

## ВЛИЯНИЕ МИКРОКЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ГОРНОРАБОЧИХ В ВЫРАБОТКАХ ГЛУБОКИХ ГОРИЗОНТОВ КАЛИЙНЫХ РУДНИКОВ

М.Ю. Лискова<sup>1</sup>, Н.Л. Вишневская<sup>1</sup>, Л.В. Плахова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия,  
e-mail: liskova.rpb@gmail.com

**Аннотация:** С увеличением глубины ведения добычных работ возрастает температура горных пород, усиливается влияние техногенных источников тепловыделения на формирование неблагоприятных микроклиматических условий в горных выработках. В результате температура воздуха в подземных рабочих зонах повышается до значений превышающих допустимые + 26 °С, согласно нормативным документам. В связи с этим возникают проблемы по обеспечению нормальных санитарно-гигиенических условий труда по фактору тепловая среда. Высокая температура воздуха в рудниках ведет к снижению внимания горняков, большей утомляемости и, как следствие, к росту производственного травматизма. Особенно актуальными становятся оценка реального состояния человека в условиях нагревающего микроклимата и разработка алгоритма, на базе которого возможно обосновать комплекс технико-профилактических мероприятий для минимизации негативного воздействия данного производственного фактора в комплексе со значительными физическими нагрузками. Для решения данной задачи в первую очередь следует провести детальную оценку состояния тепловой среды, в которой ведутся горные работы с установлением фактических параметров микроклимата и рабочих нагрузок. В последующем следует провести обследование персонала с измерениями параметров, адекватно отражающих тепловое состояние организма человека и нагрузку на физиологические системы. Выполнить необходимые расчеты с оценкой полученных результатов. Обосновать перечень технико-гигиенических мероприятий по нормализации тепловой среды. На основании вышеизложенного нами разработана модель-схема, которая включает основные этапы исследования.

**Ключевые слова:** рудник, горные выработки, микроклимат, температура воздуха, тепловая нагрузка среды, организм горнорабочего, производственный фактор, горные работы.

**Для цитирования:** Лискова М. Ю., Вишневская Н. Л., Плахова Л. В. Влияние микроклиматических условий на горнорабочих в выработках глубоких горизонтов калийных рудников // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 9. – С. 219–230. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-09-0-219-230.

### Effect of microclimate on personnel in deep-level excavations of potash mines

M.Yu. Liskova<sup>1</sup>, N.L. Vishnevskaya<sup>1</sup>, L.V. Plakhova<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Perm national research polytechnical university, Perm, Russia, e-mail: liskova.rpb@gmail.com

**Abstract:** As mining depth grows, the temperature of enclosing rocks increases and the influence of anthropogenic thermal sources on formation of adverse microclimate in mines intensifies. The air temperature in underground working areas exceeds the allowable standard value of + 26°C. As a result, normal sanitary-hygienic labor conditions by the thermal environment criterion become

problematic. High air temperature in mines leads to attention deterioration, higher fatigability and, thus, increased occupational traumatism of miners. It is particularly important to evaluate real health status in the heating microclimate. Furthermore, it is required to develop an algorithm of validation of preventive measures to minimize aggravating effect of the mentioned industrial factor in combination with considerable physical load. To this end, it is necessary to accomplish detailed assessment of the thermal environment of mine with a view to determining actual microclimate parameters and workloads. Then, personnel examination should be carried out with measurement of parameters which adequately characterize body thermal status and physiological stress. Later on, the calculations should be performed with interpretation of the obtained results and substantiation of list of engineering controls and hygienic measures aimed at normalization of the thermal environment. The present article authors have developed a model–circuit including all basic stages of investigation.

**Key words:** mine, underground excavations, microclimate, air temperature, thermal stress, miner body, industrial factor, mining operations.

**For citation:** Liskova M. Yu., Vishnevskaya N. L., Plakhova L. V. Effect of microclimate on personnel in deep-level excavations of potash mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019;(9):219-230. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-09-0-219-230.

В настоящее время широко развивается горная промышленность, в частности калийная отрасль. По оценке Геологической службы США, мировые ресурсы калийных солей составляют 250 млрд т. Крупнейшие в мире природные запасы данного сырья сосредоточены в Канаде (более половины мировых) и России.

Таблица 1

**Мировые производители калийных удобрений**  
**Global producers of potassium fertilizers**

№ п/п	Страна	Доля в мировом производстве калийных удобрений, %
1	Канада	28,4
2	Россия	20,4
3	Белоруссия	15,0
4	Китай	9,0
5	Германия	9,0
6	Израиль	6,3
7	Иордания	3,6
8	США	2,7
9	Чили	2,1
10	Бразилия	1,2
11	Великобритания	1,2
12	Испания	1,2

В настоящее время в мире выделяют около трех десятков калийных бассейнов, мировые производители калийных удобрений представлены в табл. 1 [1].

Современное развитие горных работ, увеличение мощности добычи полезного ископаемого зачастую приводит к необходимости ввода в отработку запасов глубоких горизонтов. На отдельных зарубежных рудниках добыча руды осуществляется на глубине до 3–4 км. К зарубежным калийным месторождениям относятся Саскачеванское (Канада) — до 2700 м; Гановерское, Южный Гарц, Баден-Вюртанберг (Германия) — до 1100 м, Каталонское (Италия) — до 1500 м; Кейн-Крик (США) — до 950 м. В нашей стране самые глубокие рудники: Гремячинское месторождение (Волгоградская область) с залеганием калийных солей на глубине 1100÷1300 м. Сторобинское месторождение (Белорусская республика) — до 1200 м.

С увеличением глубины ведения добычных работ возрастает температура горных пород, усиливается влияние техногенных источников тепловыделения на формирование неблагоприятных микроклиматических условий в горных выработках [2]. В результате температура воздуха в подземных рабочих зонах по-

Таблица 2

**Весомости вредных физических и химических факторов**  
**Wight of harmful physical and chemical factors**

Наименование фактора	Весомость, %
Запыленность воздуха	27
Микроклимат	22
Вредные химические факторы	18
Шум	17
Вибрация	13
Освещенность	8

вышается до значений, превышающих допустимые (согласно п. 115 [3] температура воздуха в выработках не должна превышать 26 °С). В связи с этим возникли проблемы по обеспечению нормальных санитарно-гигиенических условий труда по фактору «температура воздуха» для горнорабочих.

На рудниках Канады вследствие значительной глубины разработки (1006—1076 м) температура в выработках достигает 25—31 °С. С целью создания более благоприятных условий труда в шахтах поддерживается низкая влажность воздуха.

Соляной массив на Гремячинском месторождении имеет температуру 33—36 °С и обладает высокой теплопроводностью и гигроскопичностью, в результате чего температура поступающего воздуха в холодный период года повышается, в теплый период — снижается, приближаясь к температуре пород. Температура воздуха в нормальном рабочем режиме составляет не более плюс 35 °С [4]. На месторождениях калийных солей Германии (Гановерское, Южный Гарц, Баден-Вюртенберг) в связи с большой глубиной разработки (до 1100 м) температура рудничного воздуха на нижних горизонтах достигает 60 °С. Для понижения температуры применяют высокоэффективные кондиционирующие установки. Температуру в выработках поддерживают до 30 °С.

В соответствии с иерархией вредности физических и химических факторов производственной среды шахт и рудников микроклимат занимает второе место среди прочих факторов (табл. 2) [5].

Следует отметить, что при ведении подземных горных работ одним из ведущих неблагоприятных факторов производственной среды является микроклимат горных выработок, характеризующийся повышенными или пониженными значениями параметров тепловой среды [5].

В число показателей, характеризующих тепловую среду, а, соответственно, и физиологические теплоощущения работающего, входят температура воздуха и перепады температуры по вертикали и горизонтали, радиационная температура от ограждающих конструкций, относительная влажность, скорость движения воздуха, а также интенсивность теплового облучения поверхности тела. Данный комплекс показателей с позиций санитарной нормативной документации относится к критериям допустимого и оптимального теплового состояния человека. Классификация теплового состояния самого человека базируется на оценке терморегуляторной функции человеческого организма, объективными параметрами которой являются температура кожи и средневзвешенная температура тела, частота сердечных сокращений, а также комфортное тепловое состояние

человека, которое характеризуется минимальным напряжением механизмов терморегуляции и является предпосылкой длительного сохранения высокой работоспособности. При определенном уровне терморегуляторного напряжения в организме могут начать развиваться патологические процессы, приводящие, в конечном счете, к хроническим заболеваниям и потере трудоспособности. При оптимальном состоянии тепловой среды изменение этого показателя во времени не превышает  $\pm 0,87$  кДж/кг.

Высокая температура воздуха в рудниках и шахтах ведет к снижению внимания горняков, большей утомляемости и, как следствие, к росту производственного травматизма [5, 6].

Подходы к нормированию параметров микроклимата основаны на учете ряда физиологических параметров жизнедеятельности, в том числе, и энергозатрат при выполнении различного типа нагрузок в процессе труда. Они делятся на три категории (Ia,б; IIa,б; III) применительно к объему энергозатрат от 139 до 290 Вт и более [5, 7].

Важно отметить и неблагоприятные условия тепловой среды, которые создаются в различных производственных условиях, в том числе, на горных предприятиях, эти условия относят к дискомфортным, причем они могут быть отнесены как к охлаждающему, так и к нагревающему микроклимату. При нагревающем микроклимате, который возникает с увеличением глубины ведения горных работ, в организме человека накапливается тепло, при этом влагопотери испарением составляют только 30%, а при повышенной влажности они еще и затрудняются, что усиливает перегрев.

Сотрудниками Белорусского научно-исследовательского санитарно-гигиенического института во главе с Г.И. Косяченко установлено, что при повышении температуры воздуха до 34–37 °С в вы-

работках калийных рудников ПО «Беларуськалий» наблюдается напряжение терморегуляторной функции организма, существенное изменение водно-солевого и С-витаминного обменов. Выполнение работы в условиях высоких температур приводит к потере за смену до 3200 г жидкости при обычных 1600 г, т.е. в 2 раза [5].

По данным исследований [8, 9] и проводимой специальной оценки условий труда значения температуры воздуха в горных выработках могут достигать 38 °С, а относительной влажности – 85%.

Воздействие высокой температуры служит стрессорным фактором для организма, приводит к нарушениям нейроэндокринной регуляции, водно-солевого обмена, процессов сатурации, следовательно, активации негативных процессов перекисного окисления липидов, дестабилизации клеточных мембран. Особое повреждающее действие указанные процессы оказывают на состояние кардиореспираторной системы, обеспечивающей все жизненные функции организма [10–14].

Перегревание служит фактором риска ухудшения жизнедеятельности, работоспособности и развития патологических процессов в организме работающих. Работа в условиях нагревающей тепловой среды ведет к напряжению функциональных систем организма, нарушает температурный гомеостаз, что подтверждают работы ряда авторов: Р.Ф. Афанасьева, Г.В. Федоровича, А.Г. Чеботарева [8–10]. Значительный перегрев снижает работоспособность, что приводит к ухудшению выносливости мышц кистей к статической нагрузке на 10%, а также неблагоприятным изменением работы анализаторов, что прослеживается по удлинению латентного периода простой зрительно-моторной реакции до 7%. Данные изменения состояния организма работающих, в первую очередь, могут ока-

зать воздействие на безопасность технологического процесса в условиях горно-го предприятия.

Приспособительные механизмы организма весьма эффективны и достаточно долго могут поддерживать тепловой баланс в широком диапазоне изменений внешних условий. Однако, если перегрев или переохлаждение существенно превышают допустимые уровни, или если они действуют достаточно длительное время, в организме накапливаются неблагоприятные эффекты, и у работника появляются сначала функциональные изменения, затем начальные признаки легких форм общих и профессиональных заболеваний [11–14].

При дальнейшем контакте формируется профессиональное заболевание средней тяжести с потерей профессиональной трудоспособности (страховой случай), а затем могут возникать тяжелые формы профессиональных заболеваний (с потерей общей трудоспособности). Регулярное воздействие перегревания довольно быстро (в течение года и до нескольких лет) приводит к вегетососудистой дистонии по кардиальному и гипертоническому типу (вплоть до поражения миокарда), гипертонии, гипохлоремии, болезням органов пищеварения.

Существующая нормативная база документов, касающаяся нормируемых параметров тепловой среды, достаточно велика [7, 15–18] и основана на длительных научных исследованиях. Вместе с тем, в условиях производств, где допустимые нормативные величины показателей микроклимата невозможно установить из-за технологических требований к производственному процессу, как, например, на горных предприятиях, или экономически обоснованной нецелесообразности, условия микроклимата следует рассматривать как вредные и опасные. В связи с указанным, одной из важ-

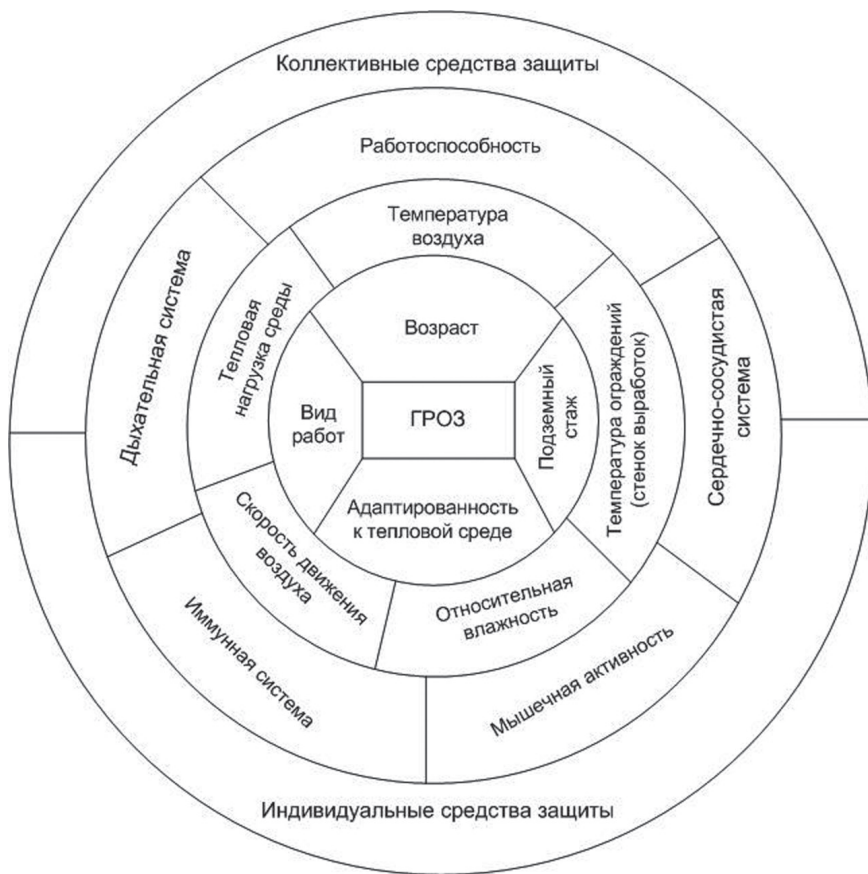
нейших проблем в области охраны труда является обеспечение мероприятий по безопасному ведению горных работ и сохранение здоровья рабочих [19, 22, 23].

Несмотря на некоторые положения нормативных документов, характеризующие условия подземных выработок, в которых предельная температура воздуха находится на уровне не более 26 °С, можно констатировать, что в реальных условиях при ведении работ в глубоких рудниках тепловая среда будет далека от данного параметра, поэтому актуальным становится разработка ряда профилактических мер. Кроме того, наблюдаются тенденции сокращения перечня показателей оценки микроклимата при оценке условий труда, что затрудняет разработку адекватных способов оптимизации условий труда горняков.

Причем, особенно актуальным становится оценка реального состояния человека в условиях нагревающего микроклимата и разработка алгоритма (модели), на базе которой возможно обосновать комплекс технико-профилактических мероприятий для минимизации негативного воздействия данного производственного фактора в комплексе со значительными физическими нагрузками.

Для решения данной задачи, в первую очередь, следует провести детальную оценку состояния тепловой среды, в которой ведутся горные работы с установлением фактических параметров микроклимата и рабочих нагрузок.

В последующем следует провести обследование персонала с измерениями параметров, адекватно отражающих тепловое состояние организма человека и нагрузку на физиологические системы; выполнить необходимые расчеты с оценкой полученных результатов; обосновать перечень технико-гигиенических мероприятий по нормализации тепловой среды.



Модель-схема оценки состояния ГРОЗ в процессе трудовой деятельности и обоснование способов защиты

Model – circuit to evaluate health status of face worker stoping face personnel and substantiate safety methods

На основании вышеизложенного нами разработана модель-схема (рисунок), которая включает основные этапы исследования. Данная модель отражает комплекс взаимосвязанных показателей: физиологических, параметров производственной среды и трудового процесса, а также она учитывает методы, способы, средства защиты.

В качестве меры тепловой нагрузки на организм человека при ведении подземных горных работ следует применять распространенный в международной практике WBGT-индекс или его отечественный аналог — индекс тепловой нагрузки среды (THC-индекс). Данные индексы учиты-

вают сочетанное действие на организм человека параметров микроклимата (температуры, влажности, скорости движения воздуха и теплового облучения), которые численно равны при отсутствии солнечной радиации [10, 17, 20, 24]:

$$WBGT = THC = 0,7 \cdot t_{\text{вЛ}} + 0,3 \cdot t_{\text{ш}}, \quad (1)$$

где  $t_{\text{вЛ}}$  — измеренная температура влажного термометра;  $t_{\text{ш}}$  — температура внутри черного шара (сферы Вернона).

В качестве меры вредного воздействия принимается перегрев организма, характеризующийся напряжением системы терморегуляции [10] и накоплением избыточного тепла в организме.

Таблица 3

**Индекс — ТНС при различных категориях работ***Heat load index for different labor grades*

Категория работ	Общие энергозатраты, Вт/м <sup>2</sup>	Класс условий труда						
		оптимальный	допустимый	вредный				опасный экстремальный
				1 степени	2 степени	3 степени	4 степени	
1	2	3.1	3.2	3.3	3.4	4		
Ia	68 (58–77)	22,2 – 26,4	26,5–26,6	26,7–27,4	27,5–28,6	28,7–31,0	> 31,0	
Iб	88 (78–97)	21,5 – 25,8	25,9–26,1	26,2–26,9	27,0–27,9	28,0–30,3	> 30,3	
IIa	113 (98–129)	20,5 – 25,8	25,2–25,5	25,6–26,2	26,3–27,3	27,4–29,9	> 29,9	
IIб	145 (130–160)	19,5 – 23,9	24,0–24,2	24,3–25,0	25,1–26,4	26,5–29,1	> 29,1	
III	177 (161–193)	18,0–21,8	21,9–22,2	22,3–23,4	23,5–25,7	25,8–27,9	> 27,9	

Перегрев (накопление тепла в организме)  $\Delta Q$  рассчитывался по формуле [6, 8]

$$\Delta Q = C \cdot \Delta T_{\text{ст}}, \quad (2)$$

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

В табл. 3 представлены индексы ТНС при различных категориях работ. Как следует из таблицы, при выполнении работ с высокой энергетической нагрузкой индекс ТНС нормируется на нижних уровнях [21].

Нами выполнен прогнозный расчет для усредненных существующих условий глубоких рудников при заданном режиме,  $t_{\text{ва}} = 31$  °С и  $t_{\text{ш}} = 21$  °С, что потребует выполнения профилактики перегрева. Если выполняемая работа ГРОЗ будет отнесена к категориям IIб или III, потребуется реализация комплекса профилактических мер, поскольку этот уровень ТНС относится к экстремальным. В этом случае оценка состояния физиологических систем организма горнорабочих позволяет объективно подтвердить обоснованность и спектр реализуемых профилактических мер.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Соловьев В.А., Секунцов А.И. Разработка калийных месторождений: практикум. — Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн.ун-та, 2013. — 265 с.

На основании вышеприведенного материала можно сделать следующие выводы:

1. Тепловая среда в глубоких рудниках становится ведущим производственным фактором, определяющим необходимость реализации комплекса профилактических мероприятий.

2. Расчет систем защиты от перегрева горнорабочих требует выполнения физиологических исследований организма при одновременной детальной оценке условий тепловой среды по определенной схеме.

3. Разработанная модель отражает комплексный подход к оценке состояния горнорабочего, учитывает влияние всех факторов, таких как возраст, стаж, а также параметры микроклимата, что позволяет управлять состоянием здоровья и безопасностью горняков, выбирать необходимые мероприятия по улучшению условий труда.

4. В системе профилактики перегрева горнорабочих необходимо, наряду с коллективными, особую роль отдать индивидуальным средствам защиты, что требует дальнейшего детального исследования.

2. Зайцев А. В., Казаков Б. П., Гришин Е. Л. Разработка комплексных систем нормализации микроклиматических условий в горных выработках глубоких горизонтов / Материалы научно-практической конференции, посвященной 25-летию горного института УрО РАН и 75-летию основателя и первого директора института гл.-корр. РАН А.Е. Красноштейна. — Пермь, 2014.

3. Федеральные нормы и правила «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых», утвержденные приказом Ростехнадзора № 599 от 11.12.2013.

4. Дударь О. И., Мохирев Н. Н., Постникова М. Ю., Хасаншин Р. Р. Кондиционирование воздуха на вновь проектируемом калийном руднике Гремячинского месторождения // Рудник будущего. — 2010. — № 3.

5. Земсков А. Н., Лискова М. Ю., Смирнова Е. В. Анализ условий труда горнорабочих и мероприятий по нормализации пылевого и газового состава атмосферы шахт и рудников // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2017. — № 2. — С. 58–68.

6. Федорович Г. В. Тяжелый труд в нагревающей среде // Безопасность и охрана труда. — 2017. — № 2(71). — С. 54–61.

7. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

8. Чеботарёв А. Г., Афанасьева Р. Ф. Физиолого-гигиеническая оценка микроклимата на рабочих местах в шахтах и карьерах и меры профилактики его неблагоприятного воздействия // Горная промышленность. — 2012. — № 6 (106). — С. 34–40.

9. Лосик Т. К., Афанасьева Р. Ф., Константинов Е. И. Физиолого-гигиеническая оценка теплового состояния военнослужащих, выполняющих непрерывную физическую работу в нагреваемом микроклимате // Медицина труда и промышленная экология. 2015;(10):41–45.

10. Афанасьева Р. Ф., Бессонова Н. А., Бурмистрова О. В., Бурмистров В. М., Лосик Т. К. Производственный микроклимат. Итоги и перспективы исследований // Медицина труда и промышленная экология. — 2013. — № 6. — С. 30–35.

11. Schulte P. A., Chun H. Climate change and occupational safety and health: establishing a preliminary framework // Journal of Occupational and Environmental Hygiene (AIHA & ACGIH) 2009. Vol. 6(9), pp. 542–554.

12. Parsons K. C. Human thermal environments: the effects of hot, moderate, and cold environments on human health, comfort, and performance. 2nd ed. London; New York: Taylor and Francis, 2003. 560 p.

13. Tipton M., Pandolf K., Sawka M., Werner J., Taylor N. Physiological adaptation to hot and cold environments. In: Taylor N, Groeller H, eds. Physiological bases of human performance during work and exercise. Edinburgh: Churchill Livingstone Elsevier, 2008. 608 p.

14. Tanaka M. Heat stress standard for hot work environments in Japan // Industrial Health (National Institute of Occupational Safety and Health, Japan). 2007. Vol. 45(1), pp. 85–90.

15. ГОСТ 12.1.005-88.ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

16. МУК 4.3.1895-04 Оценка теплового состояния человека с целью обоснования гигиенических требований к микроклимату рабочих мест и мерам профилактики охлаждения и перегревания.

17. ГОСТ 12.4.011-89 Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.

18. МУК 4.3.1895-04 Оценка теплового состояния человека с целью обоснования гигиенических требований к микроклимату рабочих мест и мерам профилактики охлаждения и перегревания.

19. Постановление Правительство РФ от 3 марта 2010 г. № 118 «Об утверждении Положения о подготовке, согласовании и утверждении технических проектов разработки месторождений полезных ископаемых и иной проектной документации на выполнение работ, связанных с пользованием участками недр, по видам полезных ископаемых и видам пользования недрами (с изменениями на 26 апреля 2019 года)».

20. Смирнов Ю. М. Управление тепловыми режимами тупиковых выработок глубоких рудников Норильска. Диссертация на соискание канд. техн. наук. — Санкт-Петербург, 1998. — 189 с.

21. Определение индекса тепловой нагрузки среды. Условия труда. <https://www.eksis.ru/technical-support/theory-and-practice/heat-load-of-environment.php> (интернет ресурс).

22. Vatanpour S. Can public health risk assessment using risk matrices be misleading? // *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2015. no 12. Pp. 9575–9588. DOI:10.3390/ijerph1208009575.
23. Sorensen G., Nagler E. M., Pawar P. et al. Lost in translation: The challenge of adapting integrated approaches for worker health and safety for low and middle-income countries // *Plos One*, 2017, vol. 12, no. 8. Paper No.: e0182607.
24. Замигулов Е. А. Повышение эффективности управления условиями труда на горных предприятиях // *Охрана и экономика труда*. — 2015. — № 2(19). — С. 23. **ИДБ**

## REFERENCES

- Solov'ev V. A., Sekuntsov A. I. *Razrabotka kaliynykh mestorozhdeniy: praktikum* [Development of potash fields: practical work], Perm, Izd-vo Perm. nats. issled. politekhn.un-ta, 2013, 265 p.
- Zaytsev A. V., Kazakov B. P., Grishin E. L. Development complex sitsy normalization of microclimatic conditions in excavations of the deep horizons. *Materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 25-letiyu gornogo instituta UrO RAN i 75-letiyu osnovatelya i pervogo direktora instituta gl.-korr. RAN A.E. Krasnoshteyna*. Perm, 2014. [In Russ].
- Federal'nye normy i pravila «Pravila bezopasnosti pri vedenii gornykh rabot i pererabotke tverdykh poleznykh iskopaemykh», utverzhennyye prikazom Rostekhnadzora № 599 ot 11.12.2013* [Safety Rules when Conducting Mining Operations and Processing Solid Minerals, federal norms and the rules. Approved by the order of Rostekhnadzor No. 599 of 11.12.2013].
- Dudar' O. I., Mokhirev N. N., Postnikova M. Yu., Khasanshin R. R. Air conditioning on again designed potash mine of the Gremyachinsky field. *Rudnik budushchego*. 2010, no 3. [In Russ].
- Zemskov A. N., Liskova M. Yu., Smirnova E. V. Analysis of working conditions of miners and action for normalization of dust and gas composition of the atmosphere of mines and mines. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle*. 2017, no 2, pp. 58–68. [In Russ].
- Fedorovich G. V. A hard work in the heating environment. *Bezopasnost' i okhrana truda*. 2017, no 2(71), pp. 54–61. [In Russ].
- Gigienicheskie trebovaniya k mikroklimatu proizvodstvennykh pomeshcheniy. SanPiN 2.2.4.548-96* [Hygienic requirements to a microclimate of production rooms. Sanitary rules and regulations 2.2.4.548-96].
- Chebotarev A. G., Afanas'eva R. F. Fiziologo-gigiyenichesky assessment of a microclimate in workplaces in mines and pits and measures of prevention of its adverse effect. *Gornaya promyshlennost'*. 2012, no 6 (106), pp. 34–40. [In Russ].
- Losik T. K., Afanas'eva R. F., Konstantinov E. I. Fiziologo-gigiyenichesky assessment of a thermal condition of the military personnel performing continuous physical activity in the heating microclimate. *Medsitina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2015;(10):41–45. [In Russ].
- Afnas'eva R. F., Bessonova N. A., Burmistrova O. V., Burmistrov V. M., Losik T. K. Production microclimate. Results and prospects of researches. *Medsitina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2013, no 6, pp. 30–35. [In Russ].
- Schulte P. A., Chun H. Climate change and occupational safety and health: establishing a preliminary framework. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene (AIHA & ACGIH)* 2009. Vol. 6(9), pp. 542–554.
- Parsons K. C. *Human thermal environments: the effects of hot, moderate, and cold environments on human health, comfort, and performance*. 2nd ed. London; New York: Taylor and Francis, 2003. 560 p.
- Tipton M., Pandolf K., Sawka M., Werner J., Taylor N. Physiological adaptation to hot and cold environments. In: Taylor N, Groeller H, eds. *Physiological bases of human performance during work and exercise*. Edinburgh: Churchill Livingstone Elsevier, 2008. 608 p.
- Tanaka M. Heat stress standard for hot work environments in Japan. *Industrial Health (National Institute of Occupational Safety and Health, Japan)*. 2007. Vol. 45(1), pp. 85–90.
- Obshchie sanitarno-gigiyenicheskie trebovaniya k vozdukhу rabochey zony. GOST 12.1.005-88.SSBT* [General sanitary hygienic requirements to air of the work area. State Standart 12.1.005-88.SSBT].
- Otsenka teplovoogo sostoyaniya cheloveka s tsel'yu obosnovaniya gigiyenicheskikh trebovaniy k mikroklimatu rabochikh mest i meram profilaktiki okhlazhdeniya i peregrevaniya. *MUK*

4.3.1895-04 [Assessment of a thermal condition of the person for the purpose of justification of hygienic requirements to a microclimate of jobs and measures of prevention of cooling and overheating. Torments 4.3.1895-04].

17. *Sredstva zashchity robotayushchikh. Obshchie trebovaniya i klassifikatsiya. GOST 12.4.011-89* [Means of protection of working. General requirements and classification. State Standart 12.4.011-89].

18. *Otsenka teplovogo sostoyaniya cheloveka s tsel'yu obosnovaniya gigienicheskikh trebovaniy k mikroklimatu rabochikh mest i meram profilaktiki okhlazhdeniya i peregrevaniya. MUK 4.3.1895-04* [Assessment of a thermal condition of the person for the purpose of justification of hygienic requirements to a microclimate of jobs and meramprofilaktik of cooling and overheating. Torments 4.3.1895-04].

19. *Postanovlenie Pravitel'stvo RF ot 3 marta 2010 g, no 118 «Ob utverzhdenii Polozheniya o podgotovke, soglasovanii i utverzhdenii tekhnicheskikh projektov razrabotki mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh i inoy proektnoy dokumentatsii na vypolnenie rabot, svyazannykh s pol'zovaniem uchastkami nedr, po vidam poleznykh iskopaemykh i vidam pol'zovaniya nedrami (s izmeneniyami na 26 aprelya 2019 goda)»* [The resolution of the Government of the Russian Federation of March 3, 2010 No. 118 «About the adoption of the Provision on preparation, coordination and the approval of engineering designs of development of the mineral deposits and other project documentation on performance of work connected with use of subsoil plots by types of minerals and types of use of natural resources (with changes for April 26, 2019)»].

20. Smirnov Yu. M. *Upravlenie teplovymi rezhimami tupikovykh vyrabotok glubokikh rudnikov Noril'ska* [Management of the thermal modes of deadlock developments of deep mines of Noril'sk], Candidate's thesis. Saint-Petersburg, 1998, 189 p.

21. *Opreделение индекса тепловой нагрузки среды. Usloviya truda.* <https://www.eksis.ru/technical-support/theory-and-practice/heat-load-of-environment.php>.

22. Vatanpour S. Can public health risk assessment using risk matrices be misleading? *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2015. no 12. Pp. 9575–9588. DOI:10.3390/ijerph1208009575.

23. Sorensen G., Nagler E. M., Pawar P. et al. Lost in translation: The challenge of adapting integrated approaches for worker health and safety for lowand middle-income countries. *Plos One*, 2017, vol. 12, no. 8. Paper No.: e0182607.

24. Zamigulov E. A. Increase in effective management of working conditions at the mountain enterprises. *Okhrana i ekonomika truda*. 2015, no 2(19), pp. 23. [In Russ].

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Лискова Мария Юрьевна<sup>1</sup> — канд. техн. наук, доцент,  
e-mail: liskova.rpb@gmail.com,

Вишневецкая Нина Леонидовна<sup>1</sup> — доктор медицинских наук, профессор,

Плахова Лариса Викторовна<sup>1</sup> — кандидат биологических наук, доцент,

<sup>1</sup> Пермский национальный исследовательский политехнический университет.

**Для контактов:** Лискова М.Ю., e-mail: liskova.rpb@gmail.com.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

M.Yu. Liskova<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor,  
e-mail: liskova.rpb@gmail.com,

N.L. Vishnevskaya<sup>1</sup>, Dr. Sci. (Med.), Professor,

L.V. Plakhova<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Biol.), Assistant Professor,

<sup>1</sup> Perm National Research Polytechnic University, 614990, Perm, Russia.

**Corresponding author:** M.Yu. Liskova, e-mail: liskova.rpb@gmail.com.



**СОВМЕСТНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКОГО И ЧИСЛЕННОГО  
МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ОЦЕНКЕ УСТОЙЧИВОСТИ БОРТОВ КАРЬЕРОВ  
СО СЛОЖНЫМ СТРУКТУРНЫМ СТРОЕНИЕМ**

(2019, СВ 21, 12 с.)

*Цирель Сергей Вадимович*<sup>1</sup> — д-р техн. наук, старший научный сотрудник, e-mail: tsirel58@mail.ru,  
*Павлович Антон Анатольевич*<sup>1</sup> — канд. техн. наук, старший научный сотрудник,  
e-mail: pavlovich\_aa@pers.spmi.ru,

*Мельников Никита Ярославович*<sup>1</sup> — аспирант, инженер, e-mail: melnikyar@yandex.ru,  
*Идиятуллин Марат Мазгарович*<sup>1</sup> — аспирант, инженер, e-mail: comrad\_nv@mail.ru,

<sup>1</sup> Научный Центр геомеханики и проблем горного производства,  
Санкт-Петербургский горный университет.

Методы расчета устойчивости бортов карьеров, приведенные в нормативных и методических документах, основаны на теории предельного равновесия, согласно которой рассматривается только процесс разрушения прибортового массива, а параметры борта до его разрушения считаются устойчивыми. Непосредственно перед разрушением откоса в массиве могут наблюдаться деформационные явления, затрудняющие нормальную эксплуатацию карьера. Характер деформирования бортов карьеров со сложным структурным строением может представлять собой длительный процесс. Смещения по мере понижения горных работ могут увеличиваться и достигать первых метров, не нарушая общую устойчивость откосов. Моделирование методом конечных элементов позволяет производить анализ напряженно-деформационного состояния прибортовых массивов и более полно учитывать механизмы деформирования откосов с различным структурным строением. Выполнять оценку смещений до предельного состояния на этапах проявления пластических деформаций затруднительно. Наиболее эффективным является физическое моделирование на эквивалентных материалах. Результаты моделирования вошли в состав нормативных и методических документов, но в виду сложности соблюдения подобия и трудоемкости моделирования данный метод не имеет широкого применения. Рассмотрен способ оценки устойчивости бортов карьеров со сложным структурным строением с использованием численного и физического моделирования.

Ключевые слова: физическое моделирование, метод эквивалентных материалов, устойчивость бортов карьеров, аналитические методы расчетов устойчивости откосов.

**JOINT USE OF PHYSICAL AND NUMERICAL MODELING IN ASSESSING THE STABILITY  
OF QUARRY SIDES WITH COMPLEX A STRUCTURE**

*S.V. Tsirel*<sup>1</sup>, Dr. Sci. (Eng.), Senior Researcher, e-mail: tsirel58@mail.ru,  
*A.A. Pavlovich*<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher, e-mail: pavlovich\_aa@pers.spmi.ru,  
*Mel'nikov N.Ya.*<sup>1</sup>, Graduate Student, Engineer, e-mail: melnikyar@yandex.ru,  
*M.M. Idiyatullin*<sup>1</sup>, Graduate Student, Engineer, e-mail: comrad\_nv@mail.ru,

<sup>1</sup> Scientific Center of geomechanics and problems of mining production,  
Saint Petersburg Mining University, 199106, Saint-Petersburg, Russia.

Methods of calculation of stability of boards of pits given in normative and methodical documents are based on the theory of limit equilibrium. According to this theory, only the process of destruction of the instrument array is considered, and the parameters of the Board before its destruction are considered stable. However, immediately before the destruction of the slope in the massif, deformation phenomena can be observed that complicate the normal operation of the quarry. The character of deformation of the sides of quarries with complex structural structure can be a long process. Moreover, the displacement as mining operations decrease can increase and reach the first meters, without disturbing the overall stability of the slopes. In contrast to the traditional methods of calculation, finite element modeling allows to analyze the stress-strain state of the instrument arrays and more fully take into account the mechanisms of deformation of slopes with different structural structure. However, to evaluate the displacement to the limiting state on the stages of manifestations of plastic deformations is difficult. In this case, the most effective is the physical modeling on equivalent materials. The results of modeling on equivalent materials were included in the regulatory and methodological documents, but due to the complexity of compliance with the similarity and complexity of modeling, this method is not widely used. The article describes a method of assessing the stability of the sides of quarries with complex structural structure using numerical and physical modeling.

Key words: physical modeling, method of equivalent materials, stability of sides of quarries, analytical methods of calculation of stability of slopes.

**ОБОСНОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ПАРАМЕТРОВ МОДУЛЯ ДЛЯ ДОБЫЧИ УГЛЯ**

(2019, СВ 15, 12 с., DOI: 10.25018/0236-1493-2019-6-15-3-12)

*Габов Виктор Васильевич*<sup>1</sup> — д-р техн. наук, профессор, e-mail: gvv40@mail.ru,

*Елихин Александр Сергеевич*<sup>1</sup> — аспирант, e-mail: aleksanr-strokin@yandex.ru,

*Задков Денис Александрович*<sup>1</sup> — канд. техн. наук, доцент, e-mail: dzadkov@yandex.ru,

*Голиков Николай Сергеевич*<sup>1</sup> — канд. техн. наук, доцент, e-mail: golikovnikolay@yandex.ru,

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский горный университет.

Проанализирована структура угольных пластов. Отмечено, что угольные пласты относятся к слоистым массивам с характерной ориентированной структурой и явно выраженной анизотропией прочностных свойств, включают прослои породы и консолидированные твердые включения. Выделены критерии качества процесса отделения угля от массива. Как альтернатива существующей технологии со сплошным фрезерованием с поверхности предлагается избирательный способ отделения угля от массива скалыванием. Обоснована структура и параметры выемочного модуля, осуществляющего селективную технологию добычи угля и избирательный способ обработки забоя исполнительным органом с учетом анизотропии прочностных свойств пласта. Рассмотрены компоновка и конструкция выемочного модуля. Для предложенного способа отделения угля от массива и выемочного модуля определены основные параметры и показатели, в том числе и производительность. Предложены две кинематические схемы механизмов резания и позиционирования выемочного органа модуля, представлен их анализ.

Ключевые слова: уголь, очистной забой, выемочный модуль, структура, параметры, кинематические схемы, избирательность, производительность, удельные затраты энергии.

**JUSTIFICATION OF THE STRUCTURE AND PARAMETERS OF THE UNIT  
FOR COAL MINING**

*V.V. Gabov*<sup>1</sup>, Dr. Sci. (Eng.), Professor, e-mail: gvv40@mail.ru;

*A.S. Elikhin*<sup>1</sup>, Graduate Student, e-mail: aleksanr-strokin@yandex.ru;

*D.A. Zadkov*<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, e-mail: dzadkov@yandex.ru

*N.S. Golikov*<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, e-mail: golikovnikolay@yandex.ru;

<sup>1</sup> Saint Petersburg Mining University, 199106, Saint-Petersburg, Russia.

The article analyzes the structure of coal seams. Noted that the coal seams are stratified massifs with characteristic-oriented structure and clearly pronounced anisotropy of the strength properties include layers of consolidated rocks and solid inclusions. Criteria of quality of process of separation of coal from the massif are allocated. As an alternative to the existing technology with continuous mining from the surface, a selective method of separating coal from the massif by chipping is proposed. The structure and parameters of the excavation unit carrying out the selective technology of coal mining and the selective method of face treatment by the operation agency taking into account the anisotropy of the strength properties of the formation are substantiated. The layout and design of the removal module are considered. For the proposed method of separating coal from the array and the excavation unit, the main parameters and indicators, including productivity, are determined. Two kinematic schemes of cutting mechanisms and positioning of the unit operation agency are proposed, their analysis is presented.

Key words: coal, longwall face, excavation module, structure, kinematic schemes, selectivity, productivity, unit energy consumption.

