

ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА И ГИГИЕНА ТРУДА

ENVIRONMENTAL AND OCCUPATIONAL HEALTH

DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-4-251-272

УДК 614.842/847

МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ БЕЗОПАСНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ГАЗОДЫМОЗАЩИТНИКОВ С УЧЕТОМ МОНИТОРИНГА ПУЛЬСОВЫХ ЗОН

Д.Н. Шалявин, Е.А. Шмелева, Д.В. Тараканов, Б.Б. Гринченко

Обоснование. При работе газодымозащитника в аппарате со сжатым воздухом в непригодной для дыхания среде необходимо обеспечивать безопасные режимы их работы на основе дистанционного мониторинга пульсометрии.

Цель. Разработать модель параметров пульсовых зон для управления безопасностью газодымозащитников в дыхательном аппарате со сжатым воздухом в непригодной для дыхания среде.

Материалы и методы. В исследовании приняло участие 30 курсантов (юноши) в возрасте 20-23 года. Фиксировался интервал времени поддержания максимальной интенсивности работы (X_i) при выполнении физических упражнений на беговой дорожке и велотренажере в боевой одежде пожарного с использованием дыхательного аппарата со сжатым воздухом и частота сердечных сокращений при различной физической нагрузке. Обработка результатов осуществлялась с использованием программ Excel и SPSS Statistics 22.

Результаты. Установлено, что в легкой пульсовой зоне наблюдается экспоненциальный закон распределения времени работы, а в умеренной пульсовой зоне – нормальное распределение. Построенная вероятностная модель позволяет обеспечивать процесс принятия решений по оценке безопасности режимов работы на основе дистанционного мониторинга функционального

состояния газодымозащитников. Новизна исследования определяется техническими возможностями телеметрических систем современных дыхательных аппаратов со сжатым воздухом.

Заключение. При проектировании телеметрических систем мониторинга безопасности газодымозащитников с учетом количественного показателя пульса, характеризующего их состояние при выполнении работ по тушению пожаров в непригодной для дыхания среде, необходимо учитывать нормальное распределение времени работы в пульсовой зоне и уровень работоспособности газодымозащитника.

Ключевые слова: пожарные; газодымозащитник; безопасный режим работы; психофизическая нагрузка; пульсовые зоны; мониторинг; пульсометрия

Для цитирования. Шалыavin Д.Н., Шмелева Е.А., Тараканов Д.В., Гринченко Б.Б. Методика формирования безопасных режимов работы газодымозащитников с учетом мониторинга пульсовых зон // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2021. Т. 13, № 4. С. 251-272. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-4-251-272

WAYS TO PROVIDE SECURE WORKING CONDITIONS OF GAS AND SMOKE DIVERS THROUGH MONITORING THEIR HEART BEAT RATE

D.N. Shalyavin, E.A. Shmeleva, D.V. Tarakanov, B.B. Grinchenko

Background. In a device with compressed air in an environment unsuitable for breathing, it is necessary to ensure safe operating modes of gas and smoke divers based on remote monitoring of heart rate monitoring.

Purpose. To develop a model of heart beat rate zone parameters for controlling the safety of gas and smoke divers in a breathing apparatus with compressed air in a nonserviceable environment.

Materials and methods. 30 cadets (young men) aged 20-23 years took part in the study on the basis of the laboratory of functional diagnostics. The time interval for maintaining the maximum intensity of work when performing physical exercises on a treadmill and an exercise bike in firefighter combat clothing using a compressed air breathing apparatus and the heart rate during various physical exertion were recorded. The results were processed using Excel and SPSS Statistics 22 programs.

Results. It is established that in the light zone of heart beat rate there is an exponential law of the distribution of the operating time, and in the moderate – the

normal distribution. The constructed probabilistic model allows for well as information support for the decision-making process for assessing the secure workings of operating modes based on remote monitoring of the functional state of smoked divers. The novelty of the study is determined by the technical capabilities of the telemetry systems of modern breathing apparatus with compressed air.

Conclusion. *When designing telemetric systems for monitoring the safety of gas and smoke divers, taking into account the quantitative pulse indicator that characterizes their condition when performing fire extinguishing operations in an inhospitable environment, it is necessary to take into account the normal distribution of working time in the pulse zone and the level of efficiency of the gas and smoke divers.*

Keywords: *firefighters; smoke diver; secure working conditions; psychophysical load; heart beat rate zone; monitoring; heart rate monitoring*

For citation. *Shalyavin D.N., Shmeleva E.A., Tarakanov D.V., Grinchenko B.B. Ways to provide secure working conditions of gas and smoke divers through monitoring their heart beat rate. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2021, vol. 13, no. 4, pp. 251-272. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-4-251-272*

Введение

При выполнении работ, связанных с тушением пожара, проведением аварийно-спасательных работ, а также ликвидацией последствий чрезвычайных ситуаций техногенного характера, личному составу пожарно-спасательных подразделений приходится выдерживать высокие, а иногда предельные физические и психологические нагрузки.

Сложнейшим видом деятельности в профессии пожарных является ведение боевых действий по спасению людей и тушению пожаров газодымозащитной службы (ГДЗС) в непригодной для дыхания среде (НДС). Звенья ГДЗС формируются из газодымозащитников, оснащенных средствами индивидуальной защиты органов дыхания и зрения, к которым относятся дыхательные аппараты со сжатым воздухом (ДАСВ).

В мониторинге состояния газодымозащитников используются телеметрические системы сбора ретроспективных, текущих и прогнозных значений, контролируемых параметров безопасности. Тенденции развития данных систем определяет увеличение количества показателей мониторинга, что приводит к повышению качества принимаемых решений, но и может создать информационных кризис, связанный с избытком информации и возникновением противоречивых ситуаций [7].

В оценке безопасности газодымозащитников осуществляют контроль трех параметров: показателя снижения давления в баллоне дыхательного

аппарата – параметр средства защиты человека от внешней среды; температуры окружающей среды – параметр воздействия на человека опасных факторов пожара и параметр оценки состояния человека – передача сообщения от газодымозащитника о неудовлетворительном самочувствии. Предполагается, что наличие данных по трем показателям, характеризующим систему «человек – средство защиты – внешняя среда», необходимо и достаточно для качественного принятия решений при управлении безопасностью газодымозащитников в процессе тушения пожаров. При мониторинге температура газовой среды при пожаре и давление в баллонах ДАСВ рассматриваются как случайные величины, подчиняющиеся нормальному закону распределения. Однако, мониторинг состояния проводится лишь на качественном уровне по сообщениям от командира звена ГДЗС о самочувствии газодымозащитников.

При выполнении различного вида работ в НДС у газодымозащитников возникают трудности в самостоятельном контроле самочувствия. Это связано с рядом психических факторов, обусловленных спецификой самоотверженной работы при тушении пожаров и спасении людей. Поэтому для повышения качества решений по обеспечению безопасности газодымозащитников дополнительно может быть использован количественный показатель самочувствия - частота сердечных сокращений (пульс, ЧСС) [1, 3, 4, 5].

Частота сердечных сокращений может предоставить ценную информацию о нагрузке на сердечно-сосудистую систему и физической нагрузке. Пожарные как правило, подвергаются большему риску из-за требований к работе, связанных с тушением пожаров, которые могут увеличить их ЧСС до аномально высокого уровня, что приведет к будущим сердечно-сосудистым проблемам [17, 25].

В связи с этим ставится задача дистанционного мониторинга пульсовых зон (ПЗ) газодымозащитников с целью формирования безопасных режимов работы в НДС в рамках концептуальной модели принятия решений [2, 6, 8].

К. Vuas К. и С. McGregor провели обзор исследований использования частоты сердечных сокращений для оценки устойчивости пожарных, установив, что оценка устойчивости и мониторинг вариабельности сердечного ритма не столь широко используются пожарными при ограниченной обратной связи, доступной с помощью переносимых устройств [27]. Устойчивость как способность справляться со стрессовыми ситуациями действует как мощный защитный механизм в предотвращении пагубного влияния травматического стресса на развитие посттравматического расстройства у пожарных [15]. Если пожарные развили свою жизнестойкость,

физиологическая реакция заключается в том, что их ЧСС будет ниже и, таким образом, улучшится способность справляться с трудностями травматические события, которые предотвращают любые негативные последствия для психического здоровья [19].

Мониторинг психологических и физиологических стрессовых реакций пожарных при выполнении противопожарных мероприятий имеет большой потенциал для улучшения обучения устойчивости [12].

Различия в сердечно-сосудистых реакциях пожарных при различных сигналах тревоги были выявлены R.A. Marciniak с соавт. [18], J.J. MacNeal с соавт. [17]. О частоте сердечных сокращений пожарных как предикторе сердечных вегетативных нарушений среди пожарных и необходимости их физической подготовки писали L. G. G. Porto с соавт. [21].

A. Sosa с соавт. в ходе эксперимента на беговых дорожках выявили то, что на восприятие нагрузки у испытуемых при упражнениях средней и высокой интенсивности (80% ЧСС) не влияло ношение средств индивидуальной защиты пожарного. Однако, тренируясь с более высокой интенсивностью (90% ЧСС), испытуемые чувствовали, что им труднее переносить нагрузку в любом из комплектов одежды. Оказалось, что ЧСС является физиологическим предиктором восприятия физической нагрузки пожарных в ДАСВ преимущественно в периоды высокого ЧСС при ношении средств индивидуальной защиты [11]. Описательный анализ физиологических параметров газодымозащитников, проведенный F. Pantalonis с соавт. показал, что диапазон наблюдаемых вариаций (частота пульса, температура тела, чувство усталости, обезвоживание) увеличивался в связи с сложностью физиологической нагрузки по большинству параметров [20].

Необходимость контроля самочувствия газодымозащитников в НДС обусловило проблему исследования – разработка концептуальной модели принятия решений по обеспечению безопасности газодымозащитников на основе дистанционного мониторинга пульсовых зон.

Материалы и методы

Участники исследования. В исследовании приняло участие 30 курсантов (юноши) 3-го и 4-го года обучения Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России (далее – ИПСА) в возрасте 20-23 лет, изучающих дисциплину «Подготовка газодымозащитника». База исследования – лаборатория функциональной диагностики ИПСА.

Оборудование: беговая дорожка HouseFit HT-9164E, велотренажер IPI STP-2290, пульсометр Polar OH1, секундомер Casio HS-80TW-1E, ноутбук

Asus X550V, дыхательный аппарат со сжатым воздухом АП «Омега»-1-АТ68, боевая одежда пожарного (БОП) тип У.

Методический инструментарий. Исследование проводилось в октябре 2020 года. Участники должны были выполнить физические упражнения на беговой дорожке и велотренажере в БОП с использованием ДАСВ (рис. 1), вес которого составлял около 11 кг. Интервал времени поддержания максимальной интенсивности работы (X_i) фиксировался с помощью секундомера, а показатели ЧСС дистанционно передавались на компьютер экспериментатора. Каждый испытуемый проходил тест дважды, достигая значения ЧСС соответствующей легкой и умеренной ПЗ. Для искусственного введения испытуемого в более высокую ПЗ увеличивалась физическая нагрузка, посредством переключения параметров работы велотренажера или беговой дорожки на более интенсивную программу выполнения. При тестировании фиксировались интервалы времени максимального нахождения в каждой ПЗ.



Рис. 1. Тестирование максимального времени поддержания интенсивности нагрузки в ПЗ

Анализ данных. Полученные эмпирические данные осмысливались и обрабатывались с помощью качественных и количественных методов анализа, в т.ч.: описательные статистики, критерий Стьюдента $t_s = 2,04$ ($N=30$ чел.) на уровне значимости $\alpha=0,05$, критерий $\chi_k^2=5,99$ при доверительной вероятности $p=0,95$. Для определения связи между возрастом и показателями ЧСС газодымозащитников и ее интерпретации применен корреляционный анализ Пирсона с использованием шкалы Чеддока. Расчеты производились на базе пакета статистических программ Excel и SPSS 22.

Результаты

Патентный поиск по ключевому слову «дистанционный мониторинг» (отобрано более сорока патентов) показал, что частота сердечных сокра-

щений ни в одном из них не используется как инструмент дистанционного мониторинга обеспечения безопасных режимов работы.

Повышенная ЧСС в течение длительного временного воздействия оказывает негативное влияние на состояние газодымозащитников. Для возможности определения безопасного порога установлен защитный барьер – максимальная частота сердечных сокращений HR_{max} .

Для расчета HR_{max} существует множество формул (М. Танака, Ж. Гулати, Карвонен и др.) [24, 26], основанные на учете возраста [16]. Среди уравнений для оценки HR_{max} наиболее известным и наиболее широко используемым является «220 - возраст», приписываемое Карвонену. [14]. D.O. Segundo с соавт. установили, что наибольшую точность расчета HR_{max} и лучшие прогнозы максимальных нагрузок позволяет обеспечить уравнение, предложенное Танакой и др. «208 - (0,7* возраст)». В 2002 г. R. Robergs, R. Landwehr проанализировали 43 формулы расчета HR_{max} и установили, что ни одна из них достаточно точно не рассчитывает HR_{max} [13, 20]. В качестве наиболее точной формулы расчета зон пульса для работы с физическими нагрузками и нервными напряжениями, мы избрали формулу, полученную E. Shargal с соавт. на основе линейных регрессий между HR_{max} и возрастом [23]:

$$HR_{max} = 208,609 - (0,716 \cdot age) \quad (1)$$

где age – возраст испытуемого.

Учет дополнительного контролирующего фактора – ЧСС, наряду с другими параметрами безопасности (давление P , атм; время t , мин), позволяет сформировать безопасные режимы работы газодымозащитников.

Мы определяем безопасный режим работы газодымозащитника как распределение его действий в дыхательном аппарате со сжатым воздухом в процессе ликвидации техногенных чрезвычайных ситуаций, при котором наблюдается стабильная работоспособность пожарного и отсутствует или снижается риск опасности для его жизни и здоровья. Нами предлагается пять возможных интервалов показателей ЧСС постоянных психофункциональных нагрузок обеспечивается в виде пульсовых зон (ПЗ):

- легкая: пульс составляет 50-69 % от максимального значения, при этом нагрузка минимальная;
- умеренная: значение пульса составляет 70-79 % от максимального, при этом нагрузка на грани зоны комфортности;
- тяжелая: значение пульса в данной зоне составляет 80-89% от максимального пульса. При работе в этой ПЗ появляются сложности в поддержании интенсивности;

- очень тяжелая: значение пульса составляет 90-99% от HR_{\max} , выполнение работы происходит практически на пределе человеческих возможностей;
- максимальная: пульс доходит до максимального значения, работа выполняется на пределе человеческих возможностей.

В связи с этим для расчета индивидуальных значений ЧСС газодымозащитников в пульсовых зонах применим возрастные ограничения с 18 до 60 лет. Расчет HR пульсовых зон произведен на основе применения формул (2) - (6):

$$HR_{\text{ПЗ}}^1 = HR_{\max} \cdot 0,5...0,69, \quad (2)$$

$$HR_{\text{ПЗ}}^2 = HR_{\max} \cdot 0,7...0,79, \quad (3)$$

$$HR_{\text{ПЗ}}^3 = HR_{\max} \cdot 0,8...0,89, \quad (4)$$

$$HR_{\text{ПЗ}}^4 = HR_{\max} \cdot 0,9...0,99, \quad (5)$$

$$HR_{\text{ПЗ}}^5 = HR_{\max}. \quad (6)$$

где $HR_{\text{ПЗ}}^k$ – частота сердечных сокращений в k -ой зоне ($k = 1, 2, 3, 4, 5$).

С учетом формул (1) - (6) можно рассчитать пульсовые зоны с учетом возраста газодымозащитников (рис. 2). При этом необходимо указать, что в максимальной пульсовой зоне показатели ЧСС не обеспечивают безопасный режим работы.

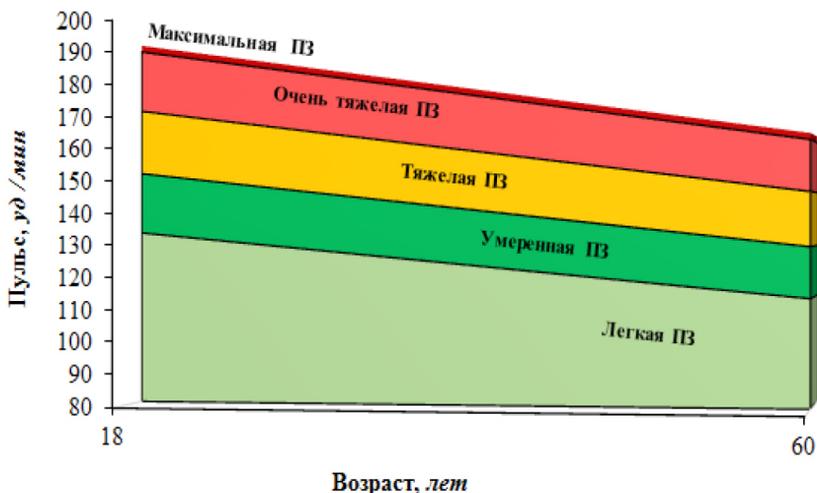


Рис. 2. Связь между показателями ЧСС в ПЗ и возрастом газодымозащитников

Значение коэффициента корреляции составило $r = -0,99$ ($p < 0,01$) по всем возрастным категориям и показателям пульса, что свидетельствует о значимой обратной связи между возрастом и показателями ЧСС в пульсовых зонах: при увеличении возраста газодымозащитника снижается защитный барьер в виде максимальных показателей ЧСС.

С целью выявления интервалов времени, при которых тестируемый мог бы поддерживать максимальную интенсивность работы, эксперимент был проведен в легкой и умеренной пульсовой зоне, т.к. выполнять физическую нагрузку в тяжелой, очень тяжелой и максимальной пульсовой зоне при проведении занятий не допускается.

Каждому испытуемому был присвоен номер с учетом результатов ранжирования по возрастанию времени работы в ПЗ, после чего выявлялись недостоверные результаты измерений, которые исключались из дальнейшего анализа и формировалась выборка X^* с количеством достоверных результатов измерений N^* . Число интервалов L для группировки результатов измерения определялось по формуле:

$$L = 5 \cdot \lg N^* \quad (8)$$

после чего были определены границы интервалов α и β на основе максимальных и минимальных результатов измерений времени работы в ПЗ в выборке X^* . Распределение результатов и подсчет эмпирических значений $N_{\text{эмп}}$ в k интервалах позволили выдвинуть гипотезу о соответствии данных нормальному закону Φ с параметрами $M(X)$ и $\sigma(X)$, либо экспоненциальному закону распределения P с параметром $M(X)$, и для каждой α и β определить значения $\Phi(X_{(\alpha)})$, $\Phi(X_{(\beta)})$ и $P(\alpha)$, $P(\beta)$. Для оценки теоретического распределения измерений по k интервалам использовалась формула:

$$N_{\text{теор } k} = N^* (\Phi(X(\alpha)) - \Phi(X(\beta))) \quad (9)$$

где $\Phi(X(\alpha))$ – значение функции Лапласа в точке $X(\alpha) = \frac{\alpha - M(X)}{\sigma(X)}$, и аналогично для $\Phi(X(\beta))$.

Для закона распределения P данные оценивались по формуле:

$$N_{\text{теор } k} = N^* (P(\alpha) - P(\beta)) \quad (10)$$

где $P(\alpha) = e^{-\frac{\alpha}{M(X)}}$, и аналогично для $P(\beta)$.

Результаты ранжирования и отбора недостоверных результатов измерений представлены на рис. 3-4.

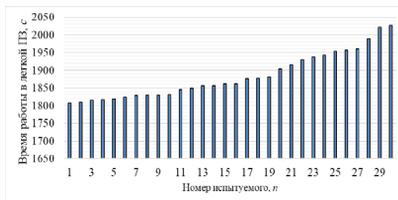


Рис. 3. Ранжирование результатов измерения в легкой ПЗ



Рис. 4. Поиск недостоверных результатов измерений

Результаты измерений времени работы испытуемых с номерами $n \geq 29$ не превосходят t_s и исключены из дальнейшего анализа, поэтому $N^*(X^*) = 28$ измерений. Результаты проверки нулевой гипотезы с использованием критерия χ^2 Пирсона для легкой ПЗ представлены в табл. 1. С учётом того, что данные превосходят 1800 с, было проведено допустимое преобразование $X_i^* = X_i - 1800$.

Таблица 1.

Результаты проверки нулевой гипотезы для легкой ПЗ ($n=30$)

	Интервалы / intervals, k					
	1	2	3	4	5	6
α	0	40	80	120	160	180
β	40	80	120	160	180	200
$N_{эмп,k}$	10	8	3	5	1	1
$P(\alpha)$	1,00	0,62	0,38	0,24	0,15	0,12
$P(\beta)$	0,62	0,38	0,24	0,15	0,12	0,09
$N_{теор}$	10,6	6,6	4,1	2,5	0,9	0,7
χ_k^2	0,04	0,30	0,29	2,39	0,02	0,14

Гистограмма эмпирических $N_{эмп}$ и теоретических $N_{теор}$ данных представлена на рис. 5.

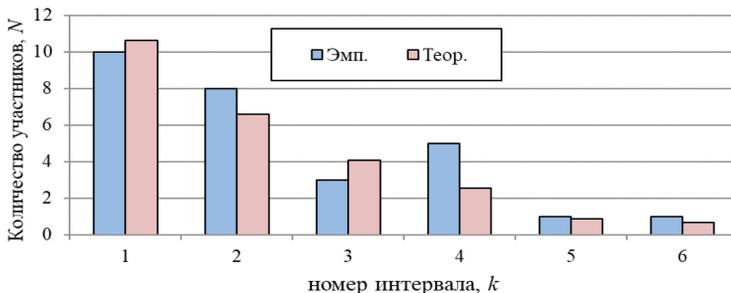


Рис. 5. Сопоставление эмпирических и теоретических данных

Результаты эксперимента подчиняются экспоненциальному закону распределения P с параметром $M(X)=90$, т.к. $\chi^2 = \sum_{k=1}^6 \chi_k^2 = 3,18 < \chi_T^2 = 5,99$.

С учетом преобразования интегральная функция распределения с начальным значением $X_0=1800$ с и $P(X_0)=0$ представлена на рис. 6.

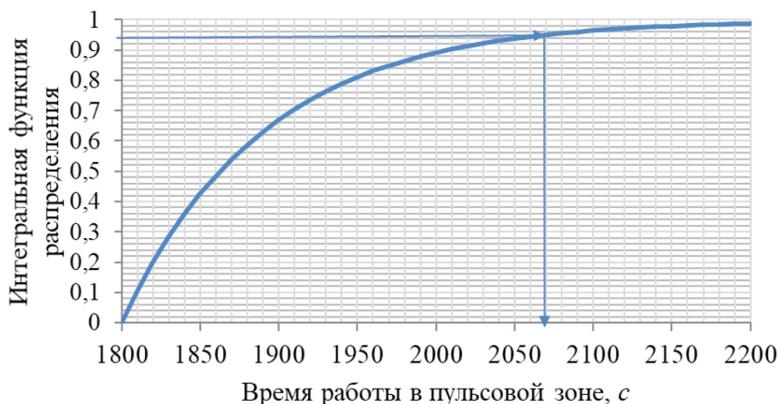


Рис. 6. Интегральная функция распределения для времени работы в легкой ПЗ

Тогда, например, при вероятности $p=0,95$ можно утверждать, что время работы в легкой ПЗ будет не более 2070 с.

Анализ измерений t_p в умеренной ПЗ представлен на рис. 7.

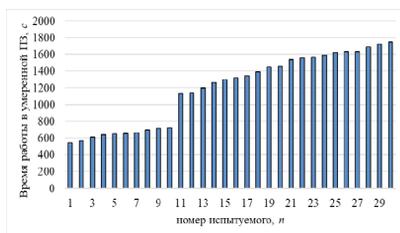


Рис. 7. Наблюдения за временем перехода от умеренной ПЗ к тяжелой ПЗ

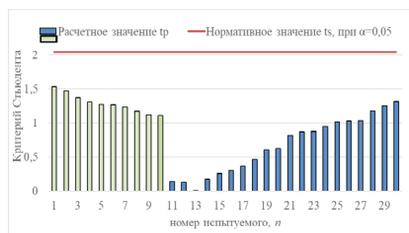


Рис. 8. Поиск недостоверных результатов измерений

Распределение разделено на две группы: при $n < 10$ (группа 1) и при $10 \leq n \leq 30$ (группа 2). Достоверность результатов подтверждена расчетом критерия Стьюдента (рис. 8). Группировка данных для выборок представлена в табл. 2.

Таблица 2.

Результаты проверки нулевой гипотезы для умеренной ПЗ ($n=30$)

К	1	2	3	...	8	9	10	11	12
	Группа 1 / Group 1			...	Группа 2 / Group 2				
α	500	600	700	...	1200	1300	1400	1600	1700
β	600	700	800	...	1300	1400	1600	1700	1800
$N_{\text{эмп}}$	2	6	2	-	4	4	6	4	2
$X(\alpha)$	-2,500	-0,833	0,833	-	-1,300	-0,800	-0,300	0,700	1,200
$X(\beta)$	-0,833	0,833	2,500	-	-0,800	-0,300	0,700	1,200	1,700
$\Phi(X(\alpha))$	0,006	0,202	0,798	-	0,097	0,212	0,382	0,758	0,885
$\Phi(X(\beta))$	0,202	0,798	0,994	-	0,212	0,382	0,758	0,885	0,955
$N_{\text{теор}}$	2,0	6,0	2,0	-	2,3	3,4	7,5	2,5	1,4
χ^2	0,0008	0,0004	0,0008	-	1,25	0,10	0,31	0,84	0,25

Результаты эксперимента принадлежат нормальному закону распределения с характеристиками: для группы 1 $M(X)=650$, $\sigma(X)=60$ и для группы 2 $M(X)=1460$, $\sigma(X)=200$. Гистограмма с сопоставлением эмпирических $N_{\text{эмп}}$ и теоретических $N_{\text{теор}}$ данных для анализируемых групп представлена на рис. 9.

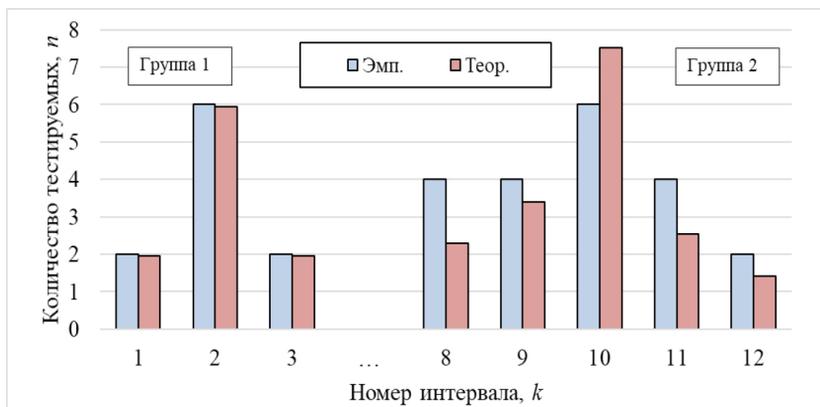


Рис. 9. Сопоставление эмпирических и теоретических данных

Гипотеза о нормальности распределения времени работы в ПЗ подтверждается расчетом критерия χ^2 Пирсона – группа 1: $\chi_1^2 = \sum_{k=1}^3 \chi_k^2 = 2 \cdot 10^{-3}$, группа 2: $\chi_2^2 = \sum_{k=8}^{12} \chi_k^2 = 2,75$. Интегральные функции распределения времени нахождения в умеренной ПЗ представлены на рис. 10.

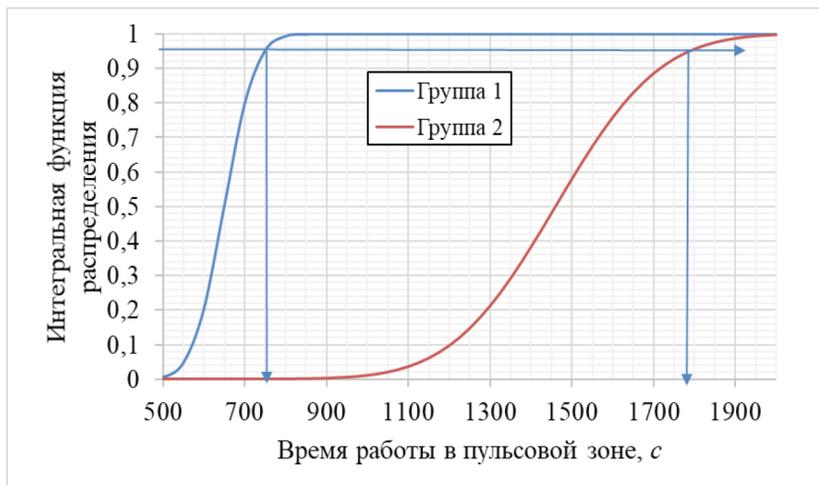


Рис. 10. Интегральные функции распределения для времени работы в умеренной ПЗ

При вероятности $p=0,95$ время работы в ПЗ будет не более 750 с для группы 1 и не более 1790 с для группы 2. Для более точного расчета может быть использована формула:

$$X_p = M(X) + \sigma(X) \cdot \Phi^{-1}(p) \quad (13)$$

где Φ^{-1} — функция, обратная функции нормального распределения.

Так при вероятности $p=0,95$ с помощью функции MS Excel «=НОРМ.СТ.ОБР(0,95)» определяем $\Phi^{-1}(0,95)=1,64$. Тогда для группы 1 расчетное значение времени работы в умеренной ПЗ составит:

$$X_p = 650 + 60 \cdot 1,64 = 748 \text{ (с);}$$

для группы 2, соответственно:

$$X_p = 1460 + 200 \cdot 1,64 = 1789 \text{ (с)}$$

Предложенные параметры позволяют осуществлять самоконтроль состояния пульсометрии, а также информационно обеспечивать процесс принятия решений по оценке безопасности режимов работы на основе дистанционного мониторинга функционального состояния газодымозащитников.

Таким образом, на основе полученных значений параметров безопасности в режиме реального времени посредством мониторинга лица, принимающее решение, производит сравнение плановых (X) и фактических параметров безопасности (X_p). Использование данного инструмента кон-

троля параметров безопасности позволит своевременно корректировать действия участников тушения пожара с учетом индивидуальных показателей ЧСС газодымозащитников.

Заключение

Для анализа условий безопасности газодымозащитников предложено использовать показатель ЧСС. Для его внедрения в существующую модель поддержки принятия решения по обеспечению безопасности газодымозащитников при работе в НДС на основе риска наступления деструктивных событий в работе предложена вероятностная модель параметров пульсовых зон.

Показано, что в легкой ПЗ наблюдается экспоненциальный закон распределения времени работы, а для умеренной ПЗ – нормальное распределение. При этом экспоненциальное распределение не характеризует переход из легкой ПЗ в умеренную, а определяет момент времени окончания дыхательной смеси в баллоне дыхательного аппарата.

В умеренной ПЗ, где преобладал нормальный закон распределения времени работы, явно присутствовал скрытый фактор, разделивший испытуемых на две группы. Предположительно, этим фактором может являться уровень работоспособности газодымозащитников с использованием шкалы Борга индивидуального восприятия нагрузки [9, 10]. Оценке влияния уровня работоспособности газодымозащитников на время работы в умеренной пульсовой зоне будут посвящены дальнейшие исследования. Полученные параметры ПЗ могут использоваться как инструменты обеспечения безопасности при работе газодымозащитника в ДАСВ.

Предложена методика дальнейшего формирования безопасных режимов работы газодымозащитника в ДАСВ с учетом времени нахождения в соответствующих пульсовых зонах. Методика основана на пульсометрии и оценке параметров газодымозащитника с учетом предложенных пульсовых зон.

Таким образом, при проектировании телеметрических систем мониторинга безопасности газодымозащитников с учетом количественного показателя ЧСС, характеризующего качество состояния газодымозащитника при выполнении работ по тушению пожаров в НДС, необходимо учитывать нормальное распределение времени работы в пульсовой зоне и, предположительно, уровень работоспособности газодымозащитника. Применение данных по работе в пульсовых зонах позволит при определении необходимого числа звеньев ГДЗС для тушения пожара исходить из необходимого времени восстановления после физической нагрузки путем оценки времени динамики пульсовых зон.

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Баканов М.О., Тараканов Д.В. Дистанционный мониторинг техногенных пожаров и чрезвычайных ситуаций // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2018. № 1 (373). С. 173–177.
2. Ветренко А. А. Объёмы и интенсивность тренировочных нагрузок в беге на сверхмарафонские дистанции // В мире научных открытий. 2015. № 4-2 (64). С. 726-736.
3. Гринченко Б.Б., Тараканов Д.В. Автоматизированная система управления безопасностью при работах на пожарах в непригодной для дыхания среде // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2018. № 4. С. 32–36. <https://doi.org/10.25257/FE.2018.4.32-36>
4. Золотавин С.Д., Ахтямов М.Х., Целых Е.Д. Исследование параметров сердечно-сосудистой системы при применении ДАСВ ГДЗ пожарными (на примере 4ПЧ ФГБУ «10 отряд ФПС ГПС по Хабаровскому краю») // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. 2021. Т. 2. С. 195-199.
5. Пурский О.И., Федоренко С.С. Повышение эффективности тренировочного процесса газодымозащитников средствами дистанционного мониторинга функционального состояния организма // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2013. № 4 (19). С. 47-49.
6. Пурский О.И., Федоренко С.С. Формирование базы знаний специализированной экспертной системы дистанционного мониторинга функционального состояния газодымозащитника // Чрезвычайные ситуации: промышленная и экологическая безопасность. 2013. № 1-2 (13-14). С. 30-36.
7. Шалявин Д.Н., Тараканов Д.В., Гринченко Б.Б. Алгоритмы информационной поддержки управления безопасностью участников тушения пожара в непригодной для дыхания среде на объектах энергетики // Современные проблемы гражданской защиты. 2020. № 3 (36). С. 53-61.
8. Шалявин Д.Н., Тараканов Д.В., Гринченко Б.Б. Применение пульсовых зон в тренировочных занятиях по подготовке газодымозащитников // Пожарная и аварийная безопасность. Сборник материалов XV международной научно-практической конференции, посвященной 30-й годовщине МЧС России. Иваново, 2020. С. 301-304.
9. Borg G. Borg's perceived exertion and pain scales. Champaign, IL: Human Kinetics, 1998. 110 p.

10. Borg G., Hassmen P., Lagerstrom M. Perceived exertion related to heart rate and blood lactate during arm and leg exercise // *Eur. J. Appl. Physiol.*, 1987, vol. 56, no. 6, pp. 679–685. <https://doi.org/10.1007/bf00424810>
11. Coca A., Sinkule E. J., Powell J. B., Roberge R. J., Williams W. J. Relation Between OMNI-PRE and Heart Rate Wearing Running Clothes Vs. Fire-fighter Ensembles During Treadmill Exercise // *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 2008, vol. 40, p. S352. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000323411.01038.58>
12. Gomes P., Kaiseler M., Lopes B., Faria S., Queiros C., Coimbra M. Are standard heart rate variability measures associated with the self-perception of stress of firefighters in action? // *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc.* 2013, 2013, pp. 2571-2574. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2013.6610065>
13. Handl E.H.H., Oppers V.M. The influence of a compressed air breathing apparatus on the pulse frequency and systolic blood pressure during the work load of firemen // *T Soc Geneesk*, 1974, vol. 52, no. 4, pp. 118-121
14. Karvonen M., Kentala E., Mustala O. The effects of training on heart rate; a longitudinal study // *Annales medicinae experimentalis et biologiae Fenniae*, 1957, vol. 35, pp. 307-315.
15. Lee J.S., Ahn Y.S., Jeong K.S., Chae J.H, Choi K.S. Resilience buffers the impact of traumatic events on the development of PTSD symptoms in firefighters // *Journal of Affective Disorders*, 2014, vol. 162, pp. 128-133. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2014.02.031>
16. Londeree B.R., Moeschberger M. L. Effect of age and other factors on maximal heart rate // *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 1982, vol. 53, no. 4, pp. 297-304. <https://doi.org/10.1080/02701367.1982.10605252>
17. MacNeal J.J., Cone D.C., Wistrom C.L. Effect of station-specific alerting and ramp-up tones on firefighters' alarm time heart rates // *Journal of occupational and environmental hygiene*, 2016, vol. 13, pp. 866-870. <https://doi.org/10.1080/15459624.2016.1183018>
18. Marciniak R.A, Tesch C.J., Ebersole K.T. Heart rate response to alarm tones in firefighters // *International Archives of Occupational and Environmental Health*. 2021, vol. 94, no. 5, pp. 783-790. <https://doi.org/10.1007/s00420-020-01646-y>
19. Marshall R. E., Milligan-Saville J. S., Mitchell P. B., Bryant R. A., Harvey S. B. A systematic review of the usefulness of pre-employment and pre-duty screening in predicting mental health outcomes amongst emergency workers // *Psychiatry Research*, 2017, vol. 253, pp. 129-137. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2017.03.047>
20. Pantalonia F, Capitaine C, Le Duff F, Stevea JM, Barberisa J. Tolérance physique au port de l'appareil respiratoire isolant chez les sapeurs-pompiers // *Ar-*

- chives des Maladies Professionnelles et de l'Environnement, 2010, vol. 71, no. 5, pp. 790-797. <https://doi.org/10.1016/j.admp.2010.09.005>
21. Porto L. G. G., Korre M., Moffatt S., Kales S. N. Physical Fitness and Heart Rate During Exercise Testing as Predictors of Cardiac Autonomic Impairment among Firefighters: 2271 Board #2 June 2, 3 // *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2016, vol. 48, p. 631. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000486892.45973.21>
 22. Robergs R., Landwehr R. The surprising history of the “HRmax=220-age” equation // *International Journal of Online Engineering*, 2002, vol. 5, no. 2, pp. 1-10.
 23. Shargal E., Kislev-Cohen R., Zigel L., Epstein S., Pilz-Burstein R., Tenenbaum G. Age-related maximal heart rate: examination and refinement of prediction equations // *J. Sports Med. Phys. Fitness*, 2015, vol. 55, pp. 1207–1218.
 24. She J., Nakamura H., Makino K., Ohyama Y., Hashimoto H. Selection of Suitable Maximum-heart-rate Formulas for Use with Karvonen Formula to Calculate Exercise Intensity // *International Journal of Automation and Computing*, 2015, vol. 12, no. 1, pp. 62-69. <https://doi.org/10.1007/s11633-014-0824-3>.
 25. Smith D.L., Haller J. M., Benedict R., Moore-Merrell L. Firefighter Incident Rehabilitation: Interpreting Heart Rate Responses // *Prehospital Emergency Care*, 2016, vol. 20, pp. 28-36. <https://doi.org/10.3109/10903127.2015.1037477>
 26. Tanaka H., Monahan K. D., Seals D. R. Age-predicted maximal heart rate revisited // *Journal of the American College of Cardiology*, 2001, vol. 37, no. 1, pp. 153-156. [https://doi.org/10.1016/s0735-1097\(00\)01054-8](https://doi.org/10.1016/s0735-1097(00)01054-8)
 27. Vyas K., McGregor C. The Use of Heart Rate for the Assessment of Firefighter Resilience: A Literature Review // *IEEE Life Sciences Conference (LSC)*, 2018, pp. 259-262. <https://doi.org/10.1109/LSC.2018.8572095>

References

1. Bakanov M.O., Tarakanov D.V. Distantionnyy monitoring tekhnogennykh pozharov i chrezvychaynykh situatsiy [Remote monitoring of man-made fires and emergency situations]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti* [News of higher educational institutions. Technology of the textile industry.], 2018, no. 1 (373), pp. 173 - 177.
2. Vetroenko A. A. Ob'emy i intensivnost' trenirovochnykh nagruzok v bege na sverkhmarafonskie distantsii [The volume and intensity of training loads in running at super marathon distances]. *V mire nauchnykh otkrytiy* [In the world of scientific discoveries.], 2015, no. 4-2 (64), pp. 726-736.
3. Grinchenko B.B., Tarakanov D.V. Avtomatizirovannaya sistema upravleniya bezopasnost'yu pri rabotakh na pozharakh v neprigodnoy dlya dykhaniya srede [Automated safety management system when working on fires in an environ-

- ment unsuitable for breathing]. *Pozhary i chrezvychaynye situatsii: predotvrashchenie, likvidatsiya* [Fires and emergency situations: prevention, liquidation], 2018, no. 4, pp. 32–36. <https://doi.org/10.25257/FE.2018.4.32-36>
4. Zolotavin S.D., Akhtyamov M.Kh., Tselykh E.D. Issledovanie parametrov serdechno-sosudistoy sistemy pri primeneni DASV GDZ pozharnymi (na primere 4PCh FGBU «10 otryad FPS GPS po Khabarovskomu krayu») [Investigation of the parameters of the cardiovascular system when used breathing apparatus with compressed air by firefighters (on the example of the 4th fire department of the GBU “10 squad of FPS GPS in the Khabarovsk Territory”]. *Nauchno-tekhnicheskoe i ekonomicheskoe sotrudnichestvo stran ATR v XXI veke* [Scientific, technical and economic cooperation of the APR countries in the XXI century], 2021, vol. 2, pp. 195-199.
 5. Purskiy O.I., Fedorenko S.S. Povyshenie effektivnosti trenirovochnogo protsessa gazodymozashchitnikov sredstvami distantsionnogo monitoringa funktsional'nogo sostoyaniya organizma [Improving the effectiveness of the training process of gas and smoke protectors by means of remote monitoring of the functional state of the body]. *Nauchnye i obrazovatel'nye problemy grazhdanskoj zashchity* [Scientific and educational problems of civil protection], 2013, no. 4 (19), pp. 47-49.
 6. Purskiy O.I., Fedorenko S.S. Formirovanie bazy znaniy spetsializirovannoy ekspertnoy sistemy distantsionnogo monitoringa funktsional'nogo sostoyaniya gazodymozashchitnika [Formation of a knowledge base of a specialized expert system for remote monitoring of the functional state of a gas-smoke diver]. *Chrezvychaynye situatsii: promyshlennaya i ekologicheskaya bezopasnost'* [Emergency situations: industrial and environmental safety], 2013, no. 1-2 (13-14), pp. 30-36.
 7. Shalyavin D.N., Tarakanov D.V., Grinchenko B.B. Algoritmy informatsionnoy podderzhki upravleniya bezopasnost'yu uchastnikov tusheniya pozhara v neprigodnoy dlya dykhaniya srede na ob'ektakh energetiki [Algorithms of information support for safety management of participants in fire extinguishing in an]. *Sovremennye problemy grazhdanskoj zashchity* [Modern problems of civil protection], 2020, no. 3 (36), pp. 53-61.
 8. Shalyavin D.N., Tarakanov D.V., Grinchenko B.B.. *Sbornik materialov XV mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 30-y godovshchine MChS Rossii “Pozharnaya i aviarnaya bezopasnost'”* [Collection of materials of the XV International scientific and practical conference dedicated to the 30th anniversary of the EMERCOM of Russia “Fire and emergency safety”]. Ivanovo, 2020, pp. 301-304.

9. Borg G. *Borg's perceived exertion and pain scales*. Champaign. IL: Human Kinetics, 1998. 110 p.
10. Borg G., Hassmen P., Lagerstrom M. Perceived exertion related to heart rate and blood lactate during arm and leg exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 1987, vol. 56, no. 6, pp. 679–685. <https://doi.org/10.1007/bf00424810>
11. Coca A., Sinkule E. J., Powell J. B., Roberge R. J., Williams W. J. Relation Between OMNI-PRE and Heart Rate Wearing Running Clothes Vs. Firefighter Ensembles During Treadmill Exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 2008, vol. 40, p. S352. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000323411.01038.58>
12. Gomes P., Kaiseler M., Lopes B., Faria S., Queiros C., Coimbra M. Are standard heart rate variability measures associated with the self-perception of stress of firefighters in action? *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc.* 2013, 2013, pp. 2571-2574. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2013.6610065>
13. Handl E.H.H., Oppers V.M. The influence of a compressed air breathing apparatus on the pulse frequency and systolic blood pressure during the work load of firemen. *T Soc Geneesk*, 1974, vol. 52, no. 4, pp. 118-121
14. Karvonen M., Kentala E., Mustala O. The effects of training on heart rate; a longitudinal study. *Annales medicinae experimentalis et biologiae Fenniae*, 1957, vol. 35, pp. 307-315.
15. Lee J.S., Ahn Y.S., Jeong K.S., Chae J.H, Choi K.S. Resilience buffers the impact of traumatic events on the development of PTSD symptoms in firefighters. *Journal of Affective Disorders*, 2014, vol. 162, pp. 128-133. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2014.02.031>
16. Londeree B.R., Moeschberger M. L. Effect of age and other factors on maximal heart rate. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 1982, vol. 53, no. 4, pp. 297-304. <https://doi.org/10.1080/02701367.1982.10605252>
17. MacNeal J.J., Cone D.C., Wistrom C.L. Effect of station-specific alerting and ramp-up tones on firefighters' alarm time heart rates. *Journal of occupational and environmental hygiene*, 2016, vol. 13, pp. 866-870. <https://doi.org/10.1080/15459624.2016.1183018>
18. Marciniak R.A, Tesch C.J., Ebersole K.T. Heart rate response to alarm tones in firefighters. *International Archives of Occupational and Environmental Health*. 2021, vol. 94, no. 5, pp. 783-790. DOI: 10.1007/s00420-020-01646-y
19. Marshall R. E., Milligan-Saville J. S., Mitchell P. B., Bryant R. A., Harvey S. B. A systematic review of the usefulness of pre-employment and pre-duty screening in predicting mental health outcomes amongst emergency workers. *Psychiatry Research*, 2017, vol. 253, pp. 129-137. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2017.03.047>

20. Pantalonia F, Capitaine C, Le Duff F, Stevea JM, Barberisa J. Tolérance physique au port de l'appareil respiratoire isolant chez les sapeurs-pompiers. *Archives des Maladies Professionnelles et de l'Environnement*, 2010, vol. 71, no. 5, pp. 790-797. <https://doi.org/10.1016/j.admp.2010.09.005>
21. Porto L. G. G., Korre M., Moffatt S., Kales S. N. Physical Fitness and Heart Rate During Exercise Testing as Predictors of Cardiac Autonomic Impairment among Firefighters: 2271 Board #2 June 2, 3. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2016, vol. 48, p. 631. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000486892.45973.21>
22. Robergs R., Landwehr R. The surprising history of the "HRmax=220-age" equation. *International Journal of Online Engineering*, 2002, vol. 5, no. 2, pp. 1-10.
23. Shargal E., Kislev-Cohen R., Zigel L., Epstein S., Pilz-Burstein R., Tenenbaum G. Age-related maximal heart rate: examination and refinement of prediction equations. *J. Sports Med. Phys. Fitness*, 2015, vol. 55, pp. 1207–1218.
24. She J., Nakamura H., Makino K., Ohya Y., Hashimoto H. Selection of Suitable Maximum-heart-rate Formulas for Use with Karvonen Formula to Calculate Exercise Intensity. *International Journal of Automation and Computing*, 2015, vol. 12, no. 1, pp. 62-69. <https://doi.org/10.1007/s11633-014-0824-3>
25. Smith D.L., Haller J. M., Benedict R., Moore-Merrell L. Firefighter Incident Rehabilitation: Interpreting Heart Rate Responses. *Prehospital Emergency Care*, 2016, vol. 20, pp. 28-36. <https://doi.org/10.3109/10903127.2015.1037477>
26. Tanaka H., Monahan K. D., Seals D. R. Age-predicted maximal heart rate revisited. *Journal of the American College of Cardiology*, 2001, vol. 37, no. 1, pp. 153-156. [https://doi.org/10.1016/s0735-1097\(00\)01054-8](https://doi.org/10.1016/s0735-1097(00)01054-8)
27. Vyas K., McGregor C. The Use of Heart Rate for the Assessment of Firefighter Resilience: A Literature Review. *IEEE Life Sciences Conference (LSC)*, 2018, pp. 259-262. <https://doi.org/10.1109/LSC.2018.8572095>

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Шальявин Денис Николаевич, адъюнкт

*Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы МЧС России
пр-т Строителей, 33, г. Иваново, 153040, Российская Федерация
sharap1897@rambler.ru*

Шмелева Елена Александровна, доктор психологических наук, доцент, профессор кафедры иностранных языков и профессиональных коммуникаций; профессор факультета физической культуры; заместитель директора по научной работе и дополнительному образованию

Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы МЧС России; Российский государственный социальный университет; Ивановский государственный университет

пр-т Строителей, 33, г. Иваново, 153040, Российская Федерация; ул. В.Пику, 4, стр.1, г. Москва, 129226, Российская Федерация; ул. Кооперативная, 24, г. Шуя, Ивановская область, 155908, Российская Федерация
shmeleva@mail.ru

Тараканов Денис Вячеславович, доктор технических наук, профессор кафедры пожарной тактики и основ аварийно-спасательных и других неотложных работ

Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы МЧС России
пр-т Строителей, 33, г. Иваново, 153040, Российская Федерация
den-pgs@yandex.ru

Гринченко Борис Борисович, кандидат технических наук, преподаватель кафедры пожарно-строевой, физической подготовки и ГДЗС

Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы МЧС России
пр-т Строителей, 33, г. Иваново, 153040, Российская Федерация
grinchenko.borya@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Denis N. Shalyavin, adjunct

Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Russian Emergencies Ministry
33, Stroiteley Ave., Ivanovo, 153040, Russian Federation
sharap1897@rambler.ru
SPIN-code: 2157-6046
ORCID: 0000-0002-5240-7502

Elena A. Shmeleva, Doctor of Psychology, Associate Professor, Professor of the Department of Foreign Languages and Professional Communications; Professor of the Faculty of Physical Education; Deputy Director for Research and Additional Education

Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Russian Emergencies Ministry; Russian State Social University; Ivanovo State University

33, Stroiteley Ave., Ivanovo, 153040, Russian Federation; 4, building 1, V.Pika Str., Moscow, 129226, Russian Federation; 24, Kooperativnaya Str., Shuya, Ivanovo region, 155908, Russian Federation

shmeleva@mail.ru

SPIN-code: 3992-6436

ORCID: 0000-0002-4698-5226

ResearcherID: H-7821-2016

Scopus Author ID: 56375922700

Denis V. Tarakanov, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Fire Tactics and the Basics of Emergency Rescue and Other Emergency Operations

Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Russian Emergencies Ministry

33, Stroiteley Ave., Ivanovo, 153040, Russian Federation

den-pgs@yandex.ru

SPIN-code: 4861-3481

ORCID: 0000-0002-5811-7397

Scopus Author ID: 57216628761

Boris B. Grinchenko, Candidate of Technical Sciences, Teacher of the Department of Fire-Fighting, Physical Training and Gas-Smoke Protection Systems

Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Russian Emergencies Ministry

33, Stroiteley Ave., Ivanovo, 153040, Russian Federation

grinchenko.borya@mail.ru

SPIN-code: 6329-2575

ORCID: 0000-0003-1759-2308

Scopus Author ID: 57219403168