



БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Издается с января 2001 г.

Редакционный совет:

АГОШКОВ А. И., д.т.н., проф.
 ГРАЧЕВ В. А., чл.-корр. РАН, д.т.н., проф.
 ГРИГОРЬЕВ С. Н., д.т.н., проф.
 ДУРНЕВ Р. А., д.т.н., доц.
 ЗАЛИХАНОВ М. Ч., акад. РАН, д.г.н., к.б.н., проф. (председатель)
 КОТЕЛЬНИКОВ В. С., д.т.н., проф.
 ПРОНИН И. С., д.ф.-м.н., проф.
 РОДИН В. Е., д.т.н., проф.
 СОКОЛОВ Э. М., д.т.н., проф.
 ТЕТЕРИН И. М., д.т.н.
 УШАКОВ И. Б., акад. РАН, д.м.н., проф.
 ФЕДОРОВ М. П., акад. РАН, д.т.н., проф.
 ЧЕРЕШНЕВ В. А., акад. РАН, д.м.н., проф.
 АНТОНОВ Б. И. (директор издательства)

Главный редактор

РУСАК О. Н., д.т.н., проф.

Зам. главного редактора

ПОЧТАРЕВА А. В.

Редакционная коллегия:

АЛБОРОВ И. Д., д.т.н., проф.
 БЕЛИНСКИЙ С. О., к.т.н., доц.
 ВАСИЛЬЕВ А. В., д.т.н., проф.
 ЗАБОРОВСКИЙ Т., д.т.н., проф. (Польша)
 ИВАНОВ Н. И., д.т.н., проф.
 КАЧУРИН Н. М., д.т.н., проф.
 КИРСАНОВ В. В., д.т.н., проф.
 КОСОРУКОВ О. А., д.т.н., проф.
 КРАСНОГОРСКАЯ Н. Н., д.т.н., проф.
 КСЕНОФОНТОВ Б. С., д.т.н., проф.
 КУКУШКИН Ю. А., д.т.н., проф.
 МАЛАЯН К. Р., к.т.н., проф.
 МАРТЫНЮК В. Ф., д.т.н., проф.
 МАТЮШИН А. В., д.т.н.
 МИНЬКО В. М., д.т.н., проф.
 МИРМОВИЧ Э. Г., к.ф.-м.н., доц.
 ПАЛЯ Я. А., д.с.-х.н., проф. (Польша)
 ПЕТРОВ С. В., к.ю.н., с.н.с.
 СИДОРОВ А. И., д.т.н., проф.
 ТОПОЛЬСКИЙ Н. Г., д.т.н., проф.
 ФИЛИН А. Э., д.т.н., доц.
 ФРИДЛАНД С. В., д.х.н., проф.
 ШВАРЦБУРГ Л. Э., д.т.н., проф.

12(204)
2017

СОДЕРЖАНИЕ

ОХРАНА ТРУДА

Анисимов В. В., Вивчарь-Панюшкина А. В., Воронова В. В., Панюшкин В. Т. Определение риска производственного травматизма и выявление причин травмирования работников (на примере машиностроительного предприятия) 3

ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Брежнева Е. О., Бондарь О. Г., Филиппов А. В. Программный комплекс для разработки газоанализаторов на основе искусственных нейронных сетей 9
 Галкина Е. Е., Малько Л. И., Сорокин А. Е. Определение импеданса при поглощении звука объемными поглотителями полнорезонансного типа 16
 Сенченко В. А., Папаев С. Т. Оценка производственных рисков электромагнитных излучений на основе производственного контроля 22

РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Воронов Е. Т., Авдеев П. Б., Бондарь И. А. Минералосберегающая геотехнология добычи ценного самоцветного минерального сырья 28

ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Богачева Т. М., Сурмин А. А. Сокращение вредного воздействия ТЭС на окружающую среду 34
 Кирсанов В. В. Предложения по повышению эффективности водного мониторинга в РФ 40

ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ

Ксенофонтов Б. С., Козодаев А. С., Таранов Р. А., Виноградов М. С., Сенник Е. В. По следам публикаций по проблемам подтопления и затопления территорий 43

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ

Двуреченский В. Г., Середина В. П. Почвенно-экологическое состояние и пути восстановления техногенных экосистем лесостепного пояса Кузнецкой котловины 47

ОБРАЗОВАНИЕ

Смирнов С. Г., Долгих Е. А. О новом типе лабораторной работы по дисциплине "Безопасность жизнедеятельности" 53

ИНФОРМАЦИЯ

Указатель статей, опубликованных в журнале "Безопасность жизнедеятельности" в 2017 году 59

Журнал входит в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, включен в систему Российского индекса научного цитирования и Международную базу данных CAS (Chemical Abstract).



LIFE SAFETY

BEZOPASNOST' ŽIZNEDATEL'NOSTI

The journal published since
January 2001

Editorial board

AGOSHKOV A. I., Dr. Sci. (Tech.)
GRACHEV V. A., Cor.-Mem. RAS,
Dr. Sci. (Tech.)
GRIGORYEV S. N., Dr. Sci. (Tech.)
DURNEV R.A., Dr. Sci. (Tech.)
ZALIKHANOV M. Ch., Acad. RAS,
Dr. Sci. (Geog.), Cand. Sci. (Biol.)
KOTELNIKOV V. S., Dr. Sci. (Tech.)
PRONIN I. S., Dr. Sci. (Phys.-Math.)
RODIN V. E., Dr. Sci. (Tech.)
SOKOLOV E. M., Dr. Sci. (Tech.)
TETERIN I. M., Dr. Sci. (Tech.)
USHAKOV I. B., Acad. RAS,
Dr. Sci. (Med.)
FEDOROV M. P., Acad. RAS,
Dr. Sci. (Tech.)
CHERESHNEV V. A., Acad. RAS,
Dr. Sci. (Med.)
ANTONOV B. I.

Editor-in-chief

RUSAK O. N., Dr. Sci. (Tech.)

Deputy editor-in-chief

POCHTAREVA A. V.

Editorial staff

ALBOROV I. D., Dr. Sci. (Tech.)
BELINSKIY S. O.,
Cand. Sci. (Tech.)
VASILYEV A. V., Dr. Sci. (Tech.)
ZABOROVSKIY T. (Poland),
Dr. Sci. (Tech.)
IVANOV N. I., Dr. Sci. (Tech.)
KACHURIN N. M., Dr. Sci. (Tech.)
KIRSANOV V. V., Dr. Sci. (Tech.)
KOSORUKOV O. A., Dr. Sci. (Tech.)
KRASNOGORSKAYA N. N.,
Dr. Sci. (Tech.)
KSENOFONTOV B. S.,
Dr. Sci. (Tech.)
KUKUSHKIN Yu. A.,
Dr. Sci. (Tech.)
MALAYAN K. R., Cand. Sci. (Tech.)
MARTYNYUK V. Ph.,
Dr. Sci. (Tech.)
MATYUSHIN A. V., Dr. Sci. (Tech.)
MINKO V. M., Dr. Sci. (Tech.)
MIRMOVICH E. G.,
Cand. Sci. (Phis.-Math.)
PALJA Ja. A. (Poland),
Dr. Sci. (Agri.-Cult.)
PETROV S. V., Cand. Sci. (Yurid.)
SIDOROV A. I., Dr. Sci. (Tech.)
TOPOLSKIY N. G., Dr. Sci. (Tech.)
FILIN A. E., Dr. Sci. (Tech.)
FRIDLAND S. V., Dr. Sci. (Chem.)
SHVARTSBURG L. E.,
Dr. Sci. (Tech.)

12(204)
2017

CONTENTS

LABOUR PROTECTION

Anisimov V. V., Vivchar-Panyushkina A. V., Voronova V. V., Panyushkin V. T. Defining the Risk of Occupational Injuries and Identify the Causes of Injury to Workers (in the Example of Engineering Enterprises) 3

INDUSTRIAL SAFETY

Brezhneva E. O., Bondar O. G., Filippov A. V. Software Complex for Development of Gas Detectors Based on Artificial Neural Networks 9

Galkina E. E., Malko L. I., Sorokin A. E. Identification of Impedance at Sound Absorption by Volume Polyresonance Type Absorbers 16

Senchenko V. A., Papaev S. T. Assessment of Industrial Hazards of Electromagnetic Radiations on the Basis of Production Supervision 22

RESOURCE-SAVING

Voronov E. T., Avdeev P. B., Bondar I. A. Mineral-Saving Geotechnology of Jewelry Semiprecious Mineral Raw Extraction 28

ENVIRONMENT PROTECTION

Bogacheva T. M., Surmin A. A. Reducing the Harmful Impact of Power Plant on the Environment 34

Kirsanov V. V. Suggestions for Improving the Efficiency of Water Monitoring in the Russian Federation 40

SITUATION OF EMERGENCY

Ksenofontov B. S., Kozodayev A. S., Taranov R. A., Vinogradov M. S., Senik E. V. In the Wake of Publications on Problems of Flooding and Flooding of Territories 43

REGIONAL PROBLEMS OF SAFETY

Dvurechensky V. G., Seredina V. P. Soil-Ecological State and Ways of Restoration of Technogenic Ecosystems of the Forest-Steppe Belt of the Kuznetsk Basin 47

EDUCATION

Smirnov S. G., Dolgikh E. A. On a New Type of Laboratory Work on the Discipline of Life Safety 53

INFORMATION

Index of Articles Published in the Journal "Life Safety" in 2017 59

Information about the journal is available online at: <http://novtex.ru/bjd>, e-mail: bjd@novtex.ru

УДК 534.835.45

В. В. Анисимов, канд. техн. наук, доц., e-mail: viktor_anisimov@mail.ru,
А. В. Вивчарь-Панюшкина, канд. геог. наук, инж.,
В. В. Воронова, канд. техн. наук, доц., **В. Т. Панюшкин**, д-р хим. наук, проф.,
Кубанский государственный университет, Краснодар

Определение риска производственного травматизма и выявление причин травмирования работников (на примере машиностроительного предприятия)

Рассмотрены выявленные и сгруппированные факторы, приводящие к риску травматизма, с использованием диаграммы Исикавы. Выявлены значимые факторы, оказывающие существенное влияние на риск производственного травматизма, при помощи диаграммы Парето. Установлена связь между уровнем нагрузки и уровнем риска травматизма на предприятии. Разработаны управленческие решения, направленные на повышение устойчивости предприятия.

Ключевые слова: производственный травматизм, риск, диаграмма Исикавы, диаграмма Парето

По данным Министерства труда и социальной защиты РФ, в 2015 г. на производстве погибло 1707 работников [1]. Расчетный показатель смертельного травматизма в 2015 г. в Российской Федерации составил 2,4 погибших на производстве на 100 тыс. занятых в экономике, что в целом соответствует среднему уровню смертельного травматизма в странах Европейского Союза, Японии и США и существенно ниже уровня смертельного травматизма в странах БРИКС [1].

Количество погибших работников в результате несчастных случаев на производстве традиционно остается на высоком уровне в таких видах экономической деятельности, как строительство, обрабатывающие производства, добыча полезных ископаемых.

Основными видами несчастных случаев являются:

- падение с высоты (каждый третий несчастный случай);
- воздействие движущихся, разлетающихся, вращающихся предметов, деталей, машин и механизмов (каждый пятый несчастный случай);
- ДТП (каждый седьмой случай);
- падение, обрушение, обвалы предметов, материалов (каждый восьмой случай).

Традиционно более 75 % несчастных случаев вызваны причинами организационного характера и так называемым человеческим фактором (неудовлетворительной организацией производства работ, нарушениями требований охраны труда,

недостатками в обучении, нарушениями трудовой дисциплины).

В целом в России сохраняется положительная тенденция снижения уровня смертельного травматизма, но тем не менее задача снижения травматизма сохраняет свою актуальность, особенно для указанных областей промышленности. Экономически целесообразно снизить уровень риска травматизма, тем самым уменьшив количество несчастных случаев и снизив ущерб, возникающий в результате реализации этих рисков.

По мнению авторов, для эффективной борьбы с производственным травматизмом необходимо более глубоко изучить причины возникновения несчастных случаев, чтобы разработать эффективные меры предотвращения ситуаций, приводящих к несчастному случаю. Установлено, что возникновение конкретной производственной травмы (несчастного случая на производстве) зависит от характера рабочего места, характера труда, характера работника и сочетания целого ряда других конкретных условий труда. Анализ этих многофакторных условий — весьма сложная инженерная задача.

Цель настоящего исследования — установление связи между факторами, лежащими в основе формирования причин травматизма и последствий реализации риска травматизма, для повышения эффективности управления и прогнозирования уровня риска травматизма на стадии его зарождения. Управление и прогнозирование уровня риска травматизма основано на методе балльной

оценки факторов (причин), приводящих к риску травматизма.

В процессе исследования были решены следующие задачи:

- выявлены и сгруппированы факторы, приводящие к риску травматизма, с использованием диаграммы Исикавы [2];

- выявлены значимые факторы, оказывающие существенное влияние на риск производственного травматизма, при помощи диаграммы Парето [3];

- установлена связь между уровнем нагрузки на человека и уровнем риска травматизма на предприятии;

- разработаны управленческие решения, направленные на повышение устойчивости работы предприятия.

В качестве объекта исследования было выбрано машиностроительное предприятие со средней численностью персонала 18 997 человек. Период исследования составил 6 лет. Выборка персонала за 6 лет составила 113 982 работающих. Анализу подвергались только профессии, по работникам которых были зафиксированы случаи травматизма.

Для того чтобы уйти от неопределенности, связанной с выпавшими из анализа работниками, ранее не подвергавшимися травматизму, предложен метод управления и прогнозирования риска на стадии его зарождения.

В основе данного метода лежит предположение, что работник в процессе трудовой деятельности получает определенный уровень нагрузки

(состояние организма, вызванное деятельностью человека в условиях воздействия агрессивных факторов окружающей среды, которое сопровождается усталостью и, как следствие, повышением количества ошибок персонала, приводящих к росту риска травматизма). Исследования показали, что причиной большинства ошибок человека в процессе производственной деятельности является повышенный уровень нагрузки.

В данном исследовании использованы экономические методы анализа [2, 3], их применение при изучении причин риска травматизма является инновацией. Кроме того, используется подход к изучению причин травматизма на промышленных предприятиях, предложенный в работе [4].

С целью выявления групп причин несчастных случаев, являющихся наиболее частой причиной травматизма, предложена классификация причин с использованием диаграммы Исикавы [2]. Общепринятой классификации причин производственного травматизма в настоящее время нет. Большинство специалистов выделяют три основных типа причин: технические, организационные, личностные [5]. Исходя из этого, выделены семь групп причин травматизма на машиностроительном предприятии (рис. 1).

Группа "Человек" включает личностные (психические, психофизиологические) причины, к которым условно можно отнести физические и нервно-психические перегрузки работающего, утомление, стрессы, заболевания, образ жизни и др.

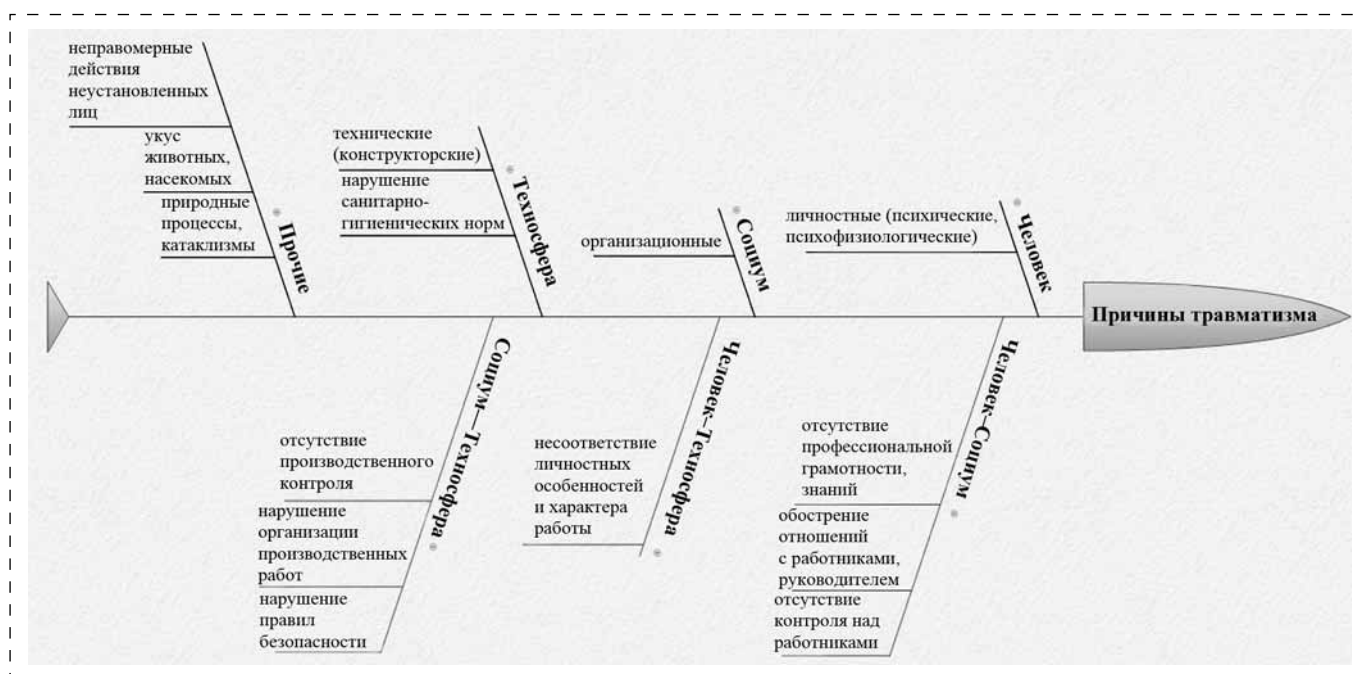


Рис. 1. Классификация причин травматизма на машиностроительном предприятии

Группа "Социум" включает организационные причины, которые целиком зависят от уровня организации труда на рабочем месте и на предприятии в целом (недостатки в содержании территории, нарушение правил эксплуатации оборудования, нарушение технологического регламента; неисправность или неприменение средств индивидуальной защиты (СИЗ) и т. п.).

Группа "Техносфера" включает технические (конструкторские или инженерные) причины, нарушение санитарно-гигиенических норм.

Группа "Человек — Социум" (связь личностных и организационных причин) включает следующие причины: отсутствие профессиональной грамотности, общих знаний устройства мира, обострение отношений с коллегами, отсутствие контроля над работниками и др.

Группа "Человек — Техносфера" (связь личностных и технических причин) включает несоответствие анатомо-физиологических и психических особенностей организма человека характеру выполняемой работы и др.

Группа "Социум — Техносфера" (связь организационных и технических причин) включает отсутствие производственного контроля, неудовлетворительную организацию производственных работ, невыполнение правил безопасности и др.

Группа "Прочие" включает неправомерные действия неустановленных лиц, укусы животных, насекомых, природные процессы, катаклизмы.

По данным предприятия, число травмированных работников за исследуемый период составило 104 человека. Распределим травмированных работников по группам причин травматизма и рассчитаем уровень вклада каждой группы причин травматизма, % (табл. 1), по следующей формуле:

$$P = \frac{K_t \cdot 100}{n}, \quad (1)$$

где K_t — число травмированных работников по t -й причине; n — число неблагоприятных исходов за период исследования.

Для оценки причин травматизма предложена шестибальная шкала, в которой выделены три зоны.

1. Зона отсутствия или практического отсутствия влияния причин травматизма — 1–2 балла.
2. Зона опасного влияния причин травматизма — 3–5 баллов.
3. Зона полного влияния причин травматизма — 6 баллов.

Балльная оценка для каждой из семи групп определяется по формуле

$$b = 2 + \frac{4 \cdot P}{100}. \quad (2)$$

Результат балльной оценки представлен в табл. 2. На следующем этапе было проведено ранжирование факторов риска при помощи диаграммы

Таблица 1

Распределение травмированных работников по причинам травматизма на машиностроительном предприятии

Группа причин	Причины, воздействующие на работников	Число травмированных работников		Уровень вклада, %	
		по причинам	всего	по причинам	всего
Человек	Неосторожность и нарушение дисциплины	21	21	20,19	20,19
Техносфера	Конструктивные недостатки механизмов	12	12	11,53	11,53
Социум	Нарушение техники безопасности и инструкции охраны труда (ИОТ) работником	40	55	38,46	52,88
	Нарушение технологического процесса	13		12,5	
	Недостатки в оснащении СИЗ	2		1,92	
Социум — Техносфера	Неудовлетворительная организация производства работ по охране труда	36	47	34,61	45,18
	Нарушение производственного контроля	11		10,57	
Человек — Социум	Недостатки в обучении безопасным приемам труда со стороны ответственных лиц	25	25	24,03	24,03
Человек — Техносфера	Конструктивные недостатки рабочего места	13	13	12,5	12,5
Прочие	Климат (погодные условия)	9	11	8,65	10,57
	Неправомерные действия неустановленных лиц	1		0,96	
	Укусы животных, насекомых	1		0,96	

Таблица 2

Балльная оценка групп причин травматизма

Группа причин	Баллы
Социум	4
Социум — Техносфера	4
Человек	3
Человек — Социум	3
Человек — Техносфера	2
Техносфера	2
Прочие	2

Парето (рис. 2). Как видно, ранжирование причин дало те же результаты, что и предложенная балльная оценка, что позволяет сделать вывод об адекватности предложенного метода оценки.

Как показывает результат анализа причин травматизма, основными из них являются четыре группы: "Социум", "Социум — Техносфера", "Человек — Социум", "Человек". Таким образом, можно считать, что перечисленные причины вносят большой вклад в уровень нагрузки человека.

Анализ показывает, что в последние годы на первый план выходят проблемы психологического и физиологического напряжения работника. Это вызвано относительным снижением физических нагрузок одновременно с ростом психологических и физиологических нагрузок на человека. Итог известен: хроническая усталость, умственное и

душевное перенапряжение. При этом физиологическое и психологическое утомление сопровождается ухудшением качества работы, болезнями, потерей концентрации внимания и координации движений, утратой осторожности и осмотрительности. Все это существенно повышает риск травмирования в одних и тех же физических условиях рабочего места [5].

По данным анкетирования работников предприятия было определено, что уровень нагрузки способен повлиять на уровень ошибок, приводящих к травматизму. Анализ данных анкетированных работников, приведенный на диаграмме Парето (рис. 3), подтвердил ранговое место для каждой выявленной группы причин.

Полученные данные о влияющих на травматизм психосоциальных характеристиках работников могут стать ориентиром для реальных действий по снижению и предупреждению производственного травматизма и его прогнозированию.

Установим связь между уровнем нагрузки и уровнем риска травматизма. Для этого предположим, что риск — это функция от семи групп причин

$$R = f(C, CT, ЧС, Ч, ЧТ, Т, Пр), \quad (3)$$

где C — группа "Социум"; CT — группа "Социум — Техносфера"; $ЧС$ — группа "Человек —

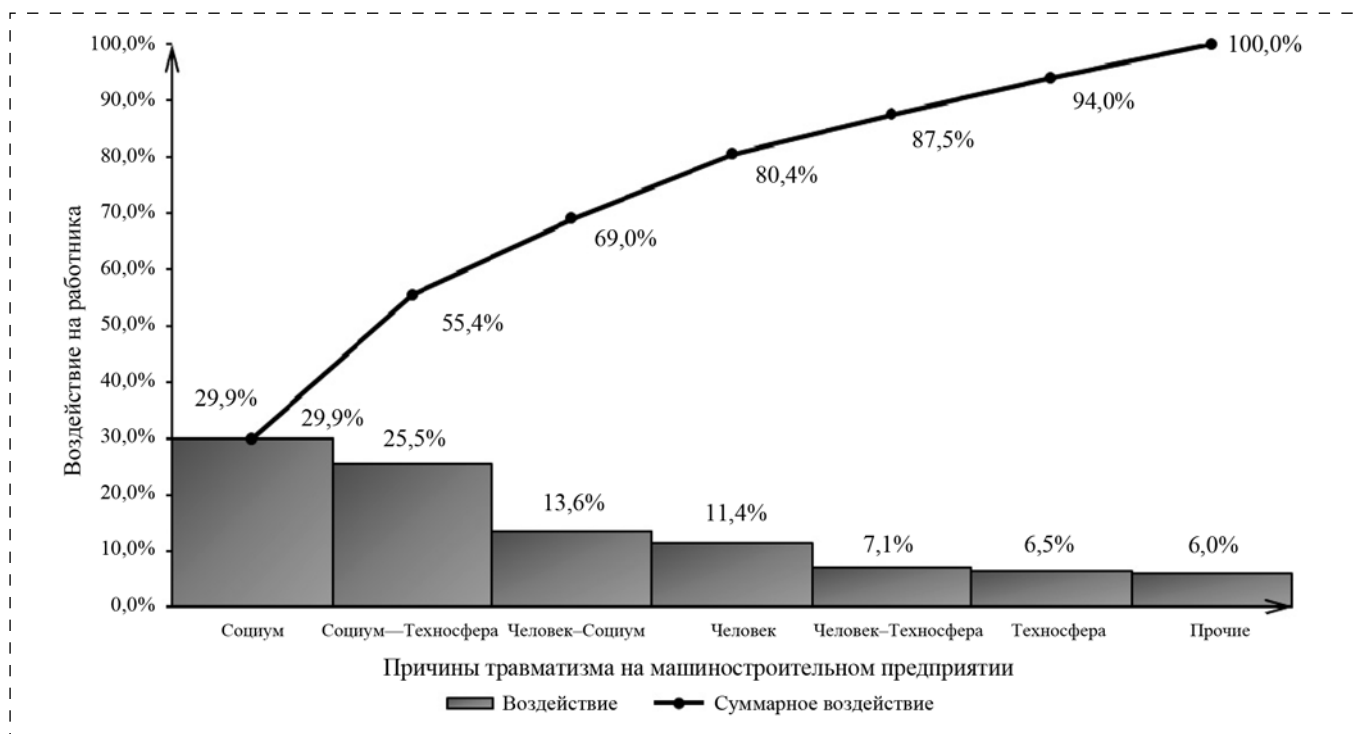


Рис. 2. Диаграмма Парето (объективная оценка причин несчастных случаев)

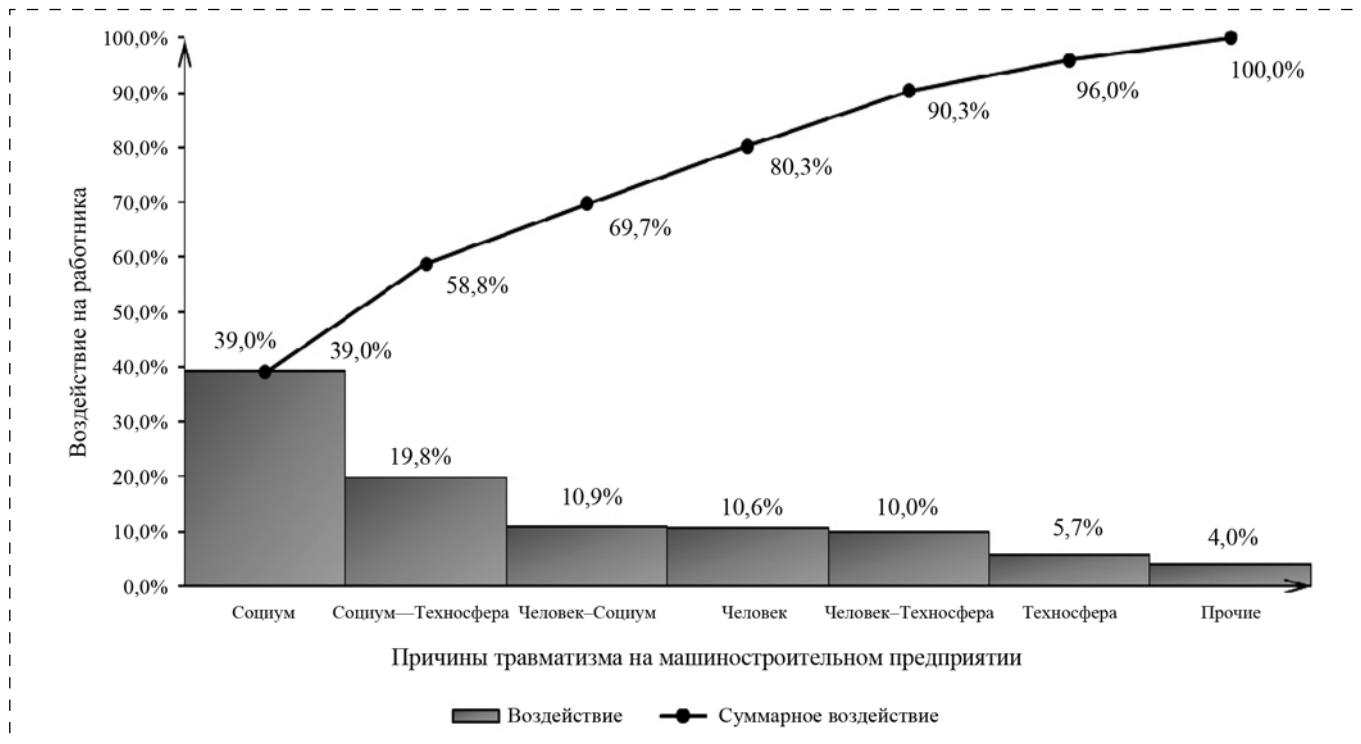


Рис. 3. Диаграмма Парето (субъективные ощущения опрошенных)

Социум"; *Ч* — группа "Человек"; *ЧТ* — группа "Человек — Техносфера"; *Т* — группа "Техносфера"; *Пр* — группа "Прочие".

Для управления уровнем риска *R* рассматривали уровень нагрузки как первопричину риска.

Максимальное число баллов уровня нагрузки определяется как сумма семи групп причин с максимальной оценкой 6 баллов каждая. Это значит, что максимальное значение уровня нагрузки будет соответствовать 42 баллам.

С учетом балльной оценки каждой группы уровень нагрузки составил 20 баллов (см. табл. 2).

Из рис. 4 видно, что при имеющемся уровне нагрузки (УН) 20 баллов величина риска

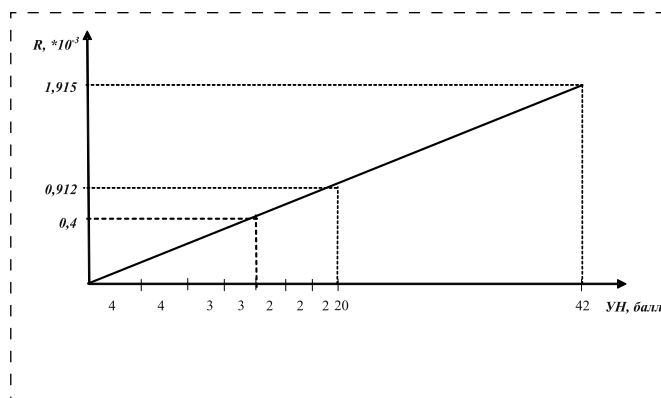


Рис. 4. Величина приращения риска при изменении уровня нагрузки

травматизма на предприятии составляет $0,912 \cdot 10^{-3}$. Также можно отметить, что при увеличении УН до 42 баллов вероятность подвергнуться травматизму увеличивается более чем в 2 раза и составит ориентировочно $1,915 \cdot 10^{-3}$. Построенный график (см. рис. 4) позволяет прогнозировать не только увеличение риска травматизма, но и его снижение в случае, если УН будет снижаться под влиянием проводимых на предприятии мероприятий [6]. Так, при снижении УН до нормы (2 балла) по всем группам воздействующих на работников факторов ожидаемое значение риска составит около $0,4 \cdot 10^{-3}$.

Нужно отметить, что используемый график функции уровня риска от УН позволяет наглядно видеть приоритетные факторы, меняющие УН работников предприятия. Это позволит повысить эффективность разрабатываемых мероприятий.

Выводы

Можно отметить, что предлагаемая методика прогнозирования риска травматизма в зависимости от изменения уровня нагрузки на работников предприятия позволит с достаточно высокой точностью прогнозировать изменение риска травматизма на предприятии; адаптироваться



применительно к любому предприятию; выявлять приоритетные факторы, влияющие на риск травматизма; повысить эффективность разрабатываемых мероприятий, направленных на уменьшение риска травматизма.

Список литературы

1. URL: www.rosmintrud.ru (дата обращения 05.05.2017).
2. **Ishikawa K.** What is Total Quality Control? The Japanese Way. London, Prentice Hall, 1985.
3. **Кох Р.** Закон Парето или Принцип 80\20. URL: <http://www.elitarium.ru/print.php?id=1995&npage=1> (дата обращения 05.05.2017).

4. **Степанова И. П., Осколова И. Д.** Анализ и прогнозирование травматизма на ОАО "АМУРМЕТАЛЛ" математико-статистическими методами // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. — 2011. — Т. 1. — № 7. — С. 104—117.
5. **Бобкова О. В.** Охрана труда и техника безопасности. Обеспечение прав работника. — М.: Омега-Л, 2008. — 290 с.
6. **Афанасьева И. В., Анисимов В. В.** Повышение эффективности деятельности крупных систем путем оптимизации затрат на мероприятия по охране труда (на примере промышленного предприятия). В сборнике: Современные вопросы науки и образования — XXI век. — Комсомольск-на-Амуре: КАМГУ, 2012. — С. 14—16.

V. V. Anisimov, Associate Professor, e-mail: viktor_anisimov@mail.ru,
A. V. Vivchar-Panyushkina, Engineer, **V. V. Voronova**, Associate Professor,
V. T. Panyushkin, Professor, Kuban State University, Krasnodar

Defining the Risk of Occupational Injuries and Identify the Causes of Injury to Workers (in the Example of Engineering Enterprises)

For the purpose of identification of group of the reasons of accidents significant for traumatism, their classification with use of the chart of Isikiva is offered: the Person group including personal (psychological, psycho-physiological) the reasons to which exercise and psychological stresses of the worker, a fatigue, stresses, diseases, a way of life, etc. conditionally belong; the Society group includes the reasons depending on the level of the organization of work in a workplace and at the enterprise in general; the Technosphere group includes technical (design and engineering) the reasons, disturbance of sanitary and hygienic norms; the Person society group includes communication of the personal and organizational reasons; the Society technosphere group includes communication of the organizational and technical reasons; the Person technosphere group includes communication of the personal and technical reasons; the Other group includes illegal actions of unidentified persons. The larger assessment (2-4) for each of seven groups is carried out, and also... risk by means of Pareto's charts. It is established that the groups "society", "society technosphere", "person", "person society" give a big contribution to the level of a load of the person. The obtained data on psychosocial characteristics of the workers influencing traumatism can become a reference point for real actions for depression and injury prevention and its forecasting.

Keywords: occupational injuries, risk, Isikawa chart, Pareto chart

References

1. www.rosmintrud.ru (date of access 05.05.2017).
2. **Ishikawa K.** What is Total Quality Control? The Japanese Way. London, Prentice Hall, 1985.
3. **Koch P.** The Pareto principle or the Principle of 80\20. URL: <http://www.elitarium.ru/print.php?id=1995&npage=1> (date of access 05.05.2017).
4. **Stepanova I. P., Skalova I. D.** Analysis and forecasting injuries at JSC "AMURMETAL" mathematical and statisti-

cal methods. *Scientific notes of Komsomolsk-on-Amur state technical University.* 2011. Vol. 1. No. 7. P. 104—117.

5. **Bobkova O. V.** Labor Protection and safety. The rights of the employee. Moscow: Omega-L, 2008. — 290 p.
6. **Afanasyeva I. V., Anisimov V. V.** Increase of efficiency activities of large systems by optimizing cost and labour safety (for example, industrial enterprises) In the book: *Modern problems of science and education — XXI century.* Komsomolsk-on-Amur: KAMGA, 2012. P. 14—16.

УДК 543.271

Е. О. Брежнева, канд. техн. наук, доц., **О. Г. Бондарь**, канд. техн. наук, доц.,
А. В. Филиппов, студент, e-mail: avfprak@gmail.com, Юго-Западный государственный
Университет, Курск

Программный комплекс для разработки газоанализаторов на основе искусственных нейронных сетей

Представлено описание программного комплекса для разработки и оптимизации структуры газоанализаторов на основе искусственных нейронных сетей (ИНС).

Ключевые слова: газоанализатор, газочувствительные датчики, искусственные нейронные сети, контроль параметров воздушной среды, концентрация газа

Введение

Потребности промышленности, решение задач жизнеобеспечения ответственных объектов, включая подземные сооружения, подводные и надводные корабли, защита окружающей среды требуют совершенствования технической базы систем контроля воздушной среды. С учетом сказанного выше повышение точности измерения концентраций компонентов газовых смесей газоаналитическими системами на основе газочувствительных датчиков является актуальной научно-технической задачей [1–5]. Используя классические методы измерений, сложно добиться низкой погрешности, так как современные газочувствительные датчики обладают низкой селективностью, при этом в значительной степени подвержены влиянию окружающей среды, что отрицательно сказывается на измерениях и контроле в различных условиях [6]. Для повышения точности измерений концентраций газовых смесей были применены методы обработки сигналов датчиков на основе искусственных нейронных сетей (ИНС) [7, 8].

Разработка газоанализаторов на основе ИНС требует введения дополнительных этапов проектирования, связанных со спецификой применяемого алгоритма обработки информации. К специализированным этапам разработки можно отнести следующие: параметризация математических моделей выбранных газочувствительных датчиков, формирование обучающих и тестирующих данных, выбор и оптимизация структуры устройства обработки, обучение и тестирование ИНС. В связи с этим реализация подобной системы требует наличия специализированного

программного комплекса, позволяющего регламентировать и автоматизировать процесс разработки и оптимизации структуры газоанализатора.

Структура комплекса разрабатывалась с использованием функционального подхода. Основными реализуемыми функциями комплекса являются: генерирование моделей газовых смесей задаваемого состава; моделирование функций преобразования используемых газочувствительных датчиков с учетом основных влияющих факторов; моделирование функций преобразования датчиков параметров внешней среды (температуры, влажности и давления); моделирование откликов всех датчиков на предъявляемые на их входы модели реализаций газовых смесей с варьированием основных влияющих факторов; моделирование устройства совместной обработки откликов датчиков на основе ИНС с возможностью варьирования их структуры, конфигурации и проведения обучения; обеспечение возможности анализа точности и устойчивости получаемых алгоритмов совместной обработки путем принудительного варьирования задаваемых удельных концентраций составляющих газовых смесей и влияющих факторов внешней среды и оценки реакции устройства обработки на эти изменения.

1. Структура программно-аппаратного комплекса

Структура программно-аппаратного комплекса состоит из генератора виртуальных газовых смесей, газочувствительных датчиков и датчиков состояния окружающей среды (давления, влажности и температуры), модуля масштабирования, модуля выбора структуры устройства и обработки и параметризации (рис. 1).

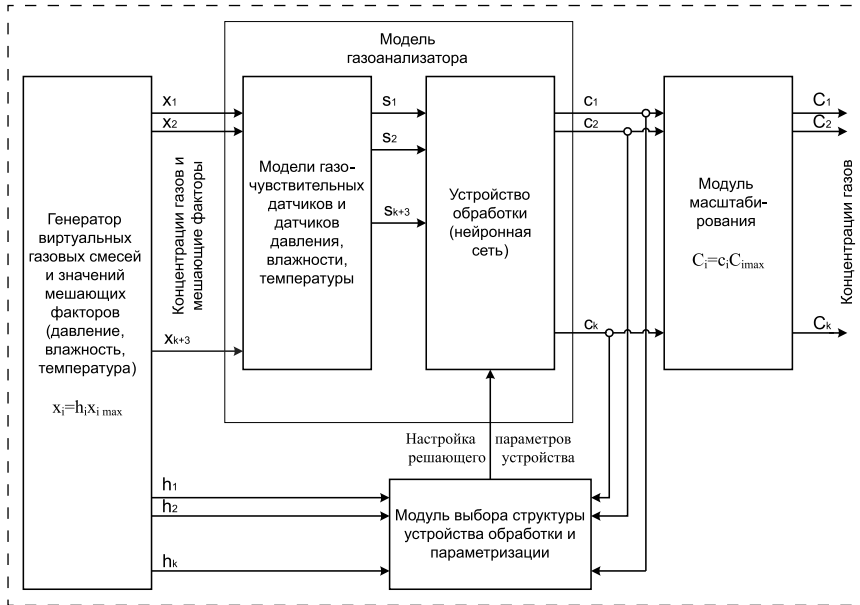


Рис. 1. Структура программно-аппаратного комплекса

Генератор виртуальных газовых смесей последовательно формирует наборы значений переменных, эквивалентные удельным концентрациям компонент газовой смеси C_i ($i = 1, k$) и значениям мешающих факторов (давления P , температуры T и влажности C_{H_2O}):

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_{k+3})^T = [C_1, C_2, \dots, C_k, P, T, C_{H_2O}]^T.$$

Для упрощения визуализации вышеприведенной записи правая часть выражения была транспонирована.

Значения величин C_i и C_{H_2O} выражены в объемных процентах, давление P в кПа и температура T в К. Значение любой компоненты вектора-столбца в виртуальном генераторе газовой смеси вычисляется однотипно:

$$x_i = h_i x_{i \max},$$

где h_i — значение случайной величины h , распределенной равномерно на интервале $[0, 1]$; $x_{i \max}$ — максимальное значение концентрации или мешающего фактора.

Каждый газочувствительный датчик представлен функцией преобразования, связывающей значение выходного сигнала с концентрациями газов в смеси и значениями мешающих факторов. Эта функция предоставляется в форме принятой производителем для данного типа датчика (например, графической). Значение выходного сигнала датчика

$$S_j = F_j(x_1, x_2, \dots, x_{k+3})$$

после вычисления приводится к диапазону $[0, 1]$

$$s_j = S_j / S_{j \max},$$

где $S_{j \max}$ — максимальное значение выходного сигнала датчика; s_j — нормированное значение сигнала датчика.

Датчики давления, влажности и температуры представлены простейшими линейными функциями преобразования.

Решающее устройство преобразует нормированные выходные сигналы датчиков для каждого набора входных переменных в отсчеты текущих нормированных значений концентраций компонент газовой смеси:

$$(s_1, s_2, \dots, s_{k+3})^T \rightarrow (c_1, c_2, \dots, c_k)^T,$$

где c_i — нормированное значение концентрации газа ($c_i = C_i / C_{i \max}$); T — знак транспонирования однострочной матрицы.

Модуль масштабирования вычисляет объемные концентрации газов через их максимальные $C_{i \max}$ и нормированные значения c_i :

$$C_i = c_i \cdot C_{i \max}.$$

Для функционирования комплекса модуль масштабирования не является принципиально необходимым, но его наличие позволяет оперативно сопоставлять получаемые данные с данными производителя, результатами собственных экспериментов и третьих экспериментаторов.

Модуль выбора структуры устройства обработки и параметризации модели газоанализатора управляет ее видом и осуществляет параметризацию, опираясь на значения концентраций газов на входе и выходе виртуального многокомпонентного газоанализатора. Вид модели может изменяться оператором. Метод оптимизации определяется алгоритмом функционирования решающего устройства (в данном случае это искусственные нейронные сети — ИНС).

2. Настройка, описание модулей и дополнительные возможности программного комплекса

Структура программного комплекса, представляющая собой три взаимосвязанных модуля и соответствующие им функции, приведена на рис. 2 [9].

Работа в программе начинается с первого модуля (рис. 3). На этом этапе осуществляется выбор

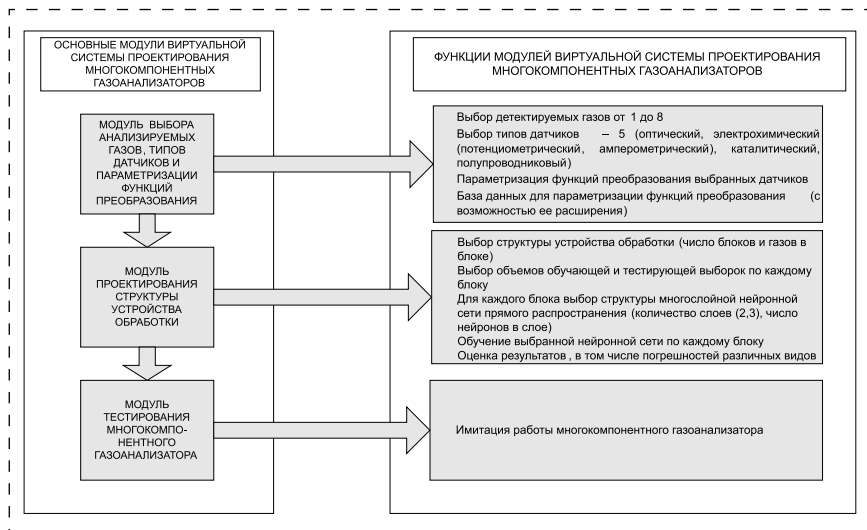


Рис. 2. Структура программного комплекса

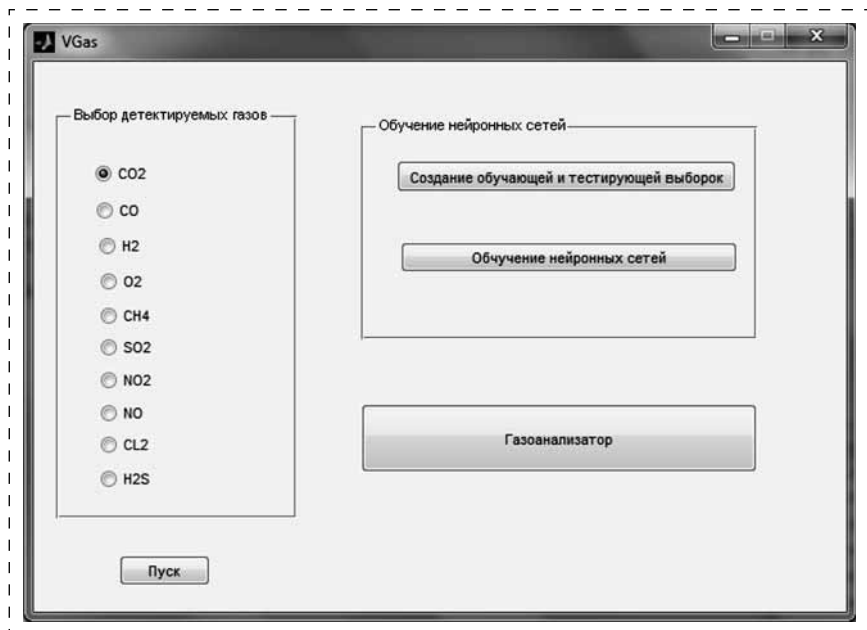


Рис. 3. Интерфейс модуля выбора анализируемых газов и типов датчиков

используемых датчиков для детектирования анализируемых газов. Благодаря встроенной базе данных производится параметризация функций преобразований выбранных датчиков.

Результаты параметризации позволяют оценить графики и диаграммы относительных погрешностей, а также значения максимальной относительной и среднеквадратичной погрешностей (рис. 4).

Следует отметить, что на данном этапе база данных содержит множество разработанных ранее моделей газочувствительных датчиков различных типов: полупроводникового, каталитического, оптического и электрохимического,

учитывающих зависимость выходных сигналов датчиков от концентрации мешающих газов и влияние факторов окружающей среды [10–12].

Второй модуль программы позволяет осуществлять выбор структуры устройства обработки, заключающийся в определении числа блоков ИНС и газов, входящих в каждый блок, выбор структуры и обучение ИНС каждого блока, а также тестирование полученного устройства обработки (рис. 5).

Результаты тестирования представлены значениями максимальных относительных и среднеквадратичных погрешностей по каждому газу, а также в графической форме. Обучающая и тестирующая выборки автоматически генерируются после указания их объемов в этом же модуле с помощью функций преобразования датчиков, параметризованных в первом модуле. В случае получения неудовлетворительных результатов тестирования предусмотрена возможность переобучения ИНС соответствующего блока.

Последний, третий, модуль имитирует функции многокомпонентного газоанализатора. Для окончательной настройки необходимо задать условия окружающей среды и концентрации детектируемых газов в воздухе.

На выходе можно получить ожидаемый результат — соответствующие показания (концентрацию газов) разработанного многокомпонентного газоанализатора.

Помимо функциональной части, в программном комплексе имеются пункты меню "Данные производителей" и "Справка". Во вкладке "Данные производителей" можно ознакомиться со справочной информацией и различной документацией производителей газочувствительных датчиков. В пункте меню "Справка" размещены документы, содержащие описание принципа действия датчиков различных типов и их функций преобразования, использующихся для параметризации, рекомендации по выбору структуры устройства обработки сигналов датчиков в многокомпонентных газоанализаторах и по работе с программой.

Следует отметить, что в плане дальнейшего развития программного комплекса преду-

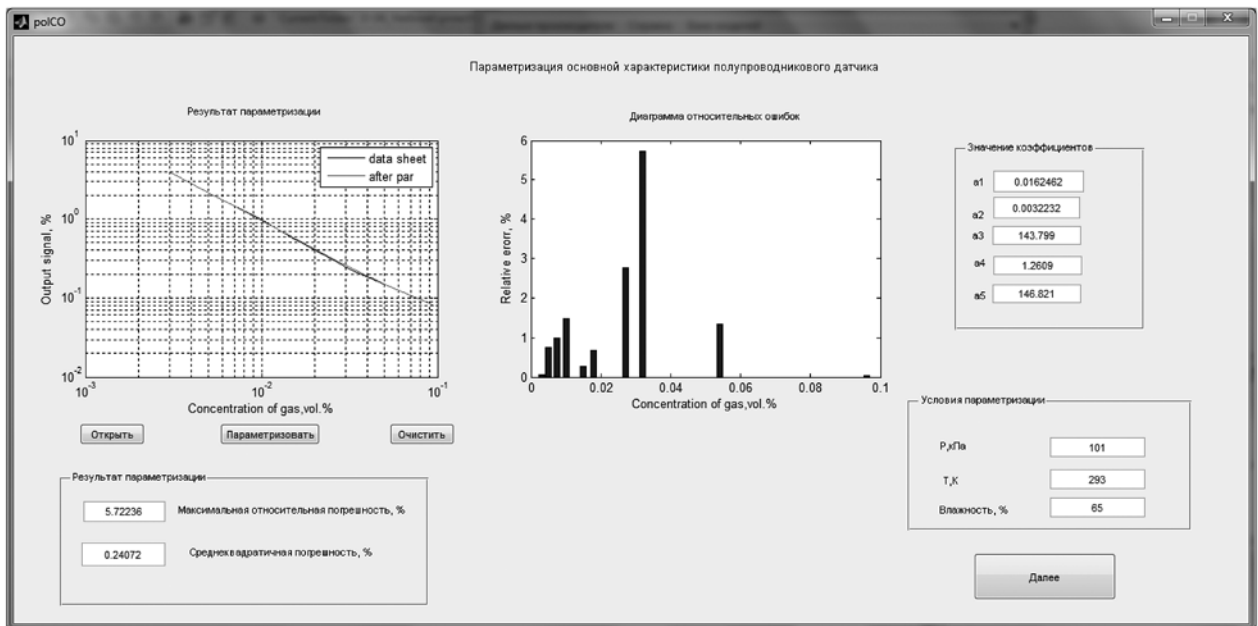


Рис.4. Параметризация основной характеристики полупроводникового датчика

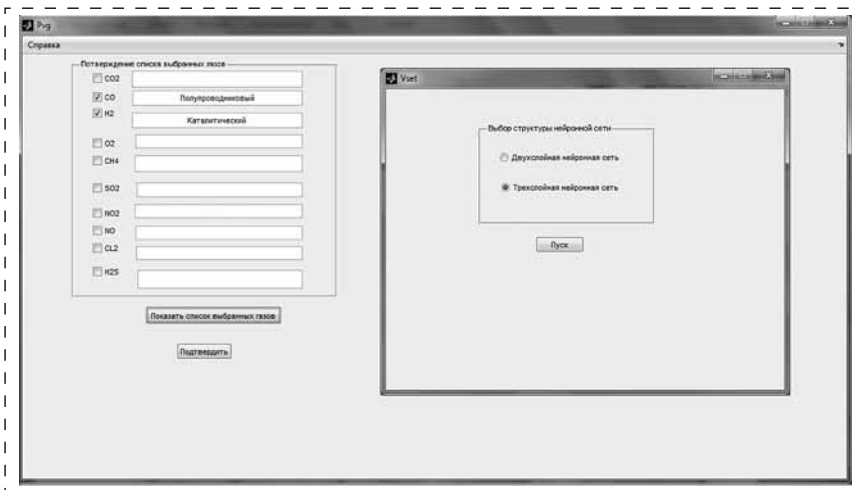


Рис. 5. Интерфейс модуля выбора структуры устройства обработки

сма­три­ва­ет­ся воз­мож­ность рас­ши­ре­ния ба­зы дан­ных дат­чи­ков раз­лич­ных про­из­во­ди­те­лей для па­ра­мет­ри­за­ции функ­ций пре­об­ра­зо­ва­ний. Так, в пун­кте ме­ню "Банк мо­де­лей" опи­сы­ва­е­мо­го про­грамм­но­го ком­плек­са дос­ту­пна воз­мож­ность для соз­да­ния поль­зо­ва­тель­ских функ­ций пре­об­ра­зо­ва­ний дат­чи­ков.

3. Пример использования программы

С по­мо­щью про­грамм­но­го ком­плек­са осу­ществ­лен вы­бор и про­ве­де­на оп­ти­ми­за­ция струк­ту­ры уст­рой­ства об­ра­бот­ки на ос­но­ве ИНС

мно­го­ком­п­онент­но­го га­зо­ан­а­ли­за­то­ра на че­ты­ре га­за (O_2 , H_2 , CO_2 , CO) с от­строй­кой от вли­я­ния па­ра­мет­ров ок­ру­жа­ю­щей сре­ды (рис. 6). Ис­сле­до­ва­лись три ва­ри­ан­та струк­тур уст­рой­ства об­ра­бот­ки сиг­на­лов: 1) спе­ци­а­ли­зи­ро­ван­ные ИНС по ка­ж­до­му ка­на­лу де­тек­ти­ру­е­мо­го га­за; 2) об­щая ИНС с от­дель­ны­ми вы­хо­да­ми по ка­ж­до­му оп­ре­де­ля­е­мо­му га­зу; 3) сме­шан­ный ва­ри­ант. Во всех ва­ри­ан­тах ис­сле­до­ва­лась мно­гос­лой­ная ней­рон­ная сеть пря­мо­го рас­про­стране­ния, поз­во­лив­шая дос­тичь наи­мень­ших зна­че­ний сред­не­квад­ратич­ных по­греш­но­стей по ка­ж­до­му вы­хо­ду, в срав­не­нии с дру­ги­ми ар­хи­тек­ту­ра­ми ИНС (ра­ди­аль­ная ба­зи­сная сеть (*RB*), об­об­щен­но-ре­грес­сион­ная ней­рон­ная сеть (*GRNN*), сеть Эл­ма­на). Ре­зуль­та­ты ис­сле­до­ва­ний све­де­ны в табл. 1.

В ка­че­стве кри­те­ри­ев вы­бо­ра струк­ту­ры уст­рой­ства об­ра­бот­ки на ос­но­ве ИНС ис­поль­зо­ва­лись ве­ли­чи­на сред­не­квад­ратич­ной по­греш­но­сти сети и чис­ло на­стра­и­ва­е­мых ко­эф­фи­ци­ен­тов. Вы­бран ва­ри­ант сме­шан­ной струк­ту­ры, поз­во­ля­ю­щий при со­пос­та­ви­мых уров­нях по­греш­но­стей умень­шить чис­ло на­стра­и­ва­е­мых ко­эф­фи­ци­ен­тов. Особен­ность сме­шан­ной струк­ту­ры за­к­лю­ча­ет­ся в сле­ду­ю­щем:

— в пер­вом бло­ке об­ра­ба­ты­ва­ют­ся сиг­на­лы низ­ко селек­тив­ных дат­чи­ков, об­ла­да­ю­щих

взаимной перекрестной чувствительностью, и датчиков параметров окружающей среды;

— во втором и третьем блоках осуществляется обработка сигналов селективных газочувствительных датчиков и датчиков параметров окружающей среды.

Уровень сигнала датчика кислорода s_{O_2} в третьем блоке линейно зависит от концентрации кислорода c_{O_2} , и пропорционален давлению окружающей среды P_0 . Поэтому концентрация кислорода определяется выражением:

$$c_{O_2} = P_0 s_{O_2} / K s_p,$$

где K — коэффициент.

Проведена оценка эффективности применения ИНС выбранной структуры с целью

Результаты исследования альтернативных структур устройства обработки сигналов датчиков

Структура устройства обработки	Число коэффициентов	Среднеквадратичная погрешность выходов сети, %		
		CO	H ₂	CO ₂
Общая ИНС	155	0,5	0,26	0,12
Специализированные ИНС	148	0,56	0,07	0,15
Смешанная структура	128	0,58	0,12	0,15

подавления перекрестной чувствительности датчиков (рис. 7, 8).

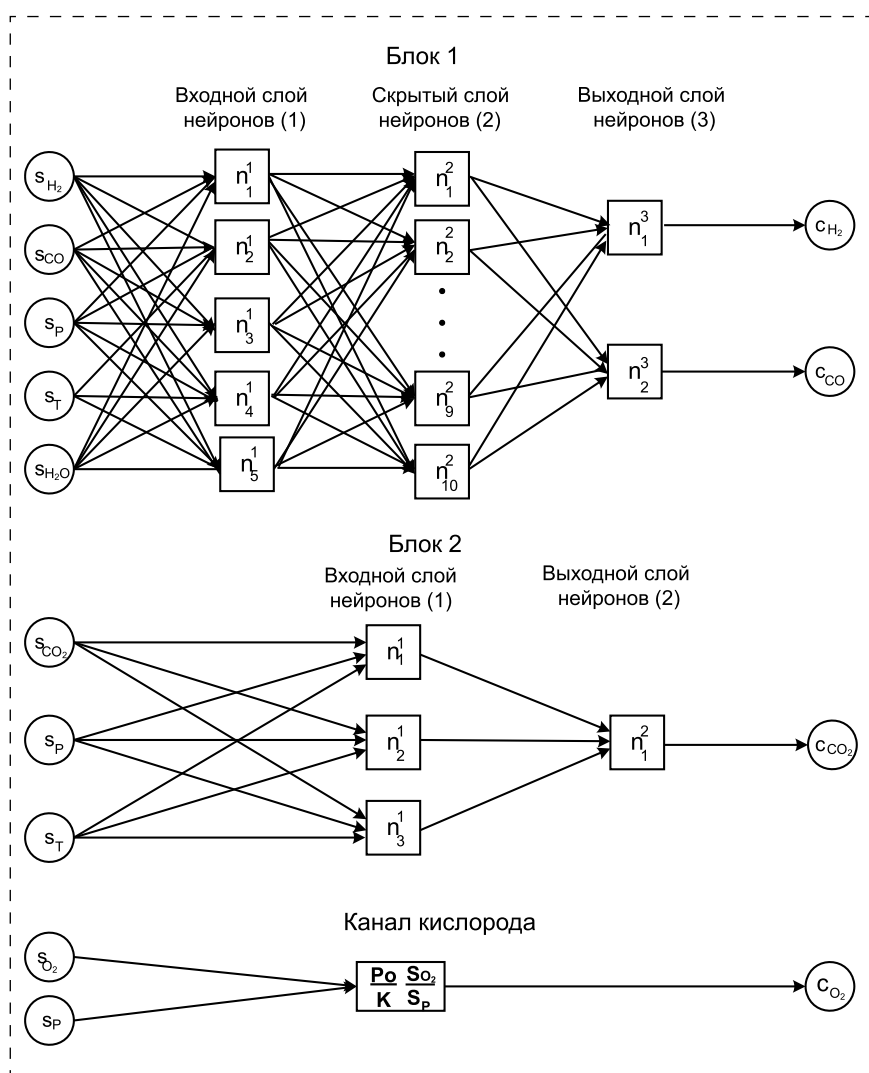


Рис. 6. Структура устройства обработки сигналов датчиков:

s_{H_2} , s_{CO} , s_{CO_2} , s_{O_2} , s_p , s_T , s_{H_2O} — нормированные сигналы датчиков водорода, угарного газа, углекислого газа, кислорода, давления, температуры и влажности соответственно; c_{H_2} , c_{CO} , c_{CO_2} , c_{O_2} — нормированные объемные концентрации водорода, угарного газа, углекислого газа, кислорода

Данные рис. 7 демонстрируют резкое нарастание погрешности измерения угарного газа одиночным датчиком угарного газа при малых его концентрациях при наличии в среде водорода. Практически датчик реагирует на водород, а не на угарный газ. Совместная обработка сигналов датчиков угарного газа и водорода снижает погрешность до приемлемых уровней.

Данные рис. 8 демонстрируют существенное возрастание погрешности измерения концентрации водорода одиночным датчиком водорода при наличии в среде угарного газа и ее снижение при совместной обработке сигналов датчиков угарного газа и водорода.

Согласно полученным данным для полупроводникового датчика угарного газа погрешность от влияния водорода снижается в 10 раз и более, а для каталитического датчика водорода от влияния угарного газа — в 6—10 раз.

Проведено сравнение погрешностей определения концентрации газов, полученных до и после применения метода обработки, при воздействии внешних возмущающих факторов: вариаций давления (95...110 кПа), температуры (+10...+50 °C), относительной влажности в диапазоне 10...90 % (табл. 2).

Анализ полученных результатов показывает перспективность разработки многокомпонентных газоанализаторов на основе ИНС для снижения погрешностей измерений, вызванных влиянием внешних

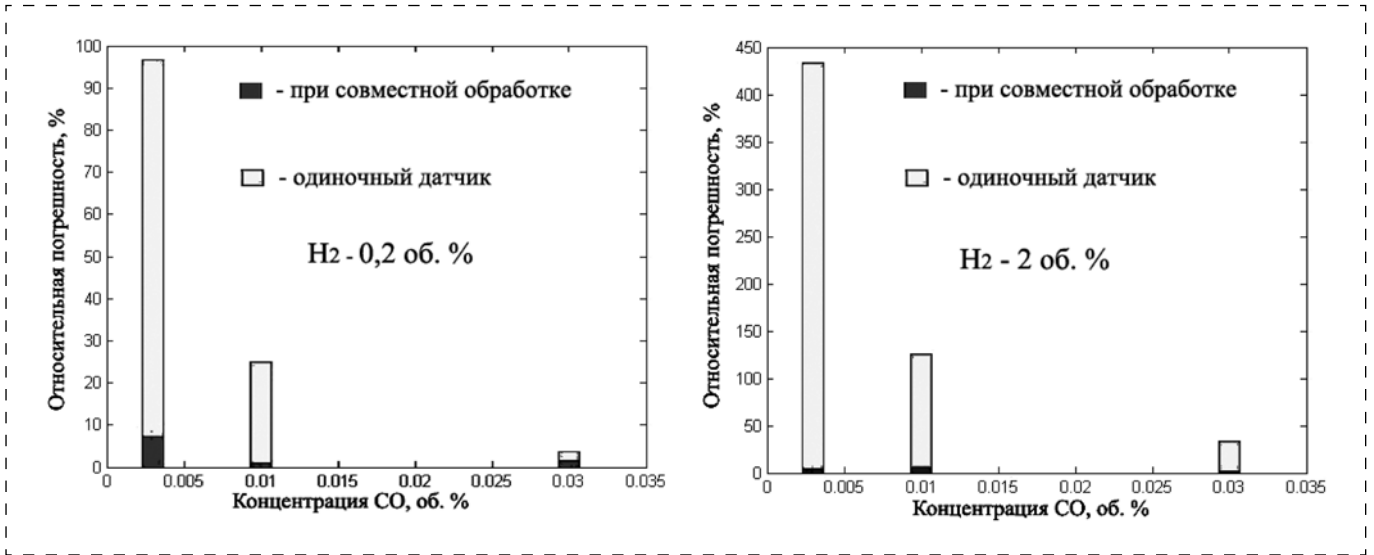


Рис. 7. Эффективность подавления перекрестной чувствительности к водороду устройством обработки на основе ИНС для двух фиксированных концентраций водорода 0,2 об. % и 2 об. %

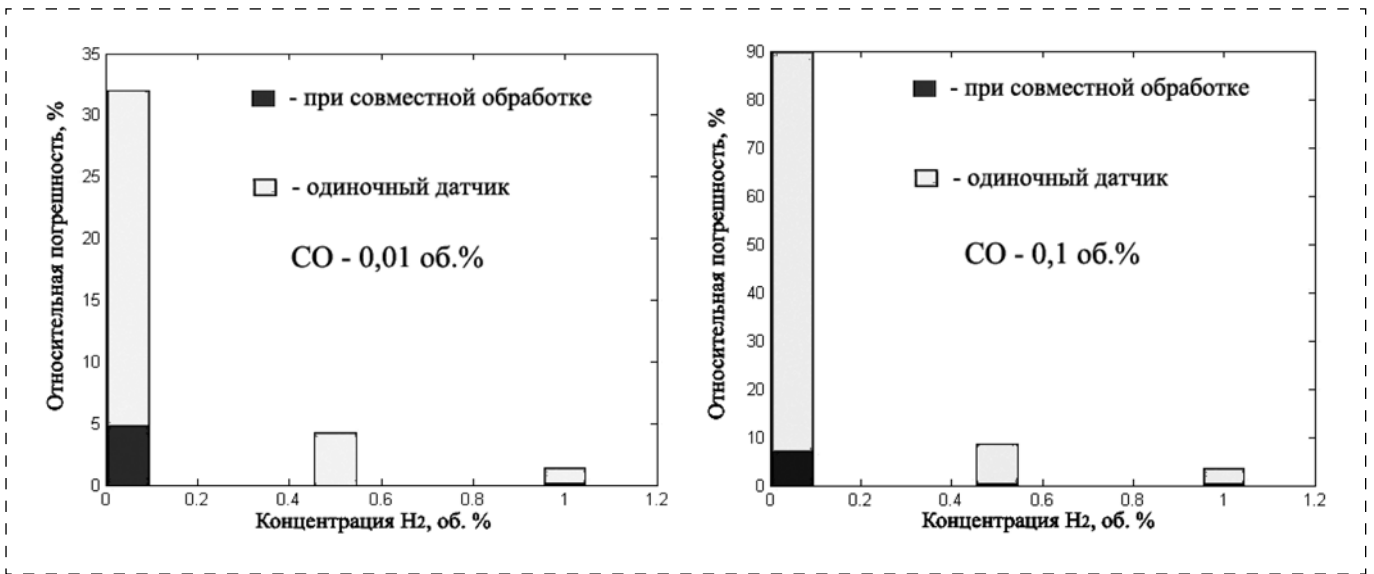


Рис. 8. Зависимость погрешности измерения концентрации водорода от его содержания в среде при наличии угарного газа для двух его различных концентраций 0,01 об. % и 0,1 об. % при использовании одиночного датчика водорода и совместной обработки сигналов двух датчиков

Таблица 2

Относительные погрешности определения концентрации газов при воздействии внешних возмущающих факторов

Влияющий фактор	H ₂ (0...4 об. %)		CO (0,003...0,1 об. %)		CO ₂ (0...5 об. %)	
	До обработки	После обработки	До обработки	После обработки	До обработки	После обработки
Влажность RH, %/10 %	—	—	7,7	1,5	—	—
T, %/10 °C	1,2	0,15	20	3,3	3,2	0,85
P, %/5 кПа	3	0,35	5,7	1,2	5	0,77

факторов. Представленный программный комплекс, включающий математические модели газочувствительных датчиков и эмуляцию искусственных нейронных сетей для совместной обработки сигналов этих датчиков, позволяет значительно упростить процесс разработки газоанализаторов на основе ИНС и снять ограничения по освоению их промышленного выпуска, связанные с обучением нейронных сетей.

Список литературы

1. Максимов А. И., Мошников В. А., Селезнев Б. И., Сенькин А. Е. Микропроцессорный газоаналитический модуль // Вестник Новгородского государственного университета. — 2004. — № 26. — С. 161–167.
2. Бельшева Т. В., Боговцева Л. П., Гутман Э. Е. Применение металлооксидных полупроводниковых гетеросистем для газового анализа // International Scientific Journal: for Alternative Energy and Ecology. — 2004. — № 2. — С. 66–68.
3. Соколов Т. Б., Матвеев А. Л. Мультисенсор для контроля аварийных выбросов вредных веществ в атмосферу // Экологическое приборостроение и мониторинг. — 2006. — № 31. — С. 172–175.
4. Постарнаков С. В., Сердюк И. В., Таратын И. А. Унифицированные датчики пожарных извещателей систем безопасности, раннего предупреждения возгораний // Вопросы радиоэлектроники. — 2012. — Т. 1. — № 1. — С. 123–131.

5. Мухуров Н. И., Денисюк С. В., Куданович О. Н., Колесник Э. Э. Адсорбционно-резистивный сенсор с двумя рабочими областями // Приборы. — 2015. — № 2. — С. 7–12.
6. Дрейзин В. Э., Брежнева Е. О. Выбор сенсоров для разработки многосенсорного газоанализатора газовых смесей // Безопасность жизнедеятельности. — 2011. — № 4. — С. 5–11.
7. Долгополов Н. В., Яблоков М. Ю. "Электронный нос" — новое направление индустрии безопасности // Мир и безопасность. — 2007. — № 4. — С. 54–59.
8. Дрейзин В. Э., Брежнева Е. О., Бондарь О. Г. Искусственные нейронные сети в многокомпонентных газоанализаторах // Материалы Всероссийской науч.-техн. конф. "Интеллектуальные и информационные системы". — Тула: Тульский гос. ун-т, 2011. — С. 21–24.
9. Брежнева Е. О. Виртуальная система проектирования многокомпонентных газоанализаторов // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012614022. заявл. 11.03.2012. рег. 02.05.2012.
10. Дрейзин В. Э., Брежнева Е. О., Бондарь О. Г. Моделирование каталитического датчика водорода // Известия ЮЗГУ. — 2011. — Ч. 1. — № 5 (38). — С. 69–76.
11. Брежнева Е. О. Многофакторное моделирование функции преобразования металлооксидных датчиков СО // Датчики и системы. — 2012. — № 4. — С. 64–69.
12. Дрейзин В. Э., Брежнева Е. О. Моделирование газочувствительных датчиков // Материалы 2-й Международной науч.-техн. конф. "Информационно-измерительные диагностические и управляющие системы. Диагностика 2011". — Курск: Юго-Зап. гос. ун-т, 2011. — С. 53–59.

E. O. Brezhneva, Associate Professor, O. G. Bondar, Associate Professor, A. V. Filippov, Student, e-mail: avfpak@gmail.com, Southwest State University, Kursk

Software Complex for Development of Gas Detectors Based on Artificial Neural Networks

The following paper presents a detailed description of the software system for the development and optimization of the structure of gas analyzers on the basis of artificial neural networks (ANN) to control the parameters of air environment and gas concentration.

In this paper you will find described methods for configuration and interface of the program. Here is given the exact description of each software module. Additional features and benefits of this software package are described as well.

The detailed example presents optimization of the structure of the processing device based on the ANN multi-component gas detector for several gases with the detuning from the influence of environmental parameters.

Keywords: gas analyzer, gas sensitive sensors, artificial neural networks, monitoring of parameters of the air environment, concentration of the gas

References

1. Maksimov A. I., Moshnikov V. A., Seleznev B. I., Sen'kin A. E. Mikroprocessornyj gazoanaliticheskij modul'. *Vestnik Novgorodskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2004. No. 26. P. 161–167.
2. Belysheva T. V., Bogovceva L. P., Gutman Je. E. Primenenie metallooksidnyh poluprovodnikovyh geterosistem dlja gazovogo analiza. *International Scientific Journal: for Alternative Energy and Ecology*. 2004. No. 2. P. 66–66.
3. Sokolov T. B., Matveev A. L. Mul'tisensor dlja kontrolja avarijnyh vybrosov vrednyh veshhestv v atmosferu. *Jekologicheskoe priborostroenie i monitoring*. 2006. No. 31. P. 172–175.
4. Postarnakov S. V., Serdjuk I. V., Taratyn I. A. Unificirovannye datchiki požarnyh izveshhatelej sistem bezopasnosti, rannego preduprezhdenija vozgoranij. *Voprosy radiojelektroniki*. 2012. Vol. 1. No. 1. P. 123–131.
5. Muhurov N. I., Denisjuk S. V., Kudanovich O. N., Kolesnik Je. Je. Adsorbционно-резистивный сенсор с двумя рабочими областями. *Pribory*. 2015. No. 2. P. 7–12.
6. Dreyzin V. Je., Brezhneva E. O. Vihbor sensorov dlja razrabotki mnogosenornogo gazoanalizatora gazovihk smesey // *Bezopasnost' zhiznedejatel'nosti*. 2011. No. 4. P. 5–11.

7. Dolgoplov N. V., Jablokov M. Ju. "Jelektronnyj nos" — novoe napravlenie industrii bezopasnosti. *Mir i bezopasnost'*. 2007. No. 4. — P. 54–59.
8. Dreyzin V. Je., Brezhneva E. O., Bondar' O. G. Iskusstvennye nejronnye seti v mnogokomponentnyh gazoanalizatorah. *Materialy Vserossijskoj nauch.-tehn. konf. "Intellektual'nye i informacionnye sistemy"*. Tula: Tul'skij gos. Un-t, 2011. P. 21–24.
9. Brezhneva E. O. Virtual'naja sistema proektirovanija mnogokomponentnyh gazoanalizatorov. *Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlja JeVM N. 2012614022*. zajavl. 11.03.2012. reg. 02.05.2012.
10. Dreyzin V. Je., Brezhneva E. O., Bondar' O. G. Modelirovanie kataliticheskogo datchika. *Izvestija JuZGU*. 2011. Ch. 1. No. 5 (38). P. 69–76.
11. Brezhneva E. O. Mnogofaktornoe modelirovanie funkicii preobrazovanija metallooksidnyh datchikov SO. *Datchiki i Sistemy*. 2012. No. 4. P. 64–69.
12. Dreyzin V. Je., Brezhneva E. O. Modelirovanie gazochuvstvitel'nyh datchikov. *Materialy 2-oj Mezhduнародной nauch.-tehn. konf. "Informacionno-izmeritel'nye diagnosticheskie i upravljajushhie sistemy. Diagnostika 2011"*. Kursk: SWSU, 2011. P. 53–59.

Е. Е. Галкина, канд. экон. наук, доц., e-mail: mai503@yandex.ru,
Л. И. Малько, канд. техн. наук, доц., доц. кафедры,
А. Е. Сорокин, канд. экон. наук, доц., зав. кафедрой, Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)

Определение импеданса при поглощении звука объемными поглотителями полирезонансного типа

Для защиты от шума в авиационной промышленности часто используются методы звукопоглощения. Одним из эффективных способов уменьшения шума является применение объемных звукопоглотителей. Эффективность поглощения оценивается коэффициентом звукопоглощения, зависящим от входного импеданса звукопоглощающей конструкции. В работе рассмотрены импедансы плоских звукопоглотителей и механизм поглощения звука объемным полирезонансным поглотителем. Для того чтобы описать механизм поглощения на различных частотах, звуковой диапазон разбит на три области, принимая в качестве существенного признака отношение длины звуковой волны к характерному размеру объемного звукопоглотителя. Представлена схема модели объемного звукопоглотителя. В результате теоретических исследований импеданса выведено уравнение для определения коэффициента поглощения объемного полирезонансного звукопоглотителя.

Ключевые слова: защита от шума, звукопоглощающие материалы, коэффициент звукопоглощения, импеданс, резонансные звукопоглощающие конструкции, плоские звукопоглощающие конструкции, объемные звукопоглотители

Одним из распространенных методов снижения производственного шума в авиационной промышленности является использование звукопоглощения. С целью повышения эффективности звукопоглощения в практике борьбы с шумом применяются различные физические звукопоглощающие конструкции. Основной характеристикой звукопоглощающего материала служит коэффициент звукопоглощения, который при нормальном падении звуковой волны на поверхность записывается в следующем виде [1]:

$$\alpha = 1 - \left| \frac{\bar{Z} - 1}{\bar{Z} + 1} \right|, \quad (1)$$

где \bar{Z} — безразмерный входной импеданс звукопоглощающей конструкции в долях от величины $\rho_0 c_0$; $\bar{Z} = \frac{Z}{\rho_0 c_0}$; ρ_0 — плотность воздуха, кг/м³;

c_0 — скорость звука в воздухе, м/с.

На рис. 1 представлены типы объемных поглотителей и их аналоги — "плоские" звукопоглощающие конструкции. На рис. 2 показана схема к определению входного импеданса однослойной звукопоглощающей конструкции.

В общем случае входной импеданс \bar{Z}_1 передней поверхности слоя звукопоглощающего материала (ЗМ) при конечной величине толщины слоя

l будет зависеть от импеданса на задней поверхности слоя \bar{Z}_2 и записывается формулой [1]:

$$\bar{Z}_1 = \bar{W} \frac{\bar{Z}_2 \operatorname{ch} \gamma l + \bar{W} \operatorname{sh} \gamma l}{\bar{Z}_2 \operatorname{sh} \gamma l + \bar{W} \operatorname{ch} \gamma l}, \quad (2)$$

где $\bar{W} = \frac{W}{\rho_0 c_0}$ — безразмерная величина волнового

сопротивления материала в долях $\rho_0 c_0$; γ — постоянная распространения звуковой волны в материале.

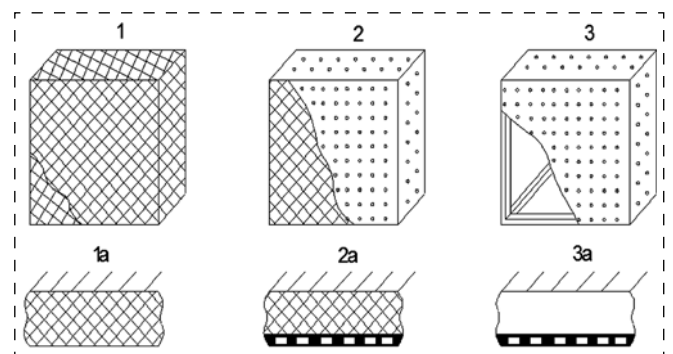


Рис. 1. Типы объемных звукопоглотителей и их аналоги — "плоские" (1а, 2а, 3а) звукопоглощающие конструкции:

1 — объемные поглотители со сплошным заполнением волокнисто-пористым материалом; 2 — объемные звукопоглотители — многослойные; 3 — объемные звукопоглотители — резонансные

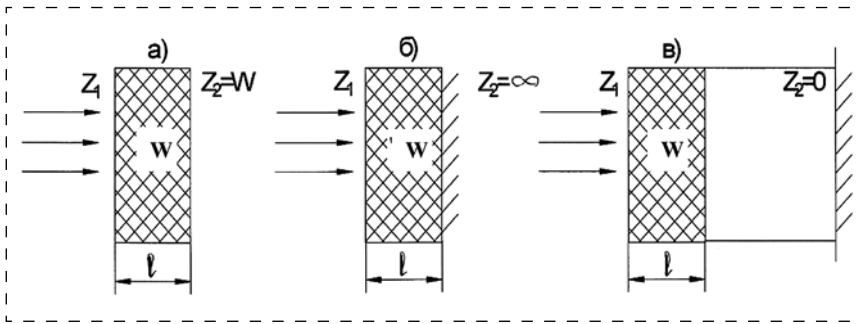


Рис. 2. Схема к определению импеданса "плоской" звукопоглощающей конструкции: а — безграничный слой звукопоглощающего материала, толщиной l ; б — звукопоглощающий материал на жесткой стенке; в — звукопоглощающий материал с отсосом от жесткой стенки

Расположение звукопоглощающего материала относительно ограждающих поверхностей существенно влияет на входной импеданс. Ориентируясь на схему, приведенную на рис. 2, рассмотрим определение импеданса для каждого из вариантов а, б, в.

В случае безграничного слоя ЗМ (см. рис. 2, а), когда $l = \infty$ и $Z_2 = W$, входной импеданс будет $Z_1 = W$.

В случае расположения ЗМ на жесткой стенке (см. рис. 2, б) $Z_2 = \infty$, входной импеданс материала при нормальном падении звуковой волны определяется по формуле [1]:

$$Z_1 = W \operatorname{cth} \gamma l. \quad (3)$$

В реальных условиях редко встречается нормальное падение звуковых волн на поверхность. Обычно в производственных помещениях звуковое поле носит диффузный характер [2].

При расположении слоя звукопоглощающего материала на расстоянии, равном четверти длины волны падающего звука, входной импеданс определяется выражением: $Z_1 = W \operatorname{th} \gamma$.

К "плоским" звукопоглощающим конструкциям относятся резонансные звукопоглощающие материалы. К однослойным резонансным конструкциям можно отнести упругий материал, колеблющийся как мембрана, и жесткий материал с резонансными полостями. Акустическое сопротивление прямоугольной пластины (входной импеданс) определяется по формуле [2]:

$$Z_{n_x, m_y} = \omega Q \eta \frac{\omega_{n_x, m_y}^2}{\omega^2} + i \omega Q \left(1 - \frac{\omega_{n_x, m_y}^2}{\omega^2} \right), \quad (4)$$

где $\omega_{n_x, m_y} = 2\pi f_{xy}$ — собственные частоты колебания пластин, Гц; $\omega = 2\pi f$ — частота падающего звука; i — мнимая часть; η — коэффициент потерь; Q — масса единицы площади пластины, кг; m_y и $n_x = 1, 2, 3$ — целые числа, определяющие моды колебаний.

К "плоским" звукопоглощающим конструкциям относятся также однослойные резонансные конструкции, которые представляют собой перфорированную пластину с воздушным зазором. Такая акустическая система рассматривается как резонатор Гельмгольца. Импеданс таких поглощающих конструкций определяется следующим образом:

$$Z_k = Z_{\text{сл}} + Z_{\text{э}} = x_{\text{сл}} + i(y_{\text{сл}} + y_{\text{э}}), \quad (5)$$

где $x_{\text{сл}}$ и $y_{\text{сл}}$ — соответственно активная и реактивная составляющие

импеданса пористого слоя; $y_{\text{э}}$ — реактивная составляющая импеданса перфорированной пластины; $Z_{\text{сл}}$ — импеданс слоя звукопоглощающего материала; $Z_{\text{э}}$ — импеданс перфорированного листа.

Одним из вариантов многослойных резонансных звукопоглощающих систем является конструкция, состоящая из звукопоглощающего слоя в оболочке из ткани или пленки и перфорированного листа. Такая конструкция характеризуется суммарным импедансом:

$$Z_z = Z_{\text{сл}} + Z_{\text{э}} + Z_{\text{пл}}, \quad (6)$$

где $Z_{\text{пл}}$ — импеданс пленки или ткани.

Рассмотренные "плоские" звукопоглощающие конструкции в основном применяются для периферийного поглощения и дают возможность снизить уровни шума в поле отраженных волн на 6...8 дБА. Учитывая положительные стороны периферийного звукопоглощения, необходимо отметить, что его применение ограничено и не всегда дает необходимый акустический эффект.

Для повышения эффективности звукопоглощения с целью уменьшения производственного шума были изучены и исследованы способы использования объемных звукопоглощающих конструкций. Типы объемных звукопоглотителей и их аналоги — "плоские" звукопоглощающие конструкции — представлены на рис. 1. В соответствии с приведенной на рис. 1 классификацией "плоских" звукопоглощающих конструкций рассмотрим механизм звукопоглощения объемными поглотителями.

К первому типу "плоских" звукопоглотителей можно отнести объемные поглотители, выполненные в виде кубов, параллелепипедов, клиньев и других геометрических форм, изготовленных из каркаса, обтянутого пленкой. Внутренний объем такого поглотителя заполнен супертонким стекловолокном или любым волокнистым материалом. Частотная характеристика звукопоглощения

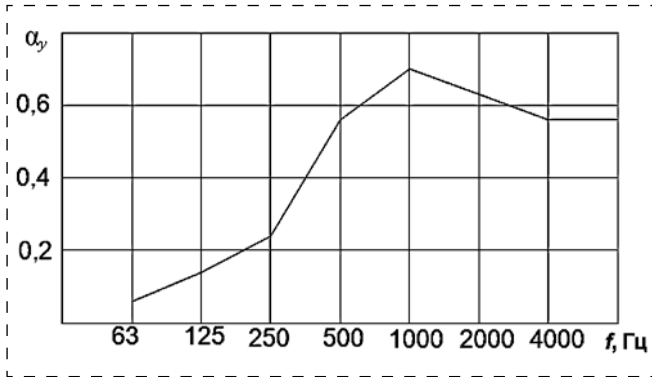


Рис. 3. Частотная характеристика условного коэффициента звукопоглощения α_y объемного поглотителя из супертонкого волокна, покрытого стеклотканью

одного такого объемного поглотителя определяется звукопоглощающими свойствами материала, из которого он изготовлен, и характеризуется импедансом Z .

На рис. 3 показана частотная характеристика условного коэффициента звукопоглощения объемного звукопоглотителя α_y , выполненного в виде параллелепипеда размерами $1,2 \times 0,6 \times 0,15$ м из супертонкого волокна, покрытого стеклотканью. Как видно из графика, эти объемные звукопоглотители малоэффективны в области низких частот звукового спектра.

Ко второму типу "плоских" поглотителей относятся объемные звукопоглотители, изготовленные из перфорированных звукопоглощающих материалов с внутренним объемом, заполненным волокнисто-пористым материалом. Использование перфорированных панелей определяет резонансный характер звукопоглощения объемных элементов, а наполнитель из волокнисто-пористых материалов расширяет их частотную характеристику. Импеданс таких поглотителей определяется аналогично звукопоглощающим "плоским" многослойным конструкциям по формулам (5) и (6). На рис. 4 показана частотная характеристика условного коэффициента объемного поглотителя α_y , выполненного в виде куба со стороной 0,4 м, изготовленного из металлического перфорированного листа толщиной 0,02 м с внутренним заполнением супертонким стекловолном.

Объемные поглотители, изготовленные из перфорированных звукопоглощающих материалов, с внутренним воздушным объемом рассматриваются как третий тип поглотителей. Этот тип объемного звукопоглотителя представляет собой резонатор, настроенный на определенную частоту. Частотная характеристика такого объемного поглотителя показана на рис 5. Расширение частотной характеристики звукопоглощения достигается введением во внутреннюю полость

поглотителя перегородки или дифракционных экранов, которые образуют последовательно соединенные резонаторы.

Рассмотренные типы объемных звукопоглотителей в основном эффективны в узкой полосе частот или в высокой области звукового спектра, что, учитывая широкополосный характер производственного шума, в большинстве своем

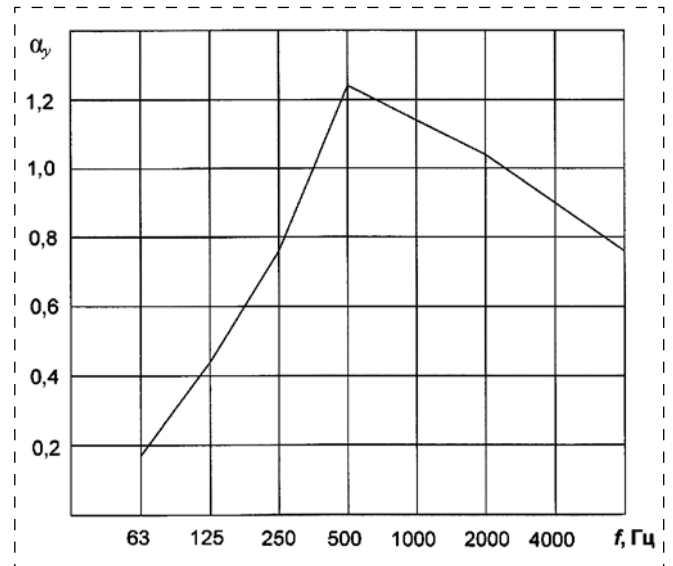


Рис. 4. Частотная характеристика условного коэффициента звукопоглощения α_y объемного поглотителя из перфорированного листа с внутренним заполнением супертонким волокном

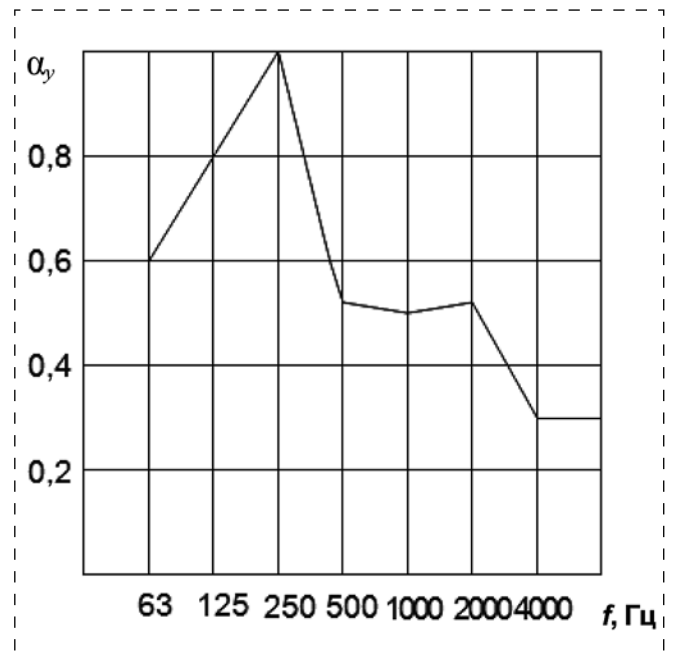


Рис. 5. Частотная характеристика условного коэффициента звукопоглощения α_y объемного поглотителя из перфорированного металла с внутренним воздушным объемом

имеющего высокие уровни звукового давления на средних частотах, ограничивает применение их в цехах авиационных предприятий.

Для повышения эффективности снижения шума в производственных помещениях методом звукопоглощения разработан, исследован и предложен к внедрению комбинированный полнорезонансный объемный звукопоглотитель. Полнорезонансный поглотитель представляет объемную конструкцию, стенки которой выполнены из полужесткого звукопоглощающего материала, с внутренним воздушным объемом.

Исходя из того что звукопоглощение является эффективным в поле отраженных звуковых волн, исследование акустических свойств объемных звукопоглотителей проводилось в диффузном звуковом поле. Для того чтобы описать особенности поглощения звука, объемный поглотитель полнорезонансного типа будем рассматривать как колебательную систему. Звуковая волна, падая на стенки объемного поглотителя, приводит их в колебания, которые, в свою очередь, возбуждают колебания внутреннего воздушного объема. В зависимости от длины падающей звуковой волны потери звуковой энергии будут определяться собственными колебаниями пластин (стенок поглотителя), звукопоглощающими свойствами материала, из которого изготовлен объемный поглотитель, и колебаниями внутреннего воздушного объема.

Для того чтобы описать механизм поглощения звука на различных частотах, звуковой диапазон разобьем на три области, принимая в качестве существенного признака отношение длины звуковой волны λ к характерному размеру объемного звукопоглотителя L_x . За характерный размер принимается длина наибольшей грани звукопоглотителя:

— первая область, в которой длина звуковой волны меньше характерного размера объемного звукопоглотителя ($\lambda \ll L_x$);

— вторая область, в которой длина звуковой волны больше характерного размера звукопоглотителя ($\lambda \gg L_x$);

— третья область, в которой длина звуковой волны соизмерима или равна характерному размеру звукопоглотителя ($\lambda \approx L_x$).

Рассмотрим особенности поглощения звуковой энергии объемным звукопоглотителем, расположенным в диффузном звуковом поле, для каждой частотной области в отдельности.

Первый случай — высокочастотный диапазон, в котором длина звуковых волн много меньше характерного размера объемного звукопоглотителя.

При этом условии боковые поверхности звукопоглотителя и их толщину можно рассматривать бесконечно большими [3]. Объемный

звукопоглотитель на высоких частотах при соблюдении условия $\lambda \ll L_x$, будет работать как слой "плоского" звукопоглощающего материала, и его эффективность в этом случае зависит, в основном, от акустических свойств используемого звукопоглощающего материала. Рассматриваемый объемный поглотитель, выполненный из волокнисто-пористых панелей, имеет высокочастотную характеристику звукопоглощения, и в соответствии с этим объемный звукопоглотитель будет эффективен в высокочастотной области звукового спектра.

Второй случай — низкочастотный диапазон, когда длина звуковых волн больше характерного размера звукопоглотителя $\lambda \gg L_x$.

При этом условии боковую поверхность объемного поглотителя можно рассматривать как тонкую пластину, опертую по контуру, находящуюся под действием равномерной периодической нагрузки [4]. В связи с тем что масса непрерывно распределена по всей поверхности пластины, стенка объемного звукопоглотителя является системой с бесконечным числом степеней свободы и, следовательно, обладает бесконечным множеством дискретных частот в спектре собственных колебаний пластин.

Колебательное движение на собственных частотах пластины определяется жесткостью или скоростью распространения звуковой волны и в режиме резонанса, т. е. при совпадении вынужденных и собственных частот наблюдается наибольшее поглощение звука. В связи с тем что скорость распространения звуковой волны в полужестком волокнисто-пористом материале небольшая (порядка 40 м/с), собственные частоты пластины находятся в низкочастотной области. При резонансе коэффициенты звукопоглощения объемных поглотителей будут выше, чем у плоского звукопоглощающего материала. Это обстоятельство особенно существенно в связи с тем, что волокнисто-пористый материал имеет невысокие коэффициенты звукопоглощения α в низкочастотной области звукового спектра и на частотах ниже 125 Гц $\alpha \approx 0,1$.

Третий случай — длина звуковой волны соизмерима с характерным размером объемного поглотителя $\lambda \approx L_x$ [5].

Этот случай представляет наибольший интерес, так как охватывает среднечастотный диапазон звукового спектра, который характерен для производственного шума.

Схема звукопоглощающей модели объемного поглотителя представлена на рис. 6. Акустический импеданс рассматриваемой системы Z_1 связан с импедансом на задней стенке Z_2 , который зависит от звукопоглощающих свойств материала и от

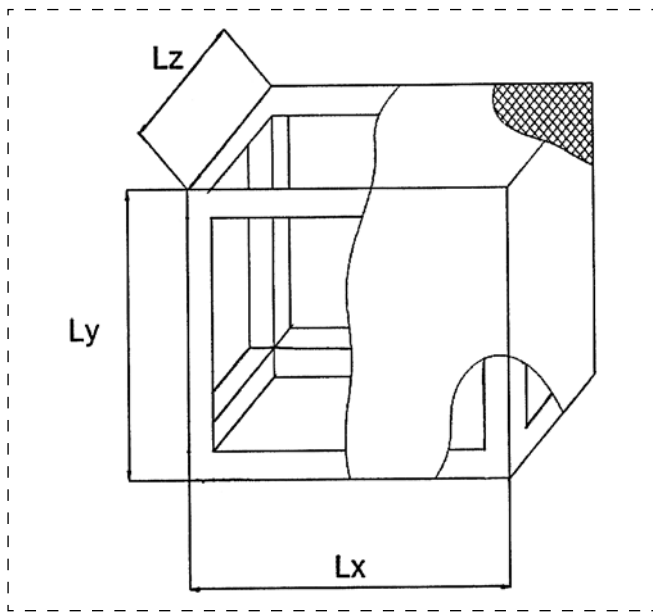


Рис. 6. Схема звукопоглотителя из неперфорированных полужестких панелей с внутренним воздушным объемом

потери звуковой энергии при колебании внутреннего воздушного объема. В соответствии с представленной моделью поглощения звука объемным поглотителем необходимо исследовать акустические параметры воздушного объема, ограниченного панелями, способными поглощать звуковую энергию.

С учетом импеданса на внутренней стенке объемного поглотителя импеданс системы (см. рис. 6) записывается следующим образом:

$$\bar{Z}_1 = \frac{\bar{Z}_2 \operatorname{ch} \gamma l + \bar{W} \operatorname{sh} \gamma l}{\bar{Z}_2 \operatorname{sh} \gamma l + \bar{W} \operatorname{ch} \gamma l}. \quad (7)$$

Отделяя действительные и мнимые части, получим формулы для нахождения действительной и мнимой частей импеданса объемного полирезонансного поглотителя. Подставляя значения активной и реактивной частей импеданса в формулу (1), получаем коэффициент звукопоглощения для локально-реагирующей поверхности объемного звукопоглотителя:

$$\alpha_0 = \frac{\bar{x}}{\bar{x}^2 - \bar{y}^2} \left\{ 1 - \frac{\bar{x}}{\bar{x}^2 + \bar{y}^2} \ln \left[(\bar{x} + 1)^2 + \bar{y}^2 \right] + \frac{\bar{x}^2 - \bar{y}^2}{y(\bar{x}^2 + \bar{y}^2)} \operatorname{arctg} \frac{\bar{y}}{\bar{x} - 1} \right\}, \quad (8)$$

где x и y — активная и реактивная составляющие импеданса.

Разработанная физическая модель комбинированного полирезонансного объемного

звукопоглотителя из неперфорированных полужестких панелей с внутренним воздушным объемом позволяет объяснить закономерность звукопоглощения во всем диапазоне частотного спектра, а именно:

- на низких частотах эффективность звукопоглощения определяется колебаниями пластин, которыми являются стенки поглотителя;
- на высоких частотах эффективность зависит от звукопоглощающих свойств этих панелей;
- на средних частотах акустические свойства рассматриваемой системы, состоящей из звукопоглощающих панелей и внутреннего воздушного объема, зависят от акустики обоих этих элементов.

В результате теоретических исследований импеданса выведено уравнение для определения коэффициента звукопоглощения объемного полирезонансного звукопоглотителя.

Полученные данные могут быть применены для повышения эффективности борьбы с повышенным уровнем шума на производстве. В России наибольшее число работников подвергается воздействию именно этого фактора. По данным работы [6], среди профессиональных заболеваний, вызванных физическими факторами, тугоухость занимает первое место (59,5 %). Снижение уровня шума, действующего на рабочих местах, позволит улучшить условия труда, снизить профессиональную заболеваемость и повысить производительность труда.

Список литературы

1. Красногорская Н. Н., Зельдова А. И., Вдовина И. В. Исследование эффективности защиты от шума методами звукоизоляции и звукопоглощения. — Уфа: УГАТУ, 2013. — 32 с.
2. Борисов Л. А. Звукопоглощающие конструкции как средство снижения шума в помещениях зданий. Автореферат дис. д-ра техн. наук. — М.: МИСИ, 1982. — 21 с.
3. Куприянов В. Н. Физика среды и ограждающих конструкций: Учебник. — М.: АСВ, 2015. — 308 с.
4. Фикс И. Ш., Коротин П. И., Потапов О. А., Фикс Г. Е. Экспериментальные исследования компенсации звукового поля на дискретных частотах // Акустический журнал. — 2016. — № 62. — Вып. 2. — С. 208–215.
5. Сопруненко И. П., Малько Л. И. Задача поглощения звуковых волн объемными звукопоглотителями // Труды МАИ "Математические проблемы механики сплошных сред в задачах авиационной техники". — М.: МАИ, 1982. — С. 32–47.
6. Попова А. Ю. Состояние условий труда и профессиональная заболеваемость в Российской Федерации // Медицина труда и экология человека. — 2015. — № 3. — С. 7–13.

E. E. Galkina, Associate Professor, e-mail: mai503@yandex.ru,
L. I. Malko, Associate Professor, **A. E. Sorokin**, Head of Chair, Moscow Aviation Institute
(National Research University)

Identification of Impedance at Sound Absorption by Volume Polyresonance Type Absorbers

To protect from noise in the shops of aviation enterprises, sound absorption methods are widely used. One of the effective ways to reduce noise is the use of bulk sound absorbers.

In the article types of bulk absorbers and their analogs are considered flat sound-absorbing structures. The input impedance of a flat sound-absorbing structure depends on the method of positioning the sound-absorbing material with respect to the enclosing structure. In accordance with the classification of flat sound-absorbing structures, the mechanism of sound absorption by polyresonance volumetric absorbers has been developed.

Depending on the length of the incident sound wave, the loss of sound energy of the polyresonance absorber is determined by the natural oscillations of the plates, the sound-absorbing properties of the material from which it is made, and the fluctuations in the internal air volume.

To determine the mechanism of sound absorption by a bulk polyresonance absorber at different frequencies, the sound range is divided into three regions, taking as an essential feature the ratio of the length of the sound wave to the characteristic size of the volume absorber.

In the first high-frequency region, the condition is considered under which the length of the incident sound waves is substantially smaller than the characteristic dimension of the volume absorbers. In the second low-frequency region of the spectrum, the length of the sound wave exceeds the characteristic size of the polyresonance bulk absorber. In the third region, the wavelength of sound is commensurable with the characteristic dimension of the volume absorber.

As a result of theoretical studies, the impedance and the sound absorption coefficient of a polyresonance volumetric absorber are determined.

Keywords: noise protection, sound-absorbing materials, coefficient sound absorption, frequency characteristic of the sound absorption coefficient, impedance, active and reactive components of the impedance, real and imaginary part of the impedance, resonant sound-absorbing structure, flat sound absorbing structures, volume sound absorbers

References

1. **Krasnogorskaja N. N., Zel'dova A. I., Vdovina I. V.** Issledovanie jeffektivnosti zashhity ot shuma metodami zvukoi-zoljatsii i zvukopogloshhenija. Ufa: UGATU, 2013. 32 p.
2. **Borisov L. A.** Zvukopogloshhajushhie konstrukcii kak sredstvo snizhenija shuma v pomeshhenijah zdanij. Avtoreferat doktorskoj dissertacii. Moscow: MISI, 1982. 21 p.
3. **Kuprijanov V. N.** Fizika sredi i ograzhdajushhij konstrukcij: Uchebnik. Moscow: ASV, 2015. 308 p.
4. **Fiks I. Sh., Korotin P. I., Potapov O. A., Fiks G. E.** Jeksperimental'nye issledovanija kompensacii zvukovogo polja na diskretnyh chastotah. *Akusticheskij zhurnal*. 2016. 62. Vyp. 2. P. 208–215.
5. **Soprunenko I. P., Mal'ko L. I.** Zadacha pogloshhenija zvukovyh voln obemnymi zvukopoglotiteljami. *Trudy MAI "Matematicheskie problemy mehaniki sploshnyh sred v zadachah aviacionnoj tehniki"*. Moscow: MAI, 1982. P. 32–47.
6. **Popova A. Yu.** Sostoyanie uslovij truda i professional'naya zaboлеваemost' v Rossiiskoi Federatsii. *Medsina truda i ekologiya cheloveka*. 2015. No. 3. P. 7–13.



УДК 331.45

В. А. Сенченко, вед. специалист, e-mail: Vladimir_Senchenko@vlg.south.rt.ru, Волгоградский центр охраны труда и экологии, **С. Т. Папаев**, канд. техн. наук, проф. кафедры, Академия труда и социальных отношений, Москва

Оценка производственных рисков электромагнитных излучений на основе производственного контроля

При организации охраны труда на предприятиях в последнее время управление производственными рисками становится главным механизмом в обеспечении безопасных условий труда на рабочем месте. Контроль физических факторов производственной среды на рабочих местах в Волгоградском филиале ПАО "Ростелеком" является одним из элементов "предотвращения опасности" на рабочих местах. Контроль физических факторов на рабочих местах в соответствии с действующим санитарным законодательством является обязательным мероприятием. Проанализирована законодательная база проведения производственного контроля. Приведена информация об административных наказаниях за отсутствие протоколов лабораторных исследований (измерений) и программы производственного контроля. Проанализированы данные измерений плотности потока энергии от оборудования "Ракита 8" на рабочих местах. Проанализировано среднегодовое время, затрачиваемое на техническое обслуживание единицы оборудования "Ракита 8". Построен график зависимости плотности потока энергии от времени воздействия. Приведен алгоритм управления производственными рисками электромагнитных излучений на рабочих местах на основе производственного контроля. Сделаны выводы о наличии производственных рисков электромагнитного излучения при обслуживании оборудования.

Ключевые слова: безопасность труда, электромагнитное излучение, производственный контроль, плотность потока энергии, производственный риск

Введение

При организации охраны труда на предприятиях в настоящее время на первое место выходит концепция "предотвращение опасности". Основным критерий для оценки безопасности труда на рабочем месте в настоящее время — это критерий профессионального (производственного) риска. Управление производственными рисками становится основным механизмом для обеспечения безопасных условий труда [1].

Управление производственными рисками — это непрерывный процесс по идентификации факторов риска, оценке параметров условий труда, формированию задач и собственно управлению рисками [1–3].

Необходимо отметить, что на предприятиях Минкомсвязи России работники подвержены различным вредным и опасным производственным факторам. Однако электромагнитное излучение в сверхвысоком частотном (далее СВЧ) диапазоне — это характерный вредный производственный фактор для предприятий рассматриваемой отрасли. Поэтому оценка производственных рисков от различного вида оборудования является важной задачей в системе обеспечения безопасности труда.

В настоящей статье приведены данные измерений плотности потока энергии от оборудования "Ракита 8" на рабочих местах. На основании полученных данных построен график зависимости плотности потока энергии от времени воздействия. На основании полученного графика сделаны выводы о наличии производственных рисков электромагнитного излучения при обслуживании оборудования. В ходе получения и обработки данных получен алгоритм управления производственными рисками электромагнитных излучений на рабочих местах на основе производственного контроля. Данный алгоритм можно использовать при оценке производственных рисков от любого источника электромагнитных излучений.

Материалы и методы решения задачи и принятые допущения

Контроль физических факторов производственной среды на рабочих местах в Волгоградском филиале ПАО "Ростелеком" является одним из элементов "предотвращения опасности" на рабочих местах [4]. Для проведения производственного контроля в Волгоградском филиале имеется аккредитованная в качестве испытательной

лаборатория в национальной системе аккредитации Служба охраны труда (приказ Росаккредитации № А-10158 от 30.11.2015 года). Наличие собственной испытательной базы является экономически оправданным мероприятием с точки зрения создания здоровых и безопасных условий труда на рабочих местах, а также для проведения производственного контроля [5].

Порядок организации и проведения производственного контроля установлен Санитарными правилами [6]. Основная цель производственного контроля — это защита человека и среды обитания от вредного влияния объектов производственного контроля.

Наличие либо отсутствие лабораторных исследований (измерений) в определенных санитарным законодательством случаях контролируется сотрудниками Роспотребнадзора.

Отсутствие протоколов лабораторных исследований (измерений) и программы производственного контроля является административным правонарушением. Ответственность за данное административное нарушение предусмотрена в статье 6.3 КоАП РФ [7].

Одним из направлений производственного контроля физических факторов производственной среды в Волгоградском филиале — это проведение измерений электромагнитных излучений на рабочих местах в СВЧ диапазоне излучения [8].

Электромагнитное излучение нельзя потрогать, человеческим взглядом нельзя увидеть. Однако превышение предельно допустимых уровней воздействия электромагнитного поля (далее ЭМП) может значительно повлиять на здоровье человека [9, 10]. Объяснить связь между ЭМП и болезнями несложно. Все биохимические процессы в клетках так или иначе зависят от электрохимических свойств участвующих в них молекул и ионов. Воздействие электромагнитного поля изменяет нормальный ход биохимических процессов, что может повлиять на здоровье человека [11]. При воздействии на организм человека ЭМП с интенсивностью, превышающей допустимый уровень, могут развиваться нарушения в деятельности сердечно-сосудистой системы, органов дыхания и пищеварения, возможно изменение состава крови и другое [12]. Поэтому регулярный производственный контроль электромагнитных

полей очень важен с точки зрения создания здоровых и безопасных условий труда на рабочих местах.

В Транспортном центре технической эксплуатации телекоммуникаций (далее ЦТЭТ) Волгоградского филиала ПАО "Ростелеком" есть радиорелейные линии связи (далее РРЛС), которые играют важную роль в отрасли связи России. Это обусловлено их преимуществами по сравнению с кабельными линиями связи [13]. Поэтому в тех случаях, когда в настоящее время или в ближайшем будущем не требуется пропускная способность более 2,5 Гбит/с, РРЛС являются хорошей альтернативой по отношению к волоконно-оптическим линиям связи.

В соответствии с Правилами по охране труда на радиорелейных линиях связи [14] в местах возможного нахождения персонала, профессионально связанного с воздействием электромагнитных полей, значения плотности потока энергии (ППЭ) ЭМП в диапазоне частот 300 МГц...300 ГГц не должны превышать максимально допустимых значений, указанных в табл. 1. Проводить измерения интенсивности излучения необходимо при максимальной мощности не реже 1 раза в год.

Требования санитарного законодательства [15] распространяются на работников, подвергающихся воздействию электромагнитных полей диапазона частот 10 кГц...300 ГГц. Исключение составляют источники ЭМП, если они не работают на открытый волновод, антенну или другой элемент, предназначенный для излучения в пространство, и их максимальная мощность, согласно паспортным данным, не превышает:

- 5,0 Вт в диапазоне частот ≥ 30 кГц...3 МГц;
- 2,0 Вт в диапазоне частот ≥ 3 МГц...30 МГц;
- 0,2 Вт в диапазоне частот ≥ 30 МГц...300 ГГц.

В Транспортном ЦТЭТ Волгоградского филиала ПАО "Ростелеком" для передачи информационного потока по радиорелейным каналам связи используется оборудование "Ракита 8" [16].

Основные технические характеристики оборудования "Ракита 8" для оценки и проведения замеров СВЧ указаны в табл. 2.

Сопоставляя действующее санитарное законодательство с техническими характеристиками оборудования "Ракита 8", приходим к выводу, что это оборудование подлежит производственному контролю,

Таблица 1

Максимально допустимое время T воздействия плотности потока энергии (ППЭ_{ПДУ}) в диапазоне частот 300 МГц...300 ГГц

T , ч	0,20 и менее	0,25	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0 и более
ППЭ _{ПДУ} , мкВт/см ²	1000	800	400	200	133	100	80	67	57	50	44	40	36	33	31	29	27	25



Таблица 2

Технические характеристики оборудования "Ракита 8"

Диапазон рабочих частот, МГц	7900...8400
Максимальная мощность сигнала передатчика на выходе, Вт, не менее	0,6

так как несет риск неблагоприятного воздействия электромагнитного излучения на организм человека в диапазоне частот ≥ 30 МГц...300 ГГц. Далее приведены расчеты по оценке этого риска.

Полученные результаты

Измерение плотности потока энергии производилось измерителем уровней электромагнитных излучений ПЗ-41. Тип антенны, применяемый при измерении, АП-1 (ППЭ). Диапазон измеряемых частот для данного типа антенны составляет 300...40 000 МГц. Пределы

измерения плотности потока энергии составляют 0,26...100 000 мкВт/см² [17]. Технические характеристики прибора подходят для измерения плотности потока энергии от оборудования "Ракита 8".

Для того чтобы определить норматив ППЭ_{ПДУ} необходимо определить время воздействия электромагнитных излучений на организм человека. Это время можно определить по нормативам на среднегодовое техническое обслуживание единицы оборудования [18], умноженное на количество закрепленного оборудования на одного человека (табл. 3).

Оборудование "Ракита 8" состоит из восьми станций: две узловые РРЛС, одна оконечная РРЛС и пять промежуточных РРЛС. Эти станции обслуживают пять человек. Время, затраченное на обслуживание РРЛС, составляет $189,2 \cdot 2 + 24,2 \cdot 1 + 24,2 \cdot 5 = 378,4 + 24,2 + 121,0 = 523,6$ ч (см. табл. 3). Время на одного человека в год составляет $523,6 : 5 = 104,72$ ч. При 40-часовой рабочей неделе рабоче

Таблица 3

Продолжительность обслуживания оборудования "Ракита 8"

№ п/п	Наименование работ	Периодичность	Продолжительность обслуживания оборудования, ч	Среднегодовая продолжительность обслуживания оборудования, ч
1	Внешний осмотр оборудования, проверка режима работы по встроенным приборам и световой сигнализации	Узловая РРЛС — ежедневно	0,3	74,1
		Промежуточная или оконечная РРЛС — 1 раз в 2 недели (при каждом посещении)	0,3	7,8
2	Проверка работы служебной и телеметрической связи	Узловая РРЛС — ежедневно	0,3	74,1
		Промежуточная или оконечная РРЛС — 1 раз в 2 недели (при каждом посещении)	0,3	7,8
3	Проверка напряжения питания	1 раз в месяц	0,3	3,6
4	Измерение выходных уровней	1 раз в год	2,0	2,0
5	Измерение мощности передатчика			
6	Градуировка автоматической регулировки уровня приемника			
7	Проверка помех анализатором спектра			
8	Измерение пульсации стабилизаторов	1 раз в год	0,5	0,5
9	Проверка свободных потоков	1 раз в год	0,3	0,3
10	Измерение группового времени задержки	1 раз в год	1,0	1,0
11	Проверка надежности заземления и крепления	1 раз в год	0,3	0,3
12	Внешний осмотр автоматов питания	1 раз в 3 месяца	0,3	0,3
13	Профилактика устройства бесперебойного питания и аккумуляторных батарей	1 раз в месяц	0,3	0,3
14	Профилактика источников резервного питания	1 раз в месяц	0,3	0,3
	ИТОГО (Узловая РРЛС/Промежуточная или оконечная РРЛС)	—	—	189,2/24,2

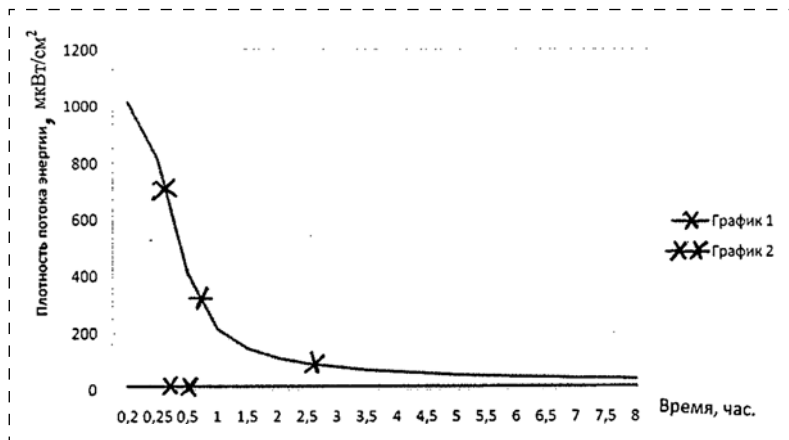


Рис. 1. Зависимость плотности потока энергии от времени воздействия

время в год составляет 1974 ч (2016 г). Таким образом, время, проведенное около оборудования "Ракита 8" одним работником, составляет в день $104,72 : 1974 \cdot 8 = 0,42$ ч. Усредняем до 0,5 ч и принимаем норматив 400 мкВт/см^2 (см. табл. 1).

Были измерены максимальные величины плотности потока энергии, зафиксированные в 2016 г. на восьми РРЛС оборудования "Ракита 8". В соответствии с методикой проведения измерений расстояние от источника было принято 0,5 м.

Проанализировав результаты измерений, выбираем наибольшую плотность потока энергии $14,17 \text{ мкВт/см}^2$.

Для анализа и оценки риска были построены графики зависимостей. На рис. 1 приведены графики зависимости плотности потока энергии от времени. График 1 — это зависимость ППЭПДУ от времени, а график 2 — это наибольшая фактически излучаемая плотность потока энергии, зафиксированная в аппаратных оборудовании "Ракита 8" в 2016 г.

Анализ полученных результатов

Проанализировав эти графики, можно констатировать, что они не имеют точек пересечения в рассматриваемой области определения. Значит, персонал может находиться в течение всей рабочей смены рядом с оборудованием "Ракита 8" и не будет подвергаться воздействию электромагнитных излучений

с уровнями, превышающими предельно допустимые.

Применяя матрицы оценки рисков, можно определить, что риск воздействия электромагнитного излучения "Мало значительный" [19, 20]. Проводить мероприятия по предотвращению риска от воздействия электромагнитного излучения не требуется.

Обобщив все этапы проведения производственного контроля, а также сопоставив и проанализировав полученные результаты, можно построить алгоритм управления производственными рисками электромагнитных излучений на рабочих местах на основе данных производственного контроля (рис. 2). Составленный алгоритм может быть использован и

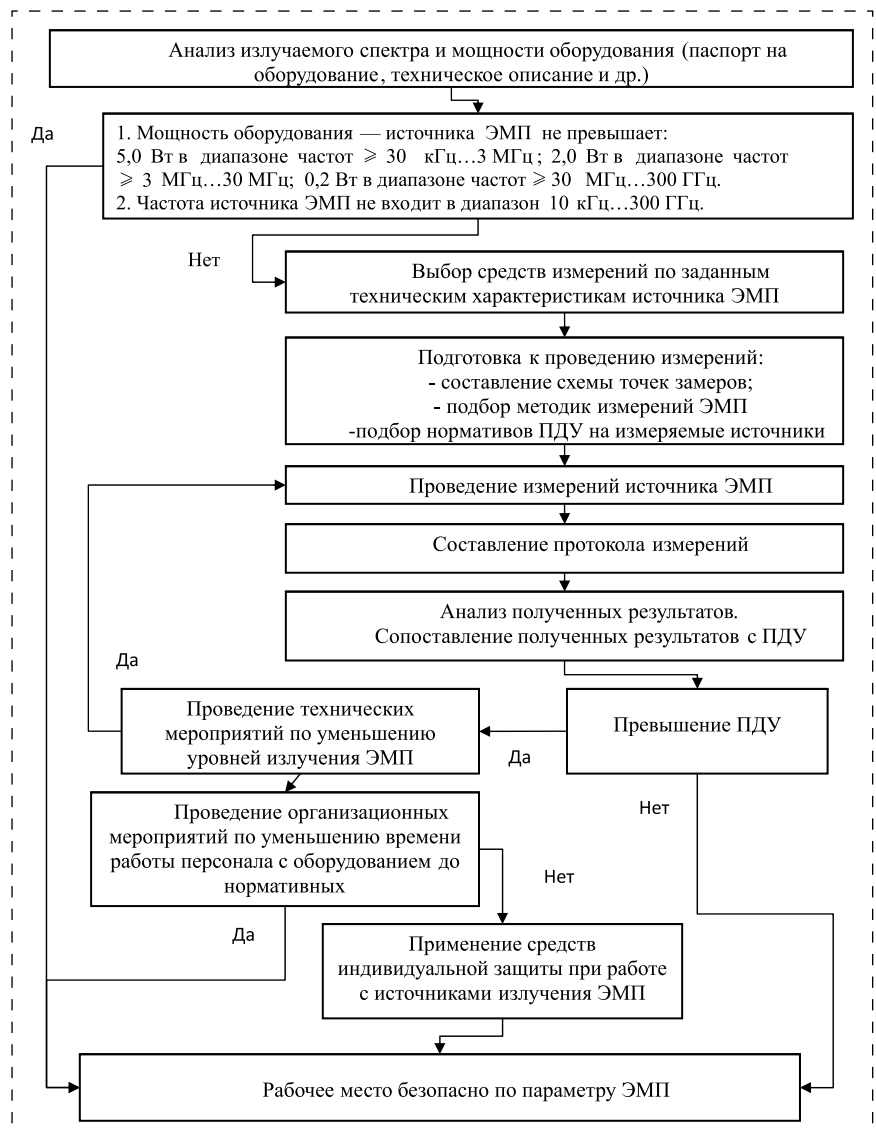


Рис. 2. Алгоритм управления производственными рисками электромагнитных излучений на рабочих местах на основе производственного контроля



в других случаях управления производственными рисками электромагнитных излучений.

Заключение

1. На основании представленных результатов можно сделать вывод, что производственные риски от воздействия электромагнитного излучения на организм работника, обслуживающего оборудование "Ракита 8" на исследуемых объектах, практически отсутствуют. Проведения мероприятий по предотвращению риска от воздействия электромагнитного излучения не требуется.

2. В результате обобщения всех этапов проведения производственного контроля, а также сопоставления и анализа полученных результатов был составлен алгоритм управления производственными рисками электромагнитных излучений на рабочих местах на основе данных производственного контроля. Данный алгоритм может быть использован во всех случаях управления производственными рисками электромагнитных излучений на рабочих местах.

Список литературы

1. **Пушенко С. Л., Страхова Н. А.** Методология управления рисками охраны труда на предприятиях стройиндустрии: Монография. — Ростов-на-Дону: ЗАО "Ростиздат", 2011. — 298 с.
2. **Пушенко С. Л.** Принципы выработки стратегии управления рисками охраны труда // "Инженерный вестник Дона". — 2012. — № 1. URL: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n1y2012/634> (дата обращения 15.08.2016).
3. **Zeng S. X., Tam V. W. Y., Tam C. M.** Towards occupational health and safety systems in the construction industry of China // Safety science. — 2008. — Т. 46. — No 8. — С. 1155—1168. URL: <http://www.sciencedirect.com> (дата обращения 15.09.2016).
4. **Сенченко В. А.** Мерительные грамоты. Технические и экономические аспекты проведения измерений физических факторов производственной среды на рабочих местах // Безопасность и охрана труда. — 2014. — № 3. — С. 37—39.
5. **Сенченко В. А.** Измерение физических факторов производственной среды на рабочих местах: технические и экономические аспекты // СанЭпидемконтроль. — 2014. — № 6. — С. 27—39.
6. **СП 1.1.1058-01** "Организация и проведение производственного контроля за соблюдением санитарных правил и выполнением санитарных противоэпидемических (профилактических) мероприятий". Утверждены Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 13.07.2001 № 18 // КонсультантПлюс: региональный информационный центр. URL: <http://www.infocom.su> (дата обращения 02.06.2016).
7. **Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях от 30.12.2001 № 195-ФЗ** // КонсультантПлюс: региональный информационный центр. URL: <http://www.infocom.su> (дата обращения 02.08.2016).

8. **Сенченко В. А.** Измерение физических факторов производственной среды на рабочих местах // Секретарь-референт. — 2015. — № 5. — С. 44—52.
9. **Новиков В. А.** Влияние электромагнитного излучения беспроводных соединений на морфологию биожидкости человека // Биомедицинская инженерия и электроника. — 2015. — № 1. URL: biofbc.esrae.ru/201-990 (дата обращения 19.05.2016).
10. **Сердюк В. С., Бакико Е. В., Зуева О. М., Коньшин Д. В.** Влияние электромагнитных излучений сверхвысокой частоты на здоровье работающих // ОНВ. — 2012. — № 1-107 (107). URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-elektromagnitnyh-izlucheniya-sverhvysokey-chastoty-na-zdorovie-rabotayuschih> (дата обращения 19.05.2016).
11. **Штрыкова Е. В.** Влияние электромагнитных полей на здоровье человека // Безопасность и охрана труда. — 2015. — № 4. — С. 50—52.
12. **Нефедов Л. И., Петренко Ю. А., Кононыхин А. С.** Модель размещения офисного оборудования с учетом электромагнитных излучений радиочастотного диапазона // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университет (ХНАДУ). — 2012. — Вып. 56. — № 4. — С. 134—137.
13. **Бабин Н. Н.** Исследование методов оценки влияния замираний сигналов на показатели качества интервалов цифровых радиорелейных линий связи: дис. ... канд. техн. наук. СПбГУТ им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, СПб., 2013.
14. **Приказ Минсвязи РФ от 25.12.2002 N 148** "Об утверждении и введении в действие Правил по охране труда при работах на радиорелейных линиях связи" (вместе с "ПОТ РО-45-010-2002...") // КонсультантПлюс: региональный информационный центр. URL: <http://www.infocom.su> (дата обращения 02.08.2016).
15. **Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СаНПиН 3359-16** "Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах". Утверждены Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 21.06.2016 № 81.
16. **ТУ 45-312.008.037ТУ—89** Аппаратура "РАКИТА-8". Статив ОЦФ-34. URL: <http://www.docum.ru/tu.asp?id=69747> (дата обращения 19.08.2016).
17. **Технические характеристики** антенных преобразователей (АП) прибора ПЗ-41. URL: <http://ekosf.ru/120-produktsiya/fizicheskie-factory/izmerenie-parametrov-elektromagnitnykh-polej/pribory-dlya-izmereniya-emp-svch-do-300-0-ggts/40-izmeritel-svch-izlucheniya-p3-41?gclid=Cj0KEQjw9IS-BRC-4qZXagbLs6uMBEiQAYNBh-zzDsHmWekkTKv5KB1KE-D2ERCt5sc-gfK7BKDml7i3saAnLW8P8NAQ#технические-характеристики-2> (дата обращения 19.08.2016).
18. **Правила** технической эксплуатации первичных сетей взаимоувязанной сети связи Российской Федерации. Книга 4, часть 1. Правила технической эксплуатации радиорелейных линий передачи прямой видимости. Введены в действие Приказом Госкомсвязи России от 19 октября 1998 г. № 187. URL: <http://docs.cntd.ru/document/901936215> (дата обращения 19.08.2016).
19. **Крюков Н. П., Истомина С. В., Жукова С. А., Турченко В. Н.** Система управления профессиональными рисками в организациях: подходы к разработке и внедрению.— Саратов: Изд-во Поволжского межрегионального филиала ВНИИ охраны и экономики труда Минтруда России, 2015. — 110 с.
20. **Федорев А. Г.** Системный анализ сущности и структуры "риска" в сфере обеспечения безопасности труда // Безопасность в техносфере. — 2014. — № 1. — С. 15—23, DOI: 10.12737/2774.

V. A. Senchenko, Leading Specialist, e-mail: Vladimir_Senchenko@vlg.south.rt.ru, Volgograd Center of Labor Protection and Ecology, **S. T. Papaev**, Professor of Chair, Academy of Labor and Social Relations, Moscow

Assessment of Industrial Hazards of Electromagnetic Radiations on the Basis of Production Supervision

In case of the organization of labor protection at the entities recently management of industrial hazards becomes the main mechanism in providing safe working conditions on a workplace. Control of physical factors of the production environment on workplaces in the Volgograd branch PJSC Rostelecom is one of elements of "prevention of danger" on workplaces. Control of physical factors on workplaces in compliance with the current legislation is an obligatory action. In the Volgograd branch measurement of physical factors to be taken within production supervision. In this article the legislation of carrying out production supervision is analysed. Information on administrative punishments for lack of protocols of laboratory researches (measurements) and the program of production supervision is provided. Data of measurements of density of a flow of energy from the equipment the Brittle willow 8 on workplaces are analysed. The annual average time spent for maintenance of a unit of equipment the Brittle willow 8 is analysed. The schedule of dependence of density of a flow of energy from impact time is constructed. The control algorithm of industrial hazards of electromagnetic radiations is given in workplaces on the basis of production supervision. Conclusions about availability of industrial hazards of electromagnetic radiation in case of equipment maintenance are drawn.

Keywords: labor safety, electromagnetic radiation, production supervision, energy flow density, an industrial hazard

References

1. **Pushenko S. L., Strakhova N. A.** Metodologiya upravleniya riskami okhrany truda na predpriyatiyakh stroiindustrii: Monografiya. Rostov-na-Donu: ZAO "Rostizdat", 2011. 298 p.
2. **Pushenko S. L.** Printsipy vyrabotki strategii upravleniya riskami okhrany truda. *Inzhenernyi vestnik Dona*. 2012. No. 1. URL: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/nly2012/634> (dste of access 15.08.2016).
3. **Zeng S. X., Tam V. W. Y., Tam C. M.** Towards occupational health and safety systems in the construction industry of China. *Safety science*. 2008. T. 46. No. 8. P. 1155–1168. URL: <http://www.sciencedirect.com> (date of access 15.08.2016).
4. **Senchenko V. A.** Meritel'nye gramoty. Tekhnicheskie i ekonomicheskie aspekty provedeniya izmereniy fizicheskikh faktorov proizvodstvennoy sredy na rabochikh mestakh. *Bezopasnost' i okhrana truda*. 2014. No. 3. P. 37–39.
5. **Senchenko V. A.** Izmerenie fizicheskikh faktorov proizvodstvennoy sredy na rabochikh mestakh: tekhnicheskie i ekonomicheskie aspekty. *SanEpidemkontrol'*. 2014. No. 6. P. 27–39.
6. **SP 1.1.1058-01** "Organizatsiya i provedenie proizvodstvennogo kontrolya za sobliudeniye sanitarnykh pravil i vypolneniem sanitarnykh protivoepidemicheskikh (profilakticheskikh) meropriyatiy". Utochneniy Postanovleniem Glavnogo gosudarstvennogo sanitarnogo vracha RF ot 13.07.2001 No. 18. *Konsul'tantPlus*: regional'nyi informatsionnyi tsentr. URL: <http://www.infocom.su> (date of access 02.06.2016).
7. **Kodeks Rossiiskoi Federatsii ob administrativnykh pravonarusheniyaikh** ot 30.12.2001 No. 195-FZ. *Konsul'tantPlus*: regional'nyi informatsionnyi tsentr. URL: <http://www.infocom.su> (date of access 02.08.2016).
8. **Senchenko V. A.** Izmerenie fizicheskikh faktorov proizvodstvennoy sredy na rabochikh mestakh. *Sekretar'-referent*. 2015. No. 5. P. 44–52.
9. **Novikov V. A.** Vliyeniye elektromagnitnogo izlucheniya besprovodnykh soedineniy na morfologiyu biozhidkosti cheloveka. *Biomeditsinskaya inzheneriya i elektronika*. 2015. No. 1. URL: <http://biofbs.esrae.ru/201-990> (date of access 19.05.2016).
10. **Serdiuk V. S., Bakiko E. V., Zueva O. M., Kon'shin D. V.** Vliyeniye elektromagnitnykh izlucheniye sverkhvysokoy chastoty na zdorov'e rabotaiushchikh. *ONV*. 2012. No. 1-107 (107). URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/vliyeniye-elektromagnitnykh-izlucheniye-sverkhvysokoy-chastoty-na-zdorovie-rabotayuschih> (date of access 19.05.2016).
11. **Shtrykova E. V.** Vliyeniye elektromagnitnykh polei na zdorov'e cheloveka. *Bezopasnost' i okhrana truda*. 2015. No. 4. P. 50–52.
12. **Nefedov L. I., Petrenko Iu. A., Kononykhin A. S.** Model' razmeshcheniya ofisnogo oborudovaniya s uchedom elektromagnitnykh izlucheniye radiochastotnogo diapazona // *Vestnik Khar'kovskogo natsional'nogo avtomobil'no-doroghnogo universiteta*. 2012. Vyp. 56. No. 4. P. 134–137.
13. **Babin N. N.** Issledovaniye metodov otsenki vliyeniya zamiraniy signalov na pokazateli kachestva intervalov tsifrovyykh radioreleinykh liniy svyazi: dis. kand. tekhn. nauk. SPbGUT im. prof. M. A. Bonch-Bruевичa. Saint-Petersburg, 2013.
14. **Prikaz** Minsvizi RF ot 25.12.2002 No. 148 "Ob utverzhdenii i vvedenii v deystvie Pravil po okhrane truda pri rabotakh na radioreleinykh liniyakh svyazi" (vmeste s "POT RO-45-010-2002..."). *Konsul'tantPlus*: regional'nyi informatsionnyi tsentr. URL: <http://www.infocom.su> (date of access 02.08.2016).
15. **Sanitarno-epidemiologicheskie pravila** SanPiN 3359-16 "Sanitarno-epidemiologicheskie trebovaniya k fizicheskim faktoram na rabochih mestah". Utochneniy Postanovleniem Glavnogo gosudarstvennogo sanitarnogo vracha RF 21.06.20016 No. 81. *Konsul'tantPlus*: regional'nyi informatsionnyi tsentr. URL: <http://www.infocom.su> (date of access 02.08.2016).
16. **TU 45-3G2.008.037TU-89** Apparatura "RAKITA-8". Stativ OTsF-34 URL: <http://www.docum.ru/tu.asp?id=69747> (date of access 19.08.2016).
17. **Tekhnicheskie kharakteristiki** antenykh preobrazovatelei (AP) pribora P3-41 // URL: <http://ekosf.ru/120-produktsiya/fizicheskoe-factory/izmerenie-parametrov-elektromagnitnykh-polej/pribory-dlya-izmereniya-emp-svch-do-300-0-ggts/40-izmeritel-svch-izlucheniya-p3-41?gclid=Cj0KEQjw9IS-BRC4qZXagbLs6uM-BEiQAYHBh-zzDsHmWekkTKv5KB1KED2ERcT5sc-gfK-7BKDml7i3saAnLW8P8HAQ#tekhnichekie-kharakteristiki-2> (date of access 19.08.2016).
18. **Pravila** tekhnicheskoi ekspluatatsii pervichnykh setei vzaimoviazannoi seti svyazi Rossiiskoi Federatsii. Kniga 4, chast' 1. Pravila tekhnicheskoi ekspluatatsii radioreleinykh liniy poredachi priamoi vidimosti, vvedeny v deystvie Prikaz Goskomsvizi Rossii ot 19 oktiabria 1998 goda No. 187. URL: <http://docs.cntd.ru/document/901936215> (date of access 19.08.2016).
19. **Kriukov N. P., Istomin S. V., Zhukova S. A., Turchenko V. N.** Sistema upravleniya professional'nymi riskami v organizatsiyakh: podkhody k razrabotke i vnedreniyu. Saratov: Izdvo Povolzhskogo mezhtsebnogo filiala FGBU "VNII okhrany i ekonomiki truda" Mintruda Rossii, 2015. 110 p.
20. **Fedorets A. G.** Sistemnyi analiz sushchnosti i struktury "riska" v sfere obespecheniya bezopasnosti truda. *Bezopasnost' v tekhnosfere*. 2014. No. 1. P. 15–23. DOI: 10.12737/2774.

УДК 622.7 (073)

Е. Т. Воронов, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой, **П. Б. Авдеев**, д-р техн. наук, проф., декан горного факультета, **И. А. Бондарь**, канд. техн. наук, доц. кафедры, e-mail: ira.bondar.49@mail.ru, Забайкальский государственный университет, Чита

Минералосберегающая геотехнология добычи ценного самоцветного минерального сырья

Рассмотрены "щадящие" технологии добычи самоцветного минерального сырья на примере месторождений Забайкалья. Обоснованы принципы обеспечения сохранности кристаллического и поделочного самоцветного сырья на основе снижения сейсмического воздействия буровзрывных работ на стадии вскрышных и добычных горных работ. Приведено теоретическое обоснование применения экранирующей контурной щели и безопасных расстояний шпуровых зарядов до продуктивной зоны самоцветного кристаллосырья в процессе очистных работ.

Для снижения негативного влияния взрывных работ на качество ценного ювелирного сырья при открытой разработке Малханского месторождения цветного турмалина (Забайкальский край) теоретически разработан комплекс следующих защитных мероприятий: взрывание контурных шпуровых зарядов на безопасном расстоянии от продуктивной зоны; предварительное формирование экранирующей щели между врезной траншеей и продуктивной жилой для гашения сейсмических волн; применение шпуровых зарядов с серповидными зазорами, расположенных в направлении турмалиноносной пегматитовой жилы.

На основе рационального сочетания буровзрывных и невзрывных методов отбойки горных пород предложена щадящая технология добычи цветного турмалина, включающая три стадии: а) на стадии вскрытия продуктивных пегматитовых зон используются щадящие параметры буровзрывных работ с использованием защитных экранов; б) на стадии минералосберегающего вскрытия турмалиноносных миарол (гнезд) используются невзрывные методы на основе применения невзрывных разрушающих составов или клинового устройства; в) после вскрытия гнезд осуществляется ручная выборка цветного турмалина с последующей его сортировкой на кондиционные сорта.

Ключевые слова: камнесамоцветное сырье, турмалин, кристаллосберегающие геотехнологии, буровзрывные работы, продуктивная зона, экранирующая щель, контурное взрывание

Актуальность и состояние изученности проблемы

В конце XX века в Восточной Сибири открыт ряд уникальных месторождений ценного ювелирного и камнесамоцветного сырья (Малханское месторождение цветного турмалина; Инаглинское месторождение ювелирного хромдиопсида; месторождение чароита "Сиреневый камень" и др.). При всем разнообразии как самих полезных ископаемых с точки зрения их свойств, характеристик, практического использования, так и их генезиса и условий залегания, все они объединяются одним общим к ним требованием со стороны промышленности — они должны извлекаться из недр неповрежденными.

Поэтому одной из главных проблем при добыче ювелирных и поделочных камней является обеспечение максимальной кристаллосохранности,

их естественной целостности и монолитности. Учитывая, что подавляющее большинство камнесамоцветного и ювелирного сырья залегает в крепких вмещающих породах, требующих применения буровзрывных работ, особую актуальность приобретает разработка "щадящих" буровзрывных технологий при эксплуатации таких месторождений. Применение высокобризантных взрывчатых веществ для месторождений самоцветов губительно из-за образования макро- и микротрещин, препятствующих использованию ценного ювелирно-поделочного сырья по своему назначению.

Для добычи облицовочного камнесамоцветного сырья (турмалина, хромдиопсида, чароита, нефрита и т.д.) широко применяется буроклиновый способ [1, 2]. Однако данный способ отличается большой трудоемкостью и значительной

продолжительностью горноподготовительных и очистных работ.

Для добычи камнесамоцветного сырья в крепких породах применяются шадящие буровзрывные технологии. В настоящее время имеется много работ, посвященных проблеме управления действием взрыва, и достигнуты положительные результаты [3–5]. Наиболее эффективным способом снижения действия взрыва на камнесамоцветное сырье является предварительное формирование экранирующей щели при помощи малых зарядов ВВ, расположенных в шпурах, пробуренных на небольшом расстоянии друг от друга так, чтобы действие этих зарядов ограничивалось межшпуровым пространством и не затрагивало контурной части продуктивных зон.

По данным отечественной литературы [6–8], большое влияние на снижение негативного воздействия взрыва на качество камнесамоцветного сырья оказывает экранирование взрывных волн, достигаемое созданием вокруг зарядов разрыхленной зоны. Однако используемые методы сейсмобезопасной технологии ведения взрывных работ, основанные на прогрессивном экранированном взрывании, и ее технологические схемы не учитывают совокупное влияние процессов экранирования на области, расположенные до экрана, за экраном и в самом экране.

Результаты теоретических и производственных исследований

Теоретическое обоснование и производственные испытания рациональных способов защиты ценного самоцветного сырья от действия взрывных работ проведены на базе открытой разработки Малханского месторождения цветного турмалина. Для решения поставленных задач были использованы аналитические исследования, производственные испытания, теоретическое обобщение и математическая обработка экспериментальных данных.

Специфика и высокая стоимость ювелирного сырья потребовали особого подхода к технологии добычи цветного турмалина. Параметры буровзрывных работ должны обеспечить минимальную передачу энергии в продуктивную зону.

Для снижения негативного влияния взрывных работ на кристаллическое минеральное сырье при проходке врезной траншеи разработан комплекс следующих защитных мероприятий: взрывание контурных шпуровых зарядов на безопасном расстоянии от продуктивной зоны; предварительное формирование экранирующей щели между врезной траншеей и продуктивной зоной для гашения сейсмозрывных волн. На базе теоретических

представлений авторов работ [4, 9, 10] о разрушении горного массива взрывом проведено исследование и обоснование безопасного расстояния контурных шпуровых зарядов до продуктивной турмалиноносной зоны.

При взрывании шпуровых зарядов взрывчатых веществ (ВВ) в массиве горных пород формируется поле напряжений, интенсивность которого убывает с расстоянием в зависимости от физико-технических свойств взрываемого массива и параметров буровзрывных работ. На открытых и подземных горных работах определяющим разрушающим фактором является квазистатическое давление продуктов детонации при взрыве, которое обеспечивает упруго-пластические деформации горного массива. При этом "пластические" деформации происходят на берегах естественных макро- или микротрещин, а упругие деформации в отдельностях массива горных пород — на зернах минералов.

Для условий Малханского месторождения при выборе безопасного расстояния от отбойных зарядов ВВ до охраняемой продуктивной зоны использовался закон геометрического подобия. Поскольку массив пегматитовых гранитов Малханского месторождения является практически монолитным по отношению к диаметру отбойных шпуров (40 мм), то можно сказать, что характер деформационных процессов в таком массиве определяется параметром микротрещиноватости как трещин II порядка.

Величина относительных деформаций трещиноватого горного массива определялась по формуле:

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{\pi}}{8} \frac{D \rho_B d_{ш}}{m c R} \left(1 - \frac{\mu \nu}{1 - \nu} \right) \Phi^{0,5} - \frac{\mu P}{m c^2} \Phi, \quad (1)$$

где D — скорость детонации взрывчатого вещества, м/с (для аммонита $D = 5 \cdot 10^3$ м/с); ρ_B — плотность заряжения шпуров, кг/м³ (для рыхления породы принимается в пределах 0,4...0,6 кг/м³); $d_{ш}$ — диаметр шпура, м (для условий Малханского месторождения составляет 0,04 м); m — объемная масса горных пород, кг/м³ (для пегматитовых гранитов $m = 3$ т/м³); c — скорость продольной волны в горном массиве, м/с (для условий Малханского месторождения составляет $4 \cdot 10^3$ м/с); μ — коэффициент трения горных пород (для пегматитовых гранитов $\mu = 0,65$); ν — коэффициент Пуассона горных пород (для пегматитовых гранитов $\nu = 0,15$); R — расстояние от линии контурных шпуровых зарядов до продуктивной зоны, м; Φ — показатель трещиноватости естественного горного массива (для монолитных пегматитовых гранитов $\Phi = 6$); P — давление в горном массиве, МПа (для открытых горных работ $P = 0$).



Величина $\frac{\mu v}{1 - v}$ при взрыве в монолитном горном массиве равна 0, так как эффект трения наблюдается между естественными отдельностями при их перемещении под действием взрыва.

На основании анализа данных литературы и натуральных наблюдений рост микротрещин, вероятно, будет происходить в том случае, если на первой стадии нагрузки микротрещины будут закрываться. После снятия нагрузки, в результате упругой реакции, трещины раскрываются с увеличением их длины, т. е. предельная величина деформации будет в пределах единицы:

$$\varepsilon_{\text{п}} = \frac{l}{d_{\text{см}}}, \quad (2)$$

где l — средняя величина раскрытия микротрещин в горной породе до взрыва, см (для монолитных пегматитов l колеблется в пределах 0,5...2 см); $d_{\text{см}}$ — среднее расстояние между микротрещинами, см (для монолитных пегматитов $d_{\text{см}}$ колеблется в пределах 0,5...2 см).

Учитывая вышесказанное, с учетом зависимостей (1) и (2) безопасное расстояние от взрываемых шпуров, m , свыше которого рост микротрещин не будет наблюдаться, рекомендуется определять по формуле:

$$R_6 = \frac{\sqrt{\pi}}{8} \frac{D_{\text{рв}} d_{\text{ш}}}{mc} \Phi^{0,5}. \quad (3)$$

Величина R_6 определяется по формуле (3) при взрыве одиночного шпура в полубезграничном массиве. При последовательном короткозамедленном взрывании линии шпуровых зарядов ВВ, находящихся вблизи открытой поверхности, необходимо ввести в правую часть формулы (3) следующий комплекс дополнительных коэффициентов: K_1 — коэффициент усиления действия взрыва группы зарядов ВВ (по данным экспериментальных исследований для условий Малханского месторождения $K_1 = 2...3$); K_2 — коэффициент усиления при короткозамедленном взрывании (по данным экспериментальных исследований $K_2 = 2...3$); $K_{\text{от}}$ — коэффициент отдачи, определяющий, какая часть взрывной энергии перераспределяется в законтурную часть массива, рассчитываемый по формуле:

$$K_{\text{от}} = \left(1 - \frac{an}{2\pi W}\right)^{0,5}, \quad (4)$$

где a — расстояние между шпурами, m (принимается $a = 0,4...0,6$ м); W — расстояния между линиями шпуров

в предельном положении до продуктивной зоны, m (при ведении взрывных работ на Малханском месторождении обычно принимается $a = W$); n — число взаимодействующих зарядов в группе (при ведении взрывных работ на Малханском месторождении обычно принимается $n = 3$).

С учетом введенных коэффициентов формулу (3) необходимо преобразовать:

$$R_6 = \frac{\sqrt{\pi}}{8} \frac{D_{\text{рв}} d_{\text{ш}}}{mc} \Phi^{0,5} K_1 K_2 K_{\text{от}}. \quad (5)$$

На основании результатов проведенных экспериментальных работ для расчета безопасного расстояния вскрывающих короткозамедленных шпуровых зарядов для горнотехнических условий Малханского месторождения рекомендуется более упрощенная формула:

$$R_6 = 2 \frac{D_{\text{рв}} d_{\text{ш}}}{mc} \cdot 10^2. \quad (6)$$

Экспериментальными исследованиями в производственных условиях установлено, что для условий Малханского месторождения при использовании аммонита безопасное расстояние от контурных шпуров до продуктивной зоны составляет около 2,0 м.

На основании математических расчетов для различных ВВ (аммонит 6ЖВ, детонит М, аммонит скальный № 1 и угленит Э-6) получена зависимость безопасного расстояния контурных шпуров от продуктивной зоны (R_6) от скорости детонации ВВ (рис. 1).

Анализ полученных данных показывает, что ВВ с высокими детонационными характеристиками (скальный аммонит № 1, детонит М) наиболее сильно разрушают окружающий массив. Наименьшее разрушение создает малобризантное ВВ (угленит Э-6).

В качестве дополнительного метода защиты ценного кристаллосырья предлагается принцип

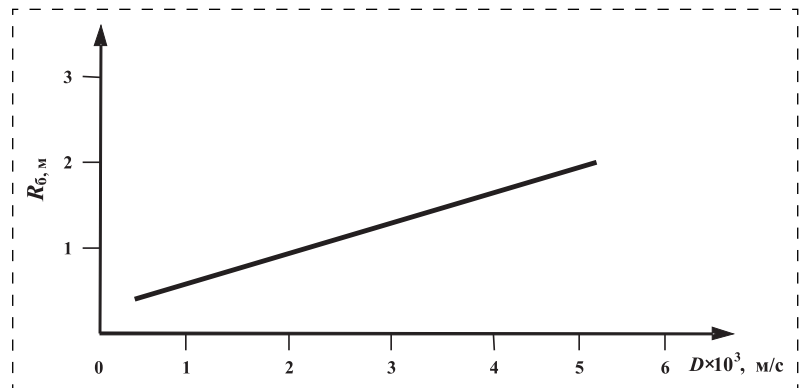


Рис. 1. Зависимость безопасного расстояния R_6 от скорости детонации ВВ D

экранирования, т. е. предварительное формирование экранирующей щели между линией взрывааемых шпуров и продуктивной зоны.

Экраном называется искусственное препятствие, при встрече с которым взрывные волны (ударные волны напряжений и сейсмические) отражаются, поглощаются, теряют энергию и становятся безопасными для продуктивной турмалиноносной зоны. Экран формируют между линией шпуровых зарядов и охраняемой продуктивной зоной. Наиболее распространенным является экран в виде щели, заполненной взорванной (рыхлой) породой.

Для оценки влияния щели на степень снижения напряжения решена задача на основе закона сохранения энергии.

Упругая составляющая энергии падающей волны деформаций (W_y) расходуется на деформирование разрушенных взрывом пород в контурной щели ($W_{щ}$) и упруго-пластические деформации массива за пределами щели ($W_{пр}$), что изображено на рис. 2, т. е. формула определения W_y будет иметь вид:

$$W_y = W_{щ} + W_{пр}. \quad (7)$$

Упругая составляющая энергии падающей волны:

$$W_y = \frac{\sigma_1^2}{2E} \Phi R_1 S, \quad (8)$$

где σ_1 — напряжение на фронте волны деформаций вблизи щели, МПа; E — модуль упругости

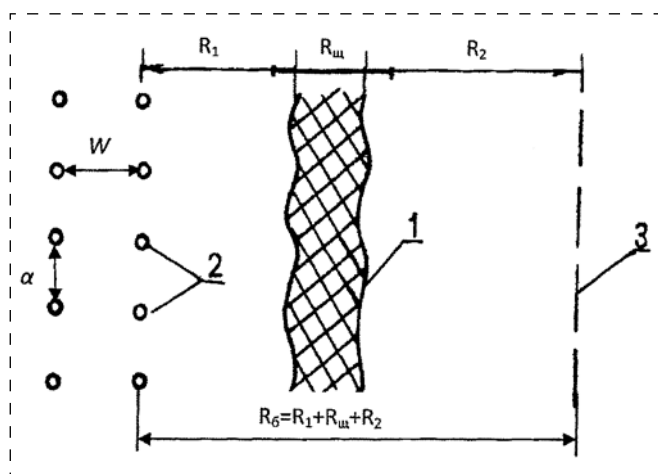


Рис. 2. Схема к определению потерь энергии взрыва экранирующей щели:

1 — экранирующая щель; 2 — линия заряженных шпуров в предельном положении; 3 — граница безопасного расстояния от взрывааемых шпуров до продуктивной зоны; R_1 — расстояние от линии заряженных шпуров до экранирующей щели, м; $R_{щ}$ — ширина экранирующей щели, м; R_2 — расстояние от экранирующей щели до продуктивной зоны, м; α — расстояние между шпурами в линии зарядов, м; W — расстояние между линиями заряженных шпуров в предельном положении, м

горной породы, МПа (для пегматитовых гранитов $E = 0,5 \cdot 10^5$ МПа); R_1 — расстояние от линии заряженных шпуров до экранирующей щели, м; S — элементарная площадка, перпендикулярная направлению действия взрыва, m^2 (принимается равной $1 m^2$).

Потери энергии волны деформаций в щели определяются по формуле

$$W_{щ} = \frac{\sigma_1^2}{2E_p} \Phi_{щ} R_{щ} S, \quad (9)$$

где σ_1 — напряжение в волне деформаций на дальней от зарядов ВВ границе щели, МПа; E_p — модуль упругости кусков породы в щели, МПа (принимается $E_p = E = 0,5 \cdot 10^5$ МПа); $\Phi_{щ}$ — показатель рыхления (деформируемости) породы в щели (для щели $\Phi_{щ} = 125$).

Затраты энергии на упруго-пластические деформации массива за пределами щели определяются по формуле:

$$W_{пр} = \frac{\sigma_2^2}{2E} \Phi R_2 S, \quad (10)$$

где σ_2 — напряжение в волне деформаций за экранирующей щелью, МПа; Φ — показатель трещиноватости естественного горного массива (принимается $\Phi = 6$).

Подставляя формулы (8)–(10) в формулу (7) и решая уравнение при условии $E_p = E$, получим формулу для расчета величины отношения напряжений в падающей волне деформаций до экранирующей щели, показывающую кратность снижения величины напряжения в упругой волне, проходящей через щель:

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \left(\frac{\Phi_{щ} R_{щ}}{R_1} + \Phi \frac{R_1}{R_2} \right)^{0,5}. \quad (11)$$

Расчеты по данной формуле для горнотехнических условий Малханского месторождения показывают, что формирование экранирующей контурной щели между линией взрывааемых шпуров и продуктивной зоной позволяет снизить напряжение на фронте волны деформаций после прохождения ею экранирующей щели в 3...3,5 раза.

Расчеты проведены при следующих основных показателях: показатель трещиноватости монолитного пегматитового гранита $\Phi = 6$; коэффициент рыхления (деформации) породы в щели $\Phi_{щ} = 125$; расстояние от линии взрывааемых шпуров до щели $R_1 = 1$ м; расстояние

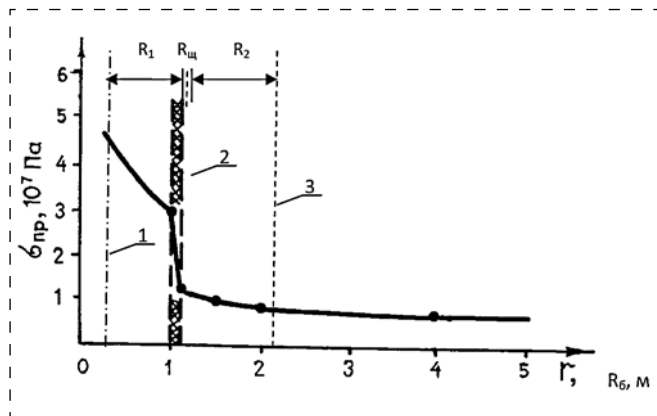


Рис. 3. Характер изменения сжимающего напряжения упругих волн $\sigma_{пр}$ при взрывании шпуровых зарядов при переходе через экранирующую щель:

1 — линия шпуровых зарядов в предельном положении до продуктивной зоны; 2 — местоположение экранирующей щели; 3 — граница продуктивной турмалиноносной зоны; R_6 — безопасное расстояние шпуровых зарядов до продуктивной зоны, м ($R_6 = R_1 + R_{щ} + R_2$)

от экранирующей щели до продуктивной зоны $R_2 = 1$ м. Ширина экранирующей щели $R_{щ} = 0,05$ м. Динамика снижения напряжения ударной волны от линии шпуровых зарядов в предельном положении до продуктивной турмалиноносной зоны приведена на рис. 3.

Анализ графика на рис. 3 показывает, что даже небольшая щель размером 0,05 м значительно снижает величину сжимающего напряжения и значительно повышает качество (сохранность) ценного ювелирного и коллекционного минерального сырья при вскрытии продуктивной турмалиноносной зоны. Наиболее эффективно можно управлять процессом поглощения волн деформаций путем увеличения ширины щели ($R_{щ}$) и степенью раздробленности горной породы в экранирующей щели, что характеризуется показателем $\Phi_{щ}$. Показатель деформации горных пород в щели составляет $\Phi_{щ} = 125...150$.

Экранирующие щелевые впадины представляют собой слой разрыхленных взрывом пород и располагаются между продуктивной зоной и основным зарядом взрывчатого вещества для прохода врезной траншеи. Заряды, используемые для образования экранирующих впадин, имеют значительно меньшую массу, чем основные заряды, и действие их является более "безопасным" для продуктивной зоны. Экранирующее действие щелей основано на отражении энергии падающей волны от поверхности раздела двух сред с различными акустическими жесткостями и значительным поглощением энергии упругих

взрывных волн в разрушенном (амортизирующем) слое.

По данным производственных исследований, оптимальные параметры буровзрывных работ для формирования экрана имеют следующие значения: расстояние между шпурами 0,4 м, масса заряда на 1 м шпура 0,4...0,6 кг. Глубина шпуров, создающих экран, должна быть на 1 м больше глубины основных шпуров, предназначенных для рыхления массива. В этом случае обеспечивается надежное экранирование нижней части продуктивной зоны.

Заключение. При разработке месторождений ценного камнесамоцветного сырья защита продуктивных зон кристаллосырья от негативного действия взрывов на стадии вскрышных работ может быть обеспечена внедрением щадящей технологии буровзрывных работ, предусматривающей одновременное взрывание контурных шпуровых зарядов на безопасном расстоянии и опережающее щелеобразование для экранирования ударной взрывной волны.

Список литературы

1. Бакка Н. Т., Редчиц В. С. Особенности добычи блоков камня с помощью НРС. Сер. Промышленность нерудных и неметаллорудных материалов // Экспресс-информация. — М.: ВНИИЭСМ, 1991. — Вып. 1. — 32 с.
2. Карасев Ю. Г. Технология горных работ на карьерах облицовочного камня. — М.: Недра, 1995. — 198 с.
3. Боровиков В. А., Ванягин И. Ф. Моделирование действия взрыва при разрушении горных пород. — М.: Недра, 1990. — 231 с.
4. Кутузов Б. Н., Тюпин В. Н. Определение размеров зон деформирования трещиноватого массива взрывом заряда ВВ // Изв. вузов. Горный журнал. — 1983. — № 4. — С. 53—59.
5. Петросян М. И. Разрушение горных пород взрывной отбойкой. — М.: Недра, 1991. — 143 с.
6. Воронов Е. Т. Кристаллосберегающая технология добычи цветного турмалина // Горный журнал. — 2010. — № 5. — С. 42—44.
7. Волох А. С. Основы управления действием взрыва с помощью экранирования. — М.: Наука, 1988. — 224 с.
8. Ханукаев А. И. Физические процессы при отбойке горных пород взрывом. — М.: Недра, 1974. — 224 с.
9. Мосинец В. Н. Дробящее и сейсмическое действие взрыва в горных породах. — М.: Недра, 1976. — 190 с.
10. Тюпин В. Н. Определение безопасных расстояний при ведении взрывных работ вблизи искусственных и естественных полостей в трещиноватых массивах горных пород // Вестник ЧитГУ. — 2004. — № 36. — С. 121—129.

E. T. Voronov, Professor, **P. B. Avdeev**, Professor, **I. A. Bondar**, Associate Professor,
e-mail: ira.bondar.49@mail.ru, Transbaikal State University, Chita

Mineral-Saving Geotechnology of Jewelry Semiprecious Mineral Raw Extraction

One of the main problems in mining jewelry mineral raw materials is providing maximum crystal's preservation, natural integrity and solidity. The most of semi-precious stones raw materials occurs in enclosing rock, requiring application of drilling-and-blasting operations. Considering it, special relevance is acquired by development of the "sparing" technologies of such deposits mining. Use of high explosive for deposits of semi-precious stones is pernicious because of macro and micro crack formation which interfere with use of valuable jewelry and ornamental raw materials according to the destination.

In the article "sparing" technologies of semiprecious mineral raw materials extraction on the example of Transbaikal deposits are described. The principles of ensuring the preservation of crystalline and ornamental semiprecious raw materials on the basis of reduction of the seismic action of blasting at the stage of stripping and mining of mining operations are justified. The theoretical substantiation of screen crack and safety distances of blast hole charges use to the productive zones of semiprecious crystalline raw materials in the process of clearing works is given.

The complex of protective measures is theoretically reasonable and test for decrease in a negative effect of shot firing works on quality of valuable jewelry raw materials in case of opencast mining of the Malkhansky deposit of color tourmaline (Zabaykalsky region). The complex of protective measures: explosion of contour blast-hole charge at safe distance from a productive zone; previously formation of the screen crack between a working trench and a productive vein for killing of seismoblast waves; use the blast-hole charge with falcular located in the direction of a tourmaline-pegmatite vein.

It is established based on the spending experimental investigation that in mining jewelry mineral raw materials is inappropriately to apply explosive with high detonation characteristics (rocky ammonite No. 1, detonit M) because of strong destruction the tourmaline pockets. It is recommended to use low-brisant explosive.

There are determined the optimum parameters of drilling and blasting works for forming of the seism safe screen according to production investigation. The distance between blast-hole has to be 0, 4 meter; the mass of a charge is at 1 meter of the blast-hole 0, 6-0, 8 kg. Big values are accepted for creation of the destroyed layer, and smaller — for creation of a crack. Depths of the blast-hole creating the screen shall be on 1-2 meters are more than depth of the main blast-holes who intended for massif ripping. It is provided the safe screening of the lower part in productive zone in this case.

On the basis of rational integration of blasting and non-explosive methods breaking rocks proposed sparing technology colored tourmaline mining involves three stages: a) at the stage of opening of productive pegmatitic area used sparing blasting parameters using shields; b) at the stage of opening-saving minerals containing tourmaline miarol (nests) used non-explosive methods based on the use of non-explosive destructive compounds or wedge device; c) after opening the nests made of colored tourmaline manual sampling with subsequent sorting to sort conditioning.

Keywords: semiprecious stone minerals, tourmaline, crystal-saving geotechnologies, technology of blasting, productive area, screen crack, contour explosion

References

1. **Bakka N. T., Redchits V. S.** Osobennosti dobychi blokov kamnja s pomoshh'ju NRS. Serija Promyshlennost' nerudnyh i metallorudnyh materialov. *Ekspress-informatsiya*. Moscow: VNIIESM, 1991. Vyp. 1. 32 p.
2. **Karasev Yu. G.** Tekhnologiya gornyx rabot na karierakh oblitovochnogo kamnya. Moscow: Nedra, 1995. 198 p.
3. **Borovikov V. A., Vanyagin I. F.** Modelirovanie deistvia vzryva pri razrushenii gornyx porod. Moscow: Nedra, 1990. 231 p.
4. **Kutuzov B. N., Tyupin V. N.** Opredelenie razmerov zon deformirovaniya treshhinovatogo massiva vzryvom zarjada vzrychatogo veshhestva. *Izvestiya vuzov. Gorniy zhurnal*. 1983. No. 4. — P. 53—59.
5. **Petrosyan M. I.** Razrushenie gornyx porod vzryvnoj otbojkoj. Moscow: Nedra, 1991. 143 p.
6. **Voronov E. T.** Kristallosberegajushhaja tehnologija dobychi cvetnogo turmalina. *Gotnyj zhurnal*. 2010. No. 5. P. 42—44.
7. **Volokh A. S.** Osnovy upravleniya deistviem vzryva s pomoshchyu ekranirovaniya. Moscow: Nauka, 1988. 224 p.
8. **Khanukaev A. I.** Fizicheskie protsessy pri otboike gornyx porod vzryvom. Moscow: Nedra, 1974. 224 p.
9. **Mosinets V. N.** Drobyashchee i seismicheskoe deistvie vzryva v gornyx porodakh. Moscow: Nedra, 1976. 190 p.
10. **Tyupin V. N.** Opredelenie bezopasnyh rasstoyanij pri vedenii vzryvnyh rabot vblizi iskusstvennyh i estestvennyh polostej v treshhinovykh massivah gornyx porod. *Vestnik Chitinskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2004. No. 36. P. 121—129.

УДК 504.05

Т. М. Богачева, канд. техн. наук, доц., e-mail: bass1946@mail.ru,
А. А. Сурмин, выпускник бакалавриата, Московский Государственный
Технический Университет им. Н. Э. Баумана

Сокращение вредного воздействия ТЭС на окружающую среду

Рассмотрены проблемы, связанные с негативным воздействием тепловых электрических станций на угольном топливе на окружающую среду, в том числе из-за присутствия в угле микропримесей и радионуклидов. Приведена информация по их содержанию в углях известных американских месторождений, углях Индии, Китая, а также по результатам исследований механизма перераспределения между продуктами сжигания угля. Применительно к ТЭС на экибастузском угле приведены данные по содержанию микропримесей и радионуклидов в угле, золе и шлаке при сжигании угля.

С учетом особенностей характеристик золы экибастузского угля, отличающейся высоким удельным электрическим сопротивлением и абразивностью, выполнен анализ применения различных аппаратов золоочистки и их комбинации. Рассмотрена конструкция комбинированного электро-фильтра, включающего электрическую часть и секции рукавного фильтра, позволяющего достичь высокой степени удаления мелких золовых фракций и адсорбированных на них микропримесей и радиоактивных элементов.

Для энергоблока мощностью 150 МВт на экибастузском угле выполнены расчеты расходных показателей по твердым частицам летучей золы в дымовых газах. Разработана схема удаления летучей золы из дымовых газов, укомплектованная батарейным циклоном и тканевым рукавным фильтром, позволяющая обеспечить нормативные значения удельного содержания твердых частиц. Предложена концепция раздельного золоудаления после аппаратов золоочистки с выделением мелких фракций с высокой концентрацией вредных веществ, обеспечивая их последующее герметичное хранение.

Ключевые слова: экологические проблемы, тепловая электрическая станция, экибастузский уголь, зола, микроэлементы, тяжелые металлы, радионуклиды, золоотвалы, аппараты золоочистки

Введение

Одними из наиболее активных промышленных источников загрязнения окружающей среды являются тепловые электрические станции (ТЭС). При сжигании угольного топлива на ТЭС доля выбросов достигает 75 %. К ним следует отнести оксиды углерода, серы, азота и твердые частицы. Отмечается также негативное воздействие на воздушный, водный бассейны и почвенный покров токсических микропримесей и тяжелых металлов, содержащихся в дымовых газах и золовых частицах, выбрасываемых в атмосферу. Наиболее мощные угольные ТЭС в России размещены в регионах, где ведется добыча угольного топлива и его доставка к энергетическим объектам не вызывает проблем. В центральных регионах страны ТЭС в основном работают на газовом топливе. В связи с этим наиболее экологически проблемные по выбросам вредных веществ в атмосферу

отмечены Сибирский, Уральский и Северо-Западный округа. В суммарных выбросах в атмосферу от всех стационарных источников на Сибирский федеральный округ приходится 43 %, на Уральский федеральный — 41 % и на Северо-Западный — 16 % [1].

Следует отметить, что ряд станций на Урале и в Сибирском регионе работают на экибастузском угле из Казахстана, поставки которого в последние годы имеют тенденцию к росту. В связи с этим рассмотрим возможности снижения негативной нагрузки на окружающую среду при использовании экибастузского угля в качестве топлива на ТЭС.

Характеристики экибастузского угля

В качестве энергетического на ТЭС сжигается экибастузский уголь марки СС (слабоспекающийся). Основные характеристики экибастузского

Таблица 1

Микропримеси в золе-уносе экибастузского угля

Элемент	Содержание	
	% масс.	г/т
Барий	0,20	2000
Стронций	0,042	420
Цирконий	0,033	330
Ванадий	0,014	140
Церий	0,0067	67
Медь	0,0057	57
Галлий	0,0043	43
Иттрий	0,0042	42
Диспрозий	0,0010	10
Тербий	0,0009	9
Торий	0,0007	7
Иттербий	0,0006	6
Самарий	0,0006	6
Уран	0,0002	2

Таблица 2

Содержание тяжелых металлов в угле, мг/кг

Бассейн Эки-бастузский	Pb	As	V	Cr	Zn
	16...32	12...24	32...96	16...80	48...200

каменного угля на рабочую массу следующие: влага общая $W_p = 4...9\%$; зольность $A_p = 35...53\%$; сера общая $S_p = 0,4...0,7\%$; низшая теплота сгорания $Q_n^p = 11,8$ МДж/кг. Минеральная часть экибастузского угля представлена в основном следующими веществами: SiO_2 более 60 %, Al_2O_3 на уровне 30 %, Fe_2O_3 — 3...5 %. Состав микропримесей в золе-уносе и тяжелых металлов в угле представлен в табл. 1, 2 [2, 3]. Для определения класса опасности отхода выполнен полный химический и

минералогический анализ. По суммарному индексу токсичности компоненты отходов, включающих V_2O_5 , микроэлементы As, Cd, Co, определяются как малоопасные.

При сжигании угля радионуклиды концентрируются в золе и шлаке. Исследования радиационных свойств золошлаковых материалов по содержанию Тория-232, Радия-236, Калия-40 показали достаточно низкую активность. Учитывая объемы золошлаковых отходов в золоотвалах, складированных в течение ряда лет, можно предполагать, что их воздействие на окружающую среду не является оптимистичным.

Анализ содержания микропримесей в золошлаковых отходах и дымовых газах ТЭС

В странах, имеющих развитую сеть угольных ТЭС (США, ФРГ, Китай, Индия, Австралия), изучению и решению проблемы воздействия токсичных микропримесей на окружающую среду уделяется большое внимание. В табл. 3 [4—6] приведены значения удельного содержания различных микроэлементов в углях известных месторождений США.

Изучение образцов, взятых из 10 угольных месторождений Индии, показали наличие ряда микроэлементов, содержание некоторых из которых, например мышьяка, приближается к предельному значению. Наличие и содержание других элементов приведено в табл. 4

Отмечается также наличие в углях радиоактивных элементов: радиоактивный уран ^{235}U , ^{238}U — 1 мг/кг; радиоактивный торий ^{232}Th — 2мг/кг [5].

На трех угольных станциях в Китае исследование образцов показали относительно высокое содержание свинца [6].

Таблица 3

Содержание микроэлементов в углях Illinois № 6 и Pittsburgh № 8, мг/кг

Уголь	As	B	Cl	F	Cr	P	Pb	Th	U	V	Zn
Illinois № 6	6,7	80,1	1480	82,8	12,5	77,4	21,4	1,3	2,0	27,6	75,1
Pittsburgh № 8	970	41,1	447,7	73,5	13,7	177,3	4,2	1,8	0,9	15,7	12,3

Таблица 4

Содержание микроэлементов в углях Индии

Элемент	Мах содержание в образцах, мг/кг	Диапазон значений, мг/кг
Cu	35,5	0,5...50
Al	877	20...800
Fe	721	20...800
Mg	138	5...200
Ni	43	0,5...50



Механизмы поведения и распределения микропримесей и радионуклидов при сжигании угля

Для решения проблем, связанных с присутствием в угле микропримесей и радионуклидов, выполнен ряд исследований по изучению процессов их трансформации и перераспределения в золе, шлаке, дымовых газах при сжигании угля [7–10].

Исследования показали, что в основном тяжелые металлы и радионуклиды концентрируются в летучей золе, при этом отмечается их повышенное содержание на мелких фракциях частиц. В золе содержатся такие тяжелые металлы, как ванадий, никель, кадмий, хром, медь, свинец, цинк.

Распределение некоторых элементов в различных по размерам частицах — неравномерно и обычно увеличивается с уменьшением размеров частиц. К таким элементам относятся свинец, цинк, таллий, германий, сурьма, мышьяк, сера. В связи с этим более мелкая, не уловленная золоуловителями зола, поступающая в атмосферу, содержит больше перечисленных элементов, чем средняя по составу зола исходного топлива. Большинство элементов и их соединений при температуре уходящих газов 130...150 °С находится в твердом состоянии и улавливается вместе с золой в золоуловителях. Соединения ртути, серы, фтора, хлора находятся в парообразном состоянии и практически не задерживаются в сухих золоуловителях.

Некоторые элементы Cl, F, входящие в состав исходного топлива в органических соединениях, при сжигании испаряются, при охлаждении частично конденсируются и присутствуют в аэрозолях или в летучей золе.

Представленными результатами подтверждается устойчивая тенденция концентрации микроэлементов и радионуклидов (Pb, Zn, Be, Mg, Cd, As, U) на мелких фракциях летучей золы.

В связи с этим, чтобы сократить попадание вредных микропримесей в окружающую среду, рассмотрим фракционный состав золы-уноса экибастузского угля (табл. 5) [11].

Исходя из уровня содержания частиц менее 15 мкм порядка 40 %, частиц 2,5...7,5 мкм 25 %, можно подобрать рациональную компоновку

схемы очистки дымовых газов, которая позволит не только удалить твердые частицы, но и снизить содержание микроэлементов в дымовых газах.

Методы сокращения количества твердых частиц и токсических микропримесей в дымовых газах

Рассмотрим возможности сокращения вредного воздействия на окружающую среду твердых частиц и микропримесей путем подбора наиболее рациональной схемы очистки дымовых газов.

В электрофильтре улавливаются частицы размером не менее 10 мкм с высокой степенью эффективности до 99,9 %. Ограничения налагаются на золоочистку для углей с высоким удельным электрическим сопротивлением (УЭС) золы, таких как экибастузский уголь. В этом случае необходимо применять определенные технологические методы, в том числе снижение или повышение температуры дымовых газов со смещением значений УЭС в оптимальную область.

В работе [12] представлена установка очистки дымовых газов блока 300 МВт Троицкой ГРЭС (г. Троицк, Челябинская область), обеспечивающая достижение удельного содержания твердых частиц до 300 мг/нм³, что значительно выше нормативного уровня. В усовершенствованной конструкции электрофильтра применены коронирующие элементы вместо стандартных ленточно-игольчатых и ленточно-зубчатых.

Для достижения более тонкой очистки дымовых газов до 50 мг/нм³ твердых частиц и ниже при улавливании золы с высоким УЭС экибастузского угля и аналогичных углей габариты электрофильтра превышают допустимые размеры для размещения в ячейке энергоблока. Для решения этой проблемы разработан комбинированный электрофильтр, в котором предвключенные секции работают по электронно-ионной технологии, обеспечивая оптимальную подготовку газов для очистки дымовых газов в секциях рукавного фильтра, размещенного далее для последовательного прохождения газового потока и повышения степени улавливания частиц летучей золы. Такой фильтр представлен на рис. 1 [12].

Таблица 5

Фракционный состав золы-уноса

Бассейн	Марка топлива	Тип мельницы	Доля частиц с размерами крупнее данного, %/Размеры частиц*, мкм								
			0...5/2,5	5...10/7,5	10...20/15	20...30/25	30...40/35	40...60/50	60...80/70	80...100	>100
Экибастузский	СС	ШБМ	9,5	15,5	20	11	7,5	9,5	—	—	—

* В числителе — предельные значения, в знаменателе — средний размер

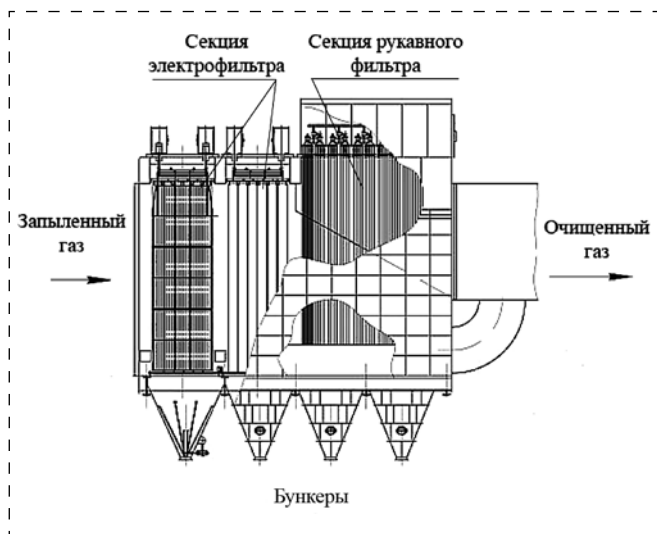


Рис. 1. Комбинированный горизонтальный электрический фильтр

В секции электрофильтра осаждается большая часть пыли, снижается нагрузка на секцию рукавного фильтра. Меньшая пылевая нагрузка на рукава ведет к уменьшению перепада давления, снижению количества циклов регенерации, потреблению сжатого воздуха; снижению перепада давления и потребления энергии по сравнению с традиционным рукавным фильтром. Первые поля с электродами собирают большую часть пыли, включая крупные частицы, а в секции рукавного фильтра осаждаются мелкие частицы.

С учетом изложенного для энергоблока Троицкой ГРЭС разработан пятиполюсный электрофильтр с высотой электродов 15 м, который обеспечивает высокую степень снижения загрязненности дымовых газов.

На некоторых зарубежных угольных электростанциях (США, Германия) применяется комбинированная схема очистки, включающая электрофильтр и тканевый фильтр, что позволяет реализовать эффективное сокращение количества твердых частиц (особенно мелких фракций) в дымовых газах. Производитель отмечает, что одновременная установка в одном корпусе электрофильтра и рукавного фильтра из-за ионизации частиц позволяет получить большую эффективность очистки, чем при раздельной установке электрофильтра и рукавного фильтра [13]. Схема работы гибридного фильтра фирмы ELEX AG представлена на рис. 2.

Газ попадает в секцию электрофильтра, затем очищается в рукавном фильтре и следует дальше по газовому тракту, а уловленная пыль поступает в бункер. Основным недостатком таких фильтров является наличие неактивных зон, где отсутствует электрическое поле, в котором происходит очистка газов.

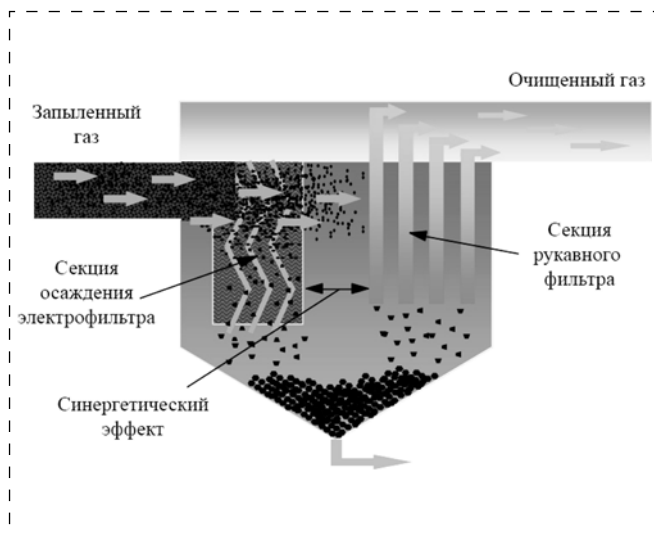


Рис. 2. Схема работы гибридного фильтра зарубежной фирмы ELEX AG [13]

Расчетные показатели для энергоблока мощностью 150 МВт на экибастузском угле с системой очистки золы от твердых частиц

Для энергоблока мощностью 150 МВт рассмотрим альтернативную схему очистки: батарейный циклон и тканевый рукавный фильтр. В циклонных аппаратах осуществляется удаление крупных фракций, в тканевом рукавном фильтре — удаление мелких фракций с высокой степенью очистки 99,0...99,9 %.

При использовании указанных аппаратов золоочистки могут возникнуть проблемы, связанные с высокой абразивностью золы. В рукавном тканевом фильтре для увеличения срока службы рукавов и снижения их механического износа применяется материал повышенной износостойчивости, например лавсан, кроме того, практикуется периодическая очистка рукава от уловленной пыли с помощью устройства импульсной продувки воздуха. Предохранение рабочих поверхностей циклонных аппаратов от абразивного износа можно обеспечить нанесением защитного слоя.

Для энергоблока мощностью 150 МВт расход топлива составит 23,3 кг/с, расход дымовых газов — 147,3 м³/с. Содержание твердых частиц в дымовых газах 53 г/м³. После очистки в циклоне (84 %) удельное содержание твердых частиц может быть снижено до 3,8 г/м³. Это позволит обеспечить условия для последующей эффективной очистки дымовых газов в тканевом рукавном фильтре (98 %) до 150 мг/м³, что соответствует нормативному значению.

В соответствии с изложенной концепцией компоновочного решения аппаратов золоочистки можно обеспечить раздельное удаление

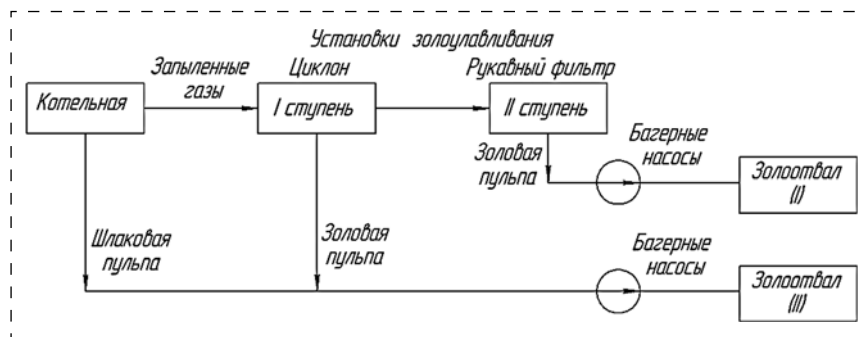


Рис. 3. Схема системы золошлакоудаления

уловленной золы. Основная масса золошлаковых отходов, поступающих через холодную воронку котла и из циклонных аппаратов, складывается в золоотвалах. Тканевым рукавным фильтром можно уловить наиболее загрязненную массу золовых отходов с концентрированным содержанием тяжелых металлов и радионуклидов (рис. 3).

Итак, отбор уловленной золы с помощью тканевого рукавного фильтра при эксплуатации в течение 6500 ч приблизительно 18,5 т/год. Это именно те отходы, которые требуют принятия наиболее корректных и безопасных для окружающей среды мер по их складированию. Эти отходы представляют собой частицы мелких фракций, которые подлежат бетонированию.

Объем золошлаковых отходов (котел, циклон) почти на 10 % меньше за счет отделения потока из тканевого рукавного фильтра. При снижении содержания вредных примесей в золошлаковых отходах, характеризующихся высоким содержанием SiO_2 , возрастает вероятность их утилизации.

Рассмотрим возможности реализации технологического выделения из золовых отходов редких металлов применительно к золе экибастузского угля: рассеянных — Ga; тугоплавких — Ti, Zr, V; редкоземельных — Y, Yb, Tb, La, Ce, Dy, Sm [3]. В данных технологиях используют растворы минеральных кислот (H_2SO_4 , HCl , HNO_3). При обработке золы раствором серной кислоты при температуре 85 °С с добавлением NaCl можно выделить 90 % Ce, при этом извлечение Ga составило 25,6 %, V — 7 %. При обработке золы серной кислотой степень извлечения урана и тория составит 87 % и 86 % соответственно.

При гидрощелочной обработке золы-уноса экибастузского угля извлекаются Si и Ga. Помимо получения полезных продуктов, указанные технологии позволяют сократить загрязнение окружающей среды вследствие удаления ряда вредных микропримесей. Указанные технологии пока не реализованы на промышленном уровне и находятся на стадии отработки процессов.

Заключение

В качестве способа снижения вредного воздействия угольных ТЭС на окружающую среду, помимо традиционных систем золоулавливания, предлагается система более тонкой очистки с улавливанием адсорбированных на золовых частицах микропримесей и радионуклидов с последующим отдельным удалением и герметичным складированием золовых отходов, в том числе с использованием метода бетонирования.

Для проработки целесообразности внедрения метода необходим анализ результатов мониторинга и исследований состава золошлаковых отходов и дымовых газов применительно к конкретному объекту.

Список литературы

1. **Обзор** фоновое состояние окружающей природной среды на территории стран СНГ за 2009—2010 гг. / Под ред. Ю. А. Израэля. — М.: Росгидромет, 2011. — 128 с.
2. **Авдеев Л. Н., Барбат В. Ф.** Зола ТЭС — перспективное сырье для промышленности // Вестник Омского университета. — 2009. — № 2. — С. 141—151.
3. **Мусин У. Ш., Нуркеев С. С., Жаркимбаев Г. Б.** Изучение экологических характеристик золы от сжигания экибастузских углей // Вестник КазНТУ имени К. И. Сатпаева. — 2008. № 1. — С. 20—22.
4. **Trace Elements emissions from coal.** IEA Clean Coal Centre. Profiles № 12/13. November 2012. URL: <http://www.iea-coal.org.uk/documents/83083/8631/Trace-element-emissions-from-coal,-CCC/203> (дата обращения 15.05.2017).
5. **Mr. Soumyajit Nayak.** Trace elements in some Indian coals. Bisoil, Biswaranjan. 2011. URL: <http://ethesis.nitrkl.ac.in/2459/> (дата обращения 15.05.2017).
6. **Determination of trace elements in fly ash by High resolution inductively coupled plasma mass spectrometry.** <http://www.zndxzk.comcn/down/upfile/soft/200869/20086919645223.pdf>
7. **Овсейчук В. А., Крылов Д. А., Сидорова Г. П.** Радиоактивность углей и продуктов их сжигания // РРОAtom. — 2013. URL: <http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=print&sid=4326> (дата обращения 15.05.2017).
8. **Алиярова М. Б.** Поведение микроэлементов угля при его сжигании и оценка токсичности продуктов сгорания. Автореферат диссертации на соиск. канд. техн. наук. Алматы, 1996. URL: <http://fizmathim.com/povedenie-mikroelementov-uglya-pri-ego-szhigani-i-otsenka-toksichnosti-produktov-sgoraniya> (дата обращения 15.05.2017).
9. **Lil H., Liul G., Cao Y.** Content and distribution of trace elements and polycyclic aromatic hydrocarbons in fly ash from a coal-fired CHP plant Aerosol and Air Quality Research // Taiwan Association for Aerosol Research. — 2014. — P. 1179—1188.
10. **Wang J., Takaya A., Tomita A.** Leaching behaviors of trace elements in coal ash and char // Fuel Chemistry Division Preprints. — 2003. — No. 48 (1). P. 350—351.
11. **Разва А. С.** Природоохранные технологии в промышленной теплотехнике. Улавливание твердых частиц из дымовых газов: Учеб. пособие. — Томск, 2010. — 35 с.
12. **Электрофильтры,** улавливающие золу экибастузского угля. URL: <http://www.gazoochistca.ru/main/stat2.htm> (дата обращения 15.05.2017).
13. **Hybrid filter.** URL: <http://www.elex.ch/en/products/hybrid-filter.html> (дата обращения 15.05.2017).

T. M. Bogacheva, Associate Professor, e-mail: bass1946@mail.ru,
A. A. Surmin, Bachelor's Degree, Bauman Moscow State Technical University

Reducing the Harmful Impact of Power Plant on the Environment

The possibilities of reducing harmful impact of coal-fired thermal power plants on the environment are considered including due to presence of trace elements and radionuclides. Provides information on their contents in coals known American deposits, Indian coal, Chinese coal; the results of the research their distribution between the coal combustion products. There are data on content of trace and radionuclides in Ekibastuz coal; in ash and slag, flue gases during combustion of coal. The analysis presented of the applicability of various ash treatment preceded apparatus and their combinations, taking into account the characteristics of high ash specific electric resistance and abrasivity. The construction of hybrid electrostatic precipitator with electrical section and bag filter are considered. The device achieves a high degree of delete small fractions of and adsorbed onto them trace and radionuclides.

Calculations of consumption data of solid ash particles in flue gases for 150 MW power unit on Ekibastuz coal were carry out. In relation to the characteristics of coal fuel and fly ash, schemes of cleaning flue gases from solid particles including battery cyclone and bag fabric filter were considered. Solids content corresponds to normative value 150 mg/m³. The concept of separate ash disposal after devices allocating small fractions of ash containing concentrated harmful substances with subsequent hermetic storage.

Keywords: ecological problems, heat power station, Ekibastuz coal, ash, trace elements, heavy metals, radionuclides, ash dumps, apparatus of ash treatment preceded

References

1. **Obzor** fonovogo sostojanija okruzhajuschej prirodnoj sreya na territorij stran SNG za 2009—2010 gg. / Pod redaktsiej Ju. A Izraelija. Moscow: Rosgidromet, 2011. 128 p.
2. **Avdeev L. N., Barbat V. F.** Zola TETs — perspektivnoe syrjo dlya promyshliennosti. *Vestnik Omskogo universiteta*. 2009. No. 2. P. 141—151.
3. **Musin Ju. Sh., Nurkeev S. S., Garkimbaev G. B.** Izuchenie ekologicheskikh harakteristik zoly ot szhigannija ekibastuzskih uglej. *Vestnik KazNTU imeni K. I. Satpaeva*. 2008. No. 1. P. 20—22.
4. **Trace Elements** emissions from coal. IEA Clean Coal Centre. Profiles № 12/13. ovember 2012. URL: <http://www.iea-coal.org.uk/documents/83083/8631/Trace-element-emissions-from-coal,-CCC/203> (date of access 15.05.2017).
5. **Mr. Soumyajit Nayak.** Trace elements in some Indian coals. Bisoi, Biswaranjan. 2011. URL: <http://ethesis.nitrkl.ac.in/2459/> (date of access 15.05.2017).
6. **Determination** of trace elements in fly ash by High resolution inductively coupled plasma mass spectrometry. URL: <http://www.zndxzk.comcn/down/upfile/soft/200869/20086919645223.pdf> (date of access 15.05.2017).
7. **Ovseijchuk V. A., Krilov D. A., Sidorova G. P.** Radioaktivnost uglej I produktov ihszhiganiya. *Proatom*. 2013. URL: <http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=print&sid=4326> (date of access 15.05.2017).
8. **Alijarova M. B.** Povedenie mikro elementov uglja pri ego szhiganii I otsenka toksichnosti produktov sgoraniya. Avtoreferat dissertatsii kandidata tehicheskikh nauk. Alma aty. 1996. 28 p. URL: <http://fizmathim.com/povedenie-mikroelementov-uglya-pri-ego-szhiganii-i-otsenka-toksichnosti-produktov-sgoraniya> (date of access 15.05.2017).
9. **Li H., Liu G., Cao Y.** Content and distribution of trace elements and polycyclic aromatic hydrocarbons in fly ash from a coal-fired CHP plant Aerosol and Air Quality Research. *Taiwan Association for Aerosol Research*. 2014. P. 1179—1188.
10. **Wang J., Takaya A., Tomita A.** Leaching behaviors of trace elements in coal ash and char. *Fuel Chemistry Division Preprints*. 2003. No. 48 (1). P. 350—351.
11. **Razva A. S.** Priidoohrannnye tehnologii v promyshlennoj teplotehnike. Ulavlilanie tvjordyh chastits iz dymovyh gazov: Uchebnoe posobie. Tomsk, 2010. 35 p.
12. **Elektrofiltry** ulavlivajuschie zolu ekibastuzskogo uglja. URL: <http://www.gazoochistca.ru/main/stat2.htm> (date of access 15.05.2017).
13. **Hybrid filter.** URL: <http://www.elex.ch/en/products/hybrid-filter.html> (date of access 15.05.2017).



В. В. Кирсанов, д-р техн. наук, проф. кафедры, e-mail: vvkirsanov@gmail.com, Казанский научно-исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева — КАИ

Предложения по повышению эффективности водного мониторинга в РФ

Дана характеристика существующего в РФ водного мониторинга с точки зрения его практической результативности для снижения воздействия на природные водоемы.

Для комплексной оценки воздействия сбросов на водоемы предложено показатели контроля сбросов сточных вод и воды водоемов, осуществляемого по химическим ингредиентам, дополнить контролем токсикологических и биологических показателей с последующей реализацией профилактических инженерных мероприятий, разработанных по результатам комплексного мониторинга.

Ключевые слова: мониторинг, водоем, химические соединения, норматив, компоненты, загрязняющие вещества, инженерные решения, биологические очистные сооружения, контроль, лаборатории

Действующий в настоящее время мониторинг качества воды, прошедшей очистку в биологических очистных сооружениях (БОС), и воды в водоеме — приемнике сточных вод, основанный на концепции предельно допустимой концентрации (ПДК) загрязняющих веществ (ЗВ), не представляется возможным оценивать как экологически обоснованный по ряду объективных причин, основные из которых перечислены ниже.

1. Ежегодно около 1000 новых химических соединений поступают на рынок. По оценкам Европейской комиссии по инвентаризации химических веществ (EINECS), количество новых веществ, используемых в промышленности и быту, достигает порядка 100 000 и 90 % из них не имеют никакой информации о токсикологических показателях [1].

2. Несмотря на возрастающее количество применяемых химических веществ, попадающих в сточные воды и далее в водоем, контролируются не более 40 химических показателей. Методами аналитической химии может быть определено 5...25 % всех органических веществ, попадающих в сточные воды [1]. В РФ технически оснащенные лаборатории (т. е. имеющие технические средства измерения), осуществляющие государственный экологический контроль сточных вод, могут определять около 100 гидрохимических компонентов [2]. На самом деле определяется, как правило, не более 25 показателей загрязняющих веществ из-за высокой стоимости анализов, недостатка квалифицированных кадров по причине низкой заработной платы.

3. Нормативы ПДК определяются в лабораторных условиях на изолированных популяциях тест-объектов по небольшому набору морфологических

и физиологических факторов без учета их возможного взаимодействия, т. е. ПДК — неаргументированная экстраполяция границ толерантности тестовых организмов в искусственно созданных условиях на естественно функционирующую биоту, где действуют десятки и сотни всевозможных факторов.

4. Загрязняющие вещества, попадая в коллектор, далее на очистные сооружения и после в водоем, могут трансформироваться в значительно более токсичные соединения под влиянием эффектов синергизма (усиления действия) или аддитивности (суммирования воздействия). Синергическое действие факторов сточных вод наиболее опасно как для микроорганизмов БОС, так и для водной экосистемы и, соответственно, для человека.

5. Норматив ПДК зачастую устанавливается на уровне 0,001 мг/л и ниже, а методическое и приборное оснащение лабораторий не позволяет идентифицировать такие концентрации.

6. Разработку перечней ПДК для водоемов различного назначения ведут различные ведомства, несогласованность действий которых приводит к неразберихе в практическом исполнении эксплуатационниками и контроле со стороны многочисленных надзорных органов (например, на хлорорганические соединения отсутствуют рыбохозяйственные ПДК, а имеются только гигиенические).

7. На многие соединения, в том числе являющиеся практически постоянными ингредиентами сточных вод, в России не установлены нормативы (например, на азот аммонийный, БПК полное, общий органический углерод и др.).

8. Многие компоненты сточных вод, особенно фармацевтической, микробиологической,

химической, нефтеперерабатывающей и некоторых других отраслей промышленности, потенциально мутагенны и канцерогенны. Вероятность индуцированных мутаций пропорциональна концентрациям мутагенов, но смертельная мутация может быть вызвана и одной молекулой мутагена, изменившей структуру ДНК.

9. Особую опасность для биоты представляют диоксины и предшественники диоксинов, количество которых зависит от концентрации хлора в сточной воде (в соответствии с требованиями СНиП 2.04.03-85 "Канализация. Наружные сети и сооружения", п. 6.223, доза остаточного хлора в обеззараженной воде после контакта должна быть не менее 1,5 мг/дм³). Нормативы ПДК установлены только гигиенические и не на все хлоропроизводные соединения (МУ 2.1.5.800-99 установлены на дихлорбромметан, 2,4,6-трихлорфенол, бромформ). Особая опасность диоксинов заключается не столько в их токсичности, сколько в хроническом воздействии и отдаленных последствиях при малых дозах. Хлорорганические соединения обладают высокой токсичностью, мутагенностью и канцерогенностью. Оценка по индексу токсичности для дафний показала, что хлорированная вода является остротоксичной для этих тест-объектов [2].

10. На организмы, кроме химических веществ, отрицательно действуют и другие факторы, например, шум, вибрация, тепловое, радиационное, электромагнитное, биологическое загрязнения и т. д.

Перечисленные причины далеко не исчерпывают несовершенство нормирования по ПДК на основании физико-химических методов анализа.

Только комплексная оценка влияния загрязняющих веществ сточных вод по гидрохимическим, гидробиологическим показателям и оценка группы факторов риска по основным нозологическим формам здоровья населения, проживающего в районах, прилегающих к месту сброса сточных вод крупного города, позволяет объективно определить последствия воздействия ЗВ. Учет химических, токсикологических, биологических показателей, оценка состояния здоровья населения в качестве ответной реакции человека на состояние водной экосистемы, позволяет трансформировать бессистемные отдельные лабораторные анализы по соответствию ПДК в истинный мониторинг как систему наблюдений за сбросом сточных вод и влиянием их на водоем, оценки этого влияния, прогноза влияния, разработки и внедрения инженерных решений по минимизации влияния на водную экосистему [3].

Предлагается расширить классическое определение мониторинга как понятия, наиболее часто

употребляемого (экологический мониторинг — система наблюдений, измерений, регистрации данных и прогноза), инженерными решениями по повышению эффективности очистки сточных вод. Это дополнение не является механическим суммированием предлагаемого с существующим требованием к мониторингу, а качественно меняет всю систему экологического мониторинга.

Принципиальность отличия заключается в том, что существующий мониторинг, в основном, сводится именно к наблюдению, оценке и прогнозу и производится или государственными надзорными природоохранными органами, или эксплуатационниками. Но, как показывает реальная жизнь, цели у тех и других не всегда совпадают.

Надзорные органы сводят мониторинг к формализации по отдельным малосистемным химическим показателям биоочистки сточных вод и водоема в месте выпуска сточных вод по гидрохимическим анализам с последующей выдачей очередного предписания, которое зачастую невозможно выполнить, ибо оно основано на нормативах ПДК проверяющими, не всегда хорошо представляющими процесс биологической очистки и реальную технологически-аппаратурную, организационную и другие возможности выполнения производственными формальными требованиями.

Производственники, т. е. люди, непосредственно эксплуатирующие очистные сооружения, на своем горьком опыте убедившиеся неоднократно в том, что любая проверка надзорными органами кончается штрафом и выдачей предписания, которое ни по срокам его исполнения, ни по сути исполнить невозможно, а от проверяющих никакой поддержки не будет, в том числе финансовой помощи (даже в рамках той суммы, которую предприятие регулярно отчисляет в виде экологических платежей), иногда вынуждены представлять скорректированные данные. Самостоятельно производственники ведут наблюдение и оценку, но прогнозировать экологическую ситуацию не могут в силу ограниченности финансовых, технических и прочих возможностей, поэтому их текущую работу мониторингом также назвать нельзя.

Действительно, ставшее уже традиционным и системным в России "противостояние" надзорных государственных природоохранных органов и производственников (кстати, это характерно не только для экологии, но и для других сфер производственной деятельности) не только не помогает улучшить экологическую ситуацию в стране, а иногда оказывает отрицательное действие. "Отрицательность" заключается в том, что указанное противостояние "завуалировано" под оболочкой внешнего благополучия и создает



иллюзию значительного прогресса в природоохранной деятельности. Официально публикуемые отчетные цифры о состоянии природоохранной работы далеко не всегда соответствуют действительности, ибо, как уже говорилось, эти цифры в большей степени основываются на формальных, "приглаженных" отчетах. Это прекрасно знают специалисты, эксплуатирующие очистные сооружения. Кроме того, постоянное увеличение количества чиновников "от экологии" в стране, в регионах, дублирование и неконкретность полномочий, бесконечная реструктуризация надзорного аппарата не способствуют консолидации законодательной, исполнительной власти и непосредственных исполнителей — производителей [3].

Реализация предложенной концепции экологического мониторинга "наблюдение — оценка — анализ и прогноз — разработка и реализация инженерных решений" охватывает всю функциональную цепочку образования отходов в конкретной технологической установке и интенсификации процессов, связанных с очисткой отходов производства, начиная от лабораторного анализа и заканчивая внедрением разработанных на основе результатов анализов и прогноза технических мероприятий.

Кроме того, реализация концепции трансформирует мониторинг из инструмента наблюдения и констатации факта в систему совершенствования и управления экологической безопасностью на конкретных очистных сооружениях, так как предполагает непосредственное и систематическое участие, кроме государственных надзорных органов и технологов-производственников, *биологов* (гидробиологический контроль), *медиков* (влияние поллютантов на здоровье населения, проживающего в районе сброса сточных вод в водоем-приемник) и *проектантов* (так как инженерные мероприятия требуют разработки новых и изменения существующих проектных решений).

Список литературы

1. **Жмур Н. С.** Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками. — М.: Акварос, 2003. — 507 с.
2. **Кирсанов В. В., Степанова Н. Ю., Смолко А. А.** Способ комплексного мониторинга района выпуска сточных вод с помощью гидробиологических методов анализа // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. — Самара, 2007. — С. 64—76.
3. **Кирсанов В. В.** Теоретические и практические аспекты биологической очистки сточных вод в аэротенках: Монография. — Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2010. — 264 с.

V. V. Kirsanov, Professor of Chair, e-mail: vvkirsanov@gmail.com, Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev — KAI

Suggestions for Improving the Efficiency of Water Monitoring in the Russian Federation

The article describes existing water monitoring in terms of his practical effectiveness for reducing the impact on natural water bodies. For a comprehensive assessment impact of discharges on a body of water, it is proposed to control the discharges and water of reservoirs by chemical ingredients supplemented with toxicological and biological indicators and subsequent implementation of preventive engineering measures, which based on the results of integrated monitoring.

Keywords: monitoring, reservoir, chemical compounds, standard, components, pollutants, engineering solutions, biological treatment facilities, control, laboratories

References

1. **Zhmur N. S.** Tehnologicheskie i biokhimicheskie processy ochistki stochnyh vod na sooruzhenijah s ajerotenkami. Moscow: Akvaros, 2003. 507 p.
2. **Kirsanov V. V., Stepanova N. Ju., Smolko A. A.** Sposob kompleksnogo monitoringa rajona vypuska stochnyh vod s

pomoshh'ju gidrobiologicheskikh metodov analiza. *Izvestija Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk.* Samara, 2007. P. 64—76.

3. **Kirsanov V. V.** Teoreticheskie i prakticheskie aspekty biologicheskoj ochistki stochnyh vod v ajerotenkah. Monografija. Kazan': Izdatel'stvo Kazanskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta, 2010. 264 p.

УДК 628.54

Б. С. Ксенофонов, д-р техн. наук, проф., e-mail: kbsflot@mail.ru,
А. С. Козодаев, канд. техн. наук, доц., **Р. А. Таранов**, канд. техн. наук, доц.,
М. С. Виноградов, асп., **Е. В. Сеник**, ассистент, Московский государственный
технический университет им. Н. Э. Баумана

По следам публикаций по проблемам подтопления и затопления территорий

Рассмотрены оценки количества водных поверхностных потоков, образующихся при выпадении сильных ливней, по ранним публикациям и по отдельным негативным явлениям такого рода в этом году. Показано, что прогнозируемые явления частого и сильного подтопления и затопления селитебных территорий подтверждаются реальными событиями в России и других странах мира. Указаны способы оценки количества возникающего от выпадения сильных ливней поверхностного водного потока, а также возможные пути увеличения отвода такого стока, в том числе путем создания открытых каналов. Предложены очистные сооружения открытого типа с возможностью использования конкретных особенностей ландшафта территорий.

Ключевые слова: подтопление и затопление территорий, сильные ливни, подтверждение результатов ранних исследований

В журнале "Безопасность жизнедеятельности" были опубликованы наши статьи на тему подтопления и затопления селитебных территорий, в том числе в случае выпадения сильных ливней [1–7]. Основной темой этих работ было рассмотрение причин выпадения сильных ливней, оценки негативных явлений после выпадения сильных ливней на селитебных территориях, а также определение примерного риска проявления последствий на уровне чрезвычайных ситуаций (ЧС) и рекомендации по предотвращению ЧС и их последствий.

В упомянутых выше работах было констатировано, что в последние десятилетия наблюдается четкая тенденция потепления климата и, как следствие, выпадение сильных ливней, оцениваемых месячными нормами осадков (в Сочи в течение нескольких часов выпало осадков более двух месячных норм). Кроме того, имеет место неготовность системы водоотведения к приему таких больших объемов воды; неспособность местных властей к мониторингу развития негативных природных явлений и своевременному предупреждению населения о возникновении чрезвычайных ситуаций (ЧС) и ликвидации их последствий.

В различной степени были проработаны указанные выше вопросы, но в целом совершенно очевидно, что эта проблема приобрела важнейшее значение в последние 2–3 года. Среди особых

проявлений негативных явлений, связанных с подтоплением и затоплением селитебных территорий, отметим события в г. Крымск Краснодарского края, в Приамурье на больших территориях (2013 г.), в 2015 г. начиная с г. Сочи и кончая районами Урала.

Среди последних событий лета 2017 г. следует особо отметить, например, наводнение в российских городах, в частности в Ростове, Сочи и Красноярске, а также в Хьюстоне, США. Эти негативные события были связаны с выпадением сильных ливней, оцениваемых одной или несколькими нормами месячной нормы.

Еще яркий пример — это Уссурийский городской округ, один из наиболее пострадавших муниципальных образований Приморья в результате прошедшего в августе 2017 г. тайфуна. За сутки здесь выпала трехмесячная норма осадков, вода размывала подворья, повредила фундаменты домов, лишила людей урожая.

В олимпийской столице России, городе Сочи, был объявлен режим чрезвычайной ситуации в связи с обильным выпадением осадков. Ливень обрушился на город вечером 24 июня 2017 г. и продолжался весь день. Были подтоплены улицы, дома, машины. Из-за наводнения был введен режим ЧС. Две тысячи пассажиров застряли в аэропорту из-за стихии.

Особенно сложная ситуация сложилась в поселке Мирный Адлерского района, где вышла из



стройка ливневая канализация, в результате чего затопило часть поселка.

В конце августа 2017 г. в Сочи наблюдался сход селевых потоков, вызванных сильными ливнями. Это затруднило движение транспорта города.

Особо следует рассказать о ситуации, сложившейся в связи с выпадением ливней в Красноярске, где причины затопления городских территорий выясняет Следственный комитет РФ. Следователи начали проверку по факту причинения крупного ущерба жителям Красноярска и городскому бюджету в результате ливня. Речь идет о сильном дожде, который обрушился на краевую столицу в ночь с 19 на 20 августа 2017 г. Из-за выпадения сильных ливней вода полностью залила более 40 участков дорог, были повреждены автомобили, квартиры горожан и офисные здания. Следует отметить, что из-за перебоев с электроэнергией перестали работать светофоры, более 80 домов остались без света. Причины потопа решили выяснить следователи. Как пояснила Newslab представитель ГСУ СК по Красноярскому краю, ведомство начало проверку в отношении неопределенного круга лиц на предмет нарушения правил безопасности при ведении строительных работ (статья 216 УК РФ) и халатности (ст. 293 УК РФ). Речь идет в том числе и о системе ливневой канализации, которая не справилась с большим количеством воды.

"В результате произошедшего гражданам, организациям и городскому бюджету причинен значительный материальный ущерб. По данному факту следственными органами Следственного комитета Российской Федерации по Красноярскому краю проводится проверка, по результатам которой будет принято процессуальное решение", — рассказали в ГСУ СК по Красноярскому краю.

История в Красноярске представляет показательный пример для чиновников, которые могут быть привлечены к ответственности за бездеятельность в этих ситуациях.

Другой пример — это события в штате Техас (США), связанные с последствием урагана "Харви". Согласно сообщениям ТАСС 27 августа 2017 г. в штате Техас наблюдались поваленные деревья и столбы линии электропередачи, обрушившаяся кирпичная кладка домов, сорванные крыши и рекламные щиты, вставшие рейсовые автобусы и подтопленные улицы — такие последствия вызвал на побережье американского штата Техас ураган "Харви" перед тем, как его мощь ослабла до категории тропического шторма. Эксперты утверждают, что восстановление разрушенных этим ураганом домов в Техасе может обойтись в 40 млрд долл.

Приведенные примеры показывают, что подтопление и затопление территорий из-за выпадения сильных ливней становится явлением, часто повторяющимся. В летнее время в России практически каждую неделю стали наблюдаться случаи выпадения сильных ливней. В связи с этим необходимо предпринимать эффективные мероприятия по предотвращению последствий от подобных явлений.

Департаментом градостроительной деятельности и архитектуры Минстроя России разрабатываются различные мероприятия, способствующие снижению риска подтопления и затопления территорий, в частности проведена работа по актуализации СП 104.13330.2011, СНиП 2.06.15-85 "Инженерная защита территории от затопления и подтопления". Актуализированный вариант СП 104.13330.2016 утвержден приказом Минстроя России от 16 декабря 2016 г. № 964/пр. Требования СП 104.13330.2016 распространяются на проектирование систем, объектов и сооружений инженерной защиты от подтопления и затопления селитебных и промышленных территорий. Однако указанные требования в ряде случаев носят общий характер.

По мнению специалистов, необходимо разрабатывать конкретные рекомендации с учетом региональных и местных условий. В качестве таких рекомендаций приведем несколько примеров.

Мероприятия по снижению риска

Расположение жилой застройки на возвышенных местах позволяет избежать подтопления, а в критической ситуации и затопления. Анализ



Рис. 1. Поверхностный водоотвод

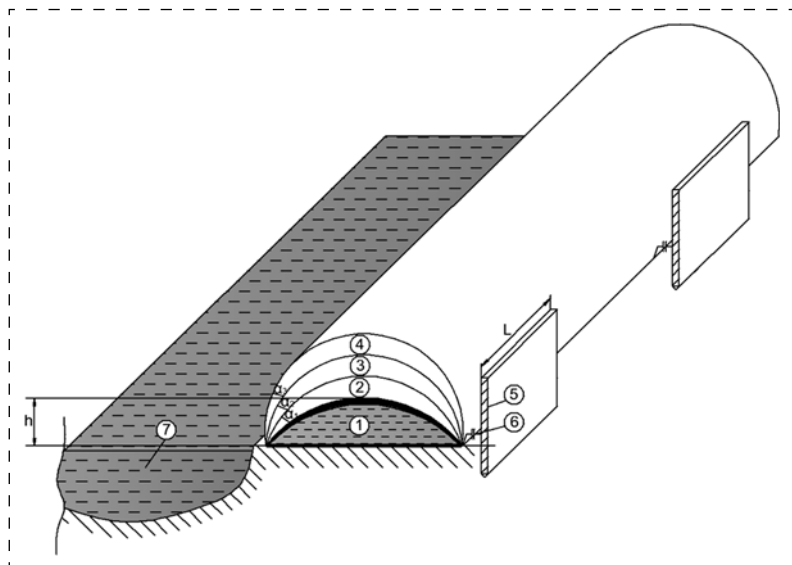


Рис. 2. Быстровозводимая дамба (патент РФ на полезную модель):
 1 — замкнутая оболочка полуэллипсоидального типа; 2, 3, 4 — воздушные замкнутые оболочки; 5 — щит; 6 — зажим; 7 — водоем

примеров возможной застройки в пониженных местах рельефа (рис. 1) показывает не только на сложности в развитии рельефного ландшафта, но и на опасность обрушения построенных зданий [3].

В случае выпадения особо сильных осадков, в частности превышающих месячную норму в 2 раза и более, необходимы особые мероприятия по защите территории от подтопления, например, если позволяет возможность застройки, то строительство поверхностных водоотводов (рис. 1), а в случае отсутствия возможности — создание быстровозводимых дамб.

В качестве примера можно указать на конструкцию такой быстровозводимой дамбы в виде многоярусной дамбы эллипсоидальной формы, на которую получен патент [8] (рис. 2).

Показанная на рис. 2 дамба устанавливается вблизи водоема 7 и содержит замкнутую оболочку полуэллипсоидального типа 1, наполненную водой, причем с целью повышения эффективности задержания водного потока на верхней части замкнутой оболочки симбатно располагается от 1 до 3 воздушных замкнутых оболочек 2, 3, 4, причем образованная многослойная оболочка крепится зажимами 6 в нижней части со щитами 5, вбитыми в почвогрунт. Углы раскрытия α_1 , α_2 , α_3 воздушных оболочек составляют от 10° до 60° в зависимости от уровня воды по отношению к дамбе. Крепление оболочки в нижней части осуществляется в 2...5 местах с каждым щитом

и с расстоянием между щитами, равным 1...5 длин щита L , а также с высотой щита не менее 1...3 высоты замкнутой оболочки полуэллипсоидального типа, наполненной водой.

Таким образом, проведенный анализ превентивных мероприятий по защите территории от подтоплений и возможного затопления показывает на реальность их использования и эффективность для защиты территории в чрезвычайных ситуациях.

Список литературы

1. Ксенофонтов Б. С., Таранов Р. А., Козодаев А. С., Воропаева А. А., Виноградов М. С., Сеник Е. В. Оценка риска подтопления автомобильных тоннелей // Безопасность жизнедеятельности. — 2015. — № 8. — С. 40—44.
2. Ксенофонтов Б. С., Таранов Р. А., Козодаев А. С., Воропаева А. А., Виноградов М. С., Сеник Е. В. Проблемы подтопления и затопления селитебных территорий: возможные пути решения // Безопасность жизнедеятельности. — 2015. — № 7. — С. 23—27.
3. Ксенофонтов Б. С., Таранов Р. А., Козодаев А. С., Воропаева А. А., Виноградов М. С., Сеник Е. В. Сравнение методов расчета поверхностного стока селитебных территорий // Безопасность жизнедеятельности. — 2015. — № 2. — С. 49—57.
4. Ксенофонтов Б. С., Таранов Р. А., Козодаев А. С., Виноградов М. С., Петрова Е. В., Воропаева А. А. О возможностях предотвращения подтопления и затопления территорий // Безопасность жизнедеятельности. — 2014. — № 6. — С. 24—28.
5. Ксенофонтов Б. С., Таранов Р. А., Козодаев А. С., Балина А. А. Анализ риска подтопления и затопления селитебных территорий в случаях выпадения сильных ливней. Часть I // Безопасность жизнедеятельности. — 2013. — № 6. — Приложение. — С. 1—24.
6. Ксенофонтов Б. С., Таранов Р. А., Козодаев А. С., Балина А. А. Анализ риска подтопления и затопления селитебных территорий в случаях выпадения сильных ливней. Часть II // Безопасность жизнедеятельности. — 2013. — № 7. — Приложение. — С. 1—24.
7. Ксенофонтов Б. С., Таранов Р. А., Козодаев А. С., Воропаева А. А., Виноградов М. С., Сеник Е. В. Проблемы подтопления и затопления селитебных территорий: европейский опыт // Безопасность жизнедеятельности. — 2017. — № 1. — С. 29—36.
8. Патент РФ № 154781 на полезную модель. Быстровозводимая дамба, 2014 / Б. С. Ксенофонтов, Р. А. Таранов, А. С. Козодаев, А. А. Воропаева, М. С. Виноградов, Е. В. Сеник. Зарегистр. 25.12.2014 № 2014152545/13.



B. S. Ksenofontov, Professor, e-mail: kbsflot@mail.ru; **A. S. Kozodayev**, Associate Professor, **R. A. Taranov**, Associate Professor, **M. S. Vinogradov**, Postgraduate, **E. V. Senik**, Assistant, Bauman Moscow State Technical University

In the Wake of Publications on Problems of Flooding and Flooding of Territories

In work estimates of quantity of the water superficial streams which are formed at loss of heavy rains according to early publications and on the separate negative phenomena of such this year are considered. It is shown that the predicted phenomena of frequent and strong flooding and flooding of residential territories are confirmed by real events in Russia and other countries of the world. Ways of assessment of quantity of the superficial water stream arising from loss of heavy rains and also possible ways of increase in withdrawal of such drain, including by creation of open channels are specified. Treatment facilities of open type with a possibility of use of concrete features of a landscape of territories are offered.

Keywords: flooding and flooding of territories, heavy rains, confirmation of results of early researches

References

1. **Ksenofontov B. S., Taranov P. A., Kozodaev A. S., Voropaeva A. A., Vinogradov M. S., Senik E. V.** Ocenka riska podtopleniya avtomobil'nyh tonnej. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*. 2015. No. 8. P. 40—44.
2. **Ksenofontov B. S., Taranov P. A., Kozodaev A. S., Voropaeva A. A., Vinogradov M. S., Senik E. V.** Problemy podtopleniya i zatopeniya selitebnyh territorij: vozmozhnye puti resheniya. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*. 2015. No. 7. P. 23—27.
3. **Ksenofontov B. S., Taranov P. A., Kozodaev A. S., Voropaeva A. A., Vinogradov M. S., Senik E. V.** Sravnenie metodov rascheta poverhnostnogo stoka selitebnyh territorij. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*. 2015. No. 2. P. 49—57.
4. **Ksenofontov B. S., Taranov P. A., Kozodaev A. S., Vinogradov M. S., Petrova E. V., Voropaeva A. A.** O vozmozhnostyah predotvrashcheniya podtopleniya i zatopeniya territorij. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*. 2014. No. 6. P. 24—28.
5. **Ksenofontov B. S., Taranov P. A., Kozodaev A. S., Balina A. A.** Analiz riska podtopleniya i zatopeniya selitebnyh territorij v sluchayah vypadeniya sil'nyh livnej Chast' I. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*. 2013. No. 6. Prilozhenie. P. 1—24.
6. **Ksenofontov B. S., Taranov P. A., Kozodaev A. S., Balina A. A.** Analiz riska podtopleniya i zatopeniya selitebnyh territorij v sluchayah vypadeniya sil'nyh livnej Chast' II. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*. 2013. No. 7. Prilozhenie. P. 1—24.
7. **Ksenofontov B. S., Taranov R. A., Kozodaev A. S., Voropaeva A. A., Vinogradov M. S., Senik E. V.** Problemy podtopleniya i zatopeniya selitebnyh territorij: evropejskij opyt. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*. 2017. No. 1. P. 29—36.
8. **Patent RF No. 154781 na poleznuyu model'. Bystrovzvodimaja damba, 2014 / B. S. Ksenofontov, R. A. Taranov, A. S. Kozodaev, A. A. Voropaeva, M. S. Vinogradov, E. V. Senik.** Zaregistrirovan 25.12.2014 No. 2014152545/13.

Информация

**Продолжается подписка на журнал
"Безопасность жизнедеятельности" на первое полугодие 2018 г.**

Оформить подписку можно через подписные агентства
или непосредственно в редакции журнала

Подписные индексы по каталогам:

Роспечать — 79963; Пресса России — 94032

Адрес редакции: 107076, Москва, Стромьинский пер., д. 4,
Издательство "Новые технологии",
редакция журнала "Безопасность жизнедеятельности"

Тел.: (499) 269-53-97. Факс: (499) 269-55-10. E-mail: bjd@novtex.ru

УДК 631.416: 504.73

В. Г. Двуреченский, канд. биол. наук, науч. сотр., e-mail: dvu-vadim@mail.ru, Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, доц., Новосибирский государственный архитектурный и строительный университет (Сибстрин),
В. П. Середина, д-р биол. наук, проф., Томский государственный университет

Почвенно-экологическое состояние и пути восстановления техногенных экосистем лесостепного пояса Кузнецкой котловины

Исследованы техногенные ландшафты, возникшие в результате добычи каменного угля в лесостепном поясе Кузбасса. Дана почвенно-экологическая оценка нарушенных территорий. Определены пути и время восстановления техногенных экосистем до метастабильного состояния почвенного покрова.

Ключевые слова: техногенные экосистемы, эмбриоземы, почвенно-экологическое состояние техногенных ландшафтов

Введение

Кузбасс считается регионом с кризисной и катастрофической экологической обстановкой. Естественные ландшафты испытывают угнетающее влияние антропогенного воздействия, в результате которого ненарушенные экосистемы деградируют и погибают.

Горнодобывающая и горноперерабатывающая промышленность оказывает мощное техногенное воздействие на окружающую среду, которое проявляется не только в загрязнении атмосферного воздуха, образовании значительного объема сточных вод, истощении и загрязнении подземных вод, но и в изъятии из хозяйственного оборота земельных площадей, накоплении отходов производства. В то же время происходит концентрация населения на территории, где ограничены экологически безопасные места проживания и отдыха.

Наиболее существенные нарушения природной среды возникают именно при открытых горных работах, для организации которых используется значительная территория, занятая карьерами, отвалами, железнодорожными и автомобильными дорогами, обогатительными фабриками и другими промышленными сооружениями.

Снижение негативных последствий техногенного преобразования естественных ландшафтов возможно методами биологической рекультивации различного направления. После проведения рекультивационных работ дальнейшее восстановление в большинстве случаев происходит

естественным образом, путем развития растительности и процессов почвообразования на нарушенных территориях. При этом в зависимости от вида техногенных объектов и направления рекультивационных работ скорость восстановления может значительно различаться, что определяется наличием ресурсов рекультивации на данной территории, технологией рекультивационных работ и почвенно-экологическим состоянием нарушенных территорий. При этом под почвенно-экологическим состоянием техногенных ландшафтов понимается способность данного местообитания создавать перспективы рекультивации посредством развития процессов почвообразования и функционирования биогенной составляющей экосистем.

Определение почвенно-экологического состояния ландшафтов лесостепной зоны Кузнецкой котловины проводилось ранее [1, 2]. Тем не менее в настоящем исследовании присутствует новизна, связанная с тем, что каждый ландшафт, каждый объект имеет свой набор экологических функций, параметров и свойств. А сравнение техногенных ландшафтов с естественными служит для оценки степени нарушения и возможного восстановления экосистемы во времени. Существуют пять факторов почвообразования: материнская порода, климат, биота, рельеф и время [3]. В наш век интенсивного техногенного воздействия (часто негативного) к пяти факторам прибавился антропогенный.

Цель исследования: дать почвенно-экологическую оценку техногенным ландшафтам,



сформированным в результате добычи каменного угля.

Задачи исследования перечислены ниже.

1. Охарактеризовать почвенный покров исследуемой территории.

2. Изучить и сравнить морфологические свойства фоновой почвы и почв техногенных ландшафтов.

3. Выявить возможные пути восстановления нарушенных экосистем.

4. Определить скорость восстановления почвенного покрова.

5. Оценить почвенно-экологическое состояние техногенных ландшафтов Виноградовского угольного разреза.

Объекты исследования

Объектами исследования послужили почвы фоновая и техногенных ландшафтов, формирующиеся в лесостепном поясе Кузнецкой котловины на отвалах в пределах Виноградовского угольного разреза. Отвалы состоят из хаотичной смеси вскрышных и вмещающих пород: покровных суглинков и карбонатных глин, песчаников, аргиллитов, алевролитов с примесью углистых частиц. Объекты расположены в Беловском районе Кемеровской области.

Для определения типового состава и особенностей формирования почвенного покрова нарушенных территорий использовалась классификация почв техногенных ландшафтов, разработанная в лаборатории рекультивации почв Института почвоведения и агрохимии СО РАН [4].

Для исследования были заложены шесть разрезов: на черноземе выщелоченном (фоновая почва), на двух участках с техноземами, сформированными в результате проведения рекультивационных работ, возрастом 15 и 16 лет и на трех самозарастающих участках с эмбриоземами возрастом 1 год и 20 лет.

Разрез 1. Чернозем выщелоченный средне-мощный среднегумусный тяжелосуглинистый. Невспаханный участок с луговой разнотравно-злаковой растительностью.

A_d (0...10 см) — неоднородный, серый со светло-бурыми агрегатами, тяжелосуглинистый, мелко-комковато-пылеватый, рыхлый, сухой, корни травянистой растительности, граница неровная, переход по плотности и окраске;

A_1 (10...35 см) — неоднородный, серый со светло-серыми и бурыми пятнами, тяжелосуглинистый, комковато-зернистый, свежий, единичные корни травянистой растительности, переход по плотности и окраске;

A_1B (35...64 см) — неоднородный, светло-бурый, среднесуглинистый, комковато-зернистый, единичные корни растительности, переход по окраске и плотности;

B_1 (64...90 см) — неоднородный, светло-бурый, чуть светлее, среднесуглинистый, комковато-зернистый, переход по плотности и окраске;

$B_{2к}$ (90...120 см) — неоднородный, светло-бурый, псевдомицелий карбонатов, зернисто-комковатый, среднесуглинистый, вскипает от HCl, переход по плотности;

BC_k (120...150 см) — неоднородный, светло-бурый, более выражен псевдомицелий карбонатов, светлее предыдущего горизонта, зернисто-комковатый, среднесуглинистый, вскипает от HCl.

Разрез 2. Технозем гумусогенный. Заложено в 100 м на восток от горного отвала Виноградовского угольного разреза. Рельеф волнистый. Растительность представлена земляникой, мать-и-мачехой, тысячелистником, клевером луговым, хвощом луговым, пижмой, чертополохом, полынь. Возраст отвала — 15 лет.

0...10 см — неоднородный, серый со светло-серым оттенком, рыхлый, тяжелосуглинистый, сухой, пронизан корнями растительности, переход по сложению незаметный;

10...20 см — темно-серый с бурыми пятнами, рыхлый, тяжелосуглинистый, сухой, пронизан корнями растительности, переход по сложению незаметный;

20...30 см — серовато-бурый со светло-серыми и бурыми пятнами, тяжелосуглинистый, пронизан корнями растительности;

30...50 см — серовато-бурый со светло-бурыми и серыми пятнами, влажный, содержание каменистых пород и угля, тяжелосуглинистый;

50...60 см — светло-бурый с бурыми, серыми, ржавыми пятнами, влажный, содержание каменистых пород и угля.

Разрез 3. Технозем гумусогенный. Заложено в 2200 м на восток от разреза 1. Рельеф волнистый. В растительном покрове доминируют клевер луговой, одуванчик, молочай, конопля, мышиный горошек, хвощ луговой, лабазник, полынь, вьюнок. Возраст отвала — 16 лет.

0...10 см — серовато-бурый, рыхлый, пронизан корнями растительности, тяжелосуглинистый, переход по цвету и сложению незаметный;

10...20 см — серо-бурый с серыми пятнами, рыхлый, влажный, тяжелосуглинистый, пронизан корнями растительности, переход по сложению незаметный;

20...30 см — серовато-бурый с бурыми пятнами, тяжелосуглинистый, пронизан корнями растительности;

30...40 см — серовато-бурый с серыми и бурыми пятнами, тяжелосуглинистый, влажный;

40...80 см — темно-серый с бурым оттенком и бурыми пятнами, тяжелосуглинистый, влажный.

Разрез 4. Эмбриозем инициальный. Заложен на восточном склоне в сторону Виноградовского угольного разреза. Рельеф волнистый, с крутизной склона 7...10 градусов. Плохо зарастающие участки разнотравно-злакового луга. Возраст отвала — 1 год.

A_0 (0...10 см) — неоднородный, светло-буровато-серый, содержание крупнозема в виде смеси песчаника, аргиллитов и алевролитов с примесью углистых частиц, тяжелый суглинок, сухой; слабо уплотнен; переход по окраске и сложению незаметный;

C_1 (10...20 см) — неоднородный, серый, со светло-серыми пятнами и потеками, содержание крупнозема в виде смеси песчаника, аргиллитов и алевролитов с примесью углистых частиц, тяжелый суглинок, сухой; слабо уплотнен; переход по окраске и сложению незаметный;

C_2 (20...50 см) — серый, с охристыми и светло-бурыми пятнами и потеками, с большим содержанием крупнозема в виде смеси песчаника, аргиллитов и алевролитов с примесью углистых частиц, чем в предыдущих горизонтах; сухой, тяжелый суглинок, переход по окраске и сложению незаметный.

Разрез 5. Эмбриозем органо-аккумулятивный. Заложен в 1 км от разреза 4 на восточном склоне отвала. Рельеф волнистый. В растительном покрове отмечаются пырей, осот, мышиный горошек, полынь, кипрей, вьюнок. Возраст отвала — 1 год.

A_0 (0...1 см) — прошлогодний опад травянистых растений;

C_1 (1...10 см) — неоднородный, светло-бурый, с охристыми и светло-серыми пятнами, сухой; тяжелосуглинистый, с содержанием крупнозема в виде смеси песчаника, аргиллитов и алевролитов с примесью углистых частиц; переход по окраске и сложению незаметный;

C_2 (10...20 см) — неоднородный, буровато-темно-серый с охристыми пятнами, с содержанием крупнозема в виде смеси песчаника, аргиллитов и алевролитов с примесью углистых частиц, тяжелый суглинок, сухой; слабо уплотнен, переход по окраске и сложению незаметный;

C_3 (20...50 см) — темно-серый с охристыми пятнами, с содержанием крупнозема в виде смеси песчаника, аргиллитов и алевролитов с примесью углистых частиц, тяжелый суглинок, сухой.

Разрез 6. Эмбриозем гумусово-аккумулятивный. Заложен на южном склоне участка Черемшанский. Рельеф слабоволнистый, с крутизной

склона около 3°. Растительный покров представляет собой разнотравный луг, в составе которого отмечаются земляника, мать-и-мачеха, тысячелистник, клевер луговой, хвощ луговой, пижма, чертополох, полынь. Возраст отвала — около 20 лет.

A_0 (0...1 см) — опад травянистых растений прошлого года;

A_d (1...4 см) — дернина неплотная;

A_1 (4...6 см) — гумусово-аккумулятивный горизонт;

C_1 (6...10 см) — неоднородный, серый со светло-серым оттенком, рыхлый, тяжелосуглинистый, сухой, пронизан корнями растительности, переход по сложению незаметный;

C_2 (10...20 см) — темно-серый с бурыми пятнами, рыхлый, тяжелосуглинистый, сухой, пронизан корнями растительности, переход по сложению незаметный;

C_3 (20...50 см) — серовато-бурый со светло-серыми и бурыми пятнами, тяжелосуглинистый, пронизан корнями растительности.

Результаты исследования

Сравнив морфологические особенности почв техногенных ландшафтов и фоновых черноземов выщелоченных, необходимо отметить следующее:

1) во всех типах эмбриоземов определяется сильная каменистость профиля и невысокое содержание мелкозема;

2) в отличие от черноземов выщелоченных, которые имеют развитый почвенный профиль с выраженным, мощным гумусовым горизонтом (20 см и более), в эмбриоземах профиль развит слабо, а гумусовый горизонт отмечается только в эмбриоземах поздней фазы эволюции техногенной экосистемы — гумусово-аккумулятивной; профиль техноземов состоит из нескольких слоев;

3) в черноземах выщелоченных присутствуют карбонаты в виде псевдомицелия, в эмбриоземах и техноземах таких включений не наблюдается, зато имеется в наличии большое количество углистых частиц;

4) черноземы выщелоченные и техноземы более дифференцированы по цвету профиля, при этом цвет техноземам придает материал, который отсыпался, согласно проекту рекультивации; эмбриоземы имеют серые оттенки профиля;

5) если "захват" профиля эмбриоземов и техноземов корнями растений составляет около 10...30 см, то в черноземах выщелоченных такой "захват" достигает 60 см [5].

Сравнение морфологического строения почв позволило выявить, что фоновая почва и почвы техногенных ландшафтов сильно различаются.



Следовательно, различаются и ландшафты, так как почва является индикатором экологического состояния экосистемы.

После техногенной фазы формирования ландшафта, на которой формируется базис ландшафта, рельеф и породы, восстановление растительного и почвенного покровов чаще всего происходит по двум направлениям.

1. В результате выполнения рекультивационных работ методами преобразования исходного техногенного субстрата формируются техноземы — почвоподобные образования с искусственно сформированным корнеобитаемым слоем [6].

2. В результате естественного восстановления растительности на поверхности техногенных ландшафтов начинают развиваться молодые почвы — эмбриоземы, в которых почвенные свойства и режимы находятся на начальной стадии формирования [7].

В результате неселективного отвалообразования на Кузбассе происходят безвозвратные потери ресурсов рекультивации — плодородного слоя почвы (ПСП) или гумусовый горизонт и потенциально плодородные породы (ППП), которыми являются покровные глины и карбонатные суглинки.

Согласно ГОСТ 17.5.1.01—83 [8] на объекте исследования рекультивационные работы выполнялись в два этапа. На первом (горнотехническом) этапе было проведено выколаживание и рыхление отвалов. В дальнейшем на спланированные участки отсыпался слой ПСП и слой ППП. Таким образом, сформированные техноземы приобрели многослойный профиль. Первый слой — это субстрат отвала. Второй слой — это искусственно созданный корнеобитаемый слой, состоящий из ПСП мощностью около 20 см. Чаще всего эти слои остаются несопряженными, не взаимодействуют друг в друга, что отрицательно сказывается на качестве формируемой почвы. На втором (биологическом) этапе рекультивации на сформированных участках техноземов проводился посев многолетних трав (фитомелиорация).

При естественном самозарастании техногенных объектов сингенетично с развитием растительного покрова формируется специфический почвенный покров. В составе формирующегося почвенного покрова преобладают четыре основных типа эмбриоземов: инициальные, органо-аккумулятивные, дерновые и гумусово-аккумулятивные, которым соответствует определенная стадия развития растительной сукцессии. При этом скорость развития растительной сукцессии и формирования замкнутого фитоценоза и, соответственно, наиболее развитых гумусово-аккумулятивных эмбриоземов, в первую очередь, будет

зависеть от свойств техногенного субстрата и рельефа, образованных при формировании техногенного ландшафта, а также, в некоторой степени, и от специфики экологических условий в районе расположения техногенного ландшафта [7].

На поверхности отвалов Виноградовского угольного разреза в результате проведения рекультивационных работ около 16 лет назад были сформированы техноземы, но не на всей площади, а на той, на которую хватило ресурсов рекультивации. Остальные участки остались под самозарастание. Таким образом, почвенный покров на отвалах представлен эмбриоземами трех типов, а также техноземами гумусогенными. Субстрат отвалов нефитотоксичный, тем не менее на начальных этапах освоения малоприспособный по физико-механическим свойствам.

На рекультивационной площадке с отсыпкой ПСП на поверхность отвала, где были сформированы техноземы гумусогенные, растительный покров представлен луговым разнотравьем. Проктивное покрытие достигает 95...100 %.

На поверхности отвала за более чем 20 лет произошло естественное развитие растительных сукцессий до стадии сложного замкнутого фитоценоза. На таких участках ландшафта с наиболее благоприятными условиями для почвообразования, которые способствовали естественному развитию процессов почвообразования (большое количество суглинистого материала в составе субстрата), формируются эмбриоземы гумусово-аккумулятивные. На участках ландшафта с неблагоприятными условиями (с преобладанием плотных песчаников и углистых пород) почвообразование приостановилось на начальных стадиях — инициальной и органо-аккумулятивной.

Формирующийся почвенный покров на техногенном объекте, может быть использован в качестве индикатора развития процессов почвообразования и оценки почвенно-экологического состояния техногенных ландшафтов. Чем выше скорость прохождения стадий растительной сукцессии и стадий развития эмбриоземов, тем лучше почвенно-экологическое состояние техногенных ландшафтов. Наличие в составе почвенного покрова техногенных ландшафтов эмбриоземов гумусово-аккумулятивных свидетельствует о благоприятных перспективах восстановления, и, наоборот, если в составе почвенного покрова техногенных ландшафтов преобладают наименее генетически развитые эмбриоземы инициальные и органо-аккумулятивные, то прогноз для восстановления техногенно нарушенных территорий менее благоприятный, а значит, почвенно-экологическое состояние экосистемы будет неудовлетворительное.

Проведенные исследования показали, что почвенно-экологическое состояние техногенных объектов связано, в первую очередь, со свойствами почвообразующих пород, а также с другими факторами почвообразования, которые оказывают существенное влияние на скорость восстановления почвенного покрова на техногенных объектах при их самозарастании или рекультивации (климат, рельеф, биота). На поверхности техногенных ландшафтов формируется почвенный покров, который представлен сочетанием различных типов эмбриоземов и техноземов. Каждый тип эмбриоземов и соотношение площадей, занимаемых тем или иным типом, характеризует определяемый законами сингенеза уровень жизнедеятельности биоценоза, а также общее почвенно-экологическое состояние техногенного ландшафта.

Известно, что техногенный ландшафт в лесостепном поясе Кузбасса входит в экоклин в течение 15...20 лет с момента образования [7], с формированием в конечном итоге эмбриоземов гумусово-аккумулятивных. Тем не менее после 20 лет развития техногенной экосистемы в ее почвенном покрове присутствуют все типы эмбриоземов, за исключением дерновых, что определяет неоднородность почвенного покрова, которая связана с различными факторами и условиями почвообразования.

На выположенных, открытых участках техногенного ландшафта смена сукцессий фитоценоза, а значит, развитие почв происходит от инициальной стадии до органо-аккумулятивной и далее до дерновой и самой генетически развитой, гумусово-аккумулятивной. Участки с формирующимися эмбриоземами гумусово-аккумулятивными находятся в метастабильном состоянии [9]. Дальнейшее развитие или переход может произойти в том случае, если сменятся фактор или условия почвообразования. Вопрос о том, сколько времени ландшафт будет находиться в метастабильном состоянии, сколько будет длиться переходный период, какие почвы в результате этого перехода сформируются и каково будет почвенно-экологическое состояние, остается открытым.

Для ускорения восстановления почвенно-растительного покрова необходимо, во-первых, сохранение ресурсов рекультивации способом отсыпки в гурты ПСП и ППП; во-вторых, проведение рекультивационных работ, направленных на улучшение условий почвообразования в техногенных ландшафтах, для обеспечения долгосрочного функционирования фитоценозов. Одним из вариантов успешной рекультивации является создание органоминеральных смесей и отсыпка их на поверхность техногенных объектов с последующей биологической рекультивацией. Другим

вариантом рационального способа восстановления почв является формирование техноземов с отсыпкой смеси потенциально плодородной породы и плодородного слоя почвы.

Данная смесь, имея свойства горизонта A_1 и горизонта В естественных почв, в процессе эволюции будет генетически предопределять свое дальнейшее развитие в зависимости от условий почвообразования. Этот вариант возможен для рекультивации практически всех нарушенных ландшафтов путем размещения смеси ПСП и ППП с территорий, отведенных под размещение новых техногенных объектов. При этом будут сохраняться ресурсы рекультивации, а процессы восстановления нарушенных территорий будут происходить интенсивнее. При таком подходе свойства и режимы сформированных техноземов, определяющие их плодородие, будут формироваться естественным образом в результате восстановления и развития биогенной компоненты экосистем.

Выводы

1. В почвенном покрове техногенных ландшафтов лесостепного пояса Кузнецкой котловины определяются эмбриоземы инициальные, органо-аккумулятивные, гумусово-аккумулятивные и техноземы гумусогенные.

2. Почвы техногенных ландшафтов Виноградовского угольного разреза следует считать азональными почвенными образованиями. Азональность техноземов и эмбриоземов приводит к появлению новых экологических систем с рядом отличительных особенностей от зональных.

3. Восстановление экосистем в посттехногенную фазу происходит путем проведения рекультивационных работ и в результате самозарастания.

4. В течение 20 лет произошли смены сукцессии в техногенной экосистеме от инициальной стадии до гумусово-аккумулятивной. Таким образом, экологическая обстановка на техногенно нарушенных и сопряженных с ними территориях улучшается при развитии почвенного покрова и увеличении скорости почвообразования.

5. Практически восстановленный растительный и почвенный покров отвала характеризует почвенно-экологическое состояние данного техногенного ландшафта как хорошее, а прогноз дальнейшего естественного восстановления нарушенной территории считается благоприятным.

6. С целью достижения максимального экологического эффекта, применимого к конкретному ландшафту, необходимо проводить мониторинг каждого этапа рекультивации. При этом нужно ввести дифференцированную ответственность ресурсопользователей за каждый этап таких работ.



Список литературы

1. **Двуреченский В. Г.** Географо-генетическая характеристика форм железа в эмбриоземах Кузбасса: автореф. дисс. ... канд. биол. наук. — Новосибирск, 2011. — 19 с.
2. **Госсен И. Н., Беланов И. П.** Гранулометрический состав эмбриоземов в техногенных ландшафтах лесостепной зоны Кузбасса // Сибирский экологический журнал. — 2011. — № 5. — С. 713—718.
3. **Докучаев В. В.** Учение о зонах природы и классификация почв: Сочинения. Т. VI. — М., Л.: АН СССР, 1951. — 375 с.
4. **Курачев В. М., Андроханов В. А.** Классификация почв техногенных ландшафтов // Сибирский экологический журнал. — 2002. — № 3. — С. 255—261.
5. **Двуреченский В. Г.** Сравнительная морфологическая характеристика почв техногенных степных и горно-таежных ландшафтов // Почвоведение и агрохимия. — 2014. — № 3. — С. 5—14.
6. **Андроханов В. А., Овсянникова С. В., Курачев В. М.** Техноземы: свойства, режимы, функционирование. — Новосибирск: "Наука" Сибирская издательская фирма РАН, 2000. 200 с.
7. **Андроханов В. А., Курачев В. М.** Почвенно-экологическое состояние техногенных ландшафтов: динамика и оценка. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2010. — 224 с.
8. **ГОСТ 17.5.1.01—83** Охрана природы. Рекультивация земель: Термины и определения.
9. **Двуреченский В. Г.** Динамика группового состава железа в почвах техногенных ландшафтов лесостепных участков Кузнецкой котловины // Сибирский экологический журнал. — 2015. — Т. 22. — № 1. — С. 136—144.

V. G. Dvurechenskij, Research Associate, e-mail: dvu-vadim@mail.ru, Institute of Soil Science and Agrochemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Associate Professor, Novosibirsk State Architectural and Construction University, **V. P. Seredina**, Professor, Tomsk State University

Soil-Ecological State and Ways of Restoration of Technogenic Ecosystems of the Forest-Steppe Belt of the Kuznetsk Basin

The purpose of the work: to give a soil-ecological assessment of man-made landscapes formed as a result of coal mining. In the soil cover of man-made landscapes of the forest-steppe belt of the Kuznetsk basin, initial, organo-accumulative and humus-accumulative embryozems and humusogenic technozems are determined. The soils of technogenic landscapes of the coal mine should be considered as azonal soil formations. Azonality of technozems and embryozems leads to the appearance of new ecological systems with a number of distinctive features from zonal ones. The restoration of ecosystems to the post-technogenic phase occurs through reclamation and as a result of overgrowing. During 20 years in the technogenic ecosystem there have been changes from the initial stage to the humus-accumulative one. The ecological situation on technogenically disturbed and adjacent territories improves with the development of the soil cover and an increase in the rate of soil formation. The practically restored vegetation and the soil cover of the dump characterize the good soil-ecological state of this man-made landscape, and the forecast for further natural restoration of the disturbed territory is considered favorable. To achieve the maximum ecological effect applicable to a particular landscape, it is necessary to monitor each stage of reclamation. At the same time, it is necessary to introduce a differentiated responsibility of users of resources for each stage of such work.

Keywords: *technogenic ecosystems, embryozemes, soil-ecological state of technogenic landscapes*

References

1. **Dvurechenskij V. G.** Geografo-geneticheskaja harakteristika form zheleza v jembriozemah Kuzbassa: avtoref. diss. ... kand. biol. nauk. Novosibirsk, 2011. 19 p.
2. **Gossen I. N., Belanov I. P.** Granulometricheskij sostav jembriozemov v tehnogennyh landshaftah lesostepnoj zony Kuzbassa. *Sibirskij jekologicheskij zhurnal*. 2011. No. 5. P. 713—718.
3. **Dokuchaev V. V.** Uchenie o zonah prirody i klassifikacija pochv: Sochinenija. Vol. VI. Moscow, Leningrad: AN SSSR, 1951. 375 p.
4. **Kurachev V. M., Androhanov V. A.** Klassifikacija pochv tehnogennyh landshaftov. *Sibirskij jekologicheskij zhurnal*. 2002. No. 3. P. 255—261.
5. **Dvurechenskij V. G.** Sravnitel'naja morfologicheskaja harakteristika pochv tehnogennyh stepnyh i gorno-taezhnyh landshaftov. *Pochvovedenie i agrohimiya*. 2014. No. 3. P. 5—14.
6. **Androhanov V. A., Ovsjannikova S. V., Kurachev V. M.** Tehnozemy: svojstva, rezhimy, funkcionirovanie. Novosibirsk: "Nauka" Sibirskaja izdatel'skaja firma RAN, 2000. 200 p.
7. **Androhanov V. A., Kurachev V. M.** Pochvenno-jekologicheskoe sostojanie tehnogennyh landshaftov: dinamika i ocenka. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2010. 224 p.
8. **ГОСТ 17.5.1.01—83** Ohrana prirody. Rekul'tivacija zemel': Terminy i opredelenija.
9. **Dvurechenskij V. G.** Dinamika gruppovogo sostava zheleza v pochvah tehnogennyh landshaftov lesostepnyh uchastkov Kuzneckoj kotloviny. *Sibirskij jekologicheskij zhurnal*. 2015. Vol. 22. No. 1. P. 136—144.

УДК 371.388

С. Г. Смирнов, канд. техн. наук, доц., Е. А. Долгих, магистрант, e-mail: dolgikh1994@bk.ru, Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана

О новом типе лабораторной работы по дисциплине "Безопасность жизнедеятельности"

Представлена оригинальная лабораторная работа "Исследование влияния условий труда на зрительную работоспособность и внимание". Отмечено, что в ходе эксперимента за основу был принят широко применяемый в гигиенических исследованиях буквенный тест — "Таблицы Анфимова". Для проведения данного исследования использована компьютерная программа, которая случайным образом генерирует последовательность букв и автоматически рассчитывает количественные и качественные показатели работоспособности и внимания. По результатам исследования был сделан вывод, что зрительная работоспособность и внимание во время умственной деятельности напрямую зависят от создания оптимальных условий труда.

Ключевые слова: зрительная работоспособность, работоспособность, внимание, таблицы Анфимова, лабораторная работа, тестирование, профориентация, концентрация внимания, условия труда, практикум

Введение

Изучение дисциплины "Безопасность жизнедеятельности" (БЖД) в высшей школе является сложным и многогранным процессом, основанным на знаниях, полученных при предварительном изучении студентами физики, химии, электротехники, экологии и других фундаментальных наук, в том числе наук о человеке. Цикл преподавания дисциплины БЖД состоит из основных познавательных этапов: лекции, практические занятия, лабораторный практикум и самостоятельное выполнение специального раздела по безопасности в выпускной квалификационной работе бакалавра, инженера, магистра.

Выполнение лабораторных работ является одним из важнейших звеньев учебного процесса. При изучении дисциплины БЖД крайне важна экспериментальная работа, проведение натуральных исследований. "На лабораторных занятиях осуществляется интеграция теоретико-методологических знаний и практических умений студентов в условиях той или иной степени близости к реальной профессиональной деятельности. Именно на лабораторных занятиях студенты получают навыки экспериментальной работы, учатся обращаться с измерительными приборами, обрабатывать полученные результаты, делать выводы из опытных данных" [1, 2].

Лабораторный практикум по БЖД должен содержать работы трех типов: "Анализ",

"Нормирование", "Защита", т. е. всех тех видов деятельности, которыми придется заниматься выпускникам вузов в своей практической работе. Часть работ должна быть направлена на анализ, идентификацию и исследование воздействия на человека опасных и вредных факторов техно-сферы; другая часть — на изучение принципов нормирования этих факторов и основ специальной оценки условий труда (СОУТ) согласно закону РФ; третья часть работ практикума посвящена исследованию эффективности средств индивидуальной и коллективной защиты человека от негативного воздействия агрессивной окружающей среды и созданию комфортных условий.

Введение в лабораторный практикум элементов исследовательской работы с непредсказуемыми результатами является эффективным побуждающим средством заинтересованности студента в изучаемой дисциплине и углублении знаний, важных для будущей профессии [2]. По мере развития науки и производства, усложнения оборудования и технологических процессов в инженерное дело проникают методы математического моделирования и программного обеспечения, в силу этого меняется структура лабораторного практикума, в котором находят место работы, выполняемые с применением персональных компьютеров. Многие кафедры высших учебных заведений и отдельные преподаватели сталкиваются с проблемой постановки лабораторных работ по дисциплине БЖД, разработки методических

материалов и проведения самой работы, испытывая при этом трудности принципиального характера в связи с отсутствием материальной базы: приборного обеспечения, учебных стендов и другого оборудования.

В данной статье предлагается описание оригинальной лабораторной работы "Исследование влияния условий труда на зрительную работоспособность и внимание", которая выполняется студентами за обычным рабочим столом с использованием персонального компьютера или ноутбука. Как показал опыт проведения этой лабораторной работы на кафедре "Экология и промышленная безопасность" МГТУ им. Н. Э. Баумана, исследования по разработанному алгоритму вызывают неподдельный интерес у студентов, дискуссии, желание проверить свое физическое и психологическое состояние и даже определить тип личности с предрасположенностью к конкретным видам деятельности. Цель работы заключается в исследовании влияния факторов условий труда и сложности выполняемой работы на зрительную работоспособность, внимание и точность выполнения задания.

Теоретическая часть

Работоспособность человека в процессе выполнения задания зависит от напряженности функционирования сенсорных систем, воспринимающих информацию (зрение, слух), от

сосредоточенности внимания, памяти, мышления, эмоционального состояния. Изучение работоспособности человека необходимо для контроля за состоянием центральной нервной системы и его изменением под действием различных факторов. Ухудшение состояния центральной нервной системы происходит при развитии утомления, связанного с напряженной, сложной умственной работой. Прогрессирование утомления и наступление переутомления относятся к патологическим состояниям и ведут не только к снижению качества усвоения информации, но и к нервно-психической дезадаптации. Поэтому оценка воздействия внешних факторов и раннее выявление признаков зрительного и общего утомления, а также их своевременная коррекция являются важным условием сохранения психического здоровья человека и создания комфортных условий труда. Большое число факторов, определяющих уровень работоспособности (рис. 1), усложняет исследование влияния каждого из них. Кроме того, работоспособность каждого человека индивидуальна, зависит от уровня его тренированности, физического и психологического состояния, мотивации к труду в данный момент времени. Поэтому при исследовании работоспособности необходима комплексная оценка факторов производственной среды, самочувствия испытуемого и характера труда.

Термин **зрительная работоспособность** используют для количественной оценки способности

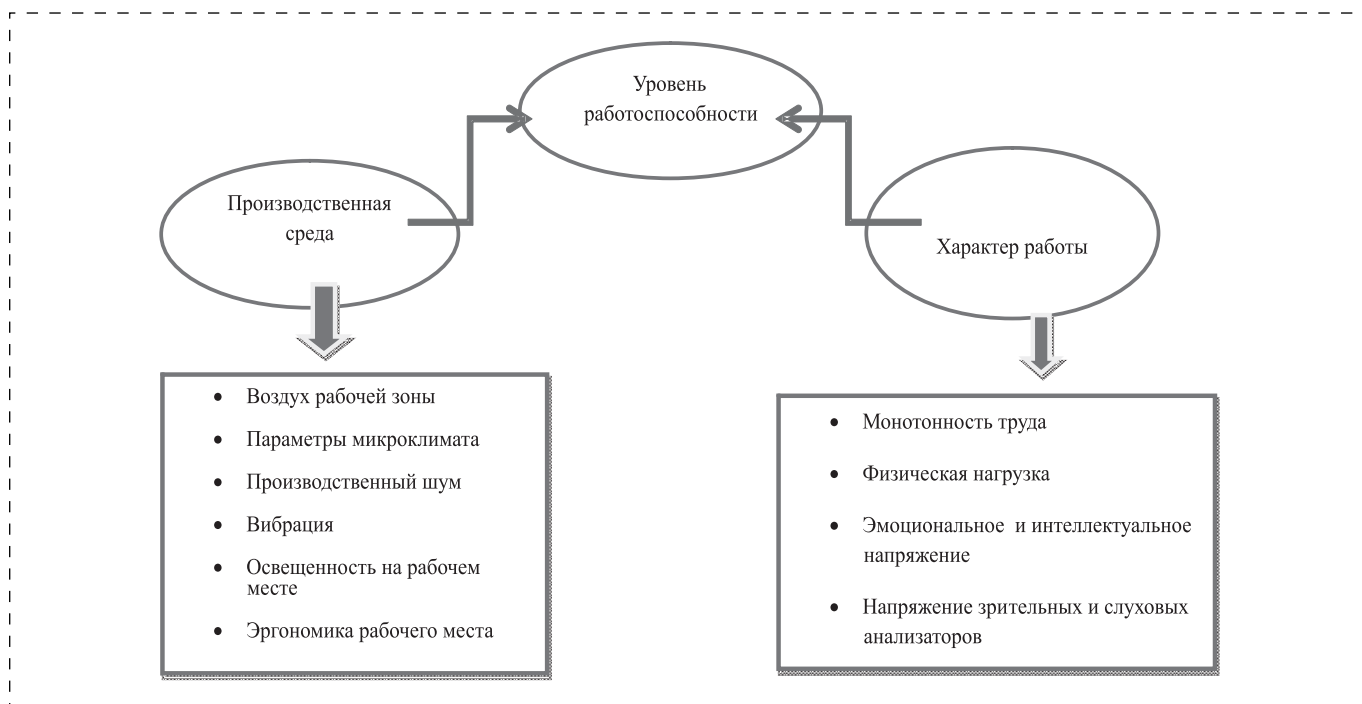


Рис. 1. Факторы, определяющие уровень работоспособности

человека заметить, зафиксировать и обработать объект различения, попавшего в поле зрения, основываясь на скорости, точности и качестве восприятия. Зрительная работоспособность одновременно зависит от собственных характеристик выполняемого задания (размера, формы, положения, цвета, коэффициента отражения деталей и фона), способности восприятия, на которую влияют внешние условия труда, и индивидуальных качеств наблюдателя. Кроме того, на зрительную работоспособность влияют такие параметры, как уровень освещенности, ее неравномерность, акустические помехи, снижающие внимание, и, в более общем смысле, организация рабочего места.

Зрительное восприятие, например, текста с экрана монитора связано со следующими параметрами: яркостным контрастом объектов (букв) с фоном; размером, формой и структурой читаемого текста; положением изображения на сетчатке; цветовым контрастом; ограниченностью времени и наличием отвлекающих звуков. Улучшение звукового фона окружающей обстановки должно стоять первым пунктом в списке факторов, повышающих работоспособность. Идеальные условия для работы — отсутствие беспокоящих звуков или тихая спокойная музыка.

Важным фактором, *определяющим качество* выполняемой зрительной работы, является **внимание** — это особое состояние сознания, благодаря которому субъект направляет и сосредоточивает познавательные процессы для более полного и четкого отражения действительности. Внимание связано со всеми сенсорными и интеллектуальными процессами.

Концентрация внимания — степень сосредоточенности сознания на одном объекте, интенсивная направленность сознания на этот объект. Выделяют следующие виды внимания: **чувственное** (сенсорное — зрительное, слуховое, обонятельное), связанное с эмоциями и избирательной работой органов чувств. В центре сознания находятся какие-либо чувственные впечатления; **интеллектуальное**, преимущественно связано с сосредоточенностью и направленностью мысли; объектом интереса является мысль; **непроизвольное** (непреднамеренное) — так, резкий звук, неожиданное явление вызывает внимание помимо нашей воли; **преднамеренное** (произвольное), требующее волевых усилий, вычленения значимой информации. Очень важное значение для успеха в любой деятельности, в том числе и в профессиональной, имеет включение интеллектуального и преднамеренного внимания, его устойчивость и концентрация. Эти качества человека характеризуют глубину, длительность и интенсивность сосредоточенности на объектах деятельности.

Существует ряд профессий, в которых высокая ответственность за ошибку заставляет специалиста постоянно находиться в состоянии повышенного внимания и готовности к действиям. Такие профессии, как контролер качества продукции, авиадиспетчер, летчик, оператор АЭС, редактор издательства, сотрудник оперативных служб, хирург, требуют высокой зрительной работоспособности и устойчивости внимания на протяжении всего рабочего дня.

Экспериментальная часть

Для выявления уровня зрительной работоспособности и внимания при выполнении работ различной сложности и наличия раздражающих факторов предлагается использовать дозированное задание с использованием тестов по корпоративным таблицам Анфимова [3—5]. Таблицы представляют собой последовательные ряды букв.

С Х А В С Х Е В И Х И А И С Н Х В Х В К А
С И Н И С В Х В Х Е И А Н С И Е В А К В Н Х
И В С И А В С А В С Н А Е К Е А Х В К Е С В
С Н А И С А И С А И С И А В К Н Х И С Х В Х
Е К В Х И В Х Е И С И Е И Н А И Е И К Х К И
К Х Е К В К И С В Х И Х А К Х Н С К А И С В
Е К В Х Н А И С Н Х Е К Х И С Н А К С К В Х
К В Н А В С Н С Н А И К А Е К К И С Х А И В
Х Е К В И С Н А И К Е К А Е К С Н А И Х Е И
К А С Н А Е С В Н И Х К А

В первой части лабораторной работы в процессе исследований, начиная с верхней строки, последовательно просматривая буквы в направлении слева направо необходимо вычеркивать или подчеркивать буквы в соответствии с заданием преподавателя в течение двух минут. Работать нужно в максимально быстром темпе. Например, при чтении каждой строчки в тексте: "букву "Х" вычеркивать, а букву "В" подчеркивать". Компьютерная программа составлена так, что для того, чтобы подчеркнуть букву, необходимо подвести курсор и нажать левую клавишу мыши, а для вычеркивания буквы использовать правую клавишу мыши. По истечении двух мин проводится обработка результатов эксперимента программой автоматического подсчета показателей работоспособности и внимания. Определяются **количественные** показатели работоспособности, такие как: количество просмотренных знаков; объем зрительной информации, бит; скорость переработки информации, бит/с. Кроме того, определяются **качественные** показатели уровня внимания: число ошибок, допущенных при просмотре знаков; показатель устойчивости внимания.

Для данной лабораторной работы и проведения эксперимента была написана компьютерная



программа, которая случайным образом генерирует последовательность букв таблицы Анфимова. Программа также позволяет изменять стиль и размер шрифта, цвет букв, цвет фона. В связи с этим при проведении работы появляется возможность расширения списка заданий по влиянию на работоспособность и внимание оператора разнообразных факторов. Сформировано четыре задания: *влияние размера шрифта* (12, 14, 16); *влияние стиля шрифта* (курсив, не курсив); *влияние контраста объекта с фоном* (фон белый, черный, бежевый; буквы черные, белые); *влияние звуков различного характера*. При исследовании влияния воздействия звуковой среды на выполнение эксперимента предусмотрены три вида звуковых сигналов: спокойная релаксирующая музыка; монотонный шум станка; новостное радиосообщение. Для подачи различных звуков и создания условий тишины при проведении экспериментов предусмотрены высокоэффективные наушники с встроенными динамиками.

Для усложнения задачи сохранения устойчивого внимания испытуемого в заданиях использовались похожие по зрительному восприятию пары буквы: О-С, К-Х, Т-Г, П-Л, Б-Ь, И-Н. По окончании работы на экране появляются рассчитанные количественные и качественные результаты эксперимента:

- а) общее число просмотренных знаков S ;
- б) число вычеркнутых букв M ;
- в) общее число букв, которое необходимо было вычеркнуть в просмотренном тексте N ;
- г) число допущенных ошибок или пропущенных знаков n ;
- д) коэффициент точности выполнения задания:

$$A = M/N; \quad (1)$$

- е) коэффициент умственной продуктивности:

$$P = A \times S; \quad (2)$$

- ж) объем зрительной информации, бит:

$$Q = 0,5936 \times S, \quad (3)$$

где 0,5936 — средний объем информации, приходящийся на один знак;

- з) скорость переработки информации — оценивает количество переработанной информации за 1 с, бит/с:

$$СПИ = (Q - 2,807n)/T, \quad (4)$$

где 2,807 — потеря информации, бит, приходящейся на один пропущенный знак; T — время выполнения задания, с;

- и) показатель устойчивости внимания:

$$УВН = S/n. \quad (5)$$

После проведения тестирования студентам необходимо построить графики зависимости характеристик работоспособности и внимания (скорости переработки информации $СПИ$, коэффициента умственной продуктивности P , показателя устойчивости внимания $УВН$) от различных условий труда и сделать вывод. Примеры оформления гистограмм приведены на рис. 2 и 3.

Во второй части данной лабораторной работы с использованием тех же таблиц Анфимова можно провести тестирование на предрасположенность человека к профессиям, связанным с повышенным вниманием и высоким напряжением зрения в процессе работы. Такое тестирование проводится в течение 4 мин и может использоваться для профориентации. Если во время проведения эксперимента было достаточно сложно напрягать зрение и сохранять внимание, то, скорее всего, испытуемому необходимо отказаться от профессиональной деятельности, требующей постоянного напряжения глаз. Программисты, сварщики, сборщики, ряд профессий, связанных с использованием микроскопа, хирурги, летчики, ювелиры, редакторы и корректоры печатных изданий, операторы АЭС — вот перечень специалистов, чья деятельность основана на постоянной концентрации зрения. Следует учитывать, что эти виды деятельности относятся к профессиям с переносимыми ниже вредными условиями труда.

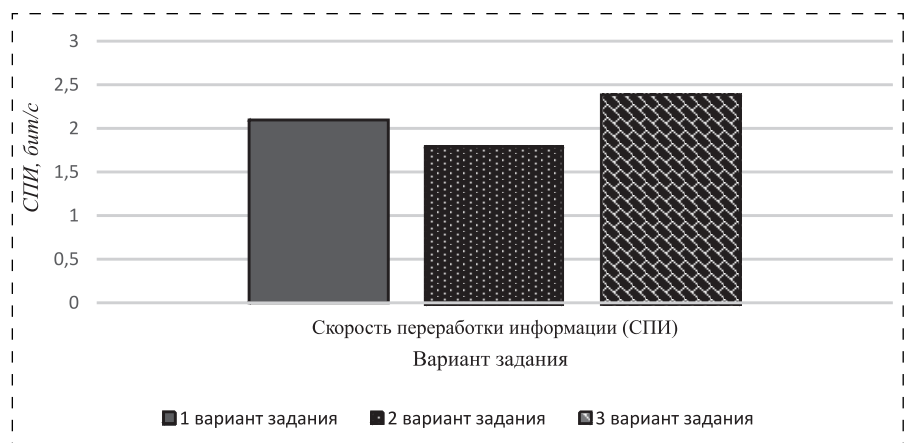


Рис. 2. Изменение скорости переработки информации $СПИ$

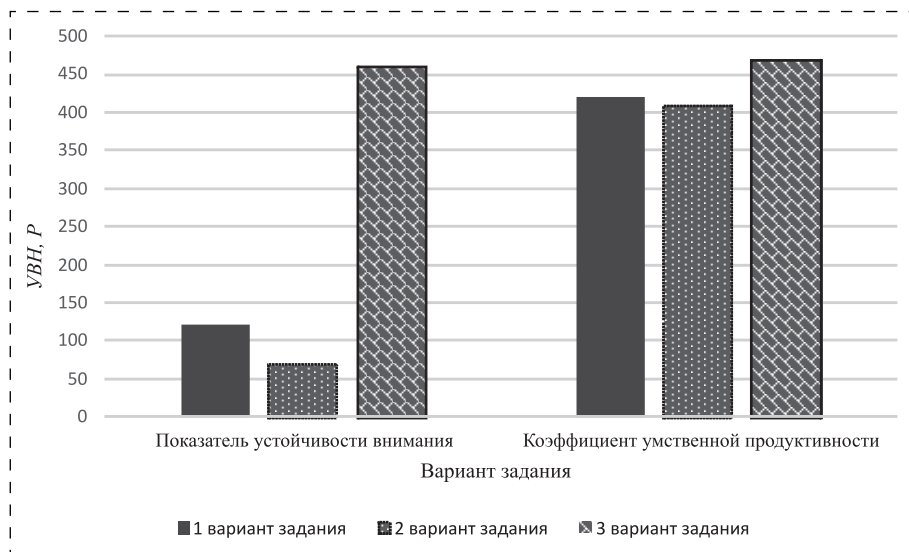


Рис. 3. Изменение показателя устойчивости внимания *УВН* и коэффициента умственной продуктивности *Р*

1. *Повышенная нагрузка на зрительный анализатор* — продолжительная работа с объектами различия малого размера.

2. *Интеллектуальная нагрузка* — необходимость быстрого принятия решений, творческая деятельность, постоянное восприятие и оценка новой информации, высокая степень сложности задания.

3. *Эмоциональная нагрузка* — степень ответственности за выполняемое задание, дефицит времени, значимость ошибки.

4. *Монотонность трудового процесса* — многократное повторение однообразных действий, длительность сосредоточенного наблюдения.

5. *Гиподинамия* — длительное пребывание оператора в одной позе без активных движений.

После проведения эксперимента студентам предлагается сравнить полученные результаты эксперимента с ориентировочными критериями, приведенными в таблице, и дать оценку зрительной работоспособности испытуемого на момент исследования.

Критерии оценивания

Оценка	Число просмотренных знаков	Качество труда — число допущенных ошибок
Отлично	Более 1000	0...3
Хорошо	900...1000	4...6
Удовлетворительно	700...900	7...10
Неудовлетворительно	Менее 700	11 и более

Результаты исследования по влиянию на зрительную работоспособность и внимание размеров различных объектов, разных вариантов контраста и отвлекающих звуков, с точки зрения здравого смысла, могут быть заранее предугаданы, однако ценность проводимого исследования заключается в определении уровня влияния, важности этих факторов в негативную или позитивную сторону. Кроме того, студенты убеждаются, что работоспособность каждого человека индивидуальна, зависит от его тренированности, физического и психологического состояния на данный момент времени.

Вывод

Рассмотренная лабораторная работа соответствует тематике программы по дисциплине "Безопасность жизнедеятельности", органично вписывается в раздел "Анализ" практикума, может быть легко реализована в вузах Российской Федерации не только на кафедрах Безопасности жизнедеятельности, но и на кафедрах, где изучают основы здорового образа жизни, физиологии и психологии.

Список литературы

1. Семенюк Е. А. Организация лабораторного практикума при изучении физики в вузах // Педагогика: традиции и инновации: Материалы Междунар. науч. конф. октябрь 2011 г.). — Челябинск. — С. 87—89.
2. Дорофеев А. А. Лабораторный практикум по инженерным дисциплинам: дидактика и методика: Учебное пособие. — М.: РИОР: ИНФРА. — 302 с. (Высшее образование). URL: <https://doi.org/10.12737/20928> (дата обращения 10.04.2017).
3. Свириденко Ю. Ф., Кунцов В. П. Роль лабораторного практикума в процессе формирования инженера в современных условиях. Южный филиал "Крымский агротехнологический университет" Национального университета. URL: www.rusnauka.com/_28NIOXXI_2008/Pedagogical135109/doc/htm (дата обращения 10.04.2017).
4. Вайнер Э. Н. Валеология: Учебное пособие. — М.: Наука, 2010. — 448 с.
5. Яковлев Б., Литовченко О. Психофизиологические основы здоровья: Учебное пособие. — М.: Эксмо, 2010. — 288 с.
6. Комарова И. А. Методы исследования работоспособности человека — М., 2001.



S. G. Smirnov, Associate Professor, E. A. Dolgikh, Graduate Student, e-mail: dolgikh1994@bk.ru, Bauman Moscow State Technical University

On a New Type of Laboratory Work on the Discipline of Life Safety

At present, the problem of studying attention and working capacity acquires a special urgency, since mental activity is associated with increased stress on the visual analyzer. This article proposes the original laboratory work "Investigation of the influence of working conditions on visual performance and attention", which is performed by students on a regular desktop using a personal computer or laptop. In the course of the experiment, an alphabetic test was used as a database, widely used in hygienic studies — the "Anfimov tables". To conduct this research, a computer program was written that randomly generates a sequence of letters and automatically calculates quantitative and qualitative indicators of efficiency and attention. The aim of the work is to investigate the influence of working conditions factors and the complexity of the work performed on visual performance, attention and accuracy of the task. As a result of the work done, we can conclude that the visual characteristics and attention during the mental activity directly depend on the creation of optimal working conditions.

Keywords: visual efficiency, efficiency, attention, Anfimov tables, laboratory work, testing, career guidance, concentration of attention, working conditions, practical work

References

1. **Semenyuk E. A.** Organization of laboratory practical work in the study of physics in universities. Pedagogy: traditions and innovations: Materials of the International Science Conference. Chelyabinsk. October 2011. P. 87—89.
2. **Dorofeev A. A.** Laboratory practical work on engineering disciplines: didactics and methodology: Textbook. Moscow: RIOR: INFRA-M, 2017. 302 p. — (Higher education). URL: <https://doi.org/10.12737/20928> (date of access 10.04.2017).
3. **Sviridenko Yu. F., Kuntsov V. P.** The role of laboratory practice in the process of forming an engineer in modern conditions. South Branch "Crimean Agrotechnological University" National agrarian University. URL: www.rusnauka.com/_28NIOXXI_2008/Pedagogical35109.doc.htm (date of access 10.04.2017).
4. **Weiner E. N.** Valeology: Textbook. Moscow: Nauka, 2010. 448 p.
5. **Yakovlev B., Litovchenko O.** Psychophysiological foundations of health: Textbook. Moscow: Eksmo, 2010. 288 p.
6. **Komarova I. A.** Methods of researching the working capacity of a person. Moscow, 2001.

Поздравляем юбиляра

Специалиста в области авиационной эргономики и кибернетики
доктора технических наук, профессора, дважды лауреата премии Правительства РФ
в области науки и техники, автора 9 монографий и более 200 научных работ,
ведущего научного сотрудника Центрального научно-исследовательского
института военно-воздушных сил Минобороны России, члена редакционной
коллегии журнала "Безопасность жизнедеятельности"

Юрия Александровича Кукушкина

Поздравляем с 80-летним юбилеем!

Желаем крепкого здоровья, большого счастья и дальнейших творческих успехов.

Редакционный совет, Редакционная коллегия, Редакция журнала

Указатель статей, опубликованных в журнале "Безопасность жизнедеятельности" в 2017 году

Index of Articles Published in the Journal "Life Safety" in 2017

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

Русак О. Н. Термины и определения в области безопасности деятельности № 6

ОХРАНА ТРУДА И ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ

Гарипова Р. В. Профилактика латексной аллергии у медицинских работников № 5

Лянг А. В. Предложения по развитию индивидуальной защиты населения в современных условиях № 5

Матвеев С. В., Лаверов В. А., Акулинина Г. В. Разработка перспективных систем коллективной защиты изолирующего типа для быстровозводимых защитных сооружений . . № 5

Тарасов Л. А., Сухова А. А., Уваев В. В., Штукина Е. А. Разработка системы средств индивидуальной защиты кожи № 5

Уваев В. В. Опыт создания нового поколения защитных материалов и средств индивидуальной защиты № 5

ОХРАНА ТРУДА

Аксенов В. А., Раенок Д. Л., Завьялов А. М. Развитие системы управления охраной труда в вагонном хозяйстве № 3

Анисимов В. В., Вивчарь-Панюшкина А. В., Воронова В. В., Панюшкин В. Т. Определение риска производственного травматизма и выявление причин травмирования работников (на примере машиностроительного предприятия) № 12

Голик А. С., Галеев И. К., Муллов А. Б. Мобильный подземный реаниматологический комплекс для спасения пострадавших при авариях в угольных шахтах № 1

Данилова С. В. Результаты экспериментальных и производственных опытов подавления мелкодисперсной жидкостью почвенной пыли, выделяемой из вороха корнеплодов при их выгрузке в приемный бункер № 2

Дудкин Е. П., Смирнов В. Н., Черняева В. А. Обеспечение требований по экологии и охране труда на городском транспорте № 3

Елин А. М., Елин А. М. Культура труда — непреложный компонент организации безопасного производства № 10

Ленёва А. В. Снижение вредного воздействия шума на авиационный персонал № 8

Мавлянова Е. И., Иванова М. В., Глебова Е. В., Коробов А. В. Анализ обеспеченности средствами индивидуальной защиты персонала на предприятии на примере ООО "Газпром трансгаз Самара" № 10

Маркова О. Л., Иванова Е. В., Кирьянова М. Н., Плеханов В. П. Современные решения оптимизации качества воздушной среды при производстве свинцово-кислотных аккумуляторов № 1

Минько В. М., Евдокимова Н. А., Бакарягина А. К совершенствованию экономических механизмов управления охраной труда № 9

Минько В. М., Русак О. Н. О роли университетов и науки в обеспечении безопасности в России № 8

Михайлов В. А., Сотникова Е. В., Калпина Н. Ю. Оценка работы водоиспарительного локального воздухоохладителя кабин наземных транспортных средств № 6

Николаев А. В. Способ нормализации условий труда в буровой галерее нефтяной шахты . № 7

Сазонова А. М. Интегральная оценка условий труда при строительно-монтажных работах в подземных сооружениях № 3

Терехов А. Л., Семенцев А. М. Повышение безопасности труда путем снижения шума на предприятиях ПАО "Газпром" № 4

Тинус А. М. Внедрение автоматизированной системы управления комплексной системой оценки состояния охраны труда на производственном объекте (АСУ КСОТ-П) в структурных подразделениях полигона Октябрьской железной дороги № 3



Уваев В. В., Гайдай В. В., Пухачева Э. Н., Рязанова Л. З., Матвеева В. Ю., Барнягина О. В. Исследование путей развития перспективных образцов средств индивидуальной защиты военнослужащих № 2

Фархадзаде Э. М., Мурадалиев Айдын Зураб оглу, Исмаилова Симузар Мовлан кызы. Количественная оценка интегрального показателя безопасности жизнедеятельности персонала электроэнергетических систем . . № 4

ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ

Аниськова О. Н., Барахтянский Д. А., Канонин Ю. Н., Агеева К. Д. Непроизводственный травматизм на Октябрьской железной дороге. . № 3

Колганов Е. Г. Международная практика управления здоровьем персонала № 2

Панюшкин В. Т., Вивчарь-Панюшкина А. В., Анисимов В. В. О возможном влиянии радиационного фона территорий Краснодарского края на здоровье населения № 1

Русак О. Н. Безопасность детей как проблема национальной безопасности России № 1

Юдаева О. С., Гречушников Д. В. Обеспечение санитарно-гигиенической и экологической безопасности пассажирских вагонов локомотивной тяги в условиях эксплуатации . . № 3

ОХРАНА ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ

Бессонов Д. В., Алексеев С. Г., Барбин Н. М. Вейпинг — новый вызов безопасности . . № 10

Брин В. Б. Экспериментальные доказательства возможности профилактирования патогенных эффектов тяжелых металлов. № 10

Зиновьева О. М., Меркулова А. М., Смирнова Н. А. Решение проблемы создания доступной среды для маломобильных групп населения. № 7

Зуев А. В., Федотова И. В., Некрасова М. М. Инфразвук как фактор акустического загрязнения селитебной территории № 8

Маснавијева Л. Б., Негреева М. Б. Риски нарушения здоровья и особенности заболевания костно-мышечной системы у детей и подростков, проживающих в зоне влияния алюминиевого производства № 8

Свинцов А. П., Абдулина А. Ш. Оценка надежности инфраструктурных сетей водоснабжения и обеспечение населения питьевой водой при их отказе № 6

Сулейманов Р. А., Бакиров А. Б., Гимранова Г. Г., Валеев Т. К. Оценка рисков здоровью населения на территориях интенсивной добычи нефти № 4

ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Брежнева Е. О., Бондарь О. Г., Филиппов А. В. Программный комплекс для разработки газоанализаторов на основе искусственных нейронных сетей № 12

Быстров Е. Н. Вариативный подход к устройству молниезащиты зданий, сооружений и технических объектов № 3

Галкина Е. Е., Малько Л. И., Сорокин А. Е. Определения импеданса при поглощении звука объемными поглотителями полирезонансного типа № 12

Гера В. И., Аитов Р. Н., Калмыков Е. В. К вопросу идентификации опасности при анализе риска эксплуатации объектов наземной космической инфраструктуры № 6

Глебова Е. В., Волохина А. Т., Гуськов М. А., Гуськова Т. Н. Автоматизированная система оценки профессионально важных качеств проходчиков нефтешахт для обеспечения безопасности объектов добычи нефти шахтным способом № 4

Иванова М. В., Глебова Е. В. Обзор исследований по развитию профессионального отбора на предприятиях топливно-энергетического комплекса. № 2

Котельников В. С., Коновалов Н. Н., Котельников В. В. Об аттестации специалистов по техническому диагностированию технических устройств и обследованию зданий и сооружений на опасных производственных объектах. № 7

Кузнецов К. М., Галеев А. Д. Математическое моделирование взаимодействия водяной завесы и токсичного облака на основе метода вычислительной гидродинамики. № 5

Кунтурова Н. Б., Шленков А. В., Малыгина Е. А. Аспекты влияния стажировки выпускников вузов силовых структур на их адаптацию к профессиональной деятельности. № 8

Малышев В. П. Особенности безопасной эксплуатации сверхмощных лазеров. № 10

Маряшин Ю. Е., Малащук Л. С. Специальная физическая подготовка как средство обеспечения безопасности высокоманевренных авиационных полетов. № 7

Маряшин Ю. Е., Малащук Л. С., Высоцкий А. Е. Вестибулярная подготовка как средство обеспечения безопасности работников опасных профессий № 8

Никифоров Д. А. Медико-психологические и социо-экономические факторы профессиональной надежности военного летчика . . . № 4

- Перминов Н. А., Сафонов И. П., Перминов А. Н., Аршеневский Ю. А.** Инновационный подход к обеспечению безопасности и надежности длительно эксплуатируемых инженерных сооружений № 3
- Пименов С. И., Ибрагимов Р. А.** Испытания беспропарочного способа производства сборного железобетона № 5
- Сенченко В. А., Папаев С. Т.** Оценка производственных рисков электромагнитных излучений на основе производственного контроля № 12
- Смирнов С. Г., Николаева В. А., Панкова Е. О.** Опыт проектирования высокоэффективного глушителя шума. № 10
- Титова Т. С., Ахтямов Р. Г.** Совершенствование проведения комплексного аудита систем менеджмента безопасности на примере подразделений ОАО "Российские железные дороги". № 3
- Хисамутдинов Р. М., Портнов С. М.** Современные технологические решения и их отражение в профессиональных стандартах: опыт КАМАЗа. № 5

БЕЗОПАСНОСТЬ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

- Богданов А. В., Попова С. Ю., Иванов В. Е.** Лабораторная установка для определения показателей устройства для предотвращения засыпания водителя за рулем автомобиля . № 4

РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

- Воронов Е. Т., Авдеев П. Б., Бондарь И. А.** Минералосберегающая геотехнология добычи ценного самоцветного минерального сырья № 12

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

- Кузнецов А. Н., Шагидуллина Р. А., Шагидуллин А. Р.** Обеспечение экологической безопасности как обязательное условие создания благоприятной среды. № 5
- Шагидуллина Р. А., Шагидуллин А. Р.** О системе инструментального и расчетного экологического мониторинга. № 5

ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

- Березуцкий А. Ю., Катин В. Д.** Результаты экологических исследований газомазутных горелочных устройств трубчатых печей и разработка новой конструкции горелочного устройства № 6
- Буренин В. В.** Новые конструкции фильтров, устройств и установок для очистки и

обезвреживания производственных пылегазовоздушных выбросов от пыли и вредных газовых примесей. № 8

- Власова Е. А., Смирнова Д. Ю., Найдено Е. В., Гарасько Е. В.** Применение металлоорганических каркасных соединений для очистки воды от микроорганизмов № 4
- Кирсанов В. В.** Определение нагрузки на активный ил в биотехнологиях по очистке производственных сточных вод с неравномерными концентрациями поллютантов. № 10
- Ксенофонтов Б. С., Козодаев А. С., Таранов Р. А., Сеник Е. В., Виноградов М. С.** Возможности применения оборотного водопользования в гальванических производствах с использованием флотокомбайнов. № 7
- Литвинова Н. А.** Оценка электромагнитных полей частотой 50 Гц городской территории вблизи линий электропередач (на примере г. Тюмени) № 4
- Мартынюк В. Ф.** Экологический риск антропогенных воздействий. № 2
- Шевырев С. А., Дмитриенко М. А., Косинцев А. Г.** Снижение концентраций антропогенных выбросов при сжигании углей и отходов углепереработки в составе композиционных жидких топлив № 8
- Юшин В. В., Кирильчук И. О.** Геоинформационный учет и оценка опасности стихийных несанкционированных свалок. № 6

МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

- Боброва О. Б., Свиридова Т. В.** Загрязнение почв тяжелыми металлами под влиянием объектов размещения отходов металлургической промышленности. № 6
- Кутлин Н. Г., Кутлин Ю. Н., Талипова А. Р., Кузнецова З. З., Камалова Э. И.** Мониторинг миграции тяжелых металлов методом биоиндикации. № 9

ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

- Бабак Н. А., Бавыкина Е. А.** Загрязнение бенз(а)пиреном почв природно-антропогенного объекта. № 3
- Богачева Т. М., Сурмин А. А.** Сокращение вредного воздействия ТЭС на окружающую среду. № 12
- Бойко Ю. С., Иванов Н. И., Титова Т. С., Шашурин А. Е.** Снижение шума высокоскоростных поездов путем применения малых локальных экранов на крыше поезда. № 3
- Завальцева О. А., Берсенева Д. Е.** Сравнительная оценка влияния антропогенных факторов на



- территории с разной функциональной организацией (на примере Москвы) № 1
- Иванова О. А., Ксенофонтов Б. С., Иванов М. В.** Интенсификация процесса обеззараживания сточной воды методом виброакустического воздействия № 9
- Кирсанов В. В.** Методика определения параметров высоконагружаемого биофильтра с рециркуляцией и искусственной аэрацией для очистки сточных вод с изменяющейся нагрузкой № 9
- Кирсанов В. В.** Предложения по повышению эффективности водного мониторинга в РФ № 12
- Рыжова Л. В.** Особенности экологического сопровождения проектирования и строительства метрополитена в Санкт-Петербурге . . № 3
- Чуракова Н. С., Баталова Т. В., Домрачев К. Ю.** Разработка адсорбционно-каталитического метода определения суммы органических веществ в воздухе № 1

РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

- Барбин Н. М., Колбин Т. С., Терентьев Д. И., Алексеев С. Г.** Компьютерное моделирование термических процессов с участием радионуклидов U, Pu и Eu при утилизации радиоактивного графита в инертной атмосфере . № 2
- Харисов Г. Х., Заворотный А. Г.** Дарвинизм против линейной беспороговой модели зависимости риска стохастических эффектов от дозы облучения № 7

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ

- Астафьева О. В., Дерягина С. Е.** Опыт и пути решения проблемы накопленного вреда окружающей среде на территории Свердловской области № 4
- Бобович Б. Б., Новахов Г. Г.** Разработка технологии утилизации нефтесодержащих шламов № 6
- Неретин Д. А., Пименов А. А., Васильев А. В.** Утилизация выведенных из эксплуатации емкостей хранения одоранта природного газа № 7
- Пименов А. А., Васильев А. В.** Методологические этапы создания технологий использования ресурсного потенциала отходов нефтегазовой отрасли № 8

ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ

- Ксенофонтов Б. С., Козодаев А. С., Таранов Р. А., Виноградов М. С., Сеник Е. В.** По следам

- публикаций по проблемам подтопления и затопления территорий № 12
- Ксенофонтов Б. С., Таранов Р. А., Козодаев А. С., Воропаева А. А., Виноградов М. С., Сеник Е. В.** Проблемы подтопления и затопления селитебных территорий: европейский опыт № 1
- Лукьянович А. В., Пашков А. А.** Многопользовательские ролевые онлайн-игры — как инструмент организации подготовки населения в области безопасности жизнедеятельности № 1
- Моторыгин Ю. Д., Черных А. К., Яшин М. Г.** Об одном способе восстановления регулирования движения поездов в чрезвычайных ситуациях № 9
- Муравьева Е. В., Сибгатуллина Д. Ш., Галимова А. И.** Риски функционирования гидротехнических сооружений — хранилищ производственных отходов: проблемы и решения № 5
- Романовский В. Л., Муравьева Е. В., Афанасьев В. М., Чабанова А. А.** К вопросу анализа риска химических производств № 5
- Симонян В. В., Тамразян А. Г.** Вероятностный анализ потенциальных возможностей оползневых смещений № 2
- Степушенко О. А., Муравьева Е. В., Халикова Е. И., Сибгатуллина Д. Ш.** Аппаратно-программный комплекс "Безопасный город" как фактор снижения риска возникновения ЧС № 5

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

- Громов В. Н., Сильников М. В., Печурин А. А., Пивоваров О. Г.** Методика синтеза оптимального варианта модернизации системы технологического пожаротушения автодорожных тоннелей № 9
- Микушов А. В., Крейтор В. П.** Оценка системы пожарной безопасности контейнерных терминалов на основе регрессионного моделирования противопожарных расстояний . . № 7
- Петров В. А., Иванов А. О.** Перспективные пути повышения пожарной безопасности энергонасыщенных обитаемых герметичных объектов № 10
- Пузач С. В., Нгуен Тат Дат.** Новый подход к расчету критических времен воздействия монооксида углерода на человека при пожаре в помещении № 1
- Свинцов А. П., Алравашде Марван Раед Яхья.** Проверка работоспособности системы дымоудаления как элемент обеспечения пожарной безопасности зданий № 1

- Сидоров А. И., Семенцова Ю. С.** Пожарная опасность схлестываний проводов воздушных линий электропередачи напряжением 0,4 кВ. № 2
- Тимофеева С. С., Гармышев В. В.** Современное состояние пожарной безопасности в Российской Федерации в показателях риска. № 9
- Ушаков Д. В., Карпов А. В., Барановский А. С., Усолкин С. В.** Анализ существующих нормативных требований по обеспечению безопасности маломобильных групп населения при пожарах. № 2
- Яценко Л. А., Копкин Е. В., Бардулин Е. Н., Принцева М. Ю.** Изменение состава летучих компонентов автомобильных бензинов при испарении и выгорании в ходе пожара . . . № 9

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ

- Агаев Т. Д., Ибрагимова Н. З.** Роль ветрового режима в формировании штормовых волн на Каспийском море и безопасность жизнедеятельности. № 6
- Астафьева О. В., Дерягина С. Е.** Экологические аспекты устойчивого развития Свердловской области. № 10
- Дрозд Г. Я.** Влияние военно-политической обстановки юго-востока Украины на экологическое состояние поверхностных водоемов № 6
- Двуреченский В. Г., Середина В. П.** Почвенно-экологическое состояние и пути восстановления техногенных экосистем лесостепного пояса Кузнецкой котловины. № 12
- Кенжегалиев А., Оразбаев Б. Б., Жумагалиев С. Ж., Кенжегалиева Д. А.** Состояние гидробионтов в районе искусственного острова "D" Казахстанского сектора Каспийского моря. № 7
- Кузнецова Т. И.** Геосистемно-картографический анализ природных факторов экологического риска бассейна озера Байкал (в пределах России и Монголии) № 7
- Марданов И. И., Джаруллаев А. Ш.** Геоэкологический анализ состояния горных ландшафтов азербайджанской части Большого Кавказа и Джейранчель-Аджиноурского предгорья. № 1
- Наумов Ю. А.** Проблемы обеспечения экологической безопасности городов Приморского края № 8
- Пенджиев А. М.** "Зеленая" индустриализация: сравнительный анализ переработки и утилизации твердых бытовых отходов. № 2

- Яценко И. Г., Перемитина Т. О., Днепровская В. П., Русских И. В., Стрельникова Е. Б., Воистинова Е. С.** Применение данных наземного и дистанционного исследований для оценки экологического состояния нефтегазоносных территорий Западной Сибири № 9

ОБРАЗОВАНИЕ

- Алексеев С. В., Данченко С. П., Костецкая Г. А.** Экологическая концепция школьного курса "Основы безопасности жизнедеятельности" и методики его изучения № 2
- Каверзнева Т. Т., Леонова Н. А.** Опыт внедрения интерактивных форм обучения по направлению техносферной безопасности в курсах безопасности жизнедеятельности. № 1
- Канонин Ю. Н., Лыщик А. В.** Опыт многоуровневой подготовки специалистов по техносферной безопасности в Петербургском государственном университете путей сообщения Императора Александра I № 3
- Козьяков А. Ф., Кирикова О. В., Гапонюк Н. А.** Реализации дисциплины "Безопасность жизнедеятельности" на кафедре "Экология и промышленная безопасность" Московского государственного технического университета имени Н. Э. Баумана № 10
- Сергеев Г. Г., Берестова О. А.** Необходимость доведения самозащитной реакции обучающихся до рефлекторного уровня на основе эвакуационных тренировок № 10
- Смирнов С. Г., Долгих Е. А.** О новом типе лабораторной работы по дисциплине "Безопасность жизнедеятельности" № 12
- Титова Т. С., Иванова Н. В.** Особенности обучения, связанные с применением мобильных технологий в области безопасности и охраны труда специалистов, обслуживающих Транс-Евразийский сухопутный мост № 3
- Тягунова Ю. В., Глотова Н. В., Окраинская И. С., Медведева Ю. В.** Опыт разработки самостоятельно устанавливаемого образовательного стандарта для направления 20.04.01 Техносферная безопасность № 9
- Шаповалов К. А., Шаповалова Л. А.** Основы дидактики темы "Повреждения головы, шеи и позвоночного столба" учебного модуля "Первая (доврачебная экстренная) помощь при травмах, несчастных случаях, катастрофах и стихийных бедствиях" предмета "Безопасность жизнедеятельности" для гуманитарных и технических университетов № 4



СТАНДАРТИЗАЦИЯ И НОРМАТИВНО-ПРАВОВЫЕ ВОПРОСЫ

Комкин А. И., Смирнов С. Г. Нормотворчество в области шума в России. Последние результаты № 9

ИНФОРМАЦИЯ

Решение международной научно-практической конференции "Совершенствование системы непрерывного образования в области безопасности деятельности" (1—2 июня 2017 года, Санкт-Петербург) № 10

Указатель статей, опубликованных в журнале "Безопасность жизнедеятельности" в 2017 году № 12

Номер журнала подготовлен специалистами и учеными Республики Башкортостан. № 11

ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Красногорская Н. Н., Нафикова Э. В., Корнеева А. О., Белозерова Е. А. Обоснование выбора экологичных строительных материалов для утепления стен жилых домов

Кусова И. В., Хайбуллина А. Н. Обеспечение экологической безопасности при функционировании очистных сооружений нефтеперерабатывающего завода

Михайлова Н. Н., Сираева И. Н., Злотский С. С. К вопросу очистки нефти и нефтепродуктов от сероводорода

МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Сафаров А. М., Хатмуллина Р. М., Сафарова В. И., Шайдулина Г. Ф. Ранжирование

аварийных ситуаций на нефте- и продуктопроводах по степени их воздействия на окружающую среду

Фатьянова Е. В., Хатмуллина Р. М., Галактионова Е. Б., Яппарова Г. Р., Сафарова В. И. Органические соединения в донных отложениях реки Белой

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Красногорская Н. Н., Эйдемиллер Ю. Н., Козба-нова Е. А. Оценка риска функционирования объектов с массовым пребыванием людей во внештатной ситуации

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ

Риянова Э. Э., Кострюкова Н. В. Вторичное использование свекловичного жома — отхода сахарного производства

ОХРАНА ТРУДА И ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ

Эйдемиллер Ю. Н., Федосов А. В., Ибраева В. А. Анализ условий труда работников нефтедобывающих предприятий, занятых на работах в "особых" климатических регионах

Валеев Т. К., Сулейманов Р. А., Бактыбаева З. Б., Егорова Н. Н., Даукаев Р. А., Рахматуллин Н. Р. Эколого-гигиеническая оценка риска здоровью населения Республики Башкортостан, обусловленного качеством питьевой воды

Учредитель ООО "Издательство "Новые технологии"

ООО "Издательство "Новые технологии". 107076, Москва, Стромьинский пер., 4

Телефон редакции журнала (499) 269-5397, тел./факс (499) 269-5510, e-mail: bjd@novtex.ru, <http://novtex.ru/bjd>

Телефон главного редактора (812) 670-9376(55), e-mail: rusak-maneb@mail.ru

Технический редактор *Е. М. Патрушева*. Корректор *З. В. Наумова*

Сдано в набор 28.09.17. Подписано в печать 14.11.17. Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная. Заказ ВГ1217.

Журнал зарегистрирован в Министерстве Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций.

Свидетельство о регистрации ПИ № 77-3762 от 20.06.2000.

Оригинал-макет ООО "Авансед солюшнз".

Отпечатано в ООО "Авансед солюшнз". 119071, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 19, стр. 1. Сайт: www.aov.ru