



ОЦЕНКА ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО РИСКА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НАГРЕВАЮЩЕГО МИКРОКЛИМАТА ПРИ ВЕДЕНИИ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ РАБОТ

М.Л.РУДАКОВ¹, И.С.СТЕПАНОВ²

¹Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия

²ЗАО «НПО «Ленкор», Санкт-Петербург, Россия

Рассматривается возможность применения пробит-функции для оценки профессиональных рисков при ведении подземных горных работ в условиях нагревающего микроклимата. Работа в условиях нагревающего микроклимата, параметры которого превышают предельно-допустимые значения, может привести к обезвоживанию, обмороку, тепловому удару у горнорабочих. На основе анализа результатов медико-биологических исследований воздействия нагревающего микроклимата на организм человека был оценен вероятностный характер накопления избыточного тепла в зависимости от индекса тепловой нагрузки среды (TNC-индекса).

С использованием критерия Шапиро – Уилка проведена оценка соответствия распределения экспериментальных значений накопления тепла в организме человека нормальному закону распределения для разных значений TNC-индекса, измеренных при ведении подземных горных работ в условиях нагревающего микроклимата.

Обосновано построение пробит-модели для оценки профессиональных рисков, обусловленных перегревом работников, для разных категорий работ по тяжести трудового процесса, характерных для ведения подземных горных работ.

Проведена верификация результатов моделирования на основе сравнения с детерминированной моделью перегрева работников, используемой в настоящее время. С учетом удовлетворительной сходимости результатов предлагается использование пробит-модели для оценки профессиональных рисков перегрева работников, поскольку данная модель позволяет получить непрерывную зависимость профессионального риска от значений TNC-индекса, что, в свою очередь, позволит более обоснованно подходить к выбору мероприятий по улучшению условий труда работников.

Ключевые слова: оценка профессиональных рисков, нагревающий микроклимат, охрана труда, пробит-модель, TNC-индекс, накопление тепла, подземные горные работы, перегрев

Как цитировать эту статью: Рудаков М.Л. Оценка профессионального риска при воздействии нагревающего микроклимата при ведении подземных горных работ / М.Л.Рудаков, И.С.Степанов // Записки Горного института. 2017. Т. 225. С. 364-368. DOI: 10.18454/PMI.2017.3.364

Введение. В современных системах управления охраной труда процедуры оценки и управления профессиональными рисками позволяют заранее обнаруживать опасности для здоровья и жизни работников и применять мероприятия по их устранению с целью улучшения условий труда и охраны труда. Оценка рисков является эффективным инструментом профилактики аварий на опасных производственных объектах, несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний.

При ведении подземных горных работ, например при разработке угольных и нефтяных месторождений, одним из факторов производственной среды является микроклимат подземных горных выработок, характеризующийся повышенными значениями температуры и влажности воздуха в рабочих зонах. По данным исследований [12, 13] и проводимой специальной оценки условий труда, значения температуры воздуха могут достигать 38 °C, а относительной влажности – 85 %.

Работа в условиях нагревающего микроклимата вызывает напряжение различных функциональных систем организма работника. Последствиями от воздействия параметров нагревающего микроклимата на работников являются ухудшение самочувствия, снижение работоспособности и производительности труда, а чрезмерный перегрев может привести к летальному исходу в результате теплового удара [5, 15, 18]. Также отмечается, что влияние параметров нагревающего микроклимата на здоровье работников в отдаленном периоде увеличивает риск смерти от болезней сердечно-сосудистой системы [12].

Наиболее распространенным методом оценки профессиональных рисков при ведении подземных горных работ, в силу своей простоты, является матричный метод. Суть метода заключается в определении значения риска по матрице как сочетание двух величин: частоты, или вероятности возникновения негативного события, и потенциальные последствия от его наступления. Как правило, значения вероятности и тяжести последствий определяются методом экспертных оценок с учетом данных о произошедших несчастных случаях и выявленных профессиональных



заболеваниях. Недостатками матричного метода являются субъективный характер оценок частоты и вероятности, а также невозможность оценивать профессиональные риски с достаточной точностью, поскольку это приводит к громоздким размерам матрицы рисков [9, 19].

Также для оценки профессиональных рисков применяется метод, отраженный в Руководстве Р 2.2.1766-03 [10]. Однако критерием оценки профессиональных рисков данного метода является его категорирование в зависимости от классов условий труда, основанных на величинах индекса профессиональных заболеваний, что существенно сужает степень применимости метода в условиях производства, на котором профессиональные заболевания не выявлены.

Целью исследований являлась разработка возможного метода оценки профессиональных рисков в условиях нагревающего микроклимата, причем метод, с одной стороны, должен позволять оценивать риски с большей точностью, чем используемый матричный метод, а с другой – быть применимым в условиях производства.

Методология исследования. В практике оценки рисков аварий и пожарных рисков на опасных производственных объектах широко используется метод на основе пробит-функции. Данный метод нашел свое отражение в ряде нормативных документов по вопросам промышленной и пожарной безопасности, например, в Приказе МЧС РФ от 10 июля 2009 г. № 404 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах», Приказе Ростехнадзора от 11 апреля 2016 г. № 144 «Об утверждении Руководства по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах».

Так, при оценке последствий воздействия опасных факторов аварий на опасном производственном объекте величина вероятности поражения людей и разрушения зданий, сооружений выражается в виде [16]

$$P = f[Pr(D)], \quad (1)$$

где $Pr(D)$ – верхний предел интегральной функции в предположении, что функция распределения случайной величины, характеризующей эффект поражения, имеет нормальный закон распределения:

$$P = f[Pr(D)] = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{Pr} e^{-\frac{t^2}{2}} dt. \quad (2)$$

В общем случае пробит-функция имеет вид

$$Pr(D) = a + b \ln D, \quad (3)$$

где a и b – константы, зависящие от вида и параметров негативного воздействия; D – доза негативного воздействия.

Для обоснования возможности использования пробит-модели для оценки профессионального риска, обусловленного нагревающим микроклиматом, были предприняты следующие шаги.

1. В качестве меры тепловой нагрузки (аргумента пробит-функции) на организм человека при ведении подземных горных работ был выбран широко распространенный в международной практике WBGT-индекс или его отечественный аналог – индекс тепловой нагрузки среды (THC-индекс). Данные индексы, учитывающие сочетанное действие на организм человека параметров микроклимата (температуры, влажности, скорости движения воздуха и теплового облучения), численно равны при условиях, где отсутствует солнечная радиация [2, 11, 17]:

$$WBGT = THC = 0,7t_{вл} + 0,3t_{ш}, \quad (4)$$

где $t_{вл}$ – измеренная температура влажного термометра; $t_{ш}$ – температура внутри черного шара (сфера Вернона).

2. В качестве меры поражения принимался перегрев организма, характеризующийся напряжением реакций терморегуляции [1, 7], поскольку работа в условиях нагревающего микроклимата, при превышении допустимых значений THC-индекса, ведет к перегреванию работника, обусловленного накоплением избыточного тепла в организме.

Перегрев (накопление тепла в организме) ΔQ рассчитывался по формуле [6, 8]



$$\Delta Q = C \Delta T_{\text{ср}}, \quad (5)$$

где $C = 3,48$ кДж/кг – теплоемкость тканей человеческого тела; $\Delta T_{\text{ср}}$ – изменение средней температуры тела за время рабочей смены, °C.

3. На основе анализа данных медико-биологических исследований воздействия нагревающего микроклимата на работников [1, 14] была проведена группировка по одинаковым значениям ТНС-индекса результатов оценок ΔQ для разных людей, участвующих в экспериментах. Очевидным выводом явился вероятностный характер накопления тепла в организме разных работников, при нахождении их в одинаковых тепловых условиях и при выполнении сходных по тяжести работ (в работах [1, 14] рассматривались только работники-мужчины; объем выборок составлял от 3 до 7).

Гипотеза о нормальном характере распределения ΔQ (как случайной величины) была проверена по критерию Шапиро – Уилка [4]. Результаты проверки позволили установить, что с достоверностью 0,8 характер распределения ΔQ подчиняется нормальному закону распределения, что, в свою очередь, дало возможность использовать для оценки профессионального риска модель на основе пробит-функции.

Результаты и обсуждение. Используя данные медико-биологических исследований [1, 14], при помощи программного продукта IBM SPSS Statistics были рассчитаны параметры пробит-модели для прогнозирования профессионального риска, обусловленного нагревающим микроклиматом, вызывающим накопление тепла в теле, равном или большем 7 кДж/кг, что рядом исследователей характеризуется как «чрезмерное» напряжение реакций терморегуляции и, соответственно, как критический риск перегрева организма (см. таблицу) [1, 6, 7].

Влияние тепловой нагрузки рабочей среды на функциональное состояние организма

Класс условий труда по Р 2.2.2006-05	Превышение верхней границы оптимального уровня ТНС-индекса	Показатели теплового состояния		Риск перегревания организма согласно МУК 4.3.2755-10
		Накопление тепла в теле, кДж/кг (верхняя граница)	Напряжение реакций терморегуляции	
1	–	±0,87	Очень слабое (минимальное)	Отсутствует
2	3,0	2,6	Слабое	Малый
3.1	3,3	2,75	Умеренное	Умеренный
3.2	4,2	3,3	Выраженное	Высокий
3.3	5,5	4,0	Сильное	Очень высокий
3.4	8,0	5,5	Очень сильное	Чрезвычайно высокий
4	>8,0	≥7,0	Чрезмерное	Критический

Также необходимо отметить, что в расчете учитывались данные по работникам, задействованным в работах со схожими, по энергозатратам, видами деятельности, которые можно отнести к категории работ по тяжести IIb. Данной категории соответствуют работы с интенсивностью энергозатрат 201-250 ккал/ч (233-290 Вт), связанные с ходьбой, перемещением и переноской тяжестей до 10 кг и сопровождающиеся умеренным физическим напряжением [11].

Уравнение пробит-модели примет вид

$$P = -109,339 + 31,993 \ln \text{ТНС}, \quad (6)$$

где ТНС – индекс тепловой нагрузки среды, °C.

Рассчитанные параметры пробит-модели дали возможность оценки риска «чрезмерного» напряжения реакций терморегуляции у работника шахты при заданном значении уровня ТНС-индекса.

Для верификации полученных результатов было проведено сравнение результатов расчетов профессионального риска по методу пробит-функции с результатами оценки детермированного критерия критического перегрева P_D , принимающего следующие значения:

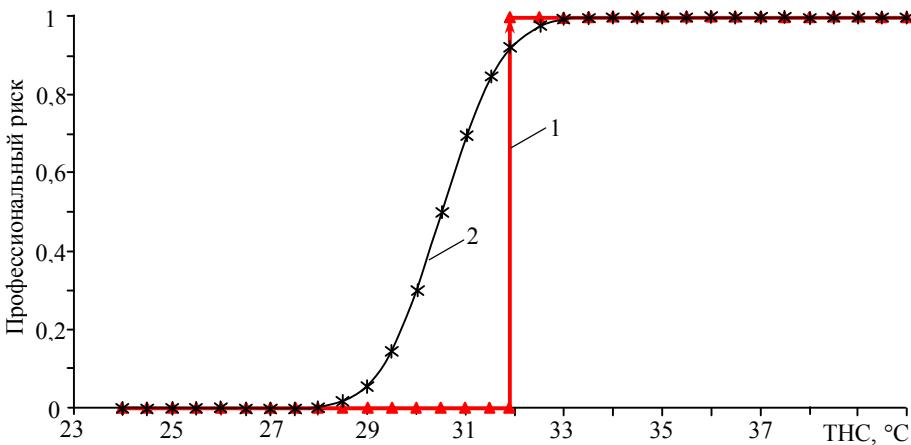
$$P_D = 0 \text{ при } \Delta Q \leq 5,5 \text{ кДж/кг},$$

$$P_D = 1 \text{ при } \Delta Q > 5,5 \text{ кДж/кг}.$$



Результаты, полученные по двум расчетным моделям, приведены на рисунке. Поскольку значение верхней границы оптимального уровня ТНС-индекса для категории работ IIb составляет $23,9^{\circ}\text{C}$ [11], минимальное значение ТНС-индекса, соответствующее «чрезмерному» напряжению реакций терморегуляции и критическому перегреву, составило $31,9^{\circ}\text{C}$.

Сравнение результатов оценки рисков перегрева по вероятностной и детерминированной моделям позволяет судить о принципиальной возможности использования метода пробит-функции для целей оценки профессиональных рисков перегрева работников. Достоинствами метода являются относительно простой вид расчетной модели, применимой в условиях производства, возможность получения непрерывных зависимостей риска от значений ТНС-индекса. Представляется, что одним из недостатков метода является необходимость обработки большого объема медико-биологических исследований, чтобы результаты моделирования были достоверны. Эта сложность носит объективный характер и обусловлена самой природой метода, требующего статистически значимых объемов выборок.



Результаты оценки профессионального риска чрезмерного перегрева работников

для категории работ по тяжести IIb

1 – детерминированная модель; 2 – пробит-модель

Выводы

1. Полученные результаты являются примером возможности использования пробит-функции в качестве инструмента оценки профессиональных рисков, обусловленных воздействием нагревающего микроклимата.

2. В настоящее время Трудовым кодексом Российской Федерации установлена обязанность работодателя по обеспечению создания и функционирования системы управления охраной труда. Управление профессиональными рисками как комплекс взаимосвязанных мероприятий, являющихся элементами системы управления охраной труда, имеет целью снижение рисков до допустимых значений. В связи с этим более точная оценка рисков дает возможность обоснованно подойти к выбору мероприятий по снижению рисков, в том числе и по экономическим показателям.

3. Целесообразно продолжить исследования по оценке профессиональных рисков, обусловленных нагревающим микроклиматом, при ведении подземных горных работ с целью получения уточненных пробит-моделей для всех категорий теплового состояния работников.

ЛИТЕРАТУРА

1. Афанасьев Р.Ф. Тепловая нагрузка среды и ее влияние на организм // Профессиональный риск для здоровья работников / Под ред. Н.Ф.Измерова, Э.И.Денисова. М.: Троянт, 2003. С.149-156.
2. ГОСТ Р ИСО 7243-2007. Термальная среда. Расчет тепловой нагрузки на работающего человека, основанный на показателе WBGT (температура влажного шарика психрометра). М.: Стандартинформ, 2008. 16 с.
3. Измеров Н.Ф. Гигиена труда. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2008. 592 с.
4. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. М.: Физматлит, 2006. 238 с.
5. К обоснованию регламентации термической нагрузки среды на работающих в нагревающем микроклимате (на примере сталеплавильного производства) / Р.Ф.Афанасьева, Н.А.Бессонова, М.А.Бабаян, Н.В.Лебедева, Т.К.Лосик, В.В.Суботин // Медицина труда и промышленная экология. 1997. № 2. С.30-34.
6. Мартынцева А.С. Расчет показателей теплового состояния человека / А.С.Мартынцева, Е.В.Нор / УГТУ. Ухта, 2015. 18 с.



7. МУК 4.3.2755-10. Интегральная оценка нагревающего микроклимата. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2011. 12 с.
8. МУК 4.3.1895-04. Методы контроля. Физические факторы. Оценка теплового состояния человека с целью обоснования гигиенических требований к микроклимату рабочих мест и мерам профилактики охлаждения и перегревания: Методические указания. М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. 20 с.
9. Рудаков М.Л. Оценка и управление рисками в современных системах управления охраной труда в организации. СПб: Свое издательство, 2014. 120 с.
10. Р 2.2.1766-03. Руководство по оценке профессионального риска для здоровья работников. Организационно-методические основы, принципы и критерии оценки. М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. 24 с.
11. СанПиН 2.2.4.548-96. Физические факторы производственной среды. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. Санитарные правила и нормы. М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 2001. 20 с.
12. Чеботарёв А.Г. Физиолого-гигиеническая оценка микроклимата на рабочих местах в шахтах и карьерах и меры профилактики его неблагоприятного воздействия / А.Г.Чеботарёв, Р.Ф.Афанасьева // Горная промышленность. 2012. № 6. С.34-40.
13. Экономическая эффективность стационарной холодильной установки мощностью 1 МВт / В.Р.Алабьев, В.А.Кузин, К.В.Скрыль, А.И.Кухно // Уголь Украины. 2010. № 6. С.23-27.
14. Brake D.J. The Deep Body Core Temperatures, Physical Fatigue and Fluid Status of Thermally Stressed Workers and the Development of Thermal Work Limit as an Index of heat Stress: School of Public Health Doctoral Dissertation. Australia, Curtin University of Technology. 2002. 294 p.
15. Hunt A.P. Symptoms of heat illness in surface mine workers / A.P.Hunt, A.W.Parker, I.B.Stewart // International Archives of Occupational and Environmental Health. 2013. № 85(5). P.519-527. DOI:10.1007/s00420-012-0786-0.
16. Lees F. Lees' Loss Prevention in the Process Industries: Hazard Identification, Assessment and Control. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2012. P.3776.
17. Lemke B. Calculating workplace WBGT from meteorological data: a tool for climate change assessment / B.Lemke, T.Kjellstrom // Industrial Health. 2012. № 50. P.267-278.
18. McPherson M.J. Subsurface Ventilation Engineering. London. 2012. URL: https://www.mvsengineering.com/files/Subsurface-Book/MVS-SVE_Chapter17.pdf (Date of access 15.02.2017).
19. Vatanpour S. Can public health risk assessment using risk matrices be misleading? / S.Vatanpour, S.E.Hrudey, I.Dinu // Int. J. Environ. Res. Public Health. 2015. № 12. P.9575-9588. DOI:10.3390/ijerph120809575.

Авторы: **М.Л.Рудаков**, д-р техн. наук, профессор, *rudakov_ml@spmi.ru* (Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия), **И.С.Степанов**, ведущий инженер, *19_87@bk.ru* (ЗАО «НПО «Ленкор», Санкт-Петербург, Россия).

Статья принята к публикации 24.03.2017.