

А.В. Зайцев, М.А. Семин, Ю.А. Клюкин

ИССЛЕДОВАНИЕ КРИТЕРИЕВ НОРМИРОВАНИЯ МИКРОКЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ*

Приведены существующие подходы к нормированию микроклиматических параметров в условиях высоких температур рудничного воздуха с учетом российского и мирового опыта. Представлены результаты сравнительного анализа показателей, характеризующих микроклиматические условия в подземных рабочих зонах. Произведен выбор показателя, позволяющего выполнить оценку сверху комфортности микроклиматических условий в подземных рабочих зонах и учитывающего основные микроклиматические параметры: температуру по сухому термометру, скорость движения и относительную влажность воздуха.

Ключевые слова: глубокие рудники, горные выработки, тепловой режим, теплообмен, математическое моделирование, источники тепловыделения, кондиционирование воздуха, микроклиматические параметры.

Введение

В связи с вовлечением в отработку глубоко залегающих запасов перед горнодобывающими предприятиями все острее встают проблемы обеспечения требуемых микроклиматических параметров в горных выработках [1, 2]. Ранее с подобными проблемами столкнулись на нефтешахтах Ярегского месторождения. Технология добычи высоковязкой нефти обуславливает значительные тепло- и влагопоступления в шахтную атмосферу. В целях обеспечения безопасности работ в сложных микроклиматических условиях на нефтешахтах были дополнительно разработаны отраслевые «Правила безопасности при разработке нефтяных месторождений шахтным способом» [10], определяющие допустимую температуру шахтной атмосферы в зависимости от относительной влажности и скорости движения воздуха.

«Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых

полезных ископаемых» предписывают: «Температура воздуха в забоях подготовительных и очистных выработок и на рабочих местах с постоянным присутствием персонала не должна превышать 26 °С. При температуре воздуха свыше 26 °С должно предусматриваться его охлаждение или разрабатываться мероприятия, предусматривающие режим работы персонала с перерывами на отдых в специально оборудованных местах с температурой воздуха не выше 26 °С». С точки зрения нормирования микроклиматических условий и мероприятий по обеспечению безопасных условий труда на горном производстве приведенная формулировка обладает существенным недостатком – для оценки микроклиматических условий используется только температура воздуха по сухому термометру без учета остальных микроклиматических параметров. Помимо температуры воздуха, к микроклиматическим параметрам, влияющим на тепловые ощущение

* Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках научных проектов № 15-05-04552 А и № 13-05-96013 р_урал_а.

ния и здоровье людей, относятся его относительная влажность и скорость движения, а также интенсивность теплового излучения [9].

«Правилами безопасности при разработке нефтяных месторождений шахтным способом» [10] наложены дополнительные ограничения на максимальную температуру воздуха по сухому термометру при высокой относительной влажности и низкой скорости движения воздуха.

В проведенном исследовании на основании комплексного анализа отечественной и зарубежной литературы

предлагается обобщенный показатель оценки микроклиматических условий в горных выработках, учитывающий влияние температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха на тепловые ощущения человека. Влияние интенсивности теплового излучения в подземных горных выработках ввиду отсутствия значительных поверхностей, нагретых до высоких температур, менее актуально [7].

На зарубежных горных предприятиях на основании многочисленных исследований [3, 4, 5, 6, 7] для нормирования микроклиматических ус-

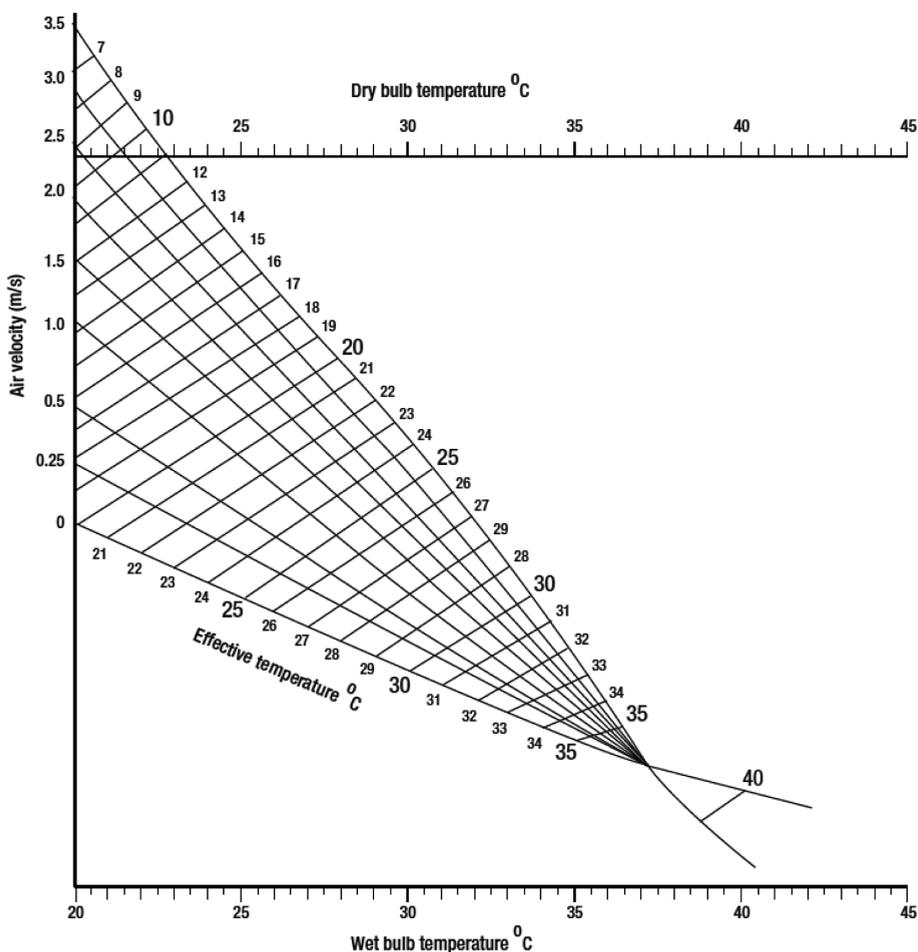


Рис. 1. Номограмма для расчета эффективной температуры воздуха T_5

ловий применяются комплексные показатели, учитывающие температуру по сухому термометру (t_d), скорость движения (v) и относительную влажность (φ) воздуха.

Проведен сравнительный анализ следующих показателей микроклиматических условий:

- температура воздуха по сухому термометру;
- $T_1 = t_d$ – температура воздуха по влажному термометру;
- $T_2 = t_w$ – WBGT-индекс [7];
- $T_3 = 0,7t_w + 0,3t_d$ – АТ (Apparent temperature) [8];
- $T_4 = t_d + 0,33 \cdot f(\varphi, t_d) - 0,7v - 4,0$ ВЕТ (Basic Effective temperature) [5];
- $T_5 = f(t_d, t_w, v)$ – определяется по номограмме (см. рис. 1);
- ЕТ (Effective temperature by M.J. McPherson);
- $T_6 = f(t_d, t_w, v)$ – определяется в соответствии с [7].

Сравнительный анализ показателей

Аналитическая зависимость $T_5 = f(t_d, t_w, v)$ получена посредством аппроксимации номограммы, представленной на

рис. 1, методом наименьших квадратов с использованием полиномиальной функции третьей степени. В области $v \in [0; 3; 5]$, $t_d \in [0; 50]$, $\varphi \in [0; 100]$ относительная погрешность аппроксимации составляет менее 5%.

Общим свойством приведенных показателей является линейная зависимость от температуры воздуха по сухому термометру. На рис. 2 и 3 приведены графики зависимости исследуемых показателей от относительной влажности (φ) и скорости движения (v) воздуха соответственно.

Применение всего многообразия технических мероприятий для обеспечения допустимых микроклиматических условий в горных выработках требует наличия зависимости нормируемого показателя от трех микроклиматических параметров: показаний сухого термометра t_d , скорости движения v и относительной влажности воздуха φ . Данному требованию соответствуют показатели № 4, 5, 6.

Выбор показателя, рекомендуемого для практического применения, основан на исследовании характера зависимости значения показателя от каждого из микроклиматических параметров.

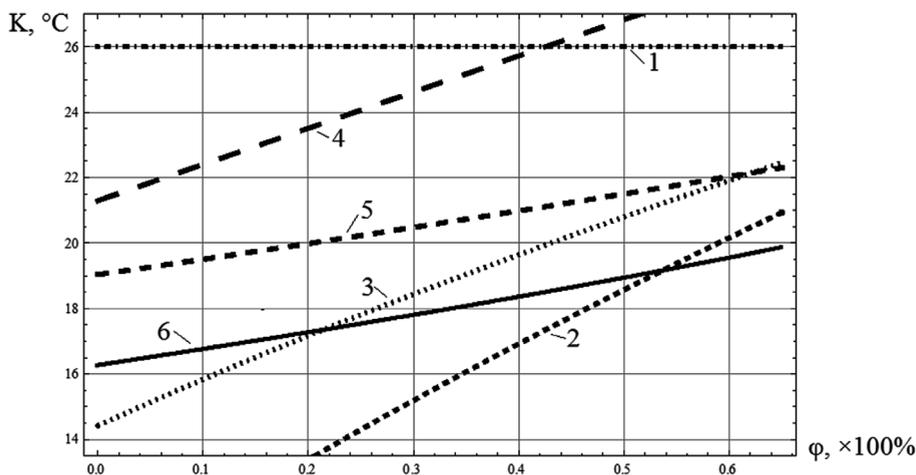


Рис. 2. Зависимости изменения показателей от относительной влажности при скорости движения воздуха 1 м/с и температуре по сухому термометру 26 °C

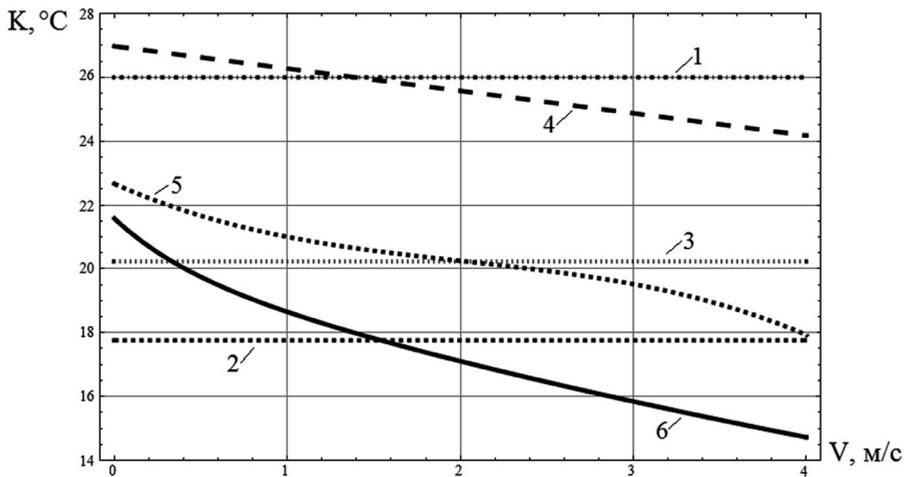


Рис. 3. Зависимости изменения показателей от скорости движения воздуха при относительной влажности 45 % и температуре по сухому термометру 26 °С

Для количественного анализа применены следующие критерии:

$$K_i^{(t_d)} = \frac{1}{t_{d\max} - t_{d\min}} \int_{t_{d\min}}^{t_{d\max}} \left| \frac{\partial T_i}{\partial t_d} \right| dt_d$$

$$K_i^{(v)} = \frac{1}{v_{\max} - v_{\min}} \int_{v_{\min}}^{v_{\max}} \left| \frac{\partial T_i}{\partial v} \right| dv$$

$$K_i^{(\phi)} = \frac{1}{\phi_{\max} - \phi_{\min}} \int_{\phi_{\min}}^{\phi_{\max}} \left| \frac{\partial T_i}{\partial \phi} \right| d\phi$$

Данные критерии характеризуют степень влияния каждого из параметров t_d , v и ϕ на величину исследуемого показателя. Влияние оценивается как скорость изменения исследуемого показателя при изменении параметров t_d , v и ϕ на их области определения. Количественные значения критериев сведены в таблицу.

Выбор показателя

Влияние температуры $K_i^{(t_d)}$ сухого термометра на рассматриваемые показатели практически равнозначно. Влияние скорости движения воздуха на рассматриваемые показатели $K_i^{(v)}$ в наименьшей степени выражено для показателя T_4 . Изменение относительной влажности воздуха $K_i^{(\phi)}$ оказывает наибольшее влияние на значение показателя T_4 .

Выбор показателя, характеризующего микроклиматические условия наиболее жестко, осуществляется также посредством сравнения значений каждого из показателей на всей области определения. В результате получены следующие неравенства:

$$T_4 > T_5 \text{ при } t_d > 20 \text{ °С и } \phi \in [30; 100].$$

$$T_4 > T_6 \text{ при } t_d > 16 \text{ °С и } \phi \in [0; 100].$$

Обозначение показателя	Метод расчета	$K_i^{(t_d)}$	$K_i^{(v)}$	$K_i^{(\phi)}$
T4	Apparent Temperature	1	0,7	12
T5	ВЕТ по номограмме (рис. 1)	0,9	0,87	4,5
T6	ET by McPherson	1	1,6	7,4

Данные интервалы удовлетворяют условиям задачи нормализации микроклиматических параметров в подземных горных выработках.

Таким образом, показатель T_4 имеет наиболее слабую зависимость от скорости движения воздуха (как от фактора, улучшающего микроклиматические условия) и наиболее сильную зависимость от относительной влажности воздуха (как от фактора, ухудшающего микроклиматические условия). При этом T_4 принимает наибольшее значение среди исследуемых показателей при температуре воздуха по сухому термометру $t_d > 20$ °С и относительной влажности воздуха $\varphi > 30\%$. Следовательно, расчет комплексного показателя, характеризующего микроклиматические параметры в подземных рабочих зонах целесообразно осуществлять по зависимости [8]:

$$T = t_d + 0,33 \cdot f(\varphi, t_d) - 0,7v - 4,0$$

$$f(\varphi, t_d) =$$

$$= \frac{\varphi}{100} \cdot 6,105 \exp\left(17,27 \frac{t_d}{237,7 + t_d}\right)$$

Заклучение

Применение полученной зависимости для расчета показателя, характеризующего тепловые ощущения горнорабочих в подземных горных выработках, указывает не только на необходимость снижения максимально допустимой температуры воздуха по сухому термометру при увеличении относительной влажности или снижении скорости движения воздуха, но и на потенциальную возможность увеличения допустимой температуры воздуха по сухому термометру при увеличении скорости его движения. При этом требования к микроклиматическим параметрам определяют спектр применяемых технических мероприятий регулирования теплового режима и параметры технических средств кондиционирования воздуха. Энергоэффективность принимаемых технических решений напрямую зависит от многообразия возможных вариантов создания одинаково комфортных и безопасных условий труда путем варьирования различных микроклиматических параметров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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. 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.
3. Klima-Bergverordnung: Bergverordnung zum Schutz der Gesundheit gegen Klimaerwirkungen; (KlimaBergV), – Essen: Verlag Glückauf. – No. 420-7, 1983. – 685 s.
4. Brake D.J. Mine ventilation // A Practitioner's manual. – Mine Ventilation Australia: Brisbane. – 2012. – 686 p.
5. Development of a code of practice for work in hot and humid conditions in coal mines. – Institute of Occupational Medicine, Edinburgh. – 1997.
6. Occupational exposure to hot environments. – Revised Criteria, NIOSH. – 1986.
7. McPherson M.J. Subsurface ventilation and Environmental engineering. – Chapman & Hall. – 2009. – 824 p.
8. Steadman R.G. Norms of apparent temperature in Australia. – Aust. Met. Mag. – Vol. 43, 1994. – p. 1 – 16.
9. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
10. Правила безопасности при разработке нефтяных месторождений шахтным способом. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Зайцев Артем Вячеславович¹ – кандидат технических наук, заведующий сектором, e-mail: aerolog.artem@gmail.com,
Семин Михаил Александрович¹ – младший научный сотрудник, магистр механики, e-mail: mishkasemin@gmail.com,
Клюкин Юрий Андреевич¹ – инженер, e-mail: aeroyuri@gmail.com
Горный институт Уральского отделения РАН.

UDC 622.4

IMPROVEMENT OF MICROCLIMATE CONDITIONS RATIONING CRITERIA IN MINE AIRWAYS

Zaitsev A.V.¹, Candidate of Technical Sciences, Head of Sector, e-mail: aerolog.artem@gmail.com,
Semin M.A.¹, Junior Researcher, Master of Mechanics, e-mail: mishkasemin@gmail.com
Klyukin Yu.A.¹, Engineer, e-mail: aeroyuri@gmail.com,
Mining Institute of Ural Branch of Russian Academy of Sciences, 614007, Perm, Russia.

The article presents microclimate indices for the purpose of high temperature conditions control in mine airways taking into account Russian and world experience. The results of the comparative analysis of indices characterizing the microclimate conditions in underground work areas are shown. Selection of the optimal indices is performed. Selected index allows estimation of upper bound of admissible microclimate conditions in underground work areas and takes into account the following microclimate parameters: dry bulb temperature, velocity and relative humidity of mine air.

Key words: deep mines, mine airways, thermal conditions, heat transfer, mathematical modeling, sources of heat, air conditioning, microclimatic parameters.

ACKNOWLEDGEMENTS

The study was supported by the Russian Foundation for Basic Research, Projects Nos. no 15-05-04552 A and no 13-05-96013_r_ural_a.

REFERENCES

1. Karelin V.N., Kravchenko A.V., Levin L.Yu., Kazakov B.P., Zaytsev A.V. *Gornyy zhurnal*. 2013, no 6, pp. 65–68.
2. Kazakov B.P., Levin L.Yu., Zaytsev A.V. *Gornyy zhurnal*. 2014, no 5, pp. 22–25.
3. Klima-Bergverordnung: Bergverordnung zum Schutz der Gesundheit gegen Klimaeinwirkungen; (KlimaBergV), Essen: Verlag Glückauf. No. 420-7, 1983. 685 s.
4. Brake D.J. *Mine ventilation. A Practitioner's manual*. Mine Ventilation Australia: Brisbane. 2012. 686 p.
5. *Development of a code of practice for work in hot and humid conditions in coal mines*. Institute of Occupational Medicine, Edinburgh. 1997.
6. *Occupational exposure to hot environments*. Revised Criteria, NIOSH. 1986.
7. McPherson M.J. *Subsurface ventilation and Environmental engineering*. Chapman & Hall. 2009. 824 p.
8. Steadman R.G. *Norms of apparent temperature in Australia*. Aust. Met. Mag. Vol. 43, 1994, pp. 1–16.
9. *Obshchie sanitarno-gigienicheskie trebovaniya k vozdukhу rabochey zony*. GOST 12.1.005-88 (Sanitary requirements for air in a work area. State Standart 12.1.005-88).
10. *Pravila bezopasnosti pri razrabotke neftnyanykh mestorozhdeniy shakhtnym sposobom* (Safety regulations in mine development of oil fields).

