

УДК 622.4

Р. Б. ГАЛАОВ, В. Г. БАЛЬЧУГОВ (ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель»)**Б. П. КАЗАКОВ** (Горный институт УрО РАН)**С. В. БУТАКОВ** (ООО «НПО «АэроСфера»)

СПОСОБ НОРМАЛИЗАЦИИ МИКРОКЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В ВЫРАБОТКАХ ГЛУБОКИХ РУДНИКОВ*



Р. Б. ГАЛАОВ,
зам. директора
по минерально-сырьевому
комплексу



В. Г. БАЛЬЧУГОВ,
зам. начальника подземного
участка вентиляции рудника
«Таймырский»



Б. П. КАЗАКОВ,
главный научный сотрудник
отдела аэрологии и теплофизики,
проф., д-р техн. наук



С. В. БУТАКОВ,
директор

Вскрытие и освоение глубокозалегающих запасов полезных ископаемых сопровождается возрастанием температуры горных пород с формированием неблагоприятных микроклиматических условий в рабочих зонах подземных рудников, когда температура воздуха превышает нормативные значения (+26 °С по требованиям правил безопасности) [1]. Высокая температура рудничного воздуха отрицательно влияет на состояние здоровья горнорабочих, увеличивает травмоопасность производства, усложняет ведение технологических процессов и снижает производительность труда [2].

В связи с этим актуальной научно-технической задачей является разработка и создание систем нормализации микроклиматических условий при освоении глубоких горизонтов месторождений, так как традиционными способами вентиляции подземных рудников и регулирования теплового режима решить такие задачи невозможно [3–5].

В настоящее время добычные работы на руднике «Таймырский» ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель» проводят на глубине

На примере рудника «Таймырский» ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель», где добычные работы проводят на глубине до 1700 м и температура рудничного воздуха достигает +40 °С, представлены исследования и разработанная по их результатам система нормализации микроклимата способом подземного кондиционирования воздуха. До уровня конструкторской документации разработан и представлен в статье основной технический компонент системы нормализации микроклимата — шахтный раздельный кондиционер КШТ-350Н (350 кВт), предназначенный для использования в автоматизированных системах регулирования температуры воздуха в шахтах и других подземных сооружениях, в том числе опасных по газу и пыли.

Ключевые слова: тепловой режим глубоких рудников, сверхнормативная температура, проблемы нормализации микроклимата, подземный шахтный кондиционер, структура кондиционирования, распределение охлажденного воздуха, моделирование, программно-вычислительный комплекс.

DOI: <http://dx.doi.org/10.17580/gzh.2015.06.18>

до 1700 м, температура воздуха в рабочей зоне достигает 40 °С. Для решения проблем нормализации микроклимата требовалось учесть некоторые характерные особенности рудника, так или иначе влияющие на микроклимат, а именно [1, 5, 6]:

- значительную разветвленность сети горных выработок, обусловленную разрозненным залеганием рудных тел;
- наличие сернистых соединений в подземных горных выработках;
- высокую дисперсность пылевых аэрозолей рудничной атмосферы;
- наличие сети подземных противопожарных трубопроводов;
- значительное число аэродинамических связей между откачным, подсечным и вентиляционно-закладочным горизонтами;
- тепловые депрессии, способствующие либо улучшению, либо нарушению вентиляции горизонтов рудника при охлаждении воздуха и сбросе тепла.

На первом этапе исследований проведены детальные воздушно-депресссионные и температурно-влажностные съемки горизонта очистных работ на шахте № 3, и в аналитическом комплексе «АэроСеть» построена тепловая модель — карта фактиче-

* Исследования выполнены при поддержке РФФИ, проект № 15-05-04552.

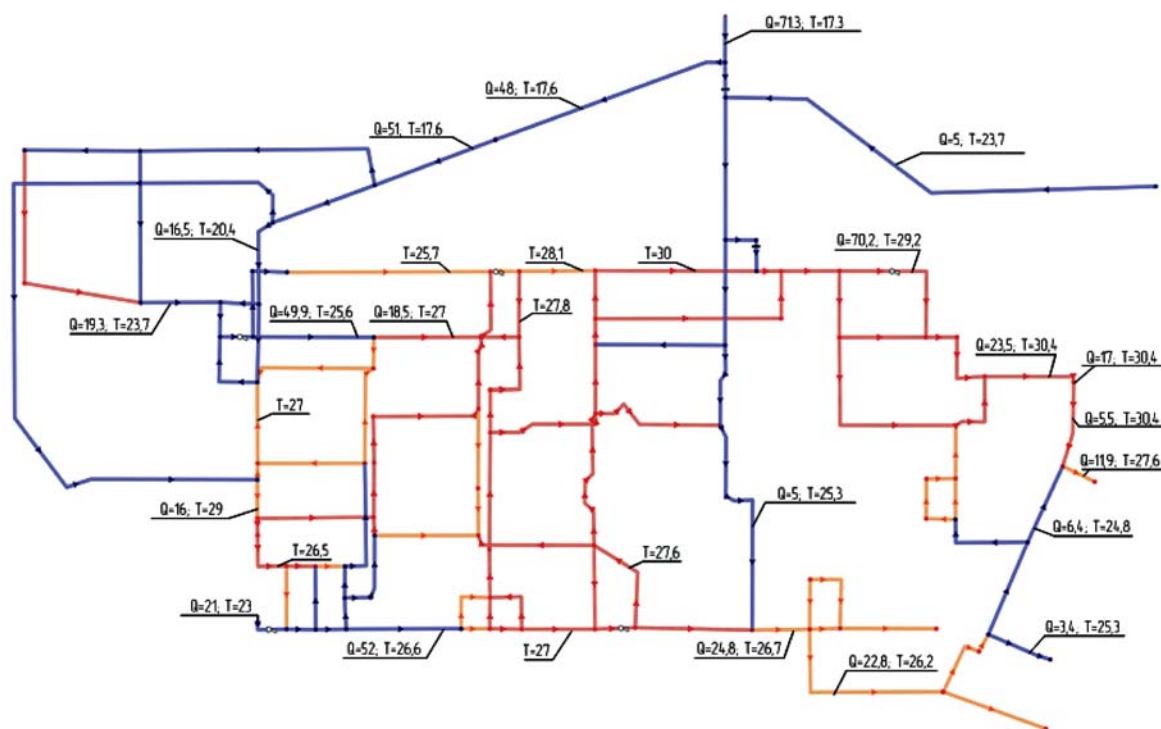


Рис. 1. Тепловая модель — температурная карта горизонта подсечных работ, построенная по данным воздушно-депресссионной и температурно-влажностной съемки на шахте № 3 рудника «Таймырский»

ских температур в выработках горизонта (рис. 1), на которой видно, что в большинстве горных выработок температура воздуха превышает допустимую. Методом многовариантного численного моделирования данных тепловой модели установлено, что наиболее эффективным вариантом является использование подземной системы кондиционирования воздуха. По результатам анализа различных вариантов размещения и холодопроизводительности подземных воздухоохладителей определена наиболее эффективная структура системы подземного кондиционирования, включаю-

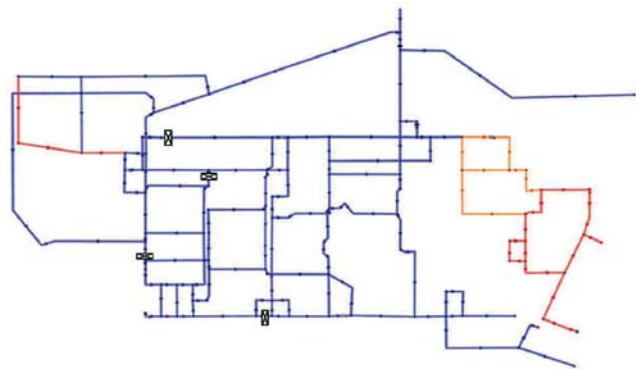


Рис. 2. Пример размещения комплекта из 4 кондиционеров типа КШР-350Н в выработках подсечного горизонта шахты № 3 (синим цветом выделены выработки с температурой воздуха ниже +26 °С)

щая четыре воздухоохладителя мощностью по 350 кВт в пределах горизонта (рис. 2). При этом холодопроизводительность каждого кондиционера мощностью 350 кВт при расходе охлаждаемого воздуха 10 м³/с обеспечивает снижение температуры воздуха на 15 °С.

На следующем этапе исследований определен наиболее эффективный вариант распределения охлажденного воздуха для нормализации температуры воздуха в тупиковых забоях очистных выработок. Из-за сложной трехмерной структуры воздушных потоков в тупиковых выработках для проведения расчетов использован CFD-модуль Flow Simulation программно-вычислительного комплекса Solid-Works (рис. 3) [7]. Установлено, что наиболее эффективным вариантом является распределенная подача охлажденного воздуха в забои тупиковых выработок, снижающая общие холодопотери вентиляционной струи в нагретый массив горных пород [5].

С учетом специфических условий глубоких рудников разработан основной технический компонент системы нормализации микроклиматических условий — шахтный отдельный кондиционер типа КШР-350Н (КШР), предназначенный для использования в автоматизированных системах регулирования температуры воздуха в шахтах, рудниках и других подземных сооружениях, в том числе опасных по взрыву газов и пыли [8]. КШР представляет собой автономный шахтный кондиционер с возможностью самостоятельной установки входящих в него агрегатов (отдельный кондиционер). Одним из основных узлов кондиционера, от которого

зависит эффективность работы всех составляющих агрегатов, является установка охлаждения воздуха с высокоэффективным теплообменником, обеспечивающим отбор холода от холодоносителя и его передачу рудничному воздуху.

При разработке КШР использовали математическую модель теплообмена воздуха с калориферными установками, что позволило варьировать конфигурацию его расположения по воздуху и подключения по воде нагревательных (охладительных) элементов, а также задавать параметры расчета — расходы и входные температуры воздуха и холодоносителя. Геометрическая конструкция охлаждающих элементов КШР отличается от обычных нагревательных элементов калориферов формой: теплообменники калориферов представляют собой змеевики, расположенные в плоскости поперек движения воздуха, а теплообменники КШР — объемные спирали, расположенные рядом поперек движения воздуха и наполовину вложенные друг в друга по ходу его движения. На заключительном этапе проведено численное моделирование в программном комплексе Flow Simulation, по результатам которого оптимизированы аэродинамические и теплотехнические характеристики воздухоохладителей и их конструктивные элементы.

Для проведения натурных испытаний КШР-350 на базе научно-производственного объединения «АэроСфера» разработан и введен в эксплуатацию испытательный стенд воздухоохладителя, собрана и испытана секция теплообменного модуля, которая показала высокую эффективность. Разработана конструкторская документация на кондиционер КШР-350.

Следует подчеркнуть особенности КШР, отражающие специфику рудников и обеспечивающие его эксплуатационную эффективность:

- возможность использования неполного комплекта агрегатов и их различных комбинаций;
- в конструкции воздухоохладителей и охладителей воды применены коррозионностойкие стали и отсутствуют медные или алюминиевые сплавы, в связи с наличием в атмосфере рудников серы или ее соединений; суммарная протяженность теплообменных трубок в испарителе составляет около 2100 м, в градирне — около 4000 м;
- применены гофрированные стальные трубы для змеевиков малого радиуса навивки, что обеспечивает надежные показатели при высокой запыленности и загазованности; эти конструкции легко поддаются очистке; блочная конструкция секций воздухо- и водоохладителей обеспечивает высокую ремонтпригодность и возможность замены секции в условиях подземных выработок;
- конструкция воздухоохладителей имеет пониженное аэродинамическое сопротивление, что обеспечивает подачу охлажденного воздуха на расстояние до 800–1000 м и позволяет подавать его в протяженные выработки без многократных перестановок агрегатов и их размещения вблизи рабочих мест;
- воздухоохладитель позволяет дополнительно увлажнять подаваемый воздух, использовать агрегат для снижения содержания пыли и ускоренной вентиляции выработок после взрывных работ;

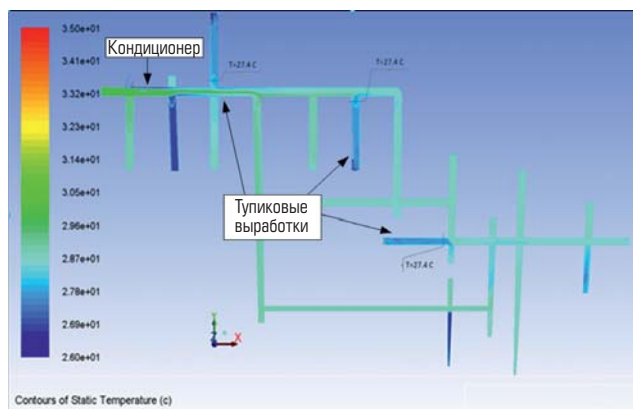


Рис. 3. Пример распределенной подачи охлажденного воздуха по тупиковым забоям очистных выработок с результатами CFD-моделирования эффективности нормализации микроклимата в программно-вычислительном комплексе Flow Simulation Solid-Works

- воздухоохладители могут работать как на фреоне, так и на воде с температурой 0–5 °С.

Комплекс выполненных исследований, технико-технологических и проектно-конструкторских разработок обеспечивает эффективное решение проблем нормализации микроклиматических параметров в условиях рудников с неблагоприятным тепловым режимом за счет применения современных автоматизированных систем кондиционирования воздуха с высокоэффективными теплообменными аппаратами в сочетании со способом распределенной подачи охлажденного воздуха в целях обеспечения минимизации тепловых потерь.

Библиографический список

1. Карелин В. Н., Кравченко А. В., Левин Л. Ю., Казаков Б. П., Зайцев А. В. Особенности формирования микроклиматических условий в горных выработках глубоких рудников // Горный журнал. 2013. № 6. С. 65–68.
2. Гендлер С. Г. Теплофизические аспекты безопасности и эффективности при добыче полезных ископаемых и эксплуатации подземных сооружений в суровых климатических условиях // Записки Горного института. 2006. Т. 17. № 1. С. 129–136.
3. Mackay L., Bluhm S., Van Rensburg J. Refrigeration and cooling concepts for ultra-deep platinum mining. URL: http://www.saimm.co.za/Conferences/Pt2010/285-292_MacKay.pdf (дата обращения 29.05.2015).
4. McPherson M. J. Subsurface ventilation and Environmental engineering. — London : Chapman & Hall, 2009. — 824 p.
5. Казаков Б. П., Левин Л. Ю., Зайцев А. В. Современные подходы к разработке способов управления тепловым режимом рудников при высокой температуре породного массива // Горный журнал. 2014. № 5. С. 22–25.
6. Казаков Б. П., Зайцев А. В. Исследование процессов формирования теплового режима глубоких рудников // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. 2014. № 10. С. 91–97.

7. Левин Л. Ю., Газизуллин Р. Р., Зайцев А. В. Использование программного модуля ANSYS CFX при решении научно-производственных задач проветривания шахт и рудников // САПР и графика. 2011. № 10. С. 64–66.
8. Левин Л. Ю. Разработка шахтной подземной установки кондиционирования воздуха для условий глубокого рудника «Таймырский» // Стратегия и процессы освоения георесурсов : матер. науч. сессии ГИ УрО РАН по результатам НИР в 2012 г. — Пермь, 2013. [dx](#)

Галаов Роберт Борисович,
тел.: +7 (3919) 25-42-01

Бальчугов Виктор Георгиевич,
тел.: +7 (3919) 24-51-36

Казаков Борис Петрович,
e-mail: aero_kaz@mail.ru

Бутаков Сергей Валерьевич,
e-mail: pro-aerosfera@mail.ru

«GORNYI ZHURNAL»/«MINING JOURNAL», 2015, № 6, pp. 89–92	
Title	Method of microclimate normalization in deep mines
DOI	http://dx.doi.org/10.17580/gzh.2015.06.18
Author 1	Name & Surname: Galaov R. B.
	Company: Polar Division of PJSC “MMC “NORILSK NICKEL” (Norilsk, Russia)
	Work Position: Deputy Director for Minerals and Raw Materials
	Contacts: phone: + 7 (3919) 25-42-01
Author 2	Name & Surname: Balchugov V. G.
	Company: Polar Division of PJSC “MMC “NORILSK NICKEL” (Norilsk, Russia)
	Work Position: Deputy Head of Underground Ventilation Section, Taimyrsky Mine
Author 3	Name & Surname: Kazakov B. P.
	Company: Mining Institute, Ural Branch, Russian Academy of Sciences (Perm, Russia)
	Work Position: Principal Researcher, Aerology and Thermophysics Department
	Scientific Degree: Professor, Doctor of Engineering Sciences
Author 4	Name & Surname: Butakov S. V.
	Company: AeroSfera Research and Production Association (Perm, Russia)
	Work Position: Director
Abstract	The article addresses a scientific and technical problem of current concern, connected with the normalization of microclimate in a deep mine, when air temperature in deep-level work zones is considerably higher than standard values (+26 °C) due to the geothermal gradient.
	In terms of Taimyrsky Mine of the Polar Division of Norilsk Nickel, where mining operations are carried out at depths of 1700 m and the mine air temperature reaches +40 °C, the authors present the research and the developed system for mine microclimate normalization by means of underground air conditioning.
	Based on in situ ventilation and temperature–humidity survey, using Aeroset program, a thermal model is constructed in the form of a map of actual temperatures in stopes, based on which the most efficient structure and systems for air conditioning and cool air distribution are determined, taking into account normalization of temperature in dead ends.
	The article describes basic component of the mine microclimate normalization system—split-type air conditioner KSHT-350N (350 kW), developed up to the level of the design documentation and intended for operation in automated air control systems meant for mines and underground facilities, including gas and dust hazardous.
	The study is supported by the Russian Foundation for Basic Research, Project No. 15-05-04552.
Keywords	Thermal conditions, deep mines, temperature above the allowable level, microclimate normalization problems, underground mine air conditioner, conditioning structure, cool air distribution, modeling, computational program package.
References	1. Karelin V. N., Kravchenko A. V., Levin L. Yu., Kazakov B. P., Zaytsev A. V. Osobennosti formirovaniya mikroklimaticheskikh usloviy v gornyykh vyrabotkakh glubokikh rudnikov (Peculiarities of formation of microclimatic conditions in mine workings of deep mines). <i>Gornyi Zhurnal = Mining Journal</i> . 2013. No. 6. pp. 65–68.
	2. Gendler S. G. Teplofizicheskie aspekty bezopasnosti i effektivnosti pri dobyche poleznykh iskopaemykh i ekspluatatsii podzemnykh sooruzheniy v surovyykh klimaticheskikh usloviyakh (Thermal-physics aspects of safety and efficiency during mineral extraction and exploitation of underground facilities in severe climatic conditions). <i>Zapiski Gornogo instituta = Proceedings of Mining Institute</i> . 2006. Vol. 17, No. 1. pp. 129–136.
	3. Mackay L., Bluhm S., Van Rensburg J. Refrigeration and cooling concepts for ultra-deep platinum mining. Available at: http://www.saimm.co.za/Conferences/Pt2010/285-292_MacKay.pdf (accessed: May 29, 2015)
	4. McPherson M. J. Subsurface ventilation and Environmental engineering. London : Chapman&Hall, 2009. 824 p.
	5. Kazakov B. P., Levin L.Yu., Zaytsev A. V. Sovremennyye podkhody k razrabotke sposobov upravleniya teplovym rezhimom rudnikov pri vysokoy temperature porodnogo massiva (Modern approaches to development of methods of control of mines' thermal mode with high temperature of rock massif). <i>Gornyi Zhurnal = Mining Journal</i> . 2014. No. 5. pp. 22–25.
	6. Kazakov B. P., Zaytsev A. V. Issledovanie protsessov formirovaniya teplovogo rezhima glubokikh rudnikov (Research of processes of formation of deep mine thermal mode). <i>Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta = Bulletin of Perm National Research Polytechnic University</i> . 2014. No. 10. pp. 91–97.
	7. Levin L. Yu., Gazizullin R. R., Zaytsev A. V. Ispolzovanie programmnogo modulya ANSYS CFX pri reshenii nauchno-proizvodstvennykh zadach provetrivaniya shakht i rudnikov (Application of program module ANSYS CFX during solving of scientific-production issues of shaft and mine ventilation). <i>SAPR i grafika = SAPR and graphics</i> . 2011. No. 10. pp. 64–66.
	8. Levin L. Yu. Razrabotka shakhtnoy podzemnoy ustanovki konditsionirovaniya vozdukh dlya usloviy glubokogo rudnika «Taymyrskiy» (Development of mine underground air conditioning unit for Taymyr deep mine conditions). <i>Strategiya i protsessy osvoeniya georesurov : materialy nauchnoy sessii Gornogo Instituta Uralskogo Otdeleniya Rossiyskoy Akademii nauk po rezul'tatam nauchno-issledovatel'skoy raboty v 2012 godu</i> (Strategy and processes of mastering of georesources: materials of scientific session of Mining Institute of Ural Branch of Russian Academy of Sciences, according to research engineering results). Perm, 2013.