады VIII пленарного заседания Международного бюро по горной теплофизике. СПб, 2000. С. 30-36.

8. *Дядькин Ю.Д.* Основы горной теплофизики для шахт. М.: Недра, 1968. 253 с.

9. *Зильберборд А.Ф.* Тепловой режим подземных сооружений и инженерно-геологические условия их оптимального размещения / А.Ф.Зильберборд, Г.С.Горская, М.А.Городецкая. М.: Недра, 1977. 152 с.

10. Правила безопасности в угольных и сланцевых шахтах. М.: Недра, 1986. 446 с.

11. *Пронин Э.М.* Определение рациональных параметров очистных камер при разработке крутопадающих рудных месторождений средней мощности в зоне многолетней мерзлоты: Автореф. дис. ... канд. техн. наук / ЛГИ. Л., 1983. 20 с.

12. *Шувалов Ю.В.* Регулирование теплового режима шахт и рудников Севера. Л.: Изд-во ЛГУ, 1988. 192 с.

13. *Шувалов Ю.В.* Решение двухфазной задачи Стефана для плоскопараллельного потока / Ю.В.Шувалов, М.М.Энкашев // Физические процессы горного производства / ЛГИ. Л., 1983. Вып.11. С.19-25.