DOI 10.18454/PMI.2016.3.377

Горное дело

УДК 536.24: 622.413

ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ РУДНИКОВ КРИОЛИТОЗОНЫ

А.Ф.ГАЛКИН
Санкт-Петербургский горный университет, Россия

Приведены результаты качественного и количественного анализа формирования теплового режима современных механизированных рудников криолитозоны. Установлены основные закономерности формирования теплового режима в выработках рудника и окружающих их горных пород в течение годового цикла. Сделана оценка жесткости микроклимата при эксплуатации рудника без регулирования теплового режима. Установлено, что для большинства существующих и проектируемых рудников криолитозоны на всем протяжении вентиляционного пути жесткость параметров микроклимата в холодный период года превышает допустимые значения. Это может вызвать существенное увеличение производственно-обусловленных простудных заболеваний рабочих. Показано, что часть выработок рудника при эксплуатации в условиях нерегулируемого теплового режима не отвечает критерию безопасности при возникновении чрезвычайных ситуаций. В частности, это связано с тем, что типовые самоспасатели, используемые в рудниках, имеют предельную температуру эксплуатации –20 °С. В холодный период года воздух в большинстве выработок имеет температуру ниже этого значения. По результатам исследований предложен алгоритм прогноза и оценки параметров теплового режима рудников, который позволит обеспечить безопасную эксплуатацию рудников как в обычный период, так и при возникновении чрезвычайных ситуаций.

***Ключевые слова*:** рудник, тепловой режим, проветривание, безопасность, регулирование, криолитозона.
***Как цитировать эту статью*:** Галкин А.Ф. Тепловой режим рудников криолитозоны // Записки Горного института. 2016. Т.219. С.377-381. DOI 10.18454/PMI.2016.3.377

Развитие горнодобывающей промышленности России происходит, в основном, за счет северных регионов, климат которых характеризуется большой продолжительностью зимнего периода с низкими отрицательными температурами воздуха. Соответственно, и энергетические затраты на регулирование теплового режима шахт и рудников Севера значительно выше, чем в других горнодобывающих регионах [4, 6, 7, 9].

При проектировании и эксплуатации современных высокомеханизированных рудников Севера регулирование теплового режима не предусматривается вовсе, так как не считается, что работники находятся в дискомфортной температурной зоне, а устойчивость горных выработок, а следовательно, и безопасность работ при нерегулируемом тепловом режиме выше. Спорность этого утверждения не является очевидной и требует научного обоснования в каждом конкретном случае. Как проектировщики, так и контролирующие органы едины во мнении, что при нерегулируемом тепловом режиме возникает проблема в области безопасности при возникновении чрезвычайных ситуаций (ЧС) в руднике, например при пожаре. Дело в том, что при отсутствии регулирования теплового режима температура воздуха в отдельных выработках рудника в определенный период года может составлять –40 °С и ниже [4, 5]. Это делает невозможным использование обычных типовых самоспасателей, которые могут применяться только при температурах выше –20 °С. Соответственно, при проектировании необходимо предусмотреть комплекс специальных мероприятий для безопасного подъема горняков на поверхность с учетом данного ограничения.

При проектировании рудников с нерегулируемым тепловым режимом для минимизации негативных последствий возможных чрезвычайных ситуаций разрабатываются специальные «Мероприятия по ведению спасательных работ при пожарах в подземных горных выработках в условиях отрицательных температур воздуха», которые потом используются при разработке планов ликвидации аварий. Как правило, основные рекомендуемые мероприятия заключаются в следующем: 1) прекращение работ в руднике при температуре ниже –40 °С; 2) использования калориферных установок для подогрева воздуха в период реверсии вентиляционной струи; 3) контроль формирования теплового режима в выработках; 4) корректировка планов ведения горных работ в течение сезонов года.

Выполненный качественный и количественный анализ проектных разделов данного документа показал, что они не учитывают ряд специфических моментов, которые характерны для рудников криолитозоны и нуждаются в корректировке. Причем многие недостатки вызваны отсутствием теоретического и практического опыта исследований теплового режима в механизированных рудниках криолитозоны. В частности, в качестве критерия для определения возможности эффективного проведения гипотетической спасательной операции выбирается температура воздуха, равная –20 °С. Это предельная температура эксплуатации горнорабочими типовых самоспасателей марки ШСС-Т и

DOI 10.18454/PMI.2016.3.377

ШСС-М. Таким образом, в данном случае прямого расчетного запаса нет. Существует только косвенный, определяемый вероятностью появления низких температур в районе строительства рудника. Следует учесть, что с течением времени при эксплуатации рудника будет происходить прогрессирующее охлаждение горных пород. И общее количество выработок, которые попадут в зону недопустимых температур, будет увеличиваться.

Кроме того, при разработке мероприятий не учитывается ни прямо, ни косвенно факт резкого увеличения энергетической стоимости работ горноспасателей при низких температурах. Известно, что энергозатраты на выполнение работы любой степени тяжести при понижении температуры повышаются [1, 2], например, при температуре –20 °С они увеличиваются почти на 30 %. Следует ожидать, что при работе в изолирующих самоспасателях эти значения будут еще выше. Увеличивается и время физиологически необходимого отдыха человека для восстановления нормальной работоспособности.

Изменяется и собственно градация труда по тяжести. Например, труд «средней тяжести» переходит в «тяжелый». А «тяжелый», соответственно, в «очень тяжелый». Если данный показатель учесть в известных расчетных формулах, то изменится и допустимая температура воздуха в выработках, а следовательно, и требуемая мощность калориферной установки. Контрольные расчеты показывают, что установочная мощность калорифера в этом случае увеличится в 1,3-1,5 раза (соответственно при подогреве воздуха на выходе из калорифера до –15 и –10 °С).

Следует отметить, что суть предлагаемых конкретных мероприятий (реверсия с подогревом воздуха) останется прежней. Изменится только количество задействованных установок, т.е. установка, которую обычно относили к резервной, должна рассматриваться как основная. Должен также увеличиться и резервный запас топлива. В материальной составляющей это практически не изменяет суть технических предложений, но существенно увеличивает их надежность. В качестве дополнительного замечания укажем на отсутствие при разработке разделов типовых мероприятий расчетов по величине и изменению естественной тяги воздуха при реверсии вентиляционной струи при пожаре в руднике в различные периоды года.

При подготовке разделов мероприятий для плана ликвидации аварий целесообразен следующий порядок действий. В первую очередь необходимо сделать прогноз ожидаемого изменения температуры воздуха по сети горных выработок в течение года. Затем следует определить предельную длину вентиляционного пути, на котором даже в самый холодный период года температура не превысит значение, допустимое по правилам технической эксплуатации самоспасателей. Последнее дает возможность квалифицированно оценить риски, возникающие в условиях ЧС, и разработать превентивные мероприятия уже на стадии проектирования рудника.

Для прогноза теплового режима в горных выработках рудников целесообразно использовать модифицированные для рассматриваемых условий модели, приведенные в работах [3, 8]. На их основе были проведены многовариантные расчеты для строящихся и проектирующихся рудников криолитозоны. Рассмотрим результаты расчетов на примере проектирующегося механизированного рудника криолитозоны «Джульетта» (расчеты выполнены аспирантами А.В.Дормидонтовым, А.А.Ивашиным, А.А.Наумовым, Д.В.Николаевой). Целью тепловых расчетов являлась оценка влияния теплового режима на безопасность и комфортность условий труда горнорабочих в различные периоды года, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций в руднике.

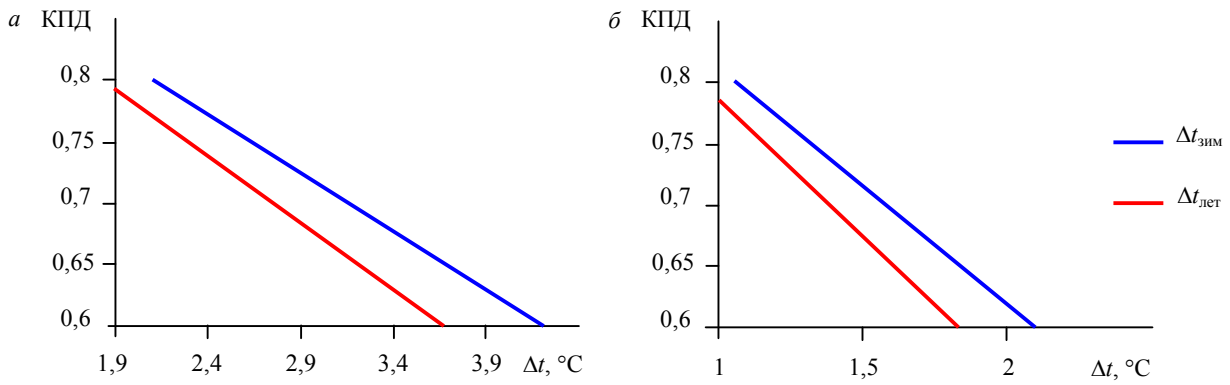


Рис.1. Приращение температуры рудничного воздуха в зависимости от КПД дизельных машин при общей мощности силовых установок 708 кВт и расходе воздуха 60,1 м^3/с (*а*) и 120,2 м^3/с (*б*)

DOI 10.18454/PMI.2016.3.377

Результаты расчетов свидетельствуют о том, что полученные качественные закономерности в большинстве случаев соответствуют традиционным представлениям о формировании естественного (нерегулируемого) теплового режима в горных выработках рудников при постоянном проветривании [4-6] и различаются только количественными характеристиками, обусловленными небольшими геометрическими размерами рудника. Расчеты были проведены для характерных участков вентиляционного пути.

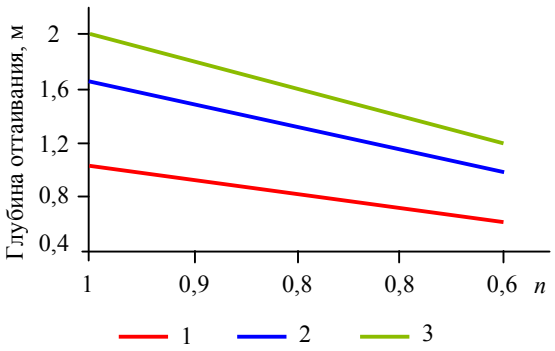


Рис.2. Изменение глубины оттаивания пород для инженерно-геологического элемента № 7

1 – за 1 месяц (июнь); 2 – за 2 месяца (июнь – июль); 3 – за 3 месяца (июнь – август)

Установлено, что в условиях обычной эксплуатации наблюдается прогрессивное охлаждение горных выработок. Существенное влияние на формирование теплового режима оказывают абсолютные источники тепловыделений (работающие дизельные машины). При построении графиков повышения температуры воздуха в выработках за счет действия абсолютных источников последние рассматривались как равномерно распределенные по длине вентиляционного пути, по которым они осуществляют движение (рис.1).

Из графиков (рис.1, *а*) видно, что с уменьшением коэффициента полезного действия машины прирост температуры увеличивается. Например, при КПД, равном 0,6, прирост температуры может составить 3,7 °С в летний период и почти 4,2 °С в зимний период. Разный уровень нагрева воздуха в зимний и летний периоды объясняется тем, что воздух зимой достаточно сухой и теплоемкость его ниже, чем в летний период года, когда абсолютная влажность воздуха значительно выше.

Очевидно также, что чем больше расход воздуха, тем меньше влияние машин и механизмов на формирование теплового режима в руднике как в летний, так и в зимний периоды года (рис.1, *б*).

Прогноз глубины оттаивания горных пород является важной составляющей, позволяющей оценить устойчивость горных выработок. Прогноз проводился по модифицированной методике, приведенной в работе [4]. Поскольку свойства горных пород и их естественный температурный режим в реальных условиях могут изменяться, рассматривались расчетные варианты от наилучшего (n = 0,6) до наихудшего (n = 1,0). Анализ показал, что даже в наихудшем случае глубина ореола оттаивания в выработках рудника не превысит 2 м. В реальных условиях это значение будет колебаться от 1,7 до 1,5 м. Пример расчета для пород характерного инженерно-геологического элемента (№ 7, андезиты) приведен на рис.2. Характеристики пород ИГЭ 7 являются наиболее часто встречающимися по всей длине выработок, и поэтому могут рассматриваться как типичные.

Поскольку свойства пород и температура в выработках носят случайный характер, были проведены многовариантные расчеты для различных теоретически возможных случаев, например, необычайно жаркого лета или увеличения длительности периода оттаивания от 3 до 5 месяцев. Построены гистограммы возможного изменения глубины оттаивания пород по всей длине вентиляционного пути. Установлено, что глубина оттаивания изменяется незначительно даже при увеличении расхода воздуха в 2 раза. Это объясняется тем, что уже при расходе воздуха 60,1 м^3/с коэффициент теплоотдачи от воздуха к породам имеет очень большое значение и, практически, температура стенки горной выработки равна температуре воздуха. Следует отметить, что при нерегулируемом тепловом режиме происходит прогрессирующее охлаждение горных пород деятельного слоя выработок, в связи с чем глубина оттаивания пород будет уменьшаться от года к году.

Используя результаты прогноза теплового режима выработок, была сделана оценка жесткости микроклимата в руднике. Под жесткостью микроклимата понимается такое сочетание параметров микроклимата, суммарное воздействие которых на рабочего не приводит к производственно-обусловленным простудным заболеваниям [4]. Для подземных горных выработок в криолитозоне рекомендуется использовать следующие предельные сочетания температуры и скорости воздуха v в метрах в секунду: а) для очистных и подготовительных выработок $t \geq 2v - 8$ °С; б) для остальных выработок $t \geq 2v - 15$ °С.

Анализ данных расчетов показал, что в большинстве горных выработок рудника при естественном тепловом режиме жесткость микроклимата в зимний период года существенно превышает предельные рекомендуемые значения. При эксплуатации рудника следует учитывать этот факт и предусмотреть, наряду с индивидуальными средствами защиты горнорабочих от охлаждающего микроклимата, специальные обогревательные пункты.

DOI *10.18454/PMI.2016.3.377*

Выводы

Выполненный анализ показал, что проведение исследований и разработка рекомендаций по прогнозу, выбору и обеспечению оптимальных параметров теплового режима золотодобывающих рудников Севера с целью повышения надежности и безопасности их эксплуатации как с естественным (нерегулируемым), так и с регулируемым тепловым режимом является актуальной проблемой горной теплофизики на современном этапе. Для достижения цели должны быть решены следующие основные задачи.

1. Организация системных наблюдений за формированием естественного теплового режима в горных выработках рудников и окружающем массиве пород на различных стадиях отработки рудного тела.

2. Разработка экспериментально-теоретического метода прогноза теплового режима в рудниках для проведения прямых и обратных расчетов, в том числе при реверсии вентиляционной струи с переменным расходом воздуха.

3. Экспериментально-аналитическая оценка влияния теплового режима на основные и вспомогательные процессы горного производства, включая безопасность ведения горных работ и обеспечение длительной устойчивости горных пород.

4. Оценка целесообразности и выбор рациональных параметров горнотехнических систем регулирования теплового режима, в том числе на основе вторичного использования отработанных горных выработок.

5. Оценка и выбор рациональных параметров теплового режима рудников в условиях чрезвычайных ситуаций.

6. Разработка практических рекомендаций для проектирования и эксплуатации рудников по выбору и обеспечению рациональных параметров теплового режима, минимизирующих негативное влияние теплового фактора на ведение горных работ.

7. Разработка требований и типовой методики по составлению планов ликвидации аварий на рудниках криолитозоны, эксплуатирующихся без регулирования теплового режима.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Афанасьева Р.Ф.* Холодовой стресс // Библиотека инженера по охране труда. 2007. № 6. С.73-82.

2. *Галкин А.Ф.* Экспериментальные исследования энергетических затрат работников в условиях охлаждающего микроклимата / А.Ф.Галкин, Р.Г.Хусаинова // Записки Горного института. 2014. Т.207. С.103-105.

3. *Галкин А.Ф.* Теплоаккумулирующие выработки / А.Ф.Галкин, Ю.А.Хохолов. Новосибирск: Наука, 1992. 133 с.

4. *Дядькин Ю.Д.* Основы горной теплофизики. М.: Недра, 1968. 256 с.

5. *Дядькин Ю.Д.* Тепловой режим рудных, угольных и россыпных шахт Севера / Ю.Д.Дядькин, А.Ф.Зильберборд, П.Д.Чабан. М.: Наука, 1968. 172 с.

6. *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.

7. *Galkin A.F.* Integrated use of mine openings in criolithic zone // Metallurgical and mining Industry. 2015. N 2. P.312-315.

8. *Galkin A.F.* Programmer complex for deciding problems of mining thermal physics / A.F.Galkin, Y.A.Hoholov, E.K.Romanova // CHMTYG Proceedings of the Int. Conf. of Computational Heat and Mass Transfer / Eastern Mediterranean University, G. Magasa, April 26-29, Turkey, 1999. P.153-157.

9. *Galkin A.F.* Thermal control mining system design // Metallurgical and mining Industry. 2015. N 4. P.396-399.

***Автор* А.Ф.Галкин**, *д-р техн. наук, профессор, afgalkin@yandex.ru* (*Санкт-Петербургский горный университет, Россия*).
Статья принята к публикации 17.02.2016.

THE THERMAL CONDITION OF THE MINES IN CRYOLITE ZONE

A.F.GALKIN
Saint-Petersburg Mining University, Russia

Are given the results of the qualitative and quantitative analysis of the formation of the thermal condition of the contemporary mechanized mines in cryolite zone. Are established basic laws governing the formation of thermal condition in workings of mine and their surrounding rocks during the annual cycle. The estimation of the hardness of microclimate with the operation of mine without the regulation of thermal condition is made. It was established that for most existing and planned mines in permafrost areas the gravity of microclimate during the cold period of the year exceeds the maximum permissible values along the whole length of the ventilation path. This can cause a significant increase in occurrence of cold-like occupational diseases in the workers. It is shown that the part of the productions of

DOI *10.18454/PMI.2016.3.377*

mine, with the operation under the conditions of the uncontrolled thermal condition, does not answer the criterion of safety with the appearance of extraordinary situations. In particular, it is connected with that the standard self-rescuers commonly used in the mines have the lowest operating temperature not less than -20 ^{0}C. During the cold period of the year the air temperature in most workings is lower than this value. In accordance with the results of research an algorithm for prognosis and assessment of parameters of heat regime of mines which would allow to secure a safe exploitation of the mine during both normal operating conditions and in cases of emergency situations.

***Key words*:** mine, thermal condition, ventilation, safety, regulation, cryolite zone.

***How to cite this article*:** Galkin A.F. The thermal condition of the mines in cryolite zone. Zapiski Gornogo instituta. 2016. Vol.219, p.377-381. DOI 10.18454/PMI.2016.3.377

REFERENCES

1. *Afanas'eva R.F.* Holodovoj stress (*Cold stress*). Biblioteka inzhenera po ohrane truda. 2007. N 6. C.73-82.

2. *Galkin A.F.*, *Husainova R.G.* Jeksperimental'nye issledovanija jenergeticheskih zatrat rabotnikov v uslovijah ohlazhdajushhego mikroklimata (*Experimental studies of power expenditures of workers in the conditions of the cooling microclimate*). Zapiski Gornogo instituta. 2014. Vol.207, p.103-105.

3. *Galkin A.F.*, *Hoholov Ju.A.* Teploakkumulirujushhie vyrabotki (*Heat-retaining Workings*). Novosibirsk: Nauka, 1992, p.133.

4. *Djad'kin Ju.D.* Osnovy gornoj teplofiziki (*Basics of Mining Thermophysics*). Moscow: Nedra, 1968, p.256.

5. *Djad'kin Ju.D.*, *Zil'berbord A.F.*, *Chaban P.D.* Teplovoj rezhim rudnyh, ugol'nyh i rossypnyh shaht Severa (*The thermal regime of ore, coal and placer mines in the North*). Moscow: Nauka, 1968, p.172.

6. *Shuvalov Ju.V.*, *Galkin A.F.* Teorija i praktika optimal'nogo upravlenija teplovym rezhimom podzemnyh sooruzhenij kriolitozony (*The theory and practice of optimal thermal management of underground facilities permafrost*). Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten'. 2010. N 8, p.365-370.

7. *Galkin A.F.* Integrated use of mine openings in criolithic zone. Metallurgical and mining Industry. 2015. N 2, p.312-315.

8. *Galkin A.F.*, *Hoholov Y.A.*, *Romanova E.K.* Programmer complex for deciding problems of mining thermal physics. CHMTYG Proceedings of the Int. Conf. of Computational Heat and Mass Transfer. Eastern Mediterranean University, G. Magasa, April 26-29, Turkey, 1999, p.153-157.

9. *Galkin A.F.* Thermal control mining system design. Metallurgical and mining Industry. 2015. N 4, p.396-399.

***Author* A.F.Galkin,** *Dr. of Engineering Sciences*, *Professor*, *afgalkin@yandex.ru* (*Saint-Petersburg Mining University*, *Russia*)
Manuscript Accepted 17.02.2016.