

ПРИМЕНЕНИЕ СОТОВЫХ И ЯЧЕЙСТЫХ КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ ШУМА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ПЕРЕ- РАБАТЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ АПК

**А. П. Савельев, А. Н. Скворцов*, С. А. Еналеева,
С. В. Глотов**

ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (г. Саранск, Россия)

**squortsow.sasha@yandex.ru*

Введение. В последние годы в Российской Федерации складывается неблагоприятная ситуация с состоянием условий и охраны труда в различных отраслях агропромышленного комплекса (АПК). Одним из опасных и вредных производственных факторов в АПК, определяющих показатели травматизма и заболеваемости, является негативное воздействие повышенного уровня шума на работников. Длительное воздействие шума приводит к нарастанию медленноволновой активности, а также изменению зрительного и слухового коркового ответа. Именно поэтому улучшение условий и охраны труда в АПК за счет снижения уровня шума путем применения шумозащитных конструкций является актуальной задачей современности.

Материалы и методы. Проведенная авторами оценка условий труда работников молокоперерабатывающей и мясоперерабатывающей отраслей показала, что уровень шума на рабочем месте превышает нормативные значения. Санитарно-гигиенические требования для всех рабочих мест приблизительно одинаковы, однако при разработке шумозащитных конструкций необходимо учитывать частотно-избирательное звукопоглощение исходя из специфики технологического процесса. В процессе работы применялись экспериментальные исследования на базе малой реверберационной камеры.

Результаты исследования. В данной статье предложены звукопоглощающие панели, имеющие высокие санитарно-гигиенические свойства. Для молокоперерабатывающей отрасли была разработана бирезонансная сотовая шумозащитная панель, а для мясоперерабатывающих предприятий – звукоподавляющая ячейчатая панель. Экспериментальным путем на базе малой реверберационной камеры с использованием регистрационно-измерительного комплекса была выполнена оценка коэффициента звукопоглощения разработанных конструкций.

Обсуждение и заключения. Статья имеет исследовательский характер. Итоги исследований, указанные в графическом виде, наглядно демонстрируют преимущества предложенного решения снижения уровня шума на объектах агропромышленного комплекса.

Ключевые слова: шум, охрана труда, акустическое загрязнение, шумозащитная конструкция, коэффициент звукопоглощения, реверберационная камера

Для цитирования: Применение сотовых и ячейчатых конструкций для защиты от шума на предприятиях перерабатывающей отрасли АПК / А. П. Савельев [и др.] // Вестник Мордовского университета. 2017. Т. 27, № 2. С. 215–223. DOI: 10.15507/0236-2910.027.201702.215-223

NOISE PROTECTION OF AGRICULTURAL WORKERS WITH CELLULAR STRUCTURES

A. P. Savelyev, A. N. Skvortsov*, S. A. Yenaleyeva,
S. V. Glotov

National Research Mordovia State University (Saransk, Russia)

**squortsov.sasha@yandex.ru*

Introduction. The article concerns occupational health and safety in agriculture of the Russian Federation. Among dangerous and harmful production factors in agriculture determining the injury rates and morbidity is negative impact of high levels of noise on workers. Prolonged exposure to noise leads to an increase in slow wave activity and changes in visual and auditory cortical response. Therefore, the improvement of conditions and labour protection in agriculture by reducing noise is an urgent task of our time.

Materials and Methods. The authors' assessment of the working conditions of employees of milk and meat processing industries showed that the noise level exceeds the standard values. There are some requirements for all the jobs. However, the development of noise-reducing structures demands frequency selective acoustic attenuation, based on the technological process. In the work, the author used methods based on features of the small reverberation chamber.

Results. The authors proposed sound absorbent panels with high sanitary and hygienic properties: a biresonant honeycomb soundproof panel was developed for the dairy processing industry; an acoustic mesh panel was proposed for the meat processing lines. The sound absorption coefficient of the developed structures was evaluated by testing in a small reverberation chamber.

Discussion and Conclusions. The article has an exploratory nature. The results of these studies graphically demonstrate the advantages of the proposed reduction of the noise level in agriculture.

Keywords: noise, occupational safety, acoustic pollution, anti-noise design, sound absorption coefficient, reverberation chamber

For citation: Savelyev A. P., Skvortsov A. N., Yenaleyeva S. A., Glotov S. V. Noise protection of agricultural workers with cellular structures. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2017; 2(27):215-223. DOI: 10.15507/0236-2910.027.201702.215-223

Введение

В последние годы в Российской Федерации складывается неблагоприятная ситуация с состоянием условий и охраны труда в различных отраслях агропромышленного комплекса (АПК) [1–3].

Одним из опасных и вредных производственных факторов, определяющих показателем травматизма и заболеваемости, является негативное воздействие повышенного уровня шума на работников [Там же].

Частое воздействие шума в среднем за 7 лет приводит к нарушению сердечно-сосудистой деятельности, а за 10–12 лет – к нарушению функциональ-

ного состояния желудка и центральной нервной системы. Анализ аудиометрических исследований показал, что работа в условиях повышенного шума в течение 20 лет приводит к заболеваниям органов слуха. Каждый дБ шума, превышающий предельно допустимые нормы, увеличивает риск потери слуха на 1,5 %, а риск сердечно-сосудистых заболеваний – на 0,5 %¹ [1–4].

Ущерб, наносимый здоровью на производстве, в целом по РФ исчисляется суммой, эквивалентной 4 % валового национального продукта, что на порядок превышает затраты на профилактику профзаболеваний [4].

¹ Анатомия, физиология и патология органов слуха : учеб. пособие / Е. Д. Боярчук [и др.]. Луганск : Альма-матер, 2007. 89 с. URL: http://anatomy.luguniv.edu.ua/ukr_studies/hearing.pdf



Именно поэтому улучшение условий и охраны труда операторов перерабатывающей отрасли АПК за счет снижения уровня шума путем применения шумозащитных конструкций является актуальной задачей современности, требующей неотлагательного вмешательства со стороны науки.

Целью исследования является разработка шумозащитных материалов с повышенными санитарно-гигиеническими свойствами для предприятий перерабатывающей отрасли АПК.

Обзор литературы

Среди многообразия шумозащитных средств, представленных на современном рынке, только небольшой их класс может быть выполнен из материалов, в процессе эксплуатации которых не выделялась бы пыль или фиброгенно опасные вещества. К этому классу относят резонансные конструкции, которые внешне представляют собой перфорированные поверхности различной степени и конфигурации. В противоположность шумозащитным материалам, используемым в строительстве и выполненным на основе базальтового волокна или минеральной ваты, резонансные конструкции не содержат в своем составе пористые материалы² [5–6].

Существуют также комбинированные варианты шумозащитных материалов в виде, например, сочетания пористого материала, закрытого сна-

ружи перфорированной пластиной, и расположенного на определенном расстоянии с воздушным промежутком от стены. Использование шумозащитных конструкций с высокими санитарно-гигиеническими свойствами оправдано на таких рабочих местах, где уровень шума серьезно превышает допустимые нормы^{3–4} [7].

Материалы и методы

Оценка условий труда работников перерабатывающей отрасли АПК показала, что преобладающим вредным фактором является шумовое воздействие. На молокоперерабатывающем предприятии в цехах по производству масла, жирного сыра и кисломолочных продуктов превышение нормативных значений по шуму составляет 250–4 000 Гц [8–9]. В мясоперерабатывающих цехах мясоперерабатывающего комплекса – 125–2 000 Гц⁴.

Рабочие места предприятий молоко- и мясопереработки являются схожими по санитарно-гигиеническим требованиям. Однако при разработке шумозащитных конструкций необходимо учитывать частотно-избирательное звукопоглощение в различных полосах частот.

Для молокоперерабатывающих предприятий нами была разработана бirezонансная сотовая шумозащитная панель⁵, а для мясоперерабатывающих предприятий – звукоподавляющая ячеистая панель⁶.

² СНиП 23-03-2003. Защита от шума. М.: Госстрой России, 2003. 40 с. URL: <http://files.stroyinf.ru/Data1/39/39320>

³ СН 2.2. 4/2.1.8.562-96. Санитарные нормы. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки URL: http://gostbank.metaltorg.ru/data/norms_new/sanpin/1.pdf

⁴ ГОСТ Р ИСО 9612-2013. Акустика. Измерения шума для оценки его воздействия на человека. Метод измерений на рабочих местах. URL: <http://files.stroyinf.ru/data2/1/4293772/4293772719.pdf>

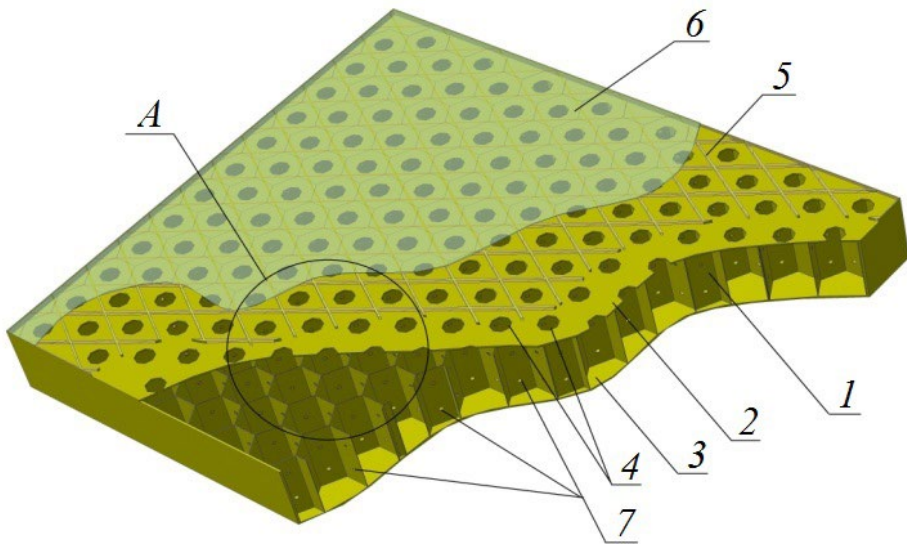
⁵ Патент 2478762 (РФ). Шумозащитная панель / С. А. Пяткина, А. П. Тюрин, Д. В. Парахин, Б. В. Севастьянов, А. П. Савельев, В. С. Баязитов, Д. А. Векшин. Оpubл. 10.04.2013. URL: <http://www.freepatent.ru/patents/2478762>

⁶ Патент 158599 (РФ). Звукоподавляющая ячеистая панель / А. П. Савельев, А. Н. Скворцов. Оpubл. 20.01.2016.

На базе малой реверберационной камеры с использованием регистрационно-измерительного комплекса была выполнена оценка звукопоглощения данных конструкций [10].

Первая конструкция (рис. 1.) представляет собой сотовобразную панель 1, сверху к которой крепится на клеевой основе верхняя перфорированная пластина 2, а снизу – сплошная пластина 3. Диаметры отверстий 4 пластины 2 могут быть различными. На внешнюю сторону верхней пластины 2 крепится, например, на клеевой основе ячеистая сетка 5, изготовленная из эластичного материала. Поверх ячеистой сетки 5 крепится, например, на клеевой основе тонкая пленка 6 с произвольной заделкой по краям конструкции.

На нижней пластине 3 могут быть расположены опорные элементы (на рис. 1 не показаны). Каждая из грани пустотелых ячеек сотовобразной панели 1 имеет отверстия 8. В зоне А реализуется бирезонансный механизм поглощения, который заключается в том, при воздействии звуковых волн на панель 1 и прохождении их через пленку 6 за счет резонансных свойств и диссипативных потерь в системах сотовых ячеек и воздушных прослоек происходит максимальное поглощение волновой энергии. Собственными резонансными частотами обладают воздушные «подушки» в крупных ячейках и сотовые элементы, совокупности взаимодействия которых и приводит к избирательному поглощению⁵.



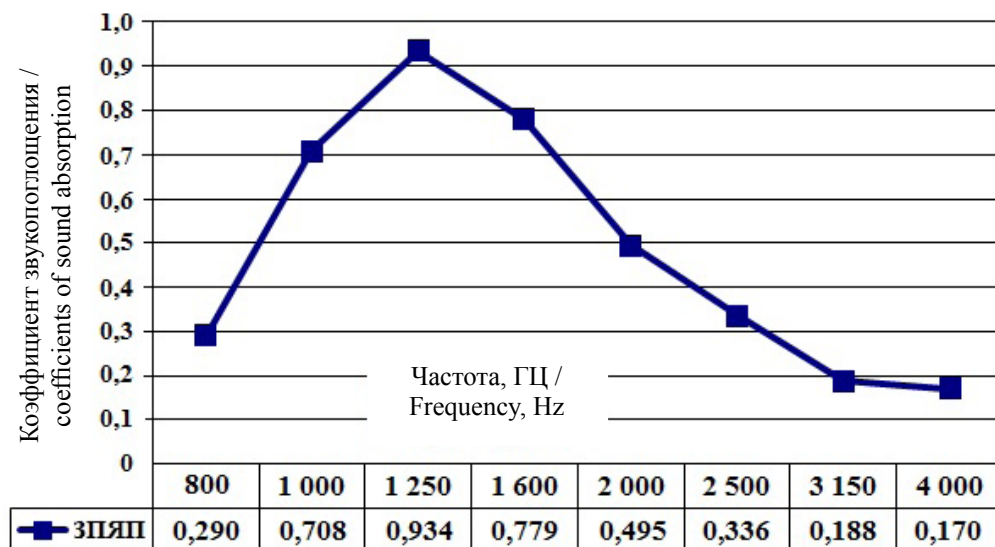
Р и с. 1. Трехмерное изображение сотовой бирезонансной конструкции: 1 – сотовобразная панель; 2 – перфорированная пластина; 3 – сплошная пластина; 4 – отверстия перфорированной пластины; 5 – ячеистая сетка; 6 – пленка; 7 – отверстия граней пустотелых ячеек; А – зона реализации биорезонансного механизма поглощения

Fig. 1. 3D image of the cell biresonance design: 1 – honeycomb panel; 2 – perforated plate; 3 – solid plate; 4 – holes of the perforated plate; 5 – cellular mesh; 6 – film; 7 – holes of the hollow cell faces; А – zone of realization of the biresonant mechanism of absorption



На рис. 2 представлен график звукопоглощения сотовой бирезонансной конструкции, из которого видно, что конструкция обладает достаточно высокими коэффициентами звукопоглощения. Отметим, что существует множество шумозащитных материалов, имеющих и более высокие коэффициенты. Однако все они обладают либо фиброгенной опасностью, либо весьма сложным рельефом, необходи-

мым для диффузии звука в помещении. При использовании конструкций в реальных условиях их звукопоглощение будет отличаться, но следует ориентироваться на определенные в условиях реверберационных испытаний коэффициенты, поскольку именно они являются входными данными при математическом расчете акустических полей ограниченных зон или помещений.

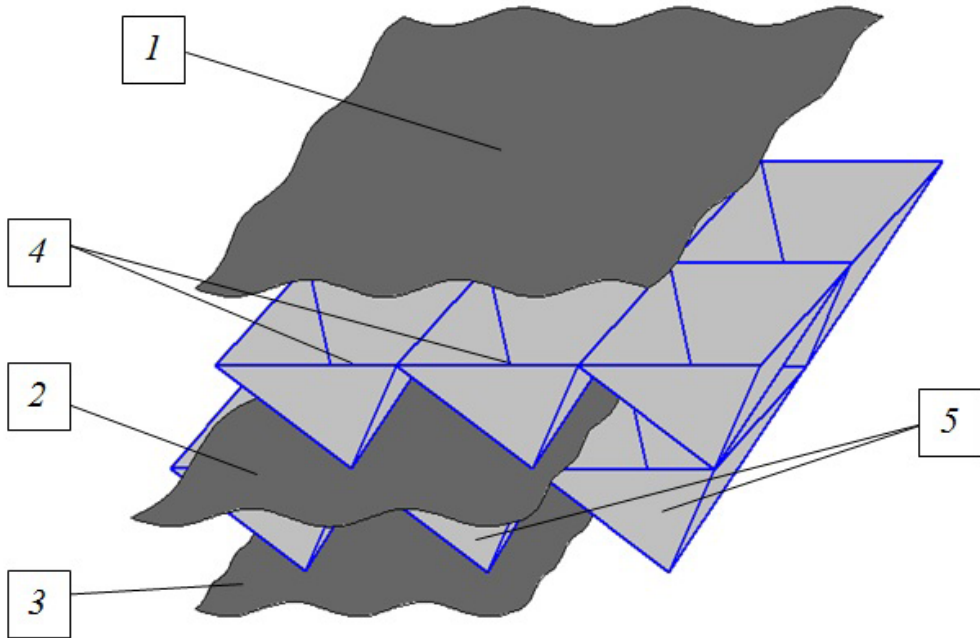


Р и с. 2. Среднегеометрические реверберационные коэффициенты звукопоглощения сотовой бирезонансной конструкции

F i g. 2. Average geometric reverberation coefficients of sound absorption cell biresonance design

Вторая конструкция данного типа (рис. 3) содержит параллельный верхний, средний и нижний листы с установленными между ними ячейками пирамидообразной формы. Ячейки первого слоя соединены основания-

ми с верхним листом, вершины которых соединены со средним листом в ребрах основания ячеек второго ряда. Эти основания, в свою очередь, крепятся к среднему листу, а вершины – к нижнему⁶.



Р и с. 3. Звукоподавляющая ячеистая панель (ЗПЯП): 1, 2, 3 – верхний, средний и нижний листы соответственно; 4 – первый слой; 5 – второй слой

F i g. 3. Sound-suppressive cellular panel: 1, 2, 3 – upper, middle and lower sheets, respectively; 4 – first layer; 5 – second layer

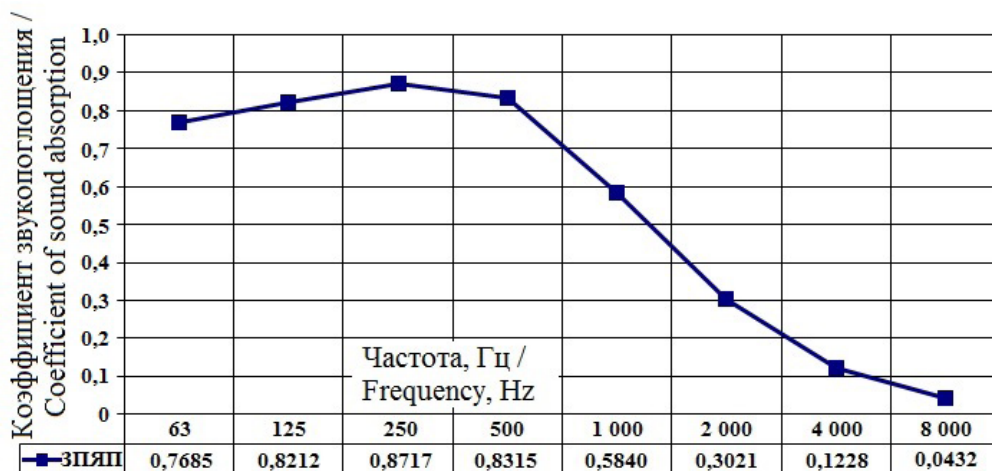
Задачей данной панели является снижение уровня как отраженного (облицовка ограждающих поверхностей помещения), так и прямого звука (акустический экран, перегородка и т. д.).

Опишем механизм работы данной конструкции.

При падении на лист 1 звуковые волны частично отражаются от него, поглощаются им и проходят сквозь него. Прощедшая через верхний лист 1 звуковая энергия попадает в ячейки первого слоя 4, где происходит отражение звуковой энергии от их боковых граней, что обеспечивает формирование встречных звуковых потоков с противофазой и, таким образом, подавление звуковой энергии. Затем звуковые волны, прошедшие через ячей-

ки первого слоя 4, попадают на средний лист 2, где частично отражаются от данного листа, поглощаются им и проходят сквозь него. Звуковая энергия, прошедшая через средний лист 2, попадает в ячейки второго слоя 5, где происходит отражение звуковой энергии от их боковых граней, что обеспечивает формирование встречных звуковых потоков с противофазой и подавление звуковой энергии. Оставшаяся порция звука, прошедшая сквозь ячейки второго слоя 5, попадает на нижний лист 3, где энергия частично отражается от него, поглощается им и уходит с листа 3.

На рис. 4 показан график звукопоглощения звукоподавляющей ячеистой панели.



Р и с. 4. Среднегеометрические реверберационные коэффициенты звукопоглощения звукоподавляющей ячеистой панели

F i g. 4. Average geometric reverberation coefficients of sound absorption of the sound-suppressive cellular panel

Прогнозируя ситуацию, отметим, что промышленное производство бирезонансных сотовых конструкций и звукоподавляющих ячеистых панелей – перспективное направление. В условиях специального производства их рекомендуется использовать в качестве внешней облицовки, акустического экрана или даже основы штучных звукопоглотителей.

Обсуждение и заключения

Разработанные конструкции обладают достаточными звукопоглощающими свойствами:

– наибольшее звукопоглощение для сотовой бирезонансной конструкции наблюдается в диапазоне 1/3 октавных полос со среднегеометрическими частотами 800–2 000 Гц;

– наибольшее звукопоглощение для звукоподавляющей ячеистой панели наблюдается в диапазоне октавных полос со среднегеометрическими частотами 63–2 000 Гц.

Применение представленных конструкций целесообразно в местах с высокими санитарно-гигиеническими свойствами.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Скворцов А. Н. Проблемы производственного травматизма и профессиональной заболеваемости в агропромышленном комплексе России // Технологии техносферной безопасности. 2016. № 1 (65). С. 1–7. URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2016-1/19-01-16.ttb.pdf>
2. Шкрабак Р. В., Посыпаева Ю. А. Анализ условий и охраны труда работников мясоперерабатывающих предприятий и пути их улучшения // Вестник КрасГАУ. 2009. № 6. С. 133–136. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/analiz-usloviy-i-ohrany-truda-rabotnikov-myasopererabatyvayuschih-predpriyatii-puti-ih-uluchsheniya>
3. Скворцов А. Н. Анализ исследования источников шума объектов животноводства // SCI-ARTICL. 2014. № 5. URL: <http://sci-article.ru/stat.php?i=1390682037>
4. Шишелова Т. И., Малыгина Ю. С., Нгуен Суан Дат. Влияние шума на организм человека // Успехи современного естествознания. 2009. № 8. С. 14–15. URL: <http://www.rae.ru/use/pdf/2009/8-S/9.pdf>



5. **Фролов А. В., Бакаева Т. Н.** Безопасность жизнедеятельности: охрана труда. Ростов-на-Дону, 2008. 751 с. URL: <http://bookre.org/reader?file=1353107&pg=25>
6. **Савельев А. П., Скворцов А. Н.** Звукоподавляющий облепченный акустический экран // Охрана и экономика труда. 2015. № 2 (19). С. 56–61. URL: [http://www.vcot.info/upload/doc/№2\(19\)-2015.pdf](http://www.vcot.info/upload/doc/№2(19)-2015.pdf)
7. **Савельев А. П., Пьянзов С. В., Скворцов А. Н.** Акустические конструкции коллективной защиты от производственного шума // Альманах мировой науки : науч. журнал по мат-лам междунар. науч.-практ. конф. 2015. № 2-1 (2). С. 142–143. URL: <http://scjour.ru/docs/amn.2015.02.01.pdf>
8. **Савельев А. П., Пяткина С. А.** Обоснование оптимальных условий труда работников при внедрении новых пищевых технологий в молочной промышленности / Под ред. Н. И. Иванова // Защита населения от повышенного шумового воздействия : сб. докладов Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. 2011. С. 411–426. URL: http://elibrary.ru/download/elibrary_22691651_62378365.pdf
9. **Пяткина С. А., Тюрина А. П., Савельев А. П.** Теоретические основы расчета шумозащитной конструкции с повышенными санитарно-гигиеническими свойствами / Под ред. Н. И. Иванова // Защита населения от повышенного шумового воздействия : сб. докладов Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. 2013. С. 623–630. URL: http://elibrary.ru/download/elibrary_22400014_55480325.pdf
10. **Скворцов А. Н.** О методе определения коэффициента звукопоглощения различных строительных материалов в малой реверберационной камере // Технологии техносферной безопасности. 2016. № 2 (66). URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2016-2/15-02-16.ttb.pdf>

Поступила 17.03.2017; принята к публикации 25.04.2017; опубликована онлайн 14.06.2017

Об авторах:

Савельев Анатолий Петрович, заведующий кафедрой безопасности жизнедеятельности, Институт механики и энергетики, ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), доктор технических наук, профессор, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0361-0827>**, igaikinamgu@mail.ru

Скворцов Александр Николаевич, старший преподаватель кафедры безопасности жизнедеятельности, Институт механики и энергетики, ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2093-1094>**, squortsow.sasha@yandex.ru

Еналеева Светлана Анатольевна, старший преподаватель кафедры безопасности жизнедеятельности, Институт механики и энергетики, ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0855-9207>**, savelyvasa@gmail.com

Глотов Сергей Викторович, профессор кафедры безопасности жизнедеятельности, Институт механики и энергетики, ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6965-3953>**, squortsow.sasha@yandex.ru

Вклад соавторов: А. П. Савельев: научное руководство, постановка задачи, определение методологии исследования; А. Н. Скворцов: поиск и анализ аналитических и практических материалов по теме исследования, критический анализ и доработка решения; С. А. Еналеева: поиск и анализ научных источников по теме исследования; С. В. Глотов: критический анализ исследования и доработка текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Skvortsov A. N. The problems of industrial accidents and occupational morbidity in the agroindustrial complex of Russia. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti* = Technologies of Technospheric Security. 2016; 1(65):1-7. Available at: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2016-1/19-01-16.ttb.pdf> (In Russ.)
2. Shkrabak R. V., Posypayeva Yu. A. Analysis of conditions and labor protection of workers at the meat-processing enterprises and the ways of its perfection. *Vestnik KrasGAU* = Krasnoyarsk State Agrarian University Bulletin. 2009; 6:133-136. Available at: <http://cyberleninka.ru/article/n/analiz-usloviy-i-ohrany-truda-rabotnikov-myasopererabatyvayuschih-predpriyatii-i-puti-ih-uluchsheniya> (In Russ.)



3. Skvortsov A. N. [Analysis of the study of sound sources of livestock objects]. *SCI-ARTICL.* 2014; 5. Available at: <http://sci-article.ru/stat.php?i=1390682037> (In Russ.)
4. Shishelova T. I., Malygina Yu. S., Dat N. S. [Effect of noise on the human body]. *Uspekhi sovremenogo estestvoznaniya* = Advances in Modern Natural Science. 2009; 8:14-15. Available at: <http://www.rae.ru/use/pdf/2009/8-S/9.pdf> (In Russ.)
5. Frolov A. V., Bakayeva T. N. [Life safety. Labor protection]. Rostov-na-Donu; 2008. Available at: <http://bookre.org/reader?file=1353107&pg=25> (In Russ.)
6. Savelyev A. P., Skvortsov A. N. [Sound-suppressing lightweight acoustic screen]. *Okhrana i ekonomika truda* = Protection and Labor Economics. 2015; 2(19):56-61. Available at: [http://www.vcot.info/upload/doc/№2\(19\)-2015.pdf](http://www.vcot.info/upload/doc/№2(19)-2015.pdf) (In Russ.)
7. Savelyev A. P., Pyanzov S. V. [Acoustic constructions of collective protection against industrial noise]. *Almanakh mirovoy nauki: nauch. zhurnal po materialam mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* = Almanac of the World Science: A Scientific Journal on the Materials of the International Scientific-Practical Conferences. 2015; 2-1(2):142-143. Available at: <http://scjour.ru/docs/amn.2015.02.01.pdf> (In Russ.)
8. Savelyev A. P., Pyatkina S. A. [Substantiation of the optimal working conditions for employees when introducing new food technologies in the dairy industry]. In: *Zashchita naseleniya ot povyshennogo shumovogo vozdeystviya: sbornik dokladov Vseros. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiyem* = Protection of the population from increased noise impact: Collection of reports of the Russian scientific-practical conference with international participation. 2011; 411-426. Available at: http://elibrary.ru/download/elibrary_22691651_62378365.pdf (In Russ.)
9. Pyatkina S. A., Tyurin A. P., Savelyev A. P. [Theoretical basis for the calculation of a noise-proof construction with increased sanitary and hygienic properties]. In: *Zashchita naseleniya ot povyshennogo shumovogo vozdeystviya: sbornik dokladov Vseros. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiyem* = Protection of the population from increased noise impact: Collection of reports of the Russian scientific-practical conference with international participation. 2013; 623-630. Available at: http://elibrary.ru/download/elibrary_22400014_55480325.pdf (In Russ.)
10. Skvortsov A. N. About a method of determination of acoustical absorption coefficient of different construction materials in the small reverberation camera. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti* = Technologies of Technospheric Security. 2016; 2(66). Available at: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2016-2/15-02-16.ttb.pdf> (In Russ.)

Submitted 17.03.2017; revised 25.04.2017; published online 14.06.2017

About the authors:

Anatoliy P. Savelyev, Head of Chair of Life Safety, Institute of Mechanics and Power Engineering, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russia), Dr.Sci. (Engineering), professor, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-0361-0827>, igaikinamgu@mail.ru

Aleksandr N. Skvortsov, Senior Lecturer of Chair of Life Safety, Institute of Mechanics and Power Engineering, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russia), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-2093-1094>, squortsow.sasha@yandex.ru

Svetlana A. Yenaleyeva, Senior Lecturer of Chair of Life Safety, Institute of Mechanics and Power Engineering, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russia), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-0855-9207>, savelyvasa@gmail.com

Sergey V. Glotov, Professor of Chair of Life Safety, Institute of Mechanics and Power Engineering, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russia), Dr.Sci. (Engineering), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-6965-3953>, squortsow.sasha@yandex.ru

Contribution of the co-authors: A. Savelyev: scientific supervision, developing the conceptual framework; A. Skvortsov: searching and analyzing information on the topic, critical analyzing and finalization of the solution; S. Yenaleyeva: reviewing the literature on the topic; S. Glotov: critical analyzing the research and revision of the text.

All authors have read and approved the final version of the manuscript.