

УДК 622.8:614.82

Статья / Article

© ПНИПУ / PNRPU, 2018

СОЧЕТАННОЕ ДЕЙСТВИЕ НА ЧЕЛОВЕКА ФИЗИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ

А.И. Сидоров, Е.В. Зыкина, А.В. Кудряшов, А.С. Калинина

Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)
(454080, Россия, г. Челябинск, пр. Ленина, 76)

JOINT EFFECT OF PHYSICAL FACTORS OF DIFFERENT NATURE ON THE HUMAN

Aleksandr I. Sidorov, Ekaterina V. Zykina, Aleksey V. Kudryashov, Alisa S. Kalinina

South Ural State University (National Research University) (76 Lenina st., Chelyabinsk, 454080, Russian Federation)

Получена / Received: 02.09.2017. Принята / Accepted: 12.02.2018. Опубликовано / Published: 30.03.2018

Ключевые слова:

электрический ток повышенной частоты, критерии электробезопасности, условия труда, шум, вибрация, запыленность, микроклимат, сочетанное воздействие, горнодобывающая промышленность.

Современные условия труда горнорабочих в горнодобывающей промышленности характеризуются интенсивным шумом и вибрацией, высокой запыленностью, неблагоприятным микроклиматом, уровни которых часто превышают гигиенические нормативы. К сожалению, действующая нормативная база не учитывает того, что в реальной жизни большая часть производственного персонала подвергается воздействию не одного, а нескольких факторов рабочей среды одновременно. Таким образом, санитарные нормы, установленные для изолированно действующих факторов и гарантирующие сохранение здоровья именно для этих условий, могут оказаться несостоятельными. Обеспечение устойчивой безопасности при работах в электроустановках должно достигаться путем соблюдения требований электробезопасности. Но рекомендуемые в настоящее время Международной электротехнической комиссией предельно допустимые уровни токов и напряжений прикосновения не учитывают совместного действия электрического тока и иных физических факторов, в частности шума. Ранее в диссертационной работе В.В. Касай было доказано влияние уровня звукового давления и его частоты на сопротивление тела человека. На кафедре безопасности жизнедеятельности Южно-Уральского государственного университета были возобновлены в лабораторных условиях исследования влияния шума на величину порогового ощутимого тока. Для получения достоверных результатов был спроектирован и создан испытательный комплекс, включающий в себя заглушенную камеру, источники моделируемых напряжений и шума, блок регистрирующих приборов. Были проведены исследования первичных критериев электробезопасности для повышенной частоты (5000 Гц) при воздействии шумовой нагрузки. Измерялись напряжения и токи, вызывающие ощущения, до воздействия шума, а также при воздействии шума с уровнем звукового давления 97 дБ. Построенная зависимость ставит под сомнение полученный по итогам прошлых исследований результат о необходимости снижения уставок срабатывания устройств защитного отключения.

Key words:

high frequency electric current, electrical safety criteria, working conditions, noise, vibration, dustiness, microclimate, joint effect, mining industry.

Modern working conditions of miners in the mining industry are characterized by intensive noise and vibration, high dustiness, unfavorable microclimate, the levels of which often exceed hygienic standards. Unfortunately, the current regulatory framework does not take into account the fact that in real life most of the production personnel are exposed not to one but several factors of the working environment at the same time. Thus, the sanitary standards established for factors that act singularly and guarant the preservation of health precisely for these conditions may be untenable. Ensuring sustainable safety when working in electrical installations should be achieved by complying with electrical safety requirements. But permissible levels of contact currents and voltages currently recommended by the International Electrotechnical Commission do not take into account the joint effect of electric current and other physical factors, and noise in particular. The effect of sound pressure level and its frequency on the resistance of the human body is proved earlier in V.V. Katsay's thesis. The study of the effect of noise on magnitude of threshold perceptible current is resumed in laboratory conditions at the Department of Life Safety of the South Ural State University. To obtain reliable results a test complex was designed and built. The complex includes a muffled chamber, sources of simulated voltages and noise, a block of recording instruments. Primary electrical safety criteria are investigated for an increased frequency (5000 Hz) under the influence of noise load. Voltages and currents that cause feelings are measured before the impact of noise and under the influence of noise with a sound pressure level of 97 dB. The dependence built calls into question the result obtained from results of previous studies on the need to reduce settings at which tools of safety shutdown trigger.

Сидоров Александр Иванович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой безопасности жизнедеятельности (тел.: +007 351 267 94 49, e-mail: bgd@susu.ru).

Зыкина Екатерина Викторовна – старший преподаватель кафедры безопасности жизнедеятельности (тел.: +007 351 267 97 54, e-mail: zykina_ev@mail.ru). Контактное лицо для переписки

Кудряшов Алексей Валерьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности (тел.: +007 351 267 95 56, e-mail: arm174@rambler.ru).

Калинина Алиса Сергеевна – доцент кафедры безопасности жизнедеятельности (тел.: +007 351 267 95 56, e-mail: alisa.charm@mail.ru).

Aleksandr I. Sidorov (Author ID in Scopus: 57169723300) – Doctor of Engineering, Professor, Head of the Department of Life Safety (tel.: +007 351 267 94 49, e-mail: bgd-susu@mail.ru).

Ekaterina V. Zykina – Senior Lecturer at the Department of Life Safety (tel.: +007 351 267 97 54, e-mail: zykina_ev@mail.ru). The contact person for correspondence

Aleksey V. Kudryashov (Author ID in Scopus: 57194217164) – PhD in Engineering, Associate Professor at the Department of Life Safety (tel.: +007 351 267 95 56, e-mail: arm174@rambler.ru).

Alisa S. Kalinina (Author ID in Scopus: 57194219001) – Associate Professor at the Department of Life Safety (tel.: +007 351 267 95 56, e-mail: alisa.charm@mail.ru).

Введение

Профессиональная деятельность горнорабочих характеризуется некоторым комплексом факторов производственной и окружающей среды. Основной составляющей такого комплекса являются физические факторы, такие как шум, вибрация, неблагоприятный микроклимат и высокая запыленность.

При определенных условиях последовательное или одновременное, другими словами сочетанное, воздействие на организм человека каждого из них может вызвать более значительные последствия, чем при изолированном действии.

Обычно при сочетании физических и химических факторов высоких уровней воздействия наблюдается потенцирование, антагонизм или независимый эффект. В обратных случаях могут проявляться аддитивные зависимости. Ответные проявления со стороны организма на сочетанное воздействие производственных факторов определяются их физическими уровнями, функциональным состоянием ведущих систем организма работника, его индивидуальной чувствительностью к раздражителям.

Оценивая сочетанное влияние неблагоприятных факторов рабочей среды, следует иметь в виду, что при малых интенсивностях изменения в организме могут представлять собой срывы адаптационных механизмов. При продолжительных воздействиях уровней, значительно превышающих гигиенические нормативы, возрастает частота профессионально обусловленных заболеваний, может изменяться характер их протекания или появляются новые формы болезней.

Особенности условий труда работников горнодобывающей отрасли

Как уже отмечалось, современные условия труда горнорабочих в горнодобывающей

промышленности характеризуются интенсивным шумом и вибрацией, высокой запыленностью, неблагоприятным микроклиматом, уровни которых часто превышают гигиенические нормативы [1].

Результаты оценок условий труда показывают, что пылевое воздействие на организм горнорабочих превосходит влияние других факторов соответствующей производственной среды [2]. Пылеобразование происходит при разрушении и измельчении горного массива, погрузке и транспортировке породы. Средние концентрации пыли при бурении составляют 22,3–38,6 мг/м³, при погрузочно-транспортных работах – 13,2–28,6 мг/м³, что превышает гигиенические нормативы в 2,4 раза и более [3, 4]. Наиболее высокие концентрации пыли (десятки и сотни мг/м³) отмечаются при ведении работ на шахтах Крайнего Севера в зоне мерзлых и талых горных пород, они обусловлены неэффективным использованием или отсутствием средств пылеподавления. На рудниках, использующих самоходное горное оборудование с дизельным приводом, воздух рабочих зон интенсивно загрязняется не только пылью, но и компонентами выхлопных газов и различными органическими соединениями. Газообразные продукты выхлопа сорбируются на пылевых и сажевых частицах, повышая фиброгенность пыли и усложняя ее химический состав.

Трудовая деятельность горнорабочих осуществляется в неблагоприятных микроклиматических условиях [3–5]. При ведении работ в условиях предприятий Крайнего Севера в зонах многолетнемерзлых пород работники круглогодично подвергаются низким отрицательным температурам воздуха и горных пород. Микроклимат шахт зависит от климатических условий региона, температуры разрабатываемых горных пород, а также от степени удаления выработок от воздухоподающего ствола. Параметры микроклимата в

шахтах варьируются в весьма широких пределах (температура воздуха от -30 до $+31$ °С, относительная влажность – 30–100 %, скорость движения воздуха – от 0,1 до 6 м/с).

Все виды горного оборудования, используемые как при подземных, так и при открытых работах, являются источниками шума. К таковым относятся вентиляторы главного и частичного проветривания, насосные водоотливные установки, трансформаторные подстанции и выпрямители тока, компрессорное и холодильное оборудование с непрерывным циклом работы. Непостоянный шум в шахте возникает при работе очистных и проходческих машин, движении транспорта, при работе ручных механизированных инструментов, подъёмных машин. Звуковые волны возникают при взрывных работах. Согласно [4], на рабочих местах машинистов, горнорабочих очистного забоя и рабочих других профессий регистрируются высокие уровни шума: буровые станки – 95–105 дБА, проходческие комбайны 95–100 дБА, углевыемочные комбайны – 85–95 дБА, электровозы – 80–95 дБА. О высоком уровне шума (более 100 дБА на рабочих местах машинистов породопогрузочной машины и вентиляционных установок) упоминается и в [3].

Пневматические отбойные молотки, перфораторы, гидромониторы служат источниками локальной вибрации, а работа на угольных комбайнах, рудничном транспорте связана с воздействием общих вибраций низких и средних частот, уровни которых превышают нормативы (на 8 дБ и более) [6].

Горные выработки полностью лишены дневного света. Все работы и передвижение по шахте происходят при искусственном освещении.

При подземной разработке угольных месторождений к наиболее опасным производственным факторам относятся:

выделение в выработанное пространство из массива метана, формирование взрывоопасной смеси при его смешивании с шахтным воздухом, а также самовозгорание угля [7].

Условия труда на карьерах различных регионов существенно отличаются от подземных работ по добыче угля и руд, имеют свою специфику в зависимости от географо-климатических и горно-геологических условий (юг, Крайний Север и др.). Выраженность действующих неблагоприятных факторов при этих работах существенно ниже. В то же время работа всех машин сопровождается генерацией шума и вибрации, уровни которых часто превышают допустимые. Их характеристики зависят от типа машин, цикла работы, степени изношенности оборудования, крепости пород и др. [4].

Различия в технологиях добычи оказывают существенное влияние на формирование условий труда, которые продолжают оставаться вредными, характеризоваться частыми превышениями гигиенических нормативов и определяют высокий профессиональный риск нарушения здоровья горнорабочих. Профилактика неблагоприятных влияний на человека состоит в снижении воздействия опасных и вредных производственных факторов до безопасного уровня на основе их гигиенического нормирования. Большинство установленных нормативов предельно допустимой концентрации, предельно допустимого уровня (ПДК, ПДУ) представляют собой установленные экспериментальным путем максимально допустимые величины. К сожалению, действующая нормативная база не учитывает того, что в реальной жизни большая часть производственного персонала подвергается воздействию не одного, а нескольких факторов рабочей среды одновременно. Изучение характера эффектов при сочетанном действии имеет чрезвычайно важное значение для гигиены труда, поскольку

при сочетании нескольких факторов санитарные нормы, установленные для изолированно действующих факторов и гарантирующие безопасность именно для этих условий, могут оказаться несостоятельными. Так, например в [8–10] отмечается, что совместное воздействие вредных производственных факторов отрицательно сказывается на функциональном состоянии организма в целом и в ряде случаев способствует развитию заболеваний профессионального характера, даже при малой и средней интенсивности их параметров.

В научных литературных источниках более часто упоминается о сочетанном воздействии физических факторов с вредными веществами. Известно, что токсичность ядов в организме в определенном температурном диапазоне является наименьшей, усиливаясь как при повышении, так и при понижении температуры воздуха. Повышенная влажность воздуха и изменения барометрического давления увеличивают опасность отравлений. Шум и вибрация всегда усиливают токсический эффект промышленных ядов. А при ультрафиолетовом излучении возможна сенсбилизация организма к действию некоторых вредных веществ. Наиболее часто не только в производственной, но и в окружающей среде в целом встречаются различные пылегазовые композиции. К тому же ультрафиолетовое излучение оказывает влияние на взаимодействие газов в атмосферном воздухе и способствует образованию смога.

О сочетанном действии шума и нагревающего микроклимата упоминается в работах отечественных и зарубежных ученых. Согласно [11, 12], в таком случае возникают более значительные изменения функционального состояния человека и снижение его работоспособности, чем при изолированном воздействии упомянутых факторов. Авторы отмечают важный факт негативного одновременного воздействия тепла

и звука на эффективность и напряженность труда работников, возникающую необходимость установления безопасных уровней шума и параметров микроклимата с учетом их сочетанного воздействия. А в [13] отмечается, что одновременное действие нагревающего микроклимата и шума на уровне выше ПДУ сопровождается большим увеличением заболеваемости с временной утратой трудоспособности по классу болезней органов кровообращения (гипертоническая болезнь). Результаты исследований комбинированного воздействия шума, вибрации, низкой температуры или нагревающего микроклимата [11, 14–16] свидетельствуют о методической сложности оценки сочетанного воздействия факторов, поскольку биологический эффект не является алгебраической суммой независимых между собой воздействий.

Известно также, что шум, особенно прерывистый, влияет на электротехнические характеристики тела человека [17], в частности, его сопротивление электрическому току. Также влияние шума на электрофизиологию человека отмечалось в [18]. Однако природа этого явления не была выявлена. Помимо воздействия на органы слуха, шум вызывает изменения в функциональном состоянии организма, влияет на психическое состояние человека. Данные обстоятельства значительно увеличивают риск возникновения электропоражения рабочего персонала.

Исследования сочетанного действия электрического тока повышенной частоты (5000 Гц) и шума

Рекомендуемые в настоящее время Международной электротехнической комиссией предельно допустимые уровни токов и напряжений прикосновения не учитывают совместного действия электрического тока и иных физических факторов, в частности шума.

С этой целью кафедрой безопасности жизнедеятельности Южно-Уральского государственного университета продолжают в лабораторных условиях исследования влияния шума на величину порогового осязаемого тока. Для получения достоверных результатов был спроектирован и создан испытательный комплекс, включающий в себя заглушенную камеру, источники моделируемых напряжений и шума, блок регистрирующих приборов [19–21]. Особенности источника моделируемых напряжений являются возможности получения воздействующих сигналов любой формы и частоты, а также обеспечения постоянной скорости нарастания этих сигналов.

Основной вид транспорта в горизонтальных выработках шахт – локомотивный. Среди известных типов шахтных локомотивов значительные преимущества показывают бесконтактные электровозы, в комплексе электрооборудования которых реализован принцип электромагнитной передачи энергии повышенной частоты подвижным объектам [22]. Учитывая вероятность повреждения организма электрическим током при эксплуатации электровозов переменного тока повышенной частоты с индуктивной передачей энергии, были проведены исследования первичных критериев электробезопасности при сочетанном действии электрического тока повышенной частоты (5000 Гц) и шума. Исследования проводились по пути «рука – рука», измерялись напряжения и токи, вызывающие ощущения, до воздействия шума, а также при воздействии шума. Напряжение, подаваемое на электроды, плавно возрастало от 0 до 20 В. Благодаря использованию ПЭВМ, скорость нарастания этих сигналов была неизменной во всех экспериментах, кроме того, при одном и том же малом напряжении 2,6 В определялось электрическое сопротивление тела каждого

испытуемого. Согласно [23] сопротивление тела человека зависит от величины приложенного напряжения, начиная с 3 В. Для исключения влияния данного параметра на результаты измерений была выбрана указанная величина.

Оценка шумовой нагрузки производилась на основе дозного подхода. С физической точки зрения, эквивалентный уровень звука и доза шума являются аналогами и математически взаимосвязаны между собой [24–28]. С целью снижения временных затрат длительность воздействия шумовой нагрузки в течение одного эксперимента была принята равной 30 минутам. Разработанная экспериментальная установка позволяет смоделировать акустическую нагрузку с любыми параметрами по выбору исследователя и обеспечить необходимую относительную дозу шума ($D_{отн}$) на выбранном отрезке времени. Согласно методике [29], моделируемая нагрузка должна соответствовать шумовой нагрузке за смену, т.е. $D_{отн} = 100\%$. При этом предполагается, что на рабочем месте обеспечены допустимые по шумовому фактору условия труда, т.е. 80 дБА. Приняв длительность каждого эксперимента равной 30 мин, была получена зависимость эквивалентного уровня звука от относительной дозы шума в соответствии с ГОСТ 12.1.003-83:

$$L_{эkv} = 4,3536 \ln(D_{отн}) + 76,972.$$

Данная зависимость (с величиной достоверности аппроксимации, равной 1) позволила произвести обратный расчет эквивалентного уровня звука применительно к условиям эксперимента. Полученные значения уровня звука и измеренные величины порогового осязаемого тока сведены в таблицу.

Графическая зависимость величины порогового осязаемого тока от эквивалентного уровня звука при высокочастотном напряжении представлена на рисунке, а.

С математической точки зрения данная зависимость обретает полиномиальный характер 2-го порядка:

$$I_{\text{пот}} = 0,002L_{\text{экв}}^2 - 0,3052L_{\text{экв}} + 19,617.$$

В данном случае величина достоверности аппроксимации составила 0,9666.

Экспериментальные данные ($f_{\text{тока}} = 5000$ Гц)

Эквивалентный уровень звука, дБА	Величина порогового осязаемого тока, мА
77	8,02
89	8,29
92	8,62
94	8,6
95	8,77
96	8,83
97	8,86

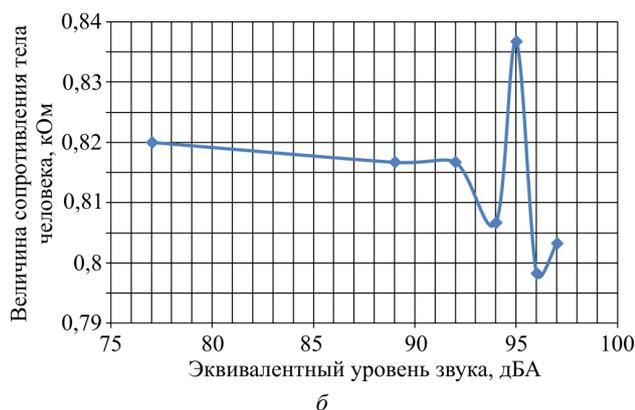
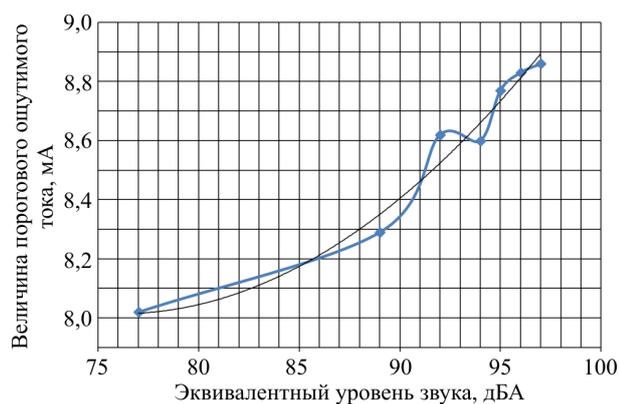


Рис. Зависимость величины порогового осязаемого тока (а) и сопротивления тела человека электрическому току (б) от эквивалентного уровня звука ($f_{\text{тока}} = 5000$ Гц)

Следует обратить внимание, что измеренные величины пороговых осязаемых токов (более 8 мА) превышают первичные критерии электробезопасности для токов частотой 5000 Гц (5,2 мА), предложенные в [30].

Одновременно проводились исследования изменения электрического сопротивления тела человека (рисунок, б).

Согласно полученным результатам исследований, колебания величины сопротивления тела человека электрическому току при воздействии шума в течение рабочей смены не имеют четко выраженной функциональной зависимости. При этом интервал колебаний составляет порядка 0,03 кОм.

Выводы

Решение вопросов безопасной эксплуатации электрооборудования невозможно без учета критериев электробезопасности. Анализ научной электротехнической литературы выявил отсутствие каких-либо сведений о влиянии на первичные критерии электробезопасности, в том числе и для тока повышенной частоты, вредного производственного фактора «шум». Информация о состоянии условий труда персонала, эксплуатирующего и обслуживающего электроустановки, по рассматриваемому фактору показывает необходимость проведения соответствующих исследований. С теоретической точки зрения они позволят расширить наши представления о факторах, влияющих на исход электропоражения в производственных условиях. Практическое значение может быть реализовано в использовании полученных результатов при разработке методики расчетов по формированию безопасных свойств комплекса электрооборудования рельсового транспорта с индуктивной передачей энергии.

Библиографический список

1. Скрипаль Б.А. Профессиональная заболеваемость, ее особенности на предприятиях горно-химического комплекса Кольского Заполярья // Экология человека. – 2008. – № 10. – С. 26–30.
2. Окс Е.И., Куракин В.А., Абашкин А.О. Оценка условий труда и расчет допустимого (безопасного) стажа основных профессий угольных шахт Кузбасса // Медицина труда и экология человека. – 2015. – № 3. – С. 147–150.
3. Захаренков В.В., Кислицына В.В. Гигиеническая оценка условий труда и профессионального риска для здоровья работников угольной шахты // Успехи современного естествознания. – 2013. – № 11. – С. 14–18.
4. Чеботарёв А.Г. Современные условия труда на горнодобывающих предприятиях и пути их нормализации [Электронный ресурс] // Горная промышленность. – 2012. – № 2. – URL: <http://mining-media.ru/ru/article/prombez/2499-sov-remennye-usloviya-truda-na-gornodobyvayushchikh-predpriyatiyakh-i-puti-ikh-normalizatsii> (дата обращения: 15.08.2017).
5. Особенности формирования профессиональной заболеваемости у рабочих горно-рудных предприятий / З.С. Терегулова, Э.И. Таирова, Л.К. Каримова, Д.Р. Исхакова, Е.Р. Абдрахманова // Бюллетень ВСНЦ СО РАМН. – 2006. – № 3. – С. 109–110.
6. Влияние взрывоопасных газов, шума и вибрации угольных шахт на организм. Нистагм углекопов [Электронный ресурс] // Гигиена труда: сайт. – URL: http://meduniver.com/Medical/gigiena_truda/213.html (дата обращения: 15.08.2017).
7. Колесниченко Е.А., Колесниченко И.Е. Причины и возможные методы предотвращения взрывов метана и пожаров в шахтах России [Электронный ресурс] // Горная промышленность. – 2004. – № 1. – URL: <http://mining-media.ru/ru/article/prombez/1419-prichiny-i-vozmozhnye-metody-predotvrashcheniya-vzryvov-metana-i-pozharov-v-shakhtakh-rossii> (дата обращения: 17.08.2017).
8. Afanasieva R.F. Preventive measures of workers in cooling condition: hygienic and clinical bases of assessment and development // Problems with cold work. Int. Symposium. – Sweden, 1997. – P. 19–25.
9. McCarty D. Arthritis allied conditions: A Textbook of rheumatology. – 1988. – P. 224–241.
10. Петриченко С.И. Влияние условий труда и быта лиц геологических профессий на заболеваемость артериальной гипертонией и ишемической болезнью сердца: автореф. дис. ... канд. мед. наук. – М., 1997. – 24 с.
11. Rentsch M., Presher W., Weinrich W. Combined effect of selected parameters of climate and noise on labour efficiency and stain // Combined effects of environmental factors / Ed. by O. Manninen. – Tampere, 1984. – P. 99–115.
12. Combined effects of vibration and noise palmar sweating in healthy subjects / H. Sakakibara, T. Kondo, Y. Koike [et al.] // European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology. – 1989. – Vol. 59, iss. 3. – P. 195–198. DOI: 10.1007/BF02386187.
13. Бабаян М.А., Денисов Э.И. Сочетанное действие шума, тепла и оценка их биологической эквивалентности // Гигиена труда и профзаболевания. – 1991. – № 9. – С. 24–26.
14. Burstrom L. The influence of noise and temperature on the absorption of vibration energy in the hand // Archives of Complex Environmental Studies. – 1995. – 7(34). – P. 91–95.
15. Manninen O. Increased loss of hearing due to combined noise and low frequency vibration // 28th Int. Congress of Physiological Sciences, 13–19 July. – Budapest, 1980.
16. Ластков Д.О. Физиолого-гигиеническая оценка комбинированного воздействия на

горнорабочих локальной вибрации, шума и нагревающего микроклимата // Медицина труда и промышленная экология. – 1998. – № 4. – С. 4–8.

17. Кацай В.В. Влияние шума электрооборудования на электротехнические характеристики тела человека: дис. ... канд. техн. наук. – Челябинск, 2006. – 108 с.

18. Герлётка С. Влияние эргономических факторов в угольных шахтах на электрофизиологию человека // Безопасность труда в промышленности. – 2003. – № 1. – С. 59–63.

19. Зыкина Е.В., Елисеева Т.Л., Тряпицын А.Б. Установка для исследования влияния шума на электрическое сопротивление тела человека // Электробезопасность. – 2010. – № 2–3. – С. 67–70.

20. Установка для исследования влияния шума на первичные критерии электробезопасности: пат. 119503 Российская Федерация № 2012110085/12 / Сидоров А.И., Тряпицын А.Б., Зыкина Е.В., Елисеева Т.Л.; заявл. 15.03.2012; опубл. 20.08.2012.

21. Первичные критерии электробезопасности при сочетанном действии электрического тока и шума / А.И. Сидоров, А.Б. Тряпицын, Е.В. Зыкина, Т.Л. Елисеева // Известия вузов. Горный журнал. – 2013. – № 1. – С. 22–25.

22. Транспорт с индуктивной передачей энергии для угольных шахт / Г.Г. Пивняк, И.П. Ремизов, С.А. Саратикянц [и др.]. – М.: Недра, 1990. – С. 245.

23. Манойлов В.Е. Основы электробезопасности. – 5-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отделение, 1991. – С. 480.

24. Трофимов Н.А. Оценка условий труда в производственных помещениях по шумовому фактору // Научные исследования и инновации. – 2009. – Т. 3, № 4. – С. 95–97.

25. Балакина Н.А., Шустичкий И.В. Оптимизация и автоматизация процесса измерения и оценки непостоянного промышленного шума. Оптимизация производственных процессов [Электронный ресурс]. – URL: <http://lib.sevsu.ru:8080/xmlui/handle/123456789/1590> (дата обращения: 15.08.2017).

26. Седяров О.И. Дозовая оценка шумового воздействия на основе моделирования работы технологического оборудования и характера перемещения персонала [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.gpss.ru/immod05/sd/sedyarov/print.html> (дата обращения: 15.08.2017).

27. Измеров Н.Ф., Суворов Г.А. Физические факторы производственной и природной среды. Гигиеническая оценка и контроль. – М.: Медицина, 2003. – С. 556.

28. Суворов Г.А., Шкаринов Л.Н., Денисов Э.И. Гигиеническое нормирование производственных шумов и вибраций. – М.: Медицина, 1984. – С. 240.

29. Зыкина Е.В., Сидоров А.И., Тряпицын А.Б. Методика исследования влияния постоянного шума на величину порогового осязаемого тока // Достижения науки – агропромышленному производству: материалы LI Международ. науч.-техн. конф. / ЧГАА. – Челябинск, 2012. – Ч. VI. – С. 56–58.

30. Электробезопасность на открытых горных работах / В.И. Щуцкий, А.М. Маврицын, А.И. Сидоров [и др.]. – М.: Недра, 1983. – 192 с.

References

1. Skripal' B.A. Professional'naiia zaboлеваemost', ee osobennosti na predpriatiiakh gorno-khimicheskogo kompleksa Kol'skogo Zapoliar'ia [Occupational illness,

its features at the enterprises of the mining and chemical complex of the Kolskoye Peninsula]. *Ekologiya cheloveka*, 2008, no.10, pp.26-30.

2. Oks E.I., Kurakin V.A., Abashkin A.O. Otsenka uslovii truda i raschet dopustimogo (bezopasnogo) stazha osnovnykh professii ugol'nykh shakht Kuzbassa [Assessment of working conditions and calculation of permissible (safe) work experience of major worker groups in Kuzbass mining]. *Meditsina truda i ekologiya cheloveka*, 2015, no.3, pp.147-150.
3. Zakharenkov V.V., Kislitsyna V.V. Gigienicheskaia otsenka uslovii truda i professional'nogo riska dlia zdorov'ia rabotnikov ugol'noi shakhty [Hygienic evaluation of the working conditions and occupational risk for health of the workers of a coal mine]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniia*, 2013, no.11, pp.14-18.
4. Chebotarev A.G. Sovremennye usloviia truda na gornodobyvaiushchikh predpriiatiakh i puti ikh normalizatsii [Current working environment at mines and ways of its improvement]. *Gornaia promyshlennost'*, 2012, no 2, available at: <http://mining-media.ru/article/prombez/2499-sovremennye-usloviya-truda-na-gornodobyvaiushchikh-predpriyatiakh-i-puti-ikh-normalizatsii> (accessed 15 August 2017).
5. Teregulova Z.S., Tairova E.I., Karimova L.K., Iskhakova D.R., Abdrakhmanova E.R. Osobennosti formirovaniia professional'noi zaboлеваemosti u rabochikh gornorudnykh predpriatii [Occupational morbidity development in mining industry workers]. *Biulleten' VSNTs SO RAMN*, 2006, no.3, pp.109-110.
6. Vliianie vzryvoopasnykh gazov, shuma i vibratsii ugol'nykh shakht na organizm. Nistagm uglekopov [Influence of explosive gases, noise and vibration of coal mines on the body. Nystagmus of coal miners]. *Gigiena truda. Sait*, available at: http://meduniver.com/Medical/gigiena_truda/213.html (accessed 15 August 2017).
7. Kolesnichenko E.A., Kolesnichenko I.E. Prichiny i vozmozhnye metody predotvrashcheniia vzryvov metana i pozharov v shakhtakh Rossii [Causes and possible methods of preventing methane and fire explosions in the mines of Russia]. *Gornaia promyshlennost'*, 2004, no.1, available at: <http://mining-media.ru/ru/article/prombez/1419-prichiny-i-vozmozhnye-metody-predotvrashcheniya-vzryvov-metana-i-pozharov-v-shakhtakh-rossii> (accessed 17 August 2017).
8. Afanasieva R.F. Preventive measures of workers in cooling condition: hygienic and clinical bases of assessment and development. *Problems with cold work. Int. Symposium*. Stockholm, 1997, pp.19-25.
9. McCarty D. Arthritis allied conditions. A Textbook of rheumatology, 1988, pp.224-241.
10. Petrichenko S.I. Vliianie uslovii truda i byta lits geologicheskikh professii na zaboлеваemost' arterial'noi gipertoniei i ishemiicheskoi bolezniiu serdtsa [Influence of working and living conditions of persons of geological professions on the incidence of arterial hypertension and coronary heart disease]. Abstract of Ph. D. thesis. Moscow, 1997, 24 p.
11. Rentzsch M., Presher W., Weinrich W. Combined effect of selected parameters of climate and noise on labour efficiency and strain. Combined effects of environmental factors. Ed. by O. Manninen. Tampere, 1984, pp. 99-115.
12. Sakakibara H., Kondo T., Koike Y. et al. Combined effects of vibration and noise palmar sweating in healthy subjects. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 1989, vol.59, iss.3, pp.195–198. DOI: 10.1007/BF02386187.
13. Babaian M.A., Denisov E.I. Sochetannoe deistvie shuma, tepla i otsenka ikh biologicheskoi ekvivalentnosti [Joint effect of noise, heat and estimation of their biological equivalence]. *Gigiena truda i profzabolevaniia*, 1991, no.9, pp.24-26.
14. Burstrom L. The influence of noise and temperature on the absorption of vibration energy in the hand. *Archives of Complex Environmental Studies*, 1995, 7(34), pp.91-95.

15. Manninen O. Increased loss of hearing due to combined noise and low frequency vibration. *28th Int. Congress of Physiological Sciences*. Budapest, 1980.
16. Lastkov D.O. Fiziologo-gigienicheskaia otsenka kombinirovannogo vozdeistviia na gornorabochikh lokal'noi vibratsii, shuma i nagrevaiushchego mikroklimata [Physiological and hygienic assessment of combined impact on miners of local vibration, noise and heating microclimate]. *Medsina truda i promyshlennaia ekologiya*, 1998, no.4, pp. 4-8.
17. Katsai V.V. Vliianie shuma elektrooborudovaniia na elektrotekhnicheskie kharakteristiki tela cheloveka [Effect of electrical noise on electrical and technical characteristics of the human body]. Ph. D. thesis. Cheliabinsk, 2006, 108 p.
18. Gerletka S. Vliianie ergonomicheskikh faktorov v ugol'nykh shakhtakh na elektrofiziologiiu cheloveka [Influence of ergonomic factors in coal mines on human electrophysiology]. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti*, 2003, no. 1, pp.59-63.
19. Zykina E.V., Eliseeva T.L., Triapitsyn A.B. Ustanovka dlia issledovaniia vliianiia shuma na elektricheskoe soprotivlenie tela cheloveka [Installation for study of the effect of noise on the electrical resistance of the human body]. *Elektrobezopasnost'*, 2010, no.2-3, pp.67-70.
20. Sidorov A.I., Triapitsyn A.B., Zykina E.V., Eliseeva T.L. Ustanovka dlia issledovaniia vliianiia shuma na pervichnye kriterii elektrobezopasnosti [Installation for study the effect of noise on primary electrical safety criteria]. Patent 119503 Rossiiskaia Federatsiia no. 2012110085/12
21. Sidorov A.I., Triapitsyn A.B., Zykina E.V., Eliseeva T.L. Pervichnye kriterii elektrobezopasnosti pri sochetannom deistvii elektricheskogo toka i shuma [Primary criteria of electrical safety at joint effect of electric current and noise]. *News of the Higher Institutions. Mining Journal*, 2013, no.1, pp.22-25.
22. Pivniak G.G., Remizov I.P., Saratikants S.A. et al. Transport s induktivnoi peredachei energii dlia ugol'nykh shakht [Transport with inductive energy transfer for coal mines]. Moscow, Nedra, 1990, 245 p.
23. Manoilov V.E. Osnovy elektrobezopasnosti [Basics of electrical safety]. Leningrad, Energoatomizdat, Leningradskoe otdelenie, 1991, 480 p.
24. Trofimov N.A. Otsenka uslovii truda v proizvodstvennykh pomeshcheniakh po shumovomu faktoruu [Estimation of working conditions in industrial premises by noise factor]. *Nauchnye issledovaniia i innovatsii*, 2009, vol.3, no.4, pp.95-97.
25. Balakina N.A., Shustitskii I.V. Optimizatsiia i avtomatizatsiia protsessa izmereniia i otsenki nepostoianogo promyshlennogo shuma. Optimizatsiia proizvodstvennykh protsessov [Optimization and automation of the process of measuring and evaluating non-permanent industrial noise. Optimization of production processes], available at: <http://lib.sevsu.ru:8080/xmlui/handle/123456789/1590> (accessed 15 August 2017).
26. Sedliarov O.I. Dozovaia otsenka shumovogo vozdeistviia na osnove modelirovaniia raboty tekhnologicheskogo oborudovaniia i kharaktera peremeshcheniia personala [Dose evaluation of noise impact on the basis of modeling the operation of process equipment and the nature of the movement of personnel], available at: <http://www.gpss.ru/immod05/sd/sedlyarov/print.html> (accessed 15 August 2017).
27. Izmerov N.F., Suvorov G.A. Fizicheskie faktory proizvodstvennoi i prirodnoi sredy. Gigienicheskaia otsenka i kontrol' [Physical factors of the production and natural environment. Hygienic assessment and control]. Moscow, Meditsina, 2003, 556 p.

28. Suvorov G.A., Shkarinov L.N., Denisov E.I. Gigienicheskoe normirovanie proizvodstvennykh шумов i vibratsii [Hygienic regulation of production noises and vibrations]. Moscow, Meditsina, 1984, 240 p.

29. Zykina E.V., Sidorov A.I., Triapitsyn A.B. Metodika issledovaniia vlianiia postoiannogo shuma na velichinu porogovogo oshchutimogo toka [Method for studying the influence of

constant noise on the threshold sensible current]. *Dostizheniia nauki – agropromyshlennomu proizvodstvu. Materialy LI mezhdunarodnoi nauchno-tekhnikheskoi konferentsii*. Cheliabinsk, 2012, part VI, pp.56-58.

30. Shchutskii V.I., Mavritsyn A.M., Sidorov A.I. et al. Elektrobezopasnost' na otkrytykh gornykh rabotakh [Electrical safety in open-pit mining]. Moscow, Nedra, 1983, 192 p.

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Сочетанное действие на человека физических факторов различной природы / А.И. Сидоров, Е.В. Зыкина, А.В. Кудряшов, А.С. Калинина // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2018. – Т.17, №1. – С.60–70. DOI: 10.15593/2224-9923/2018.1.6

Please cite this article in English as:

Sidorov A.I., Zykina E.V., Kudryashov A.V., Kalinina A.S. Joint effect of physical factors of different nature on the human. *Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*, 2018, vol.17, no.1, pp.60-70. DOI: 10.15593/2224-9923/2018.1.6