

Техносферная безопасность в электроэнергетике Technological safety in electrical energy engineering

Научная статья

УДК 331.45

DOI: 10.14529/power240209

ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА ПОЖАРНЫХ И СПАСАТЕЛЕЙ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО ДЫХАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

А.В. Богданов, avbogdanov@susu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8325-1598>

А.А. Дубровских, triples@bk.ru

Ю.В. Медведева, medvedevayv@susu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3418-9556>

А.Н. Горожанкин, gorozhankinan@susu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8748-4700>

Д.Д. Захаров, zakharov633dd@gmail.com

Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

Аннотация. При выполнении задач в ходе проведения аварийно-спасательных работ и тушении пожаров пожарные и спасатели сталкиваются с воздействием на них опасных факторов пожара, в результате чего они могут оказаться заложниками ситуации, при которой необходимо подать сигнал бедствия. Для повышения безопасности труда пожарных и спасателей предлагается усовершенствованный изолирующий дыхательный аппарат, который позволяет подавать звуковой сигнал бедствия при ликвидации аварий и проведении спасательных работ. В конструкции усовершенствованного изолирующего дыхательного аппарата дополнительно предусмотрено устройство принудительной подачи воздуха на сигнальный свисток. При несчастном случае с пожарным (спасателем) сигнал бедствия должен быть услышан другими пожарными (спасателями). Кроме того, авторами получено математическое выражение для определения расстояния от источника звука в зависимости от уровней звукового давления, создаваемого сигнальным свистком. Данное выражение позволяет правильно подобрать свисток и определить расстояние, на котором будет отчетливо слышен сигнал бедствия. Предлагаемые решения позволят обеспечить своевременную подачу сигнала бедствия пожарным (спасателем) и, следовательно, повысить безопасность их труда.

Ключевые слова: безопасность труда, пожарный, спасатель, дыхательный аппарат, сигнальный свисток, уровень сигнала бедствия

Для цитирования: Повышение безопасности труда пожарных и спасателей путем применения усовершенствованного дыхательного аппарата / А.В. Богданов, А.А. Дубровских, Ю.В. Медведева и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». 2024. Т. 24, № 2. С. 88–94. DOI: 10.14529/power240209

Original article

DOI: 10.14529/power240209

AN IMPROVED BREATHING APPARATUS TO INCREASE THE SAFETY OF FIREFIGHTERS AND RESCUERS

A.V. Bogdanov, avbogdanov@susu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8325-1598>

A.A. Dubrovskikh, triples@bk.ru

Yu.V. Medvedeva, medvedevayv@susu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3418-9556>

A.N. Gorozhankin, gorozhankinan@susu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8748-4700>

D.D. Zakharov, zakharov633dd@gmail.com

South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

Abstract. When performing emergency rescue operations and extinguishing fires, firefighters and rescuers are faced with exposure to fire hazards, as a result of which they may need to send a distress signal. To improve the safety of firefighters and rescuers, an improved insulating breathing apparatus is proposed, which allows a distress signal to be sent during emergency response and rescue operations. The design of the apparatus provides a device for a forced air supply to an alarm whistle. In an accident, the distress signal must be heard by other firefighters. A mathematical

© Богданов А.В., Дубровских А.А., Медведева Ю.В., Горожанкин А.Н., Захаров Д.Д., 2024

expression for determining the distance from the sound source depending on the sound pressure levels generated by the signal is obtained. The solutions will ensure the timely delivery of a distress signal to firefighters and, consequently, increase their safety.

Keywords: occupational safety, firefighter, rescuer, breathing apparatus, alarm whistle, distress signal level

For citation: Bogdanov A.V., Dubrovskikh A.A., Medvedeva Yu.V., Gorozhankin A.N., Zakharov D.D. An improved breathing apparatus to increase the safety of firefighters and rescuers. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering*. 2024;24(2):88–94. (In Russ.) DOI: 10.14529/power240209

Введение

В Российской Федерации в 2022 году произошло более 350 тыс. пожаров [1]. При этом из числа сотрудников Федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы (ФПС ГПС) погибло 74 человека [2], поэтому безопасность сотрудников ФПС ГПС во время тушения пожаров является актуальной задачей.

Необходимо отметить, что основными причинами техногенных пожаров в 2022 году явились аварийный режим работы электрических сетей и оборудования, неосторожное обращение с огнем, нарушение правил пожарной безопасности [3]. На объектах энергетики пожары в основном возникают из-за неисправности технологического оборудования или систем противопожарной защиты.

При выполнении задач в ходе проведения аварийно-спасательных работ и при тушении пожаров пожарные и спасатели сталкиваются с воздействием на них опасных факторов пожара, в результате чего они могут оказаться заложниками ситуации, при которой необходимо подать сигнал

бедствия. Снизить количество погибших сотрудников возможно применением современных средств индивидуальной защиты, в том числе средств защиты органов дыхания и зрения. Некоторые средства защиты органов дыхания и зрения требуют их совершенствования [4–17]. Поэтому целью данной работы является усовершенствование изолирующего дыхательного аппарата, повышающего безопасность труда пожарных и спасателей путем подачи звукового сигнала бедствия при ликвидации аварий и проведении спасательных работ. На рис. 1 показана схема усовершенствованного изолирующего дыхательного аппарата [18]. На рис. 1: 1 – металло-композитный баллон с воздухом; 2 – вентиль открывания и закрывания кислородного баллона; 3 – редуктор; 4 – шланг высокого давления; 5 – легочный автомат; 6 – шланг редуцированного давления; 7 – манометр; 8 – лицевая часть маски; 9 – подвесная система аппарата; 10 – поясной ремень; 11 – ремень фиксации баллона; 12 – мембранный включатель и выключатель легочного автомата; 13 – система рычагов; 14 – кла-

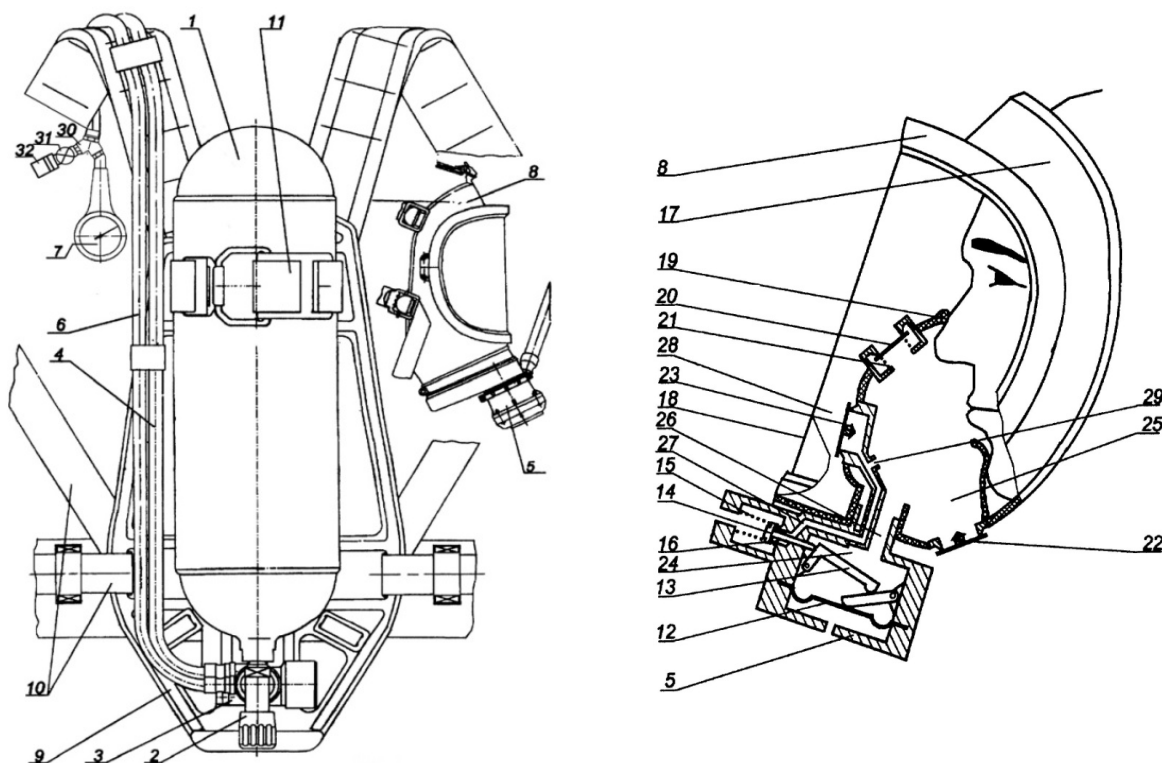


Рис. 1. Общий вид усовершенствованного изолирующего дыхательного аппарата
Fig. 1. Overview of the improved breathing apparatus

пан включения и выключения легочного автомата; 15 – пружина; 16 – толкатель; 17 – лицевая полость; 18 – обдув стекла; 19 – подмасочник; 20 – клапан вдоха; 21 – пружина; 22 – клапан выдоха; 23 – подмембранная полость; 24 – пространство подмасочника; 25 – канал; 26 – канал; 27 – полость избыточного давления; 28 – полость лицевой части; 29 – отвод; 30 – тройник; 31 – кнопка принудительной подачи воздуха; 32 – сигнальный свисток.

Методология

В конструкции усовершенствованного изолирующего дыхательного аппарата (см. рис. 1) дополнительно предусмотрены тройник 30, кнопка принудительной подачи воздуха 31 и сигнальный свисток 32, которые соединены между собой шлангами. При этом воздух после редуктора 3 по шлангу 6 поступает в тройник 30 и далее распределяется на кнопку принудительной подачи воздуха 31 и манометр 7. Кнопка принудительной подачи воздуха 31 при стандартной ситуации закрыта (не пропускает воздух).

Если с пожарным (спасателем) произошел несчастный случай при тушении пожара, ликвидации аварий или проведении спасательных работ, при котором у аварийного пожарного (спасателя) нет средств связи с внешним миром, то он использует кнопку принудительной подачи воздуха 31.

При нажатии на кнопку 31 обеспечивается подача воздуха на сигнальный свисток 32, который издает звуковой сигнал бедствия. Рядом находящиеся пожарные (спасатели), услышав сигнал бедствия от аварийного пожарного (спасателя), предпринимая меры по спасению пострадавшего.

Для выполнения задачи по спасению пострадавшего сигнал бедствия должен быть услышан другими пожарными (спасателями). Согласно ГОСТ 28466–90 [19], в настоящее время утратившему силу, общий уровень звукового давления свистка должен составлять не менее 105 дБ. Поэтому для усовершенствованного изолирующего дыхательного аппарата необходимо подобрать свисток примерно с такими же характеристиками по уровню звукового давления.

Также нужно учесть, что с увеличением расстояния от источника сигнала его уровень снижается. Снижение уровня звукового давления подчиняется следующей зависимости [20]:

$$L_2 = L_1 - 20 \lg \frac{r_2}{r_1}, \quad (1)$$

где L_1 – уровень звукового давления на расстоянии 1 м от источника звука (сигнальный свисток), дБ; L_2 – уровень звукового давления на расстоянии r_2 от источника звука (сигнальный свисток), дБ; r_1 – расстояние от источника звука ($r_1 = 1$ м), м; r_2 – расстояние от источника звука, м.

Как видно из формулы (1), зная уровень звукового давления свистка на расстоянии 1 м, можно

определить уровень звукового давления на любом расстоянии от свистка. Формула (1) также показывает, что с увеличением расстояния от свистка r_2 уровень звукового давления снижается, так как логарифмическая функция возрастающая.

Поскольку уровень сигнала свистка зависит от расстояния, то из формулы (1) можно определить расстояние r_2 , при котором сигнал бедствия будет услышан с определенным звуковым давлением L_2 .

Для этого преобразуем формулу (1) в следующий вид:

$$L_2 = L_1 - 20 \lg r_2 - 20 \lg r_1. \quad (2)$$

Отсюда можно выразить расстояние от источника звука r_2 :

$$r_2 = 10^{\frac{L_1 - L_2 - 20 \lg r_1}{20}}. \quad (3)$$

Учитывая, что $r_1 = 1$ м, выражение (3) можно записать в следующем виде:

$$r_2 = 10^{\frac{L_1 - L_2}{20}}. \quad (4)$$

В полученной формуле (4) величина L_1 характеризует уровень звука, издаваемый сигнальным свистком на расстоянии 1 м от него. Величина L_2 характеризует уровень звука на расстоянии r_2 от свистка. Поэтому, зная нормативные уровни звука оповещения, можно определить максимальное расстояние r_2 от источника звука, при котором будут соблюдаться нормативные уровни звука. Это важно, так как уровни сигнала бедствия ниже нормативных могут быть не услышаны другими пожарными (спасателями). Иными словами, нам нужно узнать предельное расстояние, на котором хорошо будет слышен сигнал бедствия от аварийного пожарного. Тогда, основываясь на выражении (4), можно записать:

$$r_{\text{норм}} \leq 10^{\frac{L_1 - L_{\text{норм}}}{20}}, \quad (5)$$

где $L_{\text{норм}}$ – нормативное значение общего уровня звука к звуковому оповещению, дБА; $r_{\text{норм}}$ – предельное расстояние от сигнального свистка, при котором будет отчетливо слышен сигнал бедствия аварийного пожарного, м.

Результаты

Для определения нормативного значения уровня звука к звуковому оповещению можно воспользоваться СП 3.13130.2009 [21]. Пункт 4.2 этого документа гласит, что звуковые сигналы должны обеспечивать уровень звука не менее чем на 15 дБА выше постоянного шума в помещении. При пожаре фоновый уровень шума может сильно варьироваться в зависимости от различных факторов, таких как интенсивность пожара, расстояние от очага пожара, тип и размер здания, а также наличие других источников шума.

Но в среднем фоновый уровень шума во время пожара может составлять от 70 до 90 дБ, а иногда колебаться от 76 до 130 дБ [20, 21]. Для опре-

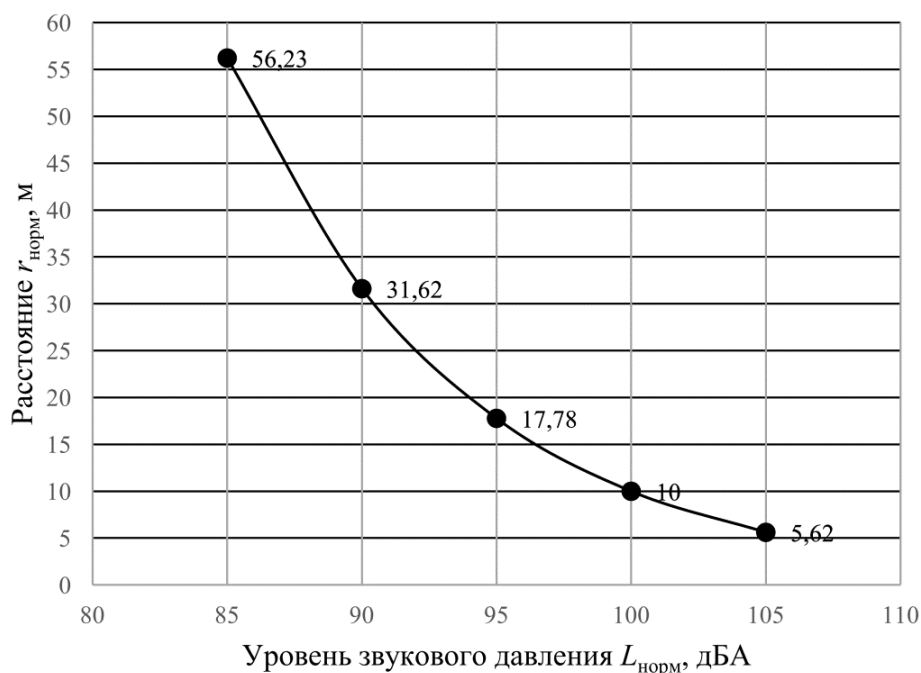


Рис. 2. Зависимость предельного расстояния $r_{\text{норм}}$, при котором будет отчетливо слышен сигнал бедствия, от нормируемого уровня звукового давления $L_{\text{норм}}$ ($L_1 = 120$ дБА)
Fig.2. The dependence of the maximum distance $r_{\text{норм}}$, at which the distress signal will be clearly heard at the normalized sound pressure level $L_{\text{норм}}$ ($L_1 = 120$ дБА)

деления пределов требуемого уровня звука сигнального свистка примем средний фоновый уровень шума при пожаре 70...90 дБ. Тогда нормативное значение общего уровня звука должно находиться в пределах от 85 до 105 дБА, то есть на 15 дБА выше фонового уровня.

Если рассчитать по формуле (5) предельное расстояние от сигнального свистка, при котором отчетливо будет слышен сигнал бедствия от аварийного пожарного, то при нормативном значении 85 дБА оно составит 56,23 м, а при нормативном значении 105 дБА – 5,62 м (при $L_1 = 120$ дБА). Это видно из графика (рис. 2), построенного по полученному выражению (5).

Обсуждение

Из графика (см. рис. 2) также видно, что с увеличением нормы по уровню звукового давления расстояние, на котором отчетливо будет слышен сигнальный свисток, уменьшается. Это связа-

но с тем, что норма зависит от уровня фонового шума. Поэтому с увеличением уровня фонового шума нормативное значение уровня шума увеличивается, а значит расстояние, на котором будет отчетливо слышен свисток, уменьшается.

Нужно отметить, что сигнальный свисток будет слышен и на большем расстоянии, но менее отчетливо.

Заключение

Таким образом, результаты расчетов по предложенным зависимостям (4)–(5) и применение усовершенствованного изолирующего дыхательного аппарата позволят обеспечить надежную подачу сигнала бедствия аварийным пожарным и, следовательно, повысить безопасность труда пожарных и спасателей при выполнении ими служебных (боевых) задач. Это снизит тяжесть несчастных случаев и уменьшит вероятность гибели сотрудников МЧС России.

Список литературы

1. Анализ обстановки с пожарами и их последствиями на территории Российской Федерации за 12 месяцев 2022 г. URL: <https://uzdp.pf/files/306/analiz-dnpr-2022.pdf> (дата обращения: 04.11.2023).
2. Анализ гибели (смерти) личного состава в системе МЧС России за 2022 г. URL: <https://fireman.club/literature/analiz-gibeli-smerti-lichnogo-sostava-v-sisteme-mchs-rossii-za-2022-god/> (дата обращения: 06.11.2023).
3. Техногенные пожары: статистические данные за 2022 год // Народная весть. URL: <https://narodvest.ru/news/2023-04-07-4261> (дата обращения: 06.11.2023).
4. Влияние экстремальных условий и боевой деятельности на психику пожарных. URL: <https://old-gkchs.cap.ru/sitemap.aspx?id=67299> (дата обращения: 18.11.2023).

5. Федеральный закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности». URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_78699/ (дата обращения: 22.11.2023).
6. Федеральный закон от 21.12.1994 № 69-ФЗ «О пожарной безопасности». URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_5438/ (дата обращения: 24.11.2023).
7. Приказ МЧС России от 27.06.2022 № 640 «Об утверждении Правил использования средств индивидуальной защиты органов дыхания и зрения личным составом подразделений пожарной охраны». URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_444543/ (дата обращения: 25.11.2023).
8. Self contained breathing apparatus. URL: <https://suresafety.com/blog-fire-breathing-apparatus> (дата обращения: 25.03.2024).
9. Three main different types of breathing apparatus. URL: <https://www.hseblog.com/breathing-apparatus-types/> (дата обращения: 5.02.2024).
10. Donovan K., McConnell A. Do fire-fighters develop specific ventilatory responses in order to cope with exercise whilst wearing self-contained breathing apparatus? // *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 1999. Vol. 80. P. 107–112.
11. Dreger R.W. Impact of fire protective equipment and the self-contained breathing apparatus on peak exercise in males and females // *Ergonomics*. 2023. Vol. 66 (12). P. 1884–1891. DOI: 10.1080/00140139.2023.2168766
12. Quantifying self-contained breathing apparatus on physiology and psychological responses during fire-fighting: a systematic review and meta-analysis / Jian Li, Yunyi Wang, Rongfan Jiang, Jun Li. // *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*. 2022. Vol. 29 (1). P. 77–89. DOI: 10.1080/10803548.2021.2024020
13. Effects of firefighters' self-contained breathing apparatus' weight and its harness design on the physiological and subjective responses / I. Bakri, J.Y. Lee, K. Nakao et al. // *Ergonomics*. 2012. Vol. 55 (7). P. 782–791. DOI: 10.1080/00140139.2012.663506
14. Dreger R.W., Jones R.L., Petersen S.R. Effects of the self-contained breathing apparatus and fire protective clothing on maximal oxygen uptake // *Ergonomics*. 2006. Vol. 49 (10). P. 911–920. DOI: 10.1080/00140130600667451
15. Donovan K., McConnell A. The effects of self-contained breathing apparatus on gas exchange and heart rate during fire-fighter simulations // *Contemporary Ergonomics* / edited by: M.A. Hanson. London: Taylor and Francis, 1998. P. 535–539.
16. Guidotti T.L., Clough V.M. Occupational health concerns of firefighting // *Annual Review of Public Health*. 1992. Vol. 13. P. 151–171. DOI: 10.1146/annurev.pu.13.050192.001055
17. Kilbom A. Physical work capacity of firemen with special reference to demands during fire fighting // *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*. 1980. Vol. 6. P. 48–57. DOI: 10.5271/sjweh.2634
18. Пат. 220524 Российская Федерация. Изолирующий дыхательный аппарат / А.А. Дубровских, А.В. Богданов, Г.А. Полунин; заявитель и патентообладатель Юж.-Урал. гос. ун-т. № 2023116592; заявл. 23.06.2023; опубл. 20.09.2023, Бюл. № 26. 7 с.
19. ГОСТ 28466–90. Тифоны и свистки сигнальные. Общие технические условия. URL: https://www.testprom.ru/img_user/gosts/45/060/gost_28466-0.pdf?ysclid=lu5iaiqcg1740147259 (дата обращения: 25.03.2024).
20. Безопасность жизнедеятельности (безопасность труда в сельскохозяйственном производстве): учеб. пособие / Ю.Г. Горшков, А.П. Лапин, И.В. Гальянов и др. Челябинск: ЧГАА, 2008. 166 с.
21. СП 3.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре. Требования пожарной безопасности. URL: <https://mchs.gov.ru/dokumenty/svody-pravil/svody-pravil-mchs-rossii/6666> (дата обращения: 16.11.2023).

References

1. *Analiz obstanovki s pozharami i ikh posledstviyami na territorii Rossiyskoy Federatsii za 12 mesyatsev 2022 g.* [Analysis of the situation with fires and their consequences on the territory of the Russian Federation for the 12 months of 2022]. (In Russ.) Available at: <https://uzdp.pf/files/306/analiz-dnpr-2022.pdf> (accessed 04.11.2023).
2. *Analiz gibeli (smerti) lichnogo sostava v sisteme MChS Rossii za 2022 g.* [Analysis of the death (death) of personnel in the system of the Ministry of Emergency Situations of Russia for 2022]. (In Russ.) Available at: <https://fireman.club/literature/analiz-gibeli-smerti-lichnogo-sostava-v-sisteme-mchs-rossii-za-2022-god/> (accessed 06.11.2023).
3. *Tekhnogennyye pozhary: statisticheskie dannye za 2022 god* [Man-made fires: statistical data for 2022]. *Narodnaya vest'*. (In Russ.) Available at: <https://narodvest.ru/news/2023-04-07-4261> (accessed 06.11.2023).
4. *Vliyanie ekstremal'nykh usloviy i boevoy deyatel'nosti na psikhiku pozharnykh* [The impact of extreme conditions and combat activities on the psyche of firefighters]. (In Russ.) Available at: <https://old-gkchs.cap.ru/sitemap.aspx?id=67299> (accessed 18.11.2023).

5. *Federal'nyy zakon ot 22 iyulya 2008 g. No. 123-FZ "Tekhnicheskiy reglament o trebovaniyakh pozharnoy bezopasnosti"* [Federal Law No. 123 of July 22, 2008 "Technical Regulation on Fire Safety Requirements"]. (In Russ.) Available at: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_78699/ (accessed 22.11.2023).
6. *Federal'nyy zakon ot 21.12.1994 No. 69-FZ "O pozharnoy bezopasnosti"* [Federal Law No. 69 dated 21.12.1994 "On Fire Safety"]. (In Russ.) Available at: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_5438/ (accessed 24.11.2023).
7. *Prikaz MChS Rossii ot 27.06.2022 No. 640 "Ob utverzhdenii Pravil ispol'zovaniya sredstv individual'noy zashchity organov dykhaniya i zreniya lichnym sostavom podrazdeleniy pozharnoy okhrany"* [Order of the Ministry of Emergency Situations of Russia dated 27.06.2022 No. 640 "On approval of the Rules for the use of personal protective equipment for respiratory and visual organs by personnel of fire protection units"]. (In Russ.) Available at: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_444543/ (accessed 25.11.2023).
8. *Self contained breathing apparatus*. Available at: <https://suresafety.com/blog-fire-breathing-apparatus> (accessed 25.03.2024).
9. *Three main different types of breathing apparatus*. Available at: <https://www.hseblog.com/breathing-apparatus-types/> (accessed 5.02.2024).
10. Donovan K., McConnell A. Do fire-fighters develop specific ventilatory responses in order to cope with exercise whilst wearing self-contained breathing apparatus? *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*. 1999;80:107–112.
11. Dreger R.W. Impact of fire protective equipment and the self-contained breathing apparatus on peak exercise in males and females. *Ergonomics*. 2023;66(12):1884–1891. DOI: 10.1080/00140139.2023.2168766
12. Jian Li, Yunyi Wang, Rongfan Jiang, Jun Li. Quantifying self-contained breathing apparatus on physiology and psychological responses during firefighting: a systematic review and meta-analysis. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*. 2022;29(1):77–89. DOI: 10.1080/10803548.2021.2024020
13. Bakri I., Lee J.Y., Nakao K., Wakabayashi H., Tochihara Y. Effects of firefighters' self-contained breathing apparatus' weight and its harness design on the physiological and subjective responses. *Ergonomics*. 2012;55(7):782–791. DOI: 10.1080/00140139.2012.663506
14. Dreger R.W., Jones R.L., Petersen S.R. Effects of the self-contained breathing apparatus and fire protective clothing on maximal oxygen uptake. *Ergonomics*. 2006;49(10):911–920. DOI: 10.1080/00140130600667451
15. Donovan K., McConnell A. The effects of self-contained breathing apparatus on gas exchange and heart rate during fire-fighter simulations. In: *Contemporary Ergonomics*, edited by: Hanson M.A. London: Taylor and Francis; 1998. P. 535–539.
16. Guidotti T.L., Clough V.M. Occupational health concerns of firefighting. *Annual Review of Public Health*. 1992;13:151–171. DOI: 10.1146/annurev.pu.13.050192.001055
17. Kilbom A. Physical work capacity of firemen with special reference to demands during fire fighting. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*. 1980;6:48–57. DOI: 10.5271/sjweh.2634
18. Dubrovskikh A.A., Bogdanov A.V., Polunin G.A. *Izoliruyushchiy dykhatel'nyy apparat* [Insulating breathing apparatus]. Patent RF, no. 220524, 2023. (In Russ.)
19. *GOST 28466–90*. [Typhoons and signal whistles. General technical conditions]. (In Russ.) Available at: https://www.testprom.ru/img_user/gosts/45/060/gost_28466-0.pdf?ysclid=lu5iaiqcgl740147259 (accessed 25.03.2024).
20. Gorshkov Yu.G., Lapin A.P., Galyanov I.V. et al. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti (bezopasnost' truda v sel'skokhozyaystvennom proizvodstve): ucheb. posobie* [Life safety (safety of work in agricultural production): study guide]. Chelyabinsk: South Ural State Agrarian University Publ.; 2008. 166 p. (In Russ.)
21. *SP 3.13130.2009*. [Fire protection systems. Fire alarm and evacuation management system Fire safety requirements]. (In Russ.) Available at: <https://mchs.gov.ru/dokumenty/svody-pravil/svody-pravil-mchs-rossii/6666> (accessed 16.11.2023).

Информация об авторах

Богданов Андрей Владимирович, д-р техн. наук, доц., проф. кафедры безопасности жизнедеятельности, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; avbogdanov@susu.ru.

Дубровских Андрей Александрович, магистрант кафедры безопасности жизнедеятельности, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; triplles@bk.ru.

Медведева Юлия Викторовна, канд. техн. наук, доц., доц. кафедры безопасности жизнедеятельности, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; medvedevayv@susu.ru.

Горожанкин Алексей Николаевич, д-р техн. наук, доц., заведующий кафедрой электрических станций, сетей и систем электроснабжения, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; gorozhankinan@susu.ru.

Захаров Данила Дмитриевич, магистрант кафедры электропривода, мехатроники и электромеханики, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; zakharov633dd@gmail.com.

Information about the authors

Andrey V. Bogdanov, Dr. Sci. (Eng.), Ass. Prof., Prof. of the Department of Life Safety, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; avbogdanov@susu.ru.

Andrey A. Dubrovskikh, Master's Student of the Department of Life Safety, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; triplles@bk.ru.

Yulia V. Medvedeva, Cand. Sci. (Eng.), Ass. Prof., Ass. Prof. of the Department of Life Safety, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; medvedevayv@susu.ru.

Aleksey N. Gorozhankin, Dr. Sci. (Eng.), Ass. Prof., Head of the Department of Power Plants, Networks and Power Supply Systems, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; gorozhankinan@susu.ru.

Danila D. Zakharov, Master's Student of the Department of Electric Drive, Mechatronics and Electromechanics, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; zakharov633dd@gmail.com.

Статья поступила в редакцию 25.03.2024; одобрена после рецензирования 10.04.2024; принята к публикации 10.04.2024.

The article was submitted 25.03.2024; approved after review 10.04.2024; accepted for publication 10.04.2024.