

УДК 622.418

РАЙОНИРОВАНИЕ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ РЕГИОНОВ РОССИИ ПО ЗАТРАТАМ НА КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ РУДНИЧНОГО ВОЗДУХА

Наумов А.А., Николаева Д.В.

*Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург,
e-mail: gargunder@ya.ru; nikolaeva.dasha@inbox.ru*

Значительная часть предприятий горной промышленности России находится в регионах с длительными холодными периодами года, когда температура воздуха ниже $+2^{\circ}\text{C}$, что обуславливает дополнительное потребление энергии на регулирование теплового режима. В статье определяются горнодобывающие регионы, для которых актуально использовать «безэнергетические» системы регулирования теплового режима. Разработан критерий оценки энергопотребления систем кондиционирования для обоснованного проведения выбора способов и средств снижения энергетических и экономических затрат на регулирование теплового режима. Критерий представляет собой отношение затрат на кондиционирование рудничного воздуха. Результатом работы является районирование территории Российской Федерации по затратам на кондиционирование рудничного воздуха, а также определение областей, где применение «безэнергетических» систем наиболее актуально.

Ключевые слова: тепловой режим, кондиционирование воздуха, критерий, энергопотребление, шахты, рудники, районирование

DIVISION INTO DISTRICTS OF MINING REGIONS OF RUSSIA ON BY COST OF CONDITIONING OF MINES AIR

Naumov A.A., Nikolaeva D.V.

*National Mineral Resources University (University of Mines),
St. Petersburg, e-mail: gargunder@ya.ru; nikolaeva.dasha@inbox.ru*

The considerable part of Russian mining industry enterprises are in regions with the long cold periods of year when air temperature lower than $+2^{\circ}\text{C}$ that causes additional consumption of energy on regulation of the thermal mode. In this report are defined mining regions for which actually to use «without energy» systems of thermal mode regulation. For definition of regions the criterion of an assessment of energy consumption for air conditioning, to conduct a reasonable choice of ways and means of energy decrease and economic costs of the thermal mode regulation is offered. The criterion represents the relation of mines air conditioning costs. The result of work is division into districts of the territory of the Russian Federation for costs of mines air conditioning. And also definition of areas, where application «without energy» systems use actually.

Keywords: thermal mode, air conditioning, criterion, energy consumption, mines, mines, division into districts

В основном горнодобывающие предприятия России находятся в субарктическом поясе, в области континентального и резкоконтинентального климата, что обуславливает дополнительное потребление энергии на регулирование теплового режима, которое зависит от длительности холодного периода года, когда температура воздуха ниже $+2^{\circ}\text{C}$.

Вопросами регулирования теплового режима шахт и рудников Севера занимались многие ученые горные теплофизики: Ю.Д. Дядькин, П.Д. Чабан, А.Ф. Зимбельборд, В.А. Шерстов, Ю.В. Шувалов, Б.П. Казаков, А.Ф. Галкин и др. [1, 2, 3, 6, 7, 8, 9]. Ими обоснованы и разработаны различные способы и средства для регулирования теплового режима шахт и рудников. Создана фундаментальная теоретическая база для прогноза и выбора оптимальных параметров теплотехнических систем кондиционирования рудничного воздуха. Предложены новые технические решения, позволяющие существенно снизить энерге-

тические и экономические затраты на создание комфортных и безопасных условий труда подземных рабочих.

Согласно классификации Ю.Д. Дядькина [6] системы регулирования теплового режима шахт и рудников Севера могут быть разделены на две большие группы «энергетические» и «безэнергетические». Например, подогрев рудничного воздуха при помощи калориферных установок, который наиболее часто используется на горных предприятиях, относится к «энергетическим» системам, а регулирование теплового режима с помощью теплоаккумулирующих выработок – к «безэнергетическим». Перспектива использования горнотехнических систем, к которым относятся теплоаккумулирующие выработки, наряду с другими «безэнергетическими» системами, представляет несомненный интерес, поскольку они позволяют существенно снизить затраты на кондиционирование рудничного воздуха [2, 3].

Можно констатировать, что накоплен достаточный научный и инженерный потенциал по проектированию и внедрению энергетически и экономически эффективных способов регулирования теплового режима шахт и рудников. Однако в настоящий период применение подобных систем не носит обязательного характера и скорее является исключением, чем правилом. Более того, при проектировании современных рудников Севера, например золотодобывающих, вообще не предусматривается регулирование теплового режима. Это позволяет получить значительную экономию капитальных и эксплуатационных затрат, но создает проблемы для подземных рабочих. Анализ показал, что практически для всех современных рудников, эксплуатирующихся с естественным (нерегулируемым) тепловым режимом, жесткость микроклимата большую часть времени года превышает допустимую. Соответственно и риски производственно обусловленных простудных заболеваний для подземных рабочих существенно увеличиваются [1, 4, 6, 10].

Целью данной работы является определение горнодобывающих регионов, для которых использование оптимальных режимов регулирования теплового режима шахт и рудников с использованием «безэнергетических» систем наиболее актуально.

Для решения поставленной задачи введем критерий, который показывает, насколько увеличиваются общие затраты на кондиционирование рудничного воздуха (подогрев плюс вентиляция) по сравнению с использованием нерегулируемого теплового режима (только вентиляция):

$$K_Q = \frac{\sum \mathcal{E}_{\text{ПОД}} + \sum \mathcal{E}_{\text{ВЕНТ}}}{\sum \mathcal{E}_{\text{ВЕНТ}}}, \quad (1)$$

где $\sum \mathcal{E}_{\text{ПОД}}$ – затраты на подогрев 1 м³/с воздуха в год, руб./год; $\sum \mathcal{E}_{\text{ВЕНТ}}$ – затраты на вентиляцию 1 м³/с воздуха в год, руб./год.

Исходя из формулы (1), очевидно, что для нерегулируемого режима $K_Q = 1$. При подогреве воздуха критерий K_Q показывает степень увеличения затрат при подогреве подаваемого в рудник воздуха до +2°C [11].

Стоимость потребляемой электроэнергии работы вентилятора в течение года будет равна

$$\sum \mathcal{E}_{\text{ВЕНТ}} = N_{\text{В}} \cdot \tau_{\text{ВЕНТ}} \cdot C_{\text{Э}}, \quad \text{руб./год}, \quad (2)$$

где $N_{\text{В}}$ – эксплуатационная мощность вентилятора, кВт; $\tau_{\text{ВЕНТ}}$ – длительность работы вентилятора в год, ч; $C_{\text{Э}}$ – стоимость электроэнергии, руб/кВт·ч.

Эксплуатационная мощность вентилятора определяется как

$$N_{\text{УСТ}} = R \cdot Q^3, \quad \text{кВт}, \quad (3)$$

где R – аэродинамическое сопротивление рудника, $R = 9,81 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$ [9]; Q – количество подаваемого воздуха, м³/с.

Стоимость потребляемой тепловой энергии за зимний период будет равна

$$\sum \mathcal{E}_{\text{ПОД}} = G C_p \{ [t_{\text{ПОД}} - t_{\text{В}}(t_i)] \tau_i \} C_{\text{П}}, \text{руб./год}, \quad (4)$$

где τ_i – длительность i -го месяца, с; i – количество месяцев со средней температурой ниже температуры подогрева, $t_{\text{ПОД}}$ – температура подогрева, $t_{\text{ПОД}} = +2^\circ\text{C}$; $t_{\text{В}}(\tau_i)$ – среднестатистическая температура воздуха в i -й месяц зимнего периода, °C; $C_{\text{П}}$ – стоимость тепловой энергии, руб./Гкал; C_p – удельная теплоемкость воздуха, Ккал/кг·°C.

$$G = Q \gamma(t_i), \quad \text{кг/с}, \quad (5)$$

где $\gamma(t_i)$ – плотность воздуха при i -й температуре, кг/м³; Q – объем подаваемого воздуха, м³/с.

Так как $Q = 1 \text{ м}^3/\text{с}$, то

$$G = \gamma(t_i), \quad \text{кг/с}. \quad (6)$$

Для районирования были рассмотрены 53 основных горнодобывающих региона России с различными климатическими условиями и определены стоимости 1 Гкал тепловой энергии и стоимость 1 кВт/ч электроэнергии в каждом конкретном регионе, в табл. 1 показаны результаты расчета критерия K_Q для Уральского федерального округа. По формулам (2) и (4) были проведены многовариантные расчеты и по полученным результатам по формуле (1) рассчитан критерий удорожания процесса кондиционирования за счет регулирования теплового режима – K_Q .

По результатам, полученным в ходе расчетов, можно сделать вывод, что среднемесячная температура зимнего периода является одним из основных факторов, влияющих на критерий удорожания процесса кондиционирования за счет регулирования теплового режима. При этом стоимость 1 Гкал теплоэнергии в регионе является главным фактором, влияющим на рассчитываемый критерий K_Q .

Расчет критерия K_Q рассмотрим более подробно на примере Мурманской области.

В Мурманской области добыча полезных ископаемых подземным способом ведется на предприятиях в городах Кировск и Оленегорск.

Таблица 1

Критерий K_Q для Уральского федерального округа

Регион	Населенный пункт	τ , дней	t_{cp} , °C	K_Q
Уральский федеральный округ				
Курганская область	г. Далматово	166	-10,7	1,18
Свердловская область	г. Березовский	158	-10,8	1,10
	г. Карпинск	176	-10,9	1,08
	г. Кушва	161	-9,3	1,08
Челябинская область	г. Копейск	162	-10,1	1,12
	пгт. Вишневатурск	172	-10,6	1,06
	пгт. Южный	170	-11,1	1,09
Ямало-Ненецкий АО	г. Лабытнанги	228	-15,5	1,32



Рис. 1. Климатические параметры для Северо-Западного, Центрального, Уральского, Южного и Приволжского федеральных округов

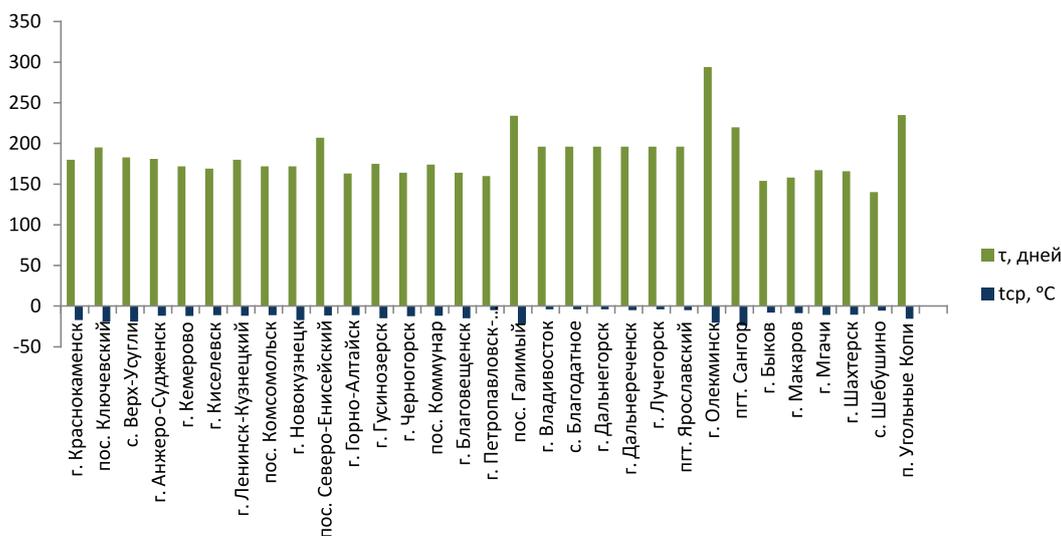


Рис. 2. Климатические параметры для Северо-Западного, Центрального, Уральского, Южного и Приволжского федеральных округов

Таблица 2

Значения среднемесячной температуры и удельной плотности воздуха в зимний период года

		январь	февраль	март	апрель	май	июнь	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
Кировск	$t, ^\circ\text{C}$	-12,2	-12,6	-10,9	-6,9	-1,9	-	+ 1,5	-4,1	-7,7	-10,4
	$\gamma, \text{кг/м}^3$	1,35	1,35	1,35	1,33	1,3	-	1,28	1,31	1,33	1,34
Оленегорск	$t, ^\circ\text{C}$	34	-35	-33	-20	-12	0	-	-5	-18	-28
	$\gamma, \text{кг/м}^3$	1,48	1,48	1,47	1,4	1,35	1,29	-	1,32	1,38	1,44

Таблица 3

Стоимость 1 Гкал теплоэнергии и 1 кВт/ч электроэнергии

	Ср, руб./ Гкал	$C_{\text{эл}}$, руб./кВт·ч
Кировск	2786,92	2,34
Оленегорск	3609,3	1,64

Расчет стоимости потребляемой тепловой энергии в течение января по формуле (4):
В Кировске:

$$\mathcal{E}_{\text{под}} = \{1,35 \cdot (+2 - (-12,2))\} \cdot 2678400 \cdot 2786,92 \cdot 10^{-6} \cdot 0,24 = 34342,6 \text{ руб.}$$

В Оленегорске:

$$\mathcal{E}_{\text{под}} = \{1,48 \cdot (+2 - (-34))\} \cdot 2678400 \cdot 3609,3 \cdot 10^{-6} \cdot 0,24 = 123615,8 \text{ руб.}$$

Результаты расчетов стоимости потребляемой тепловой энергии по формуле (4) в течение зимнего периода для Мурманской области представлены в табл. 4.

Таблица 4

	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	$\Sigma \mathcal{E}_{\text{под}}$ руб.
Кировск	34342,6	31892,9	31198,56	20521,6	9082,78	-	1109,5	14315,7	22366,3	29767,2	194597,3
Оленегорск	123615,8	114754,4	119369,9	64154,4	43850,1	5792,8	-	21437,9	61969,5	100229	660174

Расчет стоимости потребляемой электроэнергии работы вентилятора в течение года по формуле (2).

В Кировске:

$$\sum \mathcal{E}_{\text{ВЕНТ}} = N_{\text{В}} \cdot \tau_{\text{ВЕНТ}} \cdot C_{\mathcal{E}} = 9,81 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 2,34 \cdot 10^{-3} = 723921,49 \text{ руб.}$$

В Оленегорске:

$$\sum \mathcal{E}_{\text{ВЕНТ}} = 9,81 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 1,64 \cdot 10^{-3} = 507363,78 \text{ руб.}$$

Определение критерия зависимости стоимости кондиционирования рудничного воздуха от затрат на регулирование теплового режима рудничного воздуха шахт и рудников в Мурманской области.

Для Кировска:

$$K_{\mathcal{Q}} = \frac{\sum \mathcal{E}_{\text{ПОД}} + \sum \mathcal{E}_{\text{ВЕНТ}}}{\sum \mathcal{E}_{\text{ВЕНТ}}} = \frac{194597,3 + 723921,49}{723921,49} = 1,26.$$

Для Оленегорска:

$$K_{\mathcal{Q}} = \frac{\sum \mathcal{E}_{\text{ПОД}} + \sum \mathcal{E}_{\text{ВЕНТ}}}{\sum \mathcal{E}_{\text{ВЕНТ}}} = \frac{660174 + 507363,78}{507363,78} = 2,30.$$



Рис. 3. Районирование России по критерию K_Q

По полученным результатам видно, что критерий K_Q в городе Оленегорске выше, чем в городе Кировске, почти в 2 раза, что вызвано повышенной стоимостью 1 Гкал тепловой энергии в Оленегорске.

По результатам расчетов, представленных в табл. 1, было проведено районирование горнодобывающих регионов России (рис. 1).

На карте зеленым цветом отмечены области с незначительным увеличением затрат на кондиционирование рудничного воздуха, желтым цветом обозначены области с существенным увеличением затрат. Оранжевым цветом отмечены области с большим увеличением затрат и красным цветом отмечен регион со значительным увеличением затрат на кондиционирование рудничного воздуха (при подогреве и вентиляции).

Таким образом, можно сделать вывод, что применение «безэнергетических» систем при регулировании теплового режима наиболее актуально в Красноярском и Камчатском краях, а также в отдельных районах Забайкальского края и Мурманской области. В областях, отмеченных на карте районирования желтым цветом, следует уделять более тщательное внимание выбору систем регулирования теплового режима.

Авторы выражают благодарность научному руководителю, профессору А.Ф. Галкину за идею работы и помощь при написании статьи.

Список литературы

1. Галкин А.Ф. Тепловой режим подземных сооружений Севера. – Новосибирск: ВО Наука, 2000. – 305 с.
2. Галкин А.Ф. Горнотехнические системы регулирования теплового режима. «Горная промышленность». – 2008. – № 3. – С. 14–17.
3. Галкин А.Ф., Хохолов Ю.А. Теплоаккумулирующие выработки. – Новосибирск: ВО «Наука», Сибирская издательская фирма, 1992 – 133 с.
4. Гудыма Н.Б., Галкин А.Ф. Определение риска производственно-обусловленных простудных заболеваний горнорабочих. – Неделя науки СПбГПУ: материалы научно-практической конференции с международным участием. Институт военно-технического образования и безопасности СПбГПУ. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. – С/ 73–75.
5. Горбунов Н.И. Теория и практика аэрологии горных предприятий: учеб. пособие. – Алчевск: ДГМИ, 2003. – 116 с.
6. Дядькин Ю.Д. и др. Тепловой режим рудных, угольных и россыпных шахт Севера / Ю.Д. Дядькин, А.Ф. Зильберборд, П.Д. Чабан. – М.: Изд-во «Наука», 1968. – 172 с.
7. Дядькин Ю.Д., Шувалов Ю.В., Тимофеевский Ю.С. Горная теплофизика. Регулирование теплового режима шахт и рудников. – Л.: Изд. ЛГИ, 1976. – 159 с.
8. Казаков Б.П. Ресурсосберегающие технологии управления климатическими параметрами рудников: На примере калийных рудников: дис. ... д-ра техн. наук. – Пермь, 2001. – 315 с.

9. Осодоев М.Т., Шерстов В.А. К экономической оценке эффективности регулирования теплового режима шахт Севера // Исследования по физико-техническим проблемам Севера. – Якутск, 1974. – С. 11–14.

10. Петрачкова Н.М., Хорхордина Е.М., Галкин А.Ф. Анализ средств индивидуальной защиты органов дыхания для работы в зимних условиях. – Неделя науки СПбГПУ: материалы научно-практической конференции с международным участием. Институт военно-технического образования и безопасности СПбГПУ. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. – С. 99–102.

11. Строительный нормы и правила: СНиП 23-01-99. Строительная климатология. – М., 2003.

12. Строительный нормы и правила: СанПиН – 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – М., 1996.

References

1. Galkin A.F. Teplovoj rezhim podzemnykh sooruzhenij Severa. Novosibirsk: VO Nauka, 2000. 305 p.

2. Galkin A.F. Gornotekhnicheskie sistemy regulirovaniya teplovogo rezhima. «Gornaya promyshlennost». no. 3. 2008. pp. 14–17.

3. Galkin A.F., Khokholov Yu.A. Teploakkumuliruyushchie vyrabotki. -Novosibirsk: VO «Nauka», Sibirskaya izdatelskaya firma, 1992 133 p.

4. Gudyma N.B., Galkin A.F. Opredelenie riska proizvodstvenno-obuslovlennykh prostudnykh zabolevanij gornorabochikh. Nedelya nauki SPbGPU: materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. Institut voenno-tehnicheskogo obrazovaniya i bezopasnosti SPbGPU. SPb. : Izd-vo Politekhn. un-ta, 2014. pp. 73–75.

5. Gorbunov N.I. Teoriya i praktika aerologii gornykh predpriyatij / Ucheb. posobie. Alchevsk: DGMI, 2003. 116 p.

6. Dyadkin Yu.D. i dr. Teplovoj rezhim rudnykh, ugolnykh i rossypnykh shakht Severa. / Yu.D. Dyadkin, A.F. Zilberbord, P.D. Chaban. M.: Izd-vo «Nauka», 1968. 172 p.

7. Dyadkin Yu.D., Shuvalov Yu.V., Timofeevskij Yu.S. Gornaya teplofizika. Regulirovanie teplovogo rezhima shakht i rudnikov. L.: Izd. LGI, 1976. 159 p.

8. Kazakov B.P. Resursosberegayushchie tekhnologii upravleniya klimaticheskimi parametrami rudnikov: Na primere kalijnykh rudnikov. Dis. ... d-ra tekhn.nauk: Perm, 2001. 315 p.

9. Osodoev M.T., Sherstov V.A. K ekonomicheskoy otsenke effektivnosti regulirovaniya teplovogo rezhima shakht Severa./ Issledovaniya po fiziko-tehnicheskim problemam Severa. Yakutsk, 1974. pp. 11–14.

10. Petrachkova N.M., Khorkhordina E.M., Galkin A.F. Analiz sredstv individualnoj zaschity organov dykhaniya dlya raboty v zimnikh usloviyakh. Nedelya nauki SPbGPU: materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. Institut voenno-tehnicheskogo obrazovaniya i bezopasnosti SPbGPU. SPb.: Izd-vo Politekhn. un-ta, 2014. pp. 99–102.

11. Stroitelnyj normy i pravila: SNiP 23-01-99. Stroitel'naya klimatologiya. Moskva 2003.

12. Stroitelnyj normy i pravila: SanPiN 2.2.4.548-96 Gigenicheskie trebovaniya k mikroklimatu proizvodstvennykh pomeschenij. M., 1996.

Рецензенты:

Коршунов Г.И., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой безопасности производств, Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», г. Санкт-Петербург;

Галкин А.Ф., д.т.н., профессор кафедры безопасности производств, Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», г. Санкт-Петербург.