

References

1. Quanlong L., Xinchun L. Effective stability control research of evolutionary game in China's coal mine safety supervision. *Journal of Beijing University of Technology*. 2015. Vol. 17(4). pp. 49–56.
2. Warren J. K. *Evaporites: A Geological Compendium*. 2nd ed. Cham : Springer, 2016. 1812 p.
3. Li Z., Wang E., Ou J., Liu Z. Hazard evaluation of coal and gas outbursts in a coal-mine roadway based on logistic regression model. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2015. Vol. 80. pp. 185–195.
4. Wang S., Elsworth D., Liu J. Rapid decompression and desorption induced energetic failure in coal. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2015. Vol. 7, Iss. 3. pp. 345–350.
5. Proskuryakov N. M., Kovalev O. V., Meshcheryakov V. V. *Gas-Dynamic Control in Potassium Strata*. Moscow : Nedra. 1988. 239 p.
6. Andreyko S. S., Ivanov O. V., Nesterov E. A., Golovaty I. I., Beresnev S. P. Research of salt rocks gas content of potash layer in the Krasnoslobodsky mine field. *Eurasian Mining*. 2013. No. 2. pp. 38–41.
7. Zakharov N. I., Polyanina G. D. Prediction of sudden salt and gas outbursts at the Inder deposit by geological signs. *Salt Rock Mining : Collection of Scientific Papers*. Perm. 1977. pp. 142–146.
8. Zhikharev S. Ya., Polyanina G. D., Paderin Yu. N. Method to prevent dynamic events in Berezniiki Mines 2 and 3. *Potash Mining Technology and Safety: Collection of Scientific Papers*. Perm. 1985. pp. 104–108.
9. Asanov V. A., Anikin V. V., Belyukov N. K., Evseev A. V., Toksarov V. N. Tool control method of strain-stress state of marginal salt rocks. *Eurasian Mining*. 2013. No. 2. pp. 20–24.
10. Kovalev O. V., Livensky V. S., Bylino L. V. Features of Safe Potash Rock Mass Development. Minsk : Polymya. 1982. 96 p.
11. Polyaninova G. D., Vinogradov Yu. A. Rockburst control in carnallite seam using stress-relief and gas drainage holes. *Physical Processes in Mining : Collection of Scientific Papers*. Moscow : MGI. 1994. pp. 51–53.
12. Bachurin B. A., Borisov A. A. Up-to-date gas-geochemical technologies for control of technogenesis processes during exploration of resources at Verkhnekamsky region. *Eurasian Mining*. 2013. No. 2. pp. 42–45.
13. Petrosyan A. E., Ivanov B. M., Krupenya V. G. *Theory of Outbursts*. Moscow : Nauka. 1983. 152 p.
14. Shadrin A. V., Geophysical criterion of pre-outburst crack propagation in coal beds. *Journal of Mining Science*. 2016. Vol. 52, No. 4. pp. 670–682.
15. Andreiko S. S., Kirienco V. M. Outburst control in zones of geological faulting in mines at the Starobinskoe potash deposit. *Gornaya mekhanika*. 2000. No. 3–4. pp. 38–41.
16. Andreiko S. S. Methods of advanced prevention of outbursts in potash seams. *Gornaya mekhanika*. 2004. No. 3–4. pp. 91–97.
17. Shcherba V. Ya. Prevention of gas-dynamic events in potash mine in the CIS countries. *Dynamic and Gas-Dynamic Events in Potash Mines*. Moscow : Gornaya Kniga. 2004. pp. 3–8.
18. Petukhov I. M., Linkov A. M., Sidorov V. S., Feldman I. A. *Theory of Protective Seams*. Moscow : Nedra. 1976. 223 p.
19. Dyagilev R. A., Shulakov D. Y., Verkholtantsev A. V., Glebov S. V. Seismic monitoring in potash mines: observation results and development aspects. *Eurasian Mining*. 2013. No. 2. pp. 24–28.

УДК 622.4

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ НОРМАЛИЗАЦИИ МИКРОКЛИМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУХА В ГЛУБОКИХ РУДНИКАХ ЗФ ПАО «ГМК «НОРИЛЬСКИЙ НИКЕЛЬ»

А. В. ЗАЙЦЕВ, заведующий сектором, канд. техн. наук, aerolog.artem@gmail.com

Л. Ю. ЛЕВИН, зам. директора по научной работе, д-р техн. наук

Б. П. КАЗАКОВ, главный научный сотрудник, проф., д-р техн. наук

Ю. А. КЛЮКИН, ведущий инженер

Горный институт УрО РАН – филиал ФГБУН Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН, Пермь, Россия

Введение

На современном этапе развития многие горные предприятия сталкиваются с необходимостью вовлечения в отработку новых, глубокозалегающих и труднодоступных залежей с целью поддержания и увеличения мощности добычи. При этом при увеличении глубины ведения горных работ возрастает температура окружающего породного массива и снижается количество вскрываемых горных выработок, что приводит к невозможности подачи больших объемов воздуха и усилению влияния техногенных источников тепловыделения на формирование неблагоприятных микроклиматических условий в горных выработках. В результате температура воздуха в горных выработках повышается до сверхнормативных величин, и, как показывает практический опыт, при температуре воздуха выше 36 °С ведение горных работ становится затруднительным, так как, помимо отрицательного влияния на

Установлены закономерности формирования теплового режима глубоких рудников и представлена методика разработки комплексных ресурсосберегающих систем нормализации микроклиматических условий в горных выработках. Приведены результаты опытно-промышленных испытаний разработанной и внедренной на руднике «Таймырский» подземной установки кондиционирования воздуха КШР-350Н. Разработана комплексная система нормализации теплового режима рабочих зон с применением центральной холодильной машины в шахте «Глубокая». Обоснована технологическая схема кондиционирования воздуха и определены требуемые технические параметры.

Ключевые слова: глубокие рудники, горные выработки, математическое моделирование, породный массив, источники тепловыделения, кондиционирование воздуха, микроклимат, АэроСеть.

DOI: 10.17580/gzh.2018.06.07

здоровье горнорабочих, происходит остановка горных машин и работ из-за перегрева оборудования.

В пределах стран СНГ особую остроту вышеуказанные проблемы приобретают при вскрытии и отработке залежей богатых и медистых руд месторождений ПАО «ГМК «Норильский никель», обрабатываемых рудниками «Таймырский» и «Комсомольский» (шахты «Скалистая» и «Глубокая»). На сегодняшний день на руд-

нике «Таймырский» горные работы ведутся на глубине до 1800 м, температура горных пород достигает 38 °С, а температура воздуха в рабочих зонах – 45 °С. Строящаяся шахта «Глубокая» будет самым глубоким подземным горнодобывающим предприятием в России — глубина ведения горных работ будет превышать 2000 м. По данным геологоразведочного бурения, температура горных пород равна 53 °С.

Проведенные на глубоких рудниках ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель» экспериментальные исследования позволили выявить следующие общие закономерности формирования микроклиматических условий в глубоких рудниках [1]. Начальные параметры воздуха, подаваемого в рудник, определяются климатическими условиями региона, зависят от его географического расположения, времени года и суток. При наличии системы воздухоподготовки на поверхности параметры воздуха претерпевают изменения и именно они определяют параметры воздуха на начальном участке ствола вблизи устья. В дальнейшем при опускании воздуха по стволу происходит заметный нагрев воздуха из-за гидростатического сжатия с градиентом 0,4–0,8 °С на каждые 100 м глубины, который может варьироваться в зависимости от интенсивности фазовых переходов влаги. При дальнейшем движении воздуха по главным воздухоподающим выработкам воздух в процессе теплообмена с окружающими горными породами принимает температуру нетронутого массива горных пород, зависящую от геотермии участка и глубины выработок. Расстояние, пройдя которое воздух принимает температуру пород, зависит от начальной разницы температур воздуха и нетронутого массива горных пород, скорости движения воздуха и поверхности теплообмена. Как правило, на практике это расстояние составляет от 1500 до 3000 м. И уже в пределах горизонтов ведения очистных работ отмечается зона резкого возрастания температуры воздуха и ухудшения микроклиматических условий непосредственно в рабочих зонах. Это объясняется значительным распараллеливанием воздушных потоков по отдельным подземным рабочим зонам и наличием следующих мощных источников тепловыделения: горных машин с двигателями внутреннего сгорания, твердеющих закладочных массивов и протяженных тупиковых горных выработок, находящихся в проходке.

На **рис. 1** приведены термограммы распределения температуры в тупиковых горных выработках в руднике «Таймырский» на глубине ведения горных работ 1600 м. На термограмме наглядно видно резкое локальное возрастание температуры воздуха при подаче его в забой, где наблюдаются наиболее неблагоприятные микроклиматические условия.

Ведение горных работ на таких глубинах требует разработки технических решений по нормализации теплового режима за счет. В тоже время их внедрение требует значительных затрат ресурсов, а их эффективность зависит от горнотехнических условий ведения горных работ. Поэтому данные задачи следует решать в привязке к индивидуальным особенностям горного предприятия. Основные требования при разработке систем нормализации теплового режима следующие образом [2]:

- обеспечение требуемых расходов, температуры и относительной влажности в горных выработках;

- минимальное сочетание капитальных и эксплуатационных затрат;

- надежность функционирования с учетом сезонных и суточных колебаний климатических параметров атмосферного воздуха, а также динамики ведения горных работ.

Анализ мирового опыта [3–7] показал, что качественно характер затрат на реализацию решений по нормализации микроклиматических условий в горных выработках можно представить в виде диаграммы (**рис. 2**). Начальный момент ведения горных работ, с которого начинается реализация горнотехнических и теплотехнических мероприятий, зависит от того, какая температура воздуха регламентируется как максимально допустимая. Поэтому создание адекватной ресурсосберегающей системы нормирования микроклиматических условий в горных выработках глубоких рудников, исключающей избыточные запасы параметров, является актуальной.

На сегодняшний день в отделе аэрологии и теплофизики Горного Института УрО РАН разработана прогрессивная система нормирования микроклиматических условий [8], удовлетворяющая требованиям действующих «Правил безопасности при ведении горных работ...» и СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» [9].

Методические основы разработки ресурсосберегающих систем нормализации микроклиматических условий

Выбор эффективных решений по нормализации микроклиматических условий с учетом минимизации суммарных капитальных и эксплуатационных затрат зависит от географических условий района, горногеологических условий месторождения, технологии ведения горных работ и применяемого горного оборудования.

В целом все способы регулирования теплового режима в зависимости от использования технических средств подготовки воздуха традиционно делятся на две группы [10]:

- горнотехнические, не использующие технические средства подготовки воздуха;

- теплотехнические, подразумевающие использование технических средств подготовки воздуха.

К основным горнотехническим способам относят увеличение подачи воздуха, изменение схем проветривания и параметров воздухоподающих горных выработок, применение теплоизоляционных покрытий и крепей стенок горных выработок.

К теплотехническим способам относят применение воздухоохлаждающих установок, размещаемых на поверхности и под землей, с источниками холода естественного, искусственного или испарительного типа [11–13].

Горнотехнические способы являются технически более простыми и дешевыми в реализации, но зачастую не позволяют осуществлять требуемое снижение температуры воздуха и учитывать динамику изменения теплового режима, связанную с ведением горных работ и колебанием температуры наружного воздуха. Теплотехнические способы являются более технологичными и совершенными, обеспечивают регулирование параметров в широком диапазоне условий, но требуют значительно больших капитальных и эксплуатационных затрат.

Задача выбора, комплексирования и определения параметров применения отдельных способов регулирования теплового режима может быть решена на основе метода вариантов, с использованием численного моделирования сопряженных процессов тепло- и воздухораспределения в сети горных выработок с учетом термодинамических факторов, влияющих на микроклиматические условия рудничной атмосферы.

Определения технических решений при разработке ресурсосберегающих систем нормализации микроклиматических условий осуществляется в несколько этапов [3]:

- разработка тепловой модели рудника на основе экспериментальных и проектных данных;
- выделение рабочих зон с временным и постоянным пребыванием горнорабочих, обоснование допустимых микроклиматических параметров воздуха в них;
 - расчет микроклиматических параметров в рабочих зонах;
 - определение эффективного комплекса горнотехнических и теплотехнических мероприятий по регулированию теплового режима по критерию обеспечения допустимых микроклиматических параметров воздуха в рабочих зонах;
- уточнение параметров разрабатываемых технических решений на основе многовариантного численного моделирования на тепловой модели.
- разработка технологических схем кондиционирования и утилизации избыточных тепловыделений и расчет технико-экономических параметров их внедрения.
- выбор оптимального варианта по критерию минимальных суммарных затрат на реализацию и эксплуатацию системы.

Для разработки тепловых моделей глубоких шахт и рудников, прогнозирования теплового режима и выбора способов его регулирования разработан программный модуль «Теплофизика», интегрированный в АК «АэроСеть» с удобным графическим интерфейсом [15].

Модуль «Теплофизика» позволяет производить расчет сопряженной задачи распределения аэродинамических и термодинамических параметров рудничного воздуха в сетевой постановке с учетом всех термодинамических факторов, влияющих на тепловой режим глубоких рудников. При этом отсутствуют ограничения на сложность построения топологии вентиляционной сети (количество ветвей и узлов), количество источников тяги и источников тепловыделения, диапазон задаваемых параметров. Архитектура модуля и дизайн программы адаптированы для разработки тепловых моделей шахт на основании либо данных натурных измерений (для существующих шахт или участков) либо проектных данных (для перспективных шахт или участков, согласно разработанной методике). Теплофизический модуль реализован с возможностью учета следующих физических процессов при расчетах:

- адиабатического сжатия и разряжения воздуха под действием гравитационного поля при его движении по вертикальным и наклонным горным выработкам;
- нестационарного сопряженного теплообмена между рудничным воздухом и массивом горных пород;

- фазовых переходов влаги на микроклиматические параметры воздуха;
- тепловыделений от горных машин с электрическими приводами и двигателями внутреннего сгорания, твердеющих закладочных массивов.

Это позволяет разрабатывать многофакторные тепловые модели и производить адекватное моделирование эффективности различных способов регулирования теплового режима.

Практические примеры применения предложенной методики для разработки теплотехнических систем нормализации микроклиматических условий на глубоких рудниках ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель» приводятся ниже.

Разработка и испытания подземной системы кондиционирования воздуха на руднике «Таймырский»

Для снижения температуры воздуха в условиях рудника «Таймырский» на основании выполненных исследований по разработке оптимальных систем подземного кондиционирования воздуха в подготовительных и очистных горных выработках совместно с компанией ООО «НПО «АэроСфера» разработана и внедрена в промышленную эксплуатацию система КШР-350Н.

Система кондиционирования представляет собой автономный шахтный кондиционер с возможностью самостоятельной установки входящих агрегатов (раздельный кондиционер). Конструкция входящих в состав КШР-350Н агрегатов позволяет изменять количество, состав и схему подключения агрегатов в зависимости от требований, предъявляемых к кондиционеру на месте эксплуатации [12]. Конструкция агрегатов КШР обеспечивает возможность подключения к имеющимся на месте эксплуатации магистральным водоводам технологической воды и вентиляционным ставам подачи воздуха, а также применение неполного комплекта агрегатов. Кондиционер КШР-350Н предназначен для регулирования температуры воздуха в подземных горных выработках шахт и рудников, в том числе опасных по газу и пыли.

На **рис. 3** представлен фотоснимок воздухоохладителя системы кондиционирования, размещенного в горных выработках подсечного горизонта шахты № 3 рудника «Таймырский».

Измерения параметров работы системы КШР-350Н проведены в следующих режимах (**табл. 1**):

1. Без кондиционирования воздуха.
2. С кондиционированием и локальным охлаждением всего воздушного потока в месте размещения установки.
3. С кондиционированием воздуха и подачей всего охлажденного воздуха в тупиковую горную выработку.
4. С кондиционированием воздуха и распределенной подачей воздуха в сквозную и тупиковую горную выработку.

В ходе проведения опытно-промышленных испытаний подтверждены следующие параметры и особенности системы, обеспечивающие эффективную работу в условиях глубоких горизонтов рудника «Таймырский»:

- холодопроизводительность системы 374 кВт;
- использование технической воды из противопожарного трубопровода в качестве технологического хладоносителя с расходом 18 м³/ч;

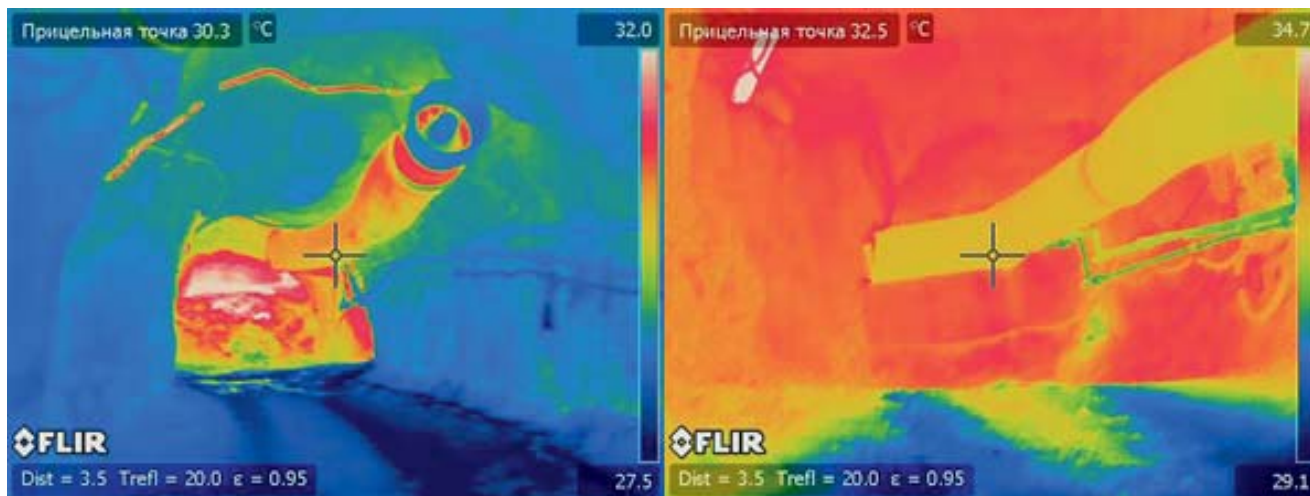


Рис. 1. Термограммы распределения температуры в тупиковой горной выработке

- сброс нагретой воды из конденсатора кондиционера в выработку откаточного горизонта (с возможностью сброса в сеть пожарного трубопровода).

Результаты проведенных испытаний разработанной системы КШР-350Н в условиях глубоких залежей рудника «Таймырский» подтверждают полученный вывод, что максимальная эффективность достигается распределенной подачей воздуха по подземным рабочим зонам.

Разработка системы нормализации микроклиматических условий на шахте «Глубокая»

На проектируемой шахте «Глубокая» глубина ведения горных работ достигает 1700–2000 м, при этом геотермическая ступень в условиях Октябрьского месторождения составляет 40 м, что обуславливает высокую температуру породного массива. Температура пород достигает 50 °С (максимальная замеренная температура пород по скважине КЗ-1672 на глубине 2007,6 м достигает 53,4 °С), а температура воздуха в летний период года в выработках околоствольного двора без использования поверхностной системы кондиционирования воздуха (СКВ) может превышать 30 °С. Вследствие теплообмена между горными породами и рудничным воздухом, а также применения высокопроизводительного добычного и транспортного оборудования, которое приводит к значительным дополнительным тепловыделениям, температура воздуха в рабочих зонах шахты достигает значения 54 °С. Климат района субарктический, характеризуется отрицательной среднегодовой температурой воздуха (–9,8 °С), продолжительным холодным периодом (248 дней) с сильными морозами и метелями, средняя месячная температура воздуха наиболее холодного месяца –28,2 °С. Продолжительность безморозного периода составляет 117 дней, средняя месячная температура воздуха наиболее теплого месяца 13,7 °С.

Особенностью разработки системы нормализации микроклиматических условий для шахты «Глубокая» является наличие поверхностной системы подготовки воздуха на воздухоподающем

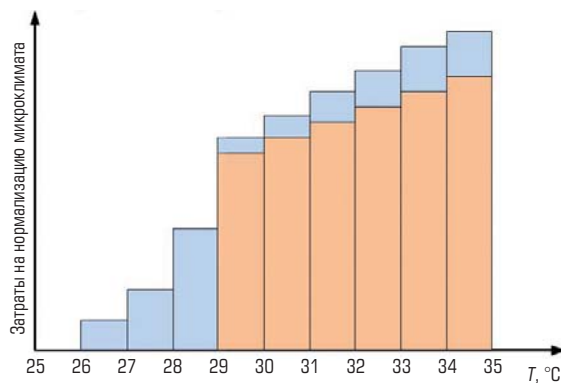


Рис. 2. Качественная характеристика роста затрат на нормализацию микроклиматических условий



Рис. 3. Фотоснимок системы кондиционирования КШР-350Н, установленной в выработке РО-23 юг, на участке между РШ 23-29-1 и ТШЛ-36

Таблица 1. Измеренные параметры работы системы кондиционирования и температуры воздуха в рабочих зонах

Показатель	Номер режима			
	1	2	3	4
Расход воды через КШР, м ³ /ч	18	18	18	18
Температура воды до КШР, °С	16	16	16	16
Температура воды после КШР, °С	—	39	35	37
Холодопроизводительность системы, кВт	—	368	305	326
Температура воздуха в рабочей зоне тупиковой выработки, °С	26,8	—	20,9	22,9
Температура воздуха в рабочей зоне сквозной выработки, °С	27,7	25,8	26,0	25,4

Таблица 2. Способы снижения температуры воздуха и количественные показатели их эффективности

Способ	Количественные показатели эффективности
<i>Горнотехнические мероприятия</i>	
Увеличение количества воздуха, подаваемого в шахту	Способ эффективен для снижения температуры воздуха в основных воздухоподающих выработках шахты
<i>Теплотехнические мероприятия</i>	
Применение СКВ для охлаждения всего воздуха, поступающего на залежи	Способ не эффективен — обеспечить допустимую температуру воздуха возможно только в неотдаленных участках шахты
Применение СКВ для местного охлаждения рабочих зон	Способ эффективен — позволяет снизить температуру воздуха во всех рабочих зонах

стволе, обеспечивающей подогрев воздуха в холодный период года и охлаждение воздуха в теплый период с холодильной мощностью 11 МВт.

На основе представленной методики построения тепловой модели с учетом термодинамических факторов, влияющих на формирование теплового режима шахты «Глубокая», в аналитическом комплексе «АэроСеть» разработаны модели на периоды всех пусковых комплексов (III, IV и V ПК).

Разработанные тепловые модели позволили выполнить расчет термодинамических процессов в рудничной атмосфере и породном массиве на все периоды развития шахты «Глубокая».

Согласно результатам моделирования, воздух, поступающий на проветривание в горные выработки, достигает температуры 15,7 и 16,8 °С на сопряжении ствола с вентиляционно-закладочным и откаточным горизонтам соответственно. Установлено, что, даже с учетом круглогодичной работы поверхностной системы кондиционирования в камерах, температура воздуха не превышает предельно допустимых значений 26 °С только в выработках околоствольных дворов воздухоподающего ствола. Во всех

остальных рабочих зонах за счет теплообмена воздуха с породным массивом и техногенных источников теплоты наблюдается превышение допустимой температуры воздуха. Максимальное значение температуры воздуха составляет 54,7 °С в подготовительной тупиковой выработке залежи С-5 (наиболее отдаленный участок шахты).

В связи с этим выполнено исследование эффективности горнотехнических и теплотехнических мероприятий по охлаждению рудничного воздуха в горных выработках шахты для обеспечения теплового режима во всех рабочих зонах на периоды всех пусковых комплексов. На основании результатов численного моделирования проведен сравнительный анализ эффективности различных технических мероприятий регулирования теплового режима шахты «Глубокая» (табл. 2).

На основании сравнительного анализа установлено, что достичь требуемой температуры воздуха во всех рабочих зонах шахты можно только с учетом местного охлаждения.

Также в результате расчетов определен наиболее эффективный режим работы поверхностной СКВ: в холодный период года рекомендуется максимально увеличивать количество воздуха, подаваемого в шахту; в теплый период года (июнь – август) при повышении температуры наружного воздуха необходимо снижать расход подаваемого воздуха, но не ниже расчетного, с целью поддержания минимально возможной температуры воздуха 2 °С. Такой режим работы поверхностной СКВ позволит минимизировать количество теплоты, вносимой воздушным потоком в шахту.

В результате расчетов параметров местного охлаждения воздуха в рабочих зонах на разные периоды отработки рудника определены требуемые холодильные мощности (табл. 3).

Таблица 3. Требуемые холодильные мощности в различные периоды развития шахты

Пусковой комплекс	Количество рабочих зон	Максимальное значение температуры воздуха, °С	Необходимая суммарная холодильная мощность для всех рабочих зон, кВт
III	12	43,5	2321
IV	14	48,8	4163
V	14	54,7	3235

Следует отметить, что использование систем кондиционирования воздуха предполагает многовариантность способов размещения и режимов использования средств охлаждения воздуха и сброса теплоты. Поэтому необходимы разработка и обоснование технологических схем расстановки оборудования системы кондиционирования воздуха для условий шахты «Глубокая».

Выбор той или иной схемы кондиционирования рудничного воздуха зависит от климатических условий района строительства, технологического процесса добычи, вентиляционных режимов, сроков ввода мощностей в эксплуатацию, темпов отработки месторождения, доступности энергоресурсов и определяется на основании технико-экономического сравнения вариантов систем. Для сравнения выполнен расчет требуемого комплекса оборудования и эксплуатационных затрат на работу каждого из вариантов. При этом были рассмотрены варианты подземного и наземного размещения холодильной машины и утилизации избыточной теплоты либо в систему главного водоотлива, либо в атмосферу на поверхности. Кроме того, рассмотрен вариант с заменой традиционного теплообменного аппарата высокого/низкого давления на систему обмена давлениями PES. (press exchange system), характеризующуюся меньшими тепловыми потерями. Результаты проведенных расчетов представлены на **рис. 4**.

Согласно приведенным результатам расчета, наиболее целесообразным и выгодным вариантом является поверхностное размещение холодильной машины с градирней на промплощадке ствола ВС-10. Это объясняется тем, что требуемую холодильную мощность большую часть года можно будет обеспечивать за счет холодного климата региона, без дополнительных затрат электроэнергии.

Для рабочих зон залежей С-5, С-6, С-6л шахты «Глубокая», где не предусматривается постоянное нахождение персонала, согласно разработанной системе нормирования, предполагается ограничение времени пребывания в шахте персонала и поддержание температуры рудничной атмосферы не выше 30,5 °С, что позволяет сократить требуемую холодильную мощность систем кондиционирования.

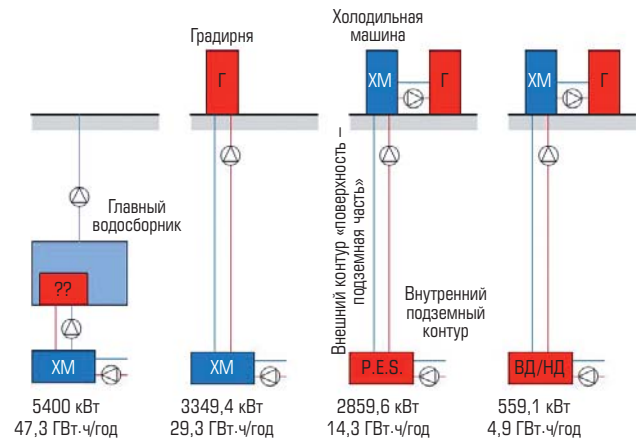


Рис. 4. Основные параметры схем утилизации тепловой энергии от работы холодильных машин

Заключение

Выполненные исследования формируют новую фундаментальную базу для решения задач по обеспечению безопасных условий труда в глубоких рудниках. Минимизация потребляемых ресурсов на их реализацию и эксплуатацию позволяет повысить технико-экономические показатели добычи разрабатываемых и перспективных глубокозалегающих залежей твердых полезных ископаемых. Полученные результаты исследований апробированы для условий глубоких рудников ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель» и доказали свою эффективность.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 17-45-590973 «Разработка методов прогнозирования, профилактики и борьбы с аварийными нарушениями проветривания горнодобывающих предприятий».

Библиографический список

См. англ. блок. **ГЖ**

implemented but often fail to produce the required decrease in air temperature and and to tune to the time history of thermal environment under effect of mining and due to the ambient air temperature variation. Thermotechnical approaches are more workable and advanced, ensure wide range adjustment of parameters though need essential capital and operating input.

The article describes the determined thermal behavior of deep mines and the procedure for integrated resource-saving systems for normalization of microclimate conditions in mines. For Taimyr Mine, in situ air conditioning plant KSHR-350 N has been designed and introduced into operation. The semi-commercial test data of the plant and the results of normalization of microclimate conditions in the mine are presented in the article. For Glubokaya Mine, the designed integrated system for heat mode normalization in working areas includes central cooling machine. Using the developed procedure and modeling software, the air conditioning process circuit is substantiated and the required parameters of the circuit elements are determined. The study was supported by the Russian Foundation for Basic Research, Project No. 17-45-590973: Methods for prediction, prevention and elimination of ventilation accidents in mines.

Keywords: deep mines, underground excavation, mathematical modeling, rock mass, heat sources, air conditioning, microclimate, AeroSet.

References

- Karelin V. N., Kravchenko A. V., Levin L. Yu., Kazakov B. P., Zaitsev A. V. Features of forming microclimatic conditions in mining excavations of deep mines. *Gornyi Zhurnal*. 2013. No. 6. pp. 65–68.
- Available at: http://www.gosnadzor.ru/industrial/mining/acts/gomoru_object/pr599/%D0%9F%D1%80-599.pdf (accessed: 5.07.2018).

«GORNYI ZHURNAL», 2018, № 6, pp. 34–40
DOI: 10.17580/gzh.2018.06.07

Thermotechnical systems for normalization of microclimate parameters in deep mines of Nornickel's Polar Division

Information about authors

A. V. Zaitsev¹, Divisional Manager, Candidate of Engineering Sciences, aerolog.artem@gmail.com
L. Yu. Levin¹, Deputy Director of Scientific Work, Doctor of Engineering Sciences
B. P. Kazakov¹, Chief Researcher, Doctor of Engineering Sciences
Yu. F. Klyukin¹, Leading Engineer

¹ Mining Institute, Perm Federal Research Center, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Perm, Russia

Abstract

Mines of Nornickel's Polar Division are the deepest underground operations in our country to date. For instance, Taimyr Mine operates at a depth down to 1800 m under the temperature up to +45 °C. Glubokaya Mine currently under construction will have a depth more that 2000 m under enclosing rock mass temperature higher than +50 °C.

Selection of efficient solutions on normalization of microclimate conditions with regard to minimized total capital and operating costs depends on the regional geography, mine field geology, geotechnology and equipment in use. Geotechnical methods to regulate thermal mode are simple and cheaper to be

3. McPherson M. J. Subsurface ventilation and environmental engineering. London : Chapman & Hall, 2009. 935 p.
4. Brake D. J. Mine ventilation: A practitioner's manual. Mine Ventilation. Australia : Brisbane, 2012. 686 p.
5. Mackay L., Bluhm S., Van Rensburg J. Refrigeration and cooling concepts for ultra deep platinum mining. *The 4th International Platinum Conference: Platinum in transition "Boom or Bust", The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2010. pp. 35–39.
6. Li Q., Niu Y. S., Sun Y. X., Liu Z. Heat and Mass Transfer Analysis of Mine Exhaust Air Heat Exchanger : *Advanced Materials Research*. 2013. Vol. 765–767. pp. 3018–3022.
7. Calm J. M. Refrigerants for deep mine. *Refrigeration for Sustainable Development : Proceedings of the 23rd International Congress of Refrigeration*. International Institute of Refrigeration, Czech Republic, 2011. pp. 64–68.
8. Zaitsev A. V., Semin M. A., Klyukin Yu. A. Improvement of microclimate conditions rationing criteria in mine airways. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten*. 2015. No. 12. pp. 151–156.
9. SanPiN 2.2.4.548-96. Hygienic requirements to occupational microclimate. Moscow : Minzdrav Rossii, 1997.
10. Shcherban A. N., Kremnev O. A., Zhuravlenko V. Ya. Guidance on regulation of thermal regime of mines. Moscow : Nedra, 1977. 359 p.
11. Shuvalov Yu. V. Regulation of thermal regime of pits and mines of North: resource-saving systems. Leningrad : Leningradskii Universitet, 1988. 196 p.
12. Gendler S. G. Thermal mode of underground facilities. Leningrad, 1987. 102 p.
13. Kachurin N. M., Vorobev S. A., Levin A. D., Botov F. M. Theoretical substantiation and practical results of underground workings ventilation simulation. *Eurasian Mining*. 2015. No. 2. pp. 35–39. DOI: 10.17580/em.2015.02.09
14. Kazakov B. P., Levin L. Yu., Zaitsev A. V. Modern approaches to development of methods of controlling of thermal mode of mines with high temperature of rock massif. *Gornyi Zhurnal*. 2014. No. 5. pp. 22–25.
15. Zaitsev A. V., Kazakov B. P., Kashnikov A. V., Kormshchikov D. S., Kruglov Yu. V. et al. AeroSet analytical software. Certificate of official registration of computer programs No. 2015610589; Applied: 24.04.2014/ Published: 14.01.2016.

УДК 553.94:550.84

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТЕХНОГЕНЕЗА КИЗЕЛОВСКОГО УГОЛЬНОГО БАССЕЙНА

Б. А. БАЧУРИН, зав. лабораторией, канд. геол.-минерал. наук,
bba@mi-perm.ru

Горный институт УрО РАН – филиал ФГБУН Пермского федерального
исследовательского центра УрО РАН, Пермь, Россия

Введение

Кизеловский угольный бассейн являлся старейшим горнодобывающим районом России: добыча угля здесь началась около 200 лет тому назад и была прекращена в связи с нерентабельностью в 1994 г. С экологической точки зрения эксплуатация угольных шахт бассейна была сложной в течение всего периода его существования, что связано с высокой сернистостью углей (до 6 %), большими (до 1000–2700 м³/ч) водопритоками, агрессивностью шахтных вод и высоким содержанием в них и отходах угледобычи широкого спектра токсичных микроэлементов. Несмотря на реализуемые в период эксплуатации шахт природоохранные мероприятия, техногенное воздействие угледобывающих

Приведены результаты анализа загрязнений гидросферы и почвенного покрова на территории Кизеловского угольного бассейна. Показано, что после закрытия шахт продукты техногенеза длительное время продолжают загрязнять природную среду. Основная причина загрязнения водного бассейна и донных отложений сульфатами, железом, алюминием и другими токсичными компонентами — поступление кислых шахтных вод в выщезалегающие горизонты подземных вод и на поверхность. На основе экспериментального моделирования выявлен характер эмиссии указанных компонентов в техногенные потоки рассеяния и установлен механизм загрязнения окружающей среды.

Ключевые слова: Кизеловский угольный бассейн, изливы шахтных вод, породные отвалы, стоки, тяжелые металлы и микроэлементы, взаимодействие отходов с водой, лабораторное моделирование, техногенные потоки рассеяния.

DOI: 10.17580/gzh.2018.06.08



Рис. 1. Изливы шахтных вод и стоки с породных отвалов Кизеловского бассейна (фото сотрудников ЕНИ ПГНИУ)

© Бачурин Б. А., 2018