

УДК 614.849

ПРОБЛЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭВАКУАЦИИ ЛЮДЕЙ ИЗ НОЧНЫХ КЛУБОВ

Парфененко Александр Павлович¹, Брюхов Евгений Николаевич²,
Кузнецов Антон Александрович²

¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

²Уральский институт ГПС МЧС России, г. Екатеринбург, Россия

АННОТАЦИЯ

В статье рассматриваются вопросы, связанные с определением размеров эвакуационных путей и выходов в ночных развлекательных заведениях. Выявлено, что в нормативной и научной литературе отсутствуют какие-либо подходы к определению закономерностей движения потоков людей в зданиях подобного назначения. Указанные проблемы мешают адекватной оценке проектируемых и существующих планировочных решений ночных клубов с точки зрения обеспечения безопасной эвакуации людей. Как следствие, возникает техническая проблема осуществления расчетов пожарного риска в зданиях подобного типа. Проведен анализ пожаров, который показал, что основной причиной гибели людей при возникновении пожаров в ночных клубах является несвоевременная эвакуация из-за образования скоплений перед выходами из здания. Для выявления закономерностей движения потоков людей в ночных клубах были проведены наблюдения в действующих заведениях. Статистический анализ полученных данных позволил установить зависимость движения людей по лестницам вверх и вниз, горизонтальному пути и через дверные проемы. Результаты моделирования эвакуации людей показали существенные различия между используемыми данными, которые указаны в методике по оценке величины индивидуального пожарного риска, и данными, полученными в результате практических исследований.

Ключевые слова: пожарный риск, моделирование эвакуации, людской поток, безопасность, пожар, ночной клуб

PROBLEMS OF MODELING THE EVACUATION OF PEOPLE FROM NIGHTCLUBS

Alexander P. Parfenenko¹, Evgeniy N. Bryukhov², Anton A. Kuznetsov²

¹National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

²Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Yekaterinburg, Russia

ABSTRACT

The article discusses issues related to determining the size of escape routes and exits in night entertainment venues. It is revealed that in the normative and scientific literature there are no approaches to determining the patterns of movement of human flows in

buildings of this purpose. These problems prevent an adequate assessment of the projected and existing planning solutions of nightclubs, from the point of view of ensuring the safe evacuation of people. As a result, there is a technical problem of calculating fire risk in buildings of this type. An analysis of fires was carried out, which showed that the main cause of death in the event of fires in nightclubs is untimely evacuation due to the formation of clusters before leaving the building. In order to identify patterns of movement of people's flows in nightclubs, observations were carried out in existing establishments. Statistical analysis of the data obtained made it possible to establish the dependence of people's movement up and down stairs, horizontal paths and through doorways. The results of the evacuation simulation showed significant differences between the data used, which are indicated in the methodology for assessing the magnitude of individual fire risk, and the data obtained as a result of practical research.

Keywords: fire risk, evacuation modeling, human flow, safety, fire, nightclub

Введение

Своевременная и беспрепятственная эвакуация людей из здания или сооружения любого назначения является главным параметром безопасного нахождения в них [1]. При оценке параметров эвакуации из зданий и сооружений определенного назначения учитывают различные модели движения потоков людей и условия развития опасных факторов пожара [2]. При проектировании и эксплуатации зданий ночных клубов первостепенное значение имеет соблюдение требований по организации беспрепятственного движения людских потоков по эвакуационным путям и через эвакуационные выходы. При этом планировочные решения коммуникационных путей определяют функциональные процессы в здании, одним из которых является процесс движения людей, а их параметры (скорость, плотность и интенсивность) определяют геометрические размеры путей эвакуации при возникновении пожара. В настоящее время в действующих нормативных документах [3, 4] размеры эвакуационных путей определены по параметрам здоровых людей без физических и психологических ограничений. При этом существующие требования не учитывают психофизиологические особенности поведения и движения людских

потоков в ночных клубах. В научной и нормативной литературе научно-обоснованные данные отсутствуют [5–12], что не позволяет достоверно определить оптимальные размеры эвакуационных путей и выходов.

Результаты и их обсуждение

Несоблюдение требований пожарной безопасности в заведениях, предназначенных для организации питания и досуга людей в ночное время, только за последние 20 лет стало причиной гибели более 1000 человек. В табл. 1 приведена статистика пожаров в ночных клубах как в России, так и за рубежом с числом погибших и пострадавших людей.

Большое число погибших и пострадавших обуславливается совокупностью факторов, самым опасным из которых является небезопасная эвакуация посетителей. Гости ночных клубов не успевают выйти из помещений до наступления критических значений опасных факторов пожара. Далее, образуется давка в течение продолжительного времени из-за недостаточной пропускной способности эвакуационных выходов, как следствие, отравление продуктами горения.

Таблица 1.
Статистика пожаров в ночных клубах
Table 1.
Statistics of fires in nightclubs

№	Клуб club	Дата date	Местонахождение location	Погибших, чел. dead, human	Пострадавших, чел. injured, human
1	<u>Colectiv</u>	30.10.2015	<u>Бухарест, Румыния</u> Bucharest, Romania	64	146
2	<u>Kiss</u>	27.01.2013	<u>Санта-Мария, Бразилия</u> Santa Maria, Brazil	242	630
3	<u>Взрывы на дискотеке</u> Explosions at a disco	19.02.2012	<u>Сигету-Мармацией, Румыния</u> Sighetu Marmatiei, Romania	1	20
4	<u>Хромая лошадь</u> lame horse	05.12.2009	<u>Пермь, Россия</u> Perm, Russia	156	78
5	<u>Сантика</u> Santika	01.01.2009	<u>Бангкок, Таиланд</u> Bangkok, Thailand	66	222
6	<u>Ночной клуб в городе Шэньчжэнь</u> Night club in Shenzhen city	21.10.2008	<u>Шэньчжэнь, КНР</u> Shenzhen, China	43	88
7	<u>911</u>	25.03.2007	<u>Москва, Россия</u> Moscow, Russia	10	8
8	<u>Республика Кроманьон</u> Republic of Cro-Magnon	30.12.2004	<u>Буэнос-Айрес, Аргентина</u> Buenos Aires, Argentina	194	1 432
9	<u>Стейшн</u> Station	20.02.2003	<u>Уэст-Уорик, США</u> West Warwick, USA	100	230
10	<u>Санесão Mineiro</u>	24.11.2001	<u>Белу-Оризонти, Бразилия</u> Belo Horizonte, Brazil	7	197

Для качественной оценки безопасной эвакуации необходимо определить функциональное назначение объекта защиты. Здесь мы сталкиваемся с проблемой неоднозначности определения ноч-

ных клубов по функционалу, в одном случае – это Ф2.1, в некоторых случаях определяют как Ф2.2.

Характерной особенностью современных ночных клубов является ненормированное количество посетителей. Если

зона отдыха может подразумевать определенное число посетителей, то танцевальная площадка предполагает хаотичное распределение большого количества людей (рис. 1).

При этом площадь, занимаемая каждым человеком, предельно мала, и возникает риск образования ситуации

с превышением числа посетителей, что не соответствует нормативному расчетному показателю. Отсюда следует неспособность существующих объемно-планировочных решений (а именно эвакуационные пути и выходы) соответствовать критериям безопасной эвакуации.



Рис. 1. Танцпол ночного клуба Москвы

Fig. 1. Dance floor of a Moscow night club

Нормативный акт [3], определяющий подход в этом вопросе, призывает определять вместимость клубов по количеству посадочных мест. Наполняемость ночных клубов зачастую превышает все допустимые нормы и грубо не соответствует количеству посадочных мест, указанных в плане, основная масса в первую очередь находится на танцполе. В таком случае применение требований [3] при проектировании неправомерно.

С целью определения параметров путей эвакуации и эвакуационных выходов производятся расчеты исходя из допустимого количества посетителей, при этом учитывается соотношение площади танцевальной площадки, предусмотренной на одного человека (1,35 м² согласно п. 7.4.1 [4]), и реальной площади зала.

На рис. 1 мы с вами можем видеть до 9 человек на указанной площади.

Кроме нарушения допустимого количества посетителей таких заведений, также не учитывается и характер их психофизиологического состояния (алкогольное опьянение различной степени), что несомненно сказывается на скорости и характере эвакуации.

Для качественной и объективной оценки параметров движения людей и установления показателя нормативной площади на одного человека нами был проведен эксперимент в виде натурного наблюдения в действующем ночном клубе.

Для определения максимального количества людей, одновременно находя-

щихся в ночном клубе, нами была произведена видеосъемка пропускного режима на входной группе в течение времени ра-

боты клуба (с 23:00 до 04:00). В табл. 2 указаны результаты эксперимента по установлению максимального количества гостей в определенный временной интервал t .

Таблица 2.

Посещаемость в различные интервалы времени

Table 2.

Number of visitors depending on time interval

№ п/п	Временной интервал Time interval	Количество посетителей в определенный временной интервал, чел. Number of visitors in a certain time interval, human
1	23:00 – 00:00	368
2	00:00 – 01:00	472
3	01:00 – 02:00	627
4	02:00 – 03:00	593
5	03:00 – 04:00	593

Для определения расчетной площади на одного человека, находящегося в ночном клубе, необходимо площадь основного зала S_3 соотнести с максимальным количеством человек N_{max} в момент времени t . На основе данных наших натурных наблюдений расчетная площадь на одного человека составила $0,55 \text{ м}^2/\text{чел.}$

С целью определения взаимосвязи скорости и плотности потока людей при движении по лестницам вверх и вниз также производилась непрерывная видеозапись в течение времени работы ночного клуба. Анализ видеозаписей (рис. 2) позволил установить скорость свободного движения потоков людей, но при этом требуются дополнительные исследования.



Рис. 2. Натурные наблюдения в ночном клубе

Fig. 2. Field observations in a nightclub

Распределение скоростей свободного движения потоков людей по лестницам вверх и вниз представлено в виде гистограмм на рис. 3 и 4.

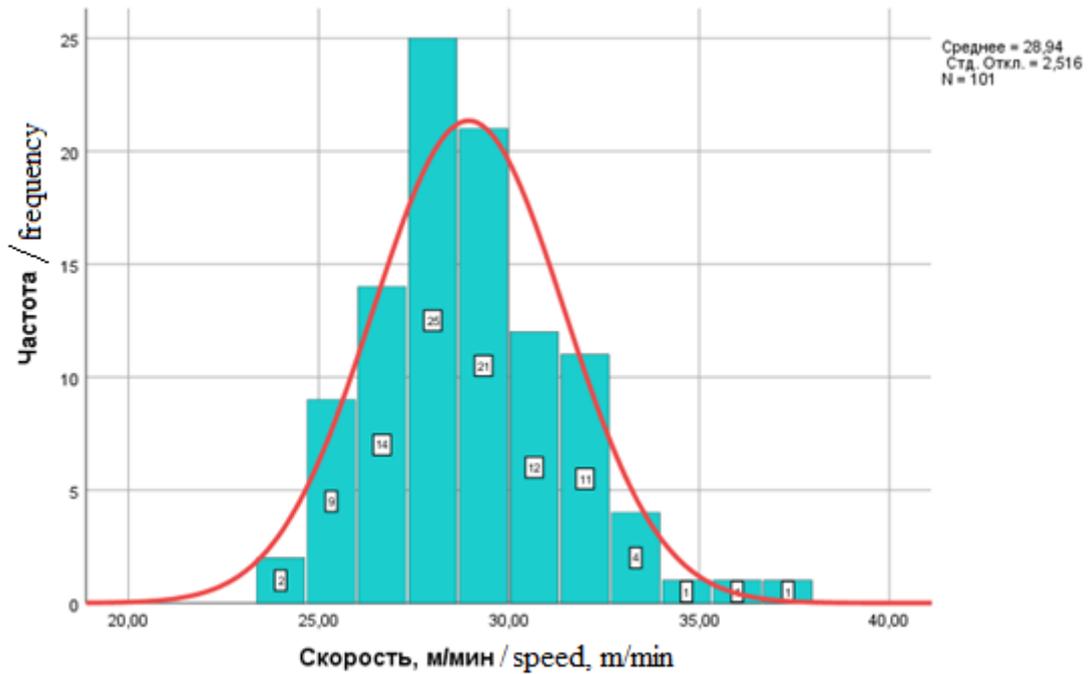


Рис. 3. Распределение скорости свободного движения потоков людей по лестнице вверх
Fig. 3. Histogram of the distribution of the speed of free movement of human flows up the stairs

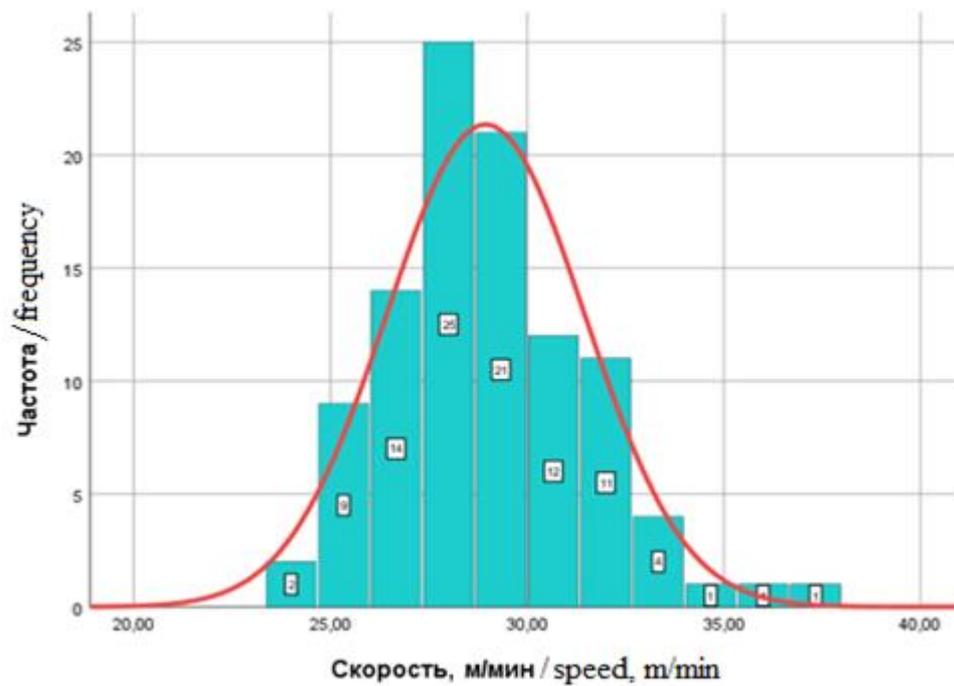


Рис. 4. Распределение скорости свободного движения потоков людей по лестнице вниз
Fig. 4. Histogram of free movement speed distribution streams of people down the stairs

Исследуя полученные скорости свободного движения V_0 с учетом психофизиологического состояния посетителей в ночном клубе, были установлены зависимости скорости и интенсивности движения

от плотности людского потока для лестниц вверх и вниз с использованием ранее установленных коэффициентов a и D_0 [13, 14] (рис. 5–8).

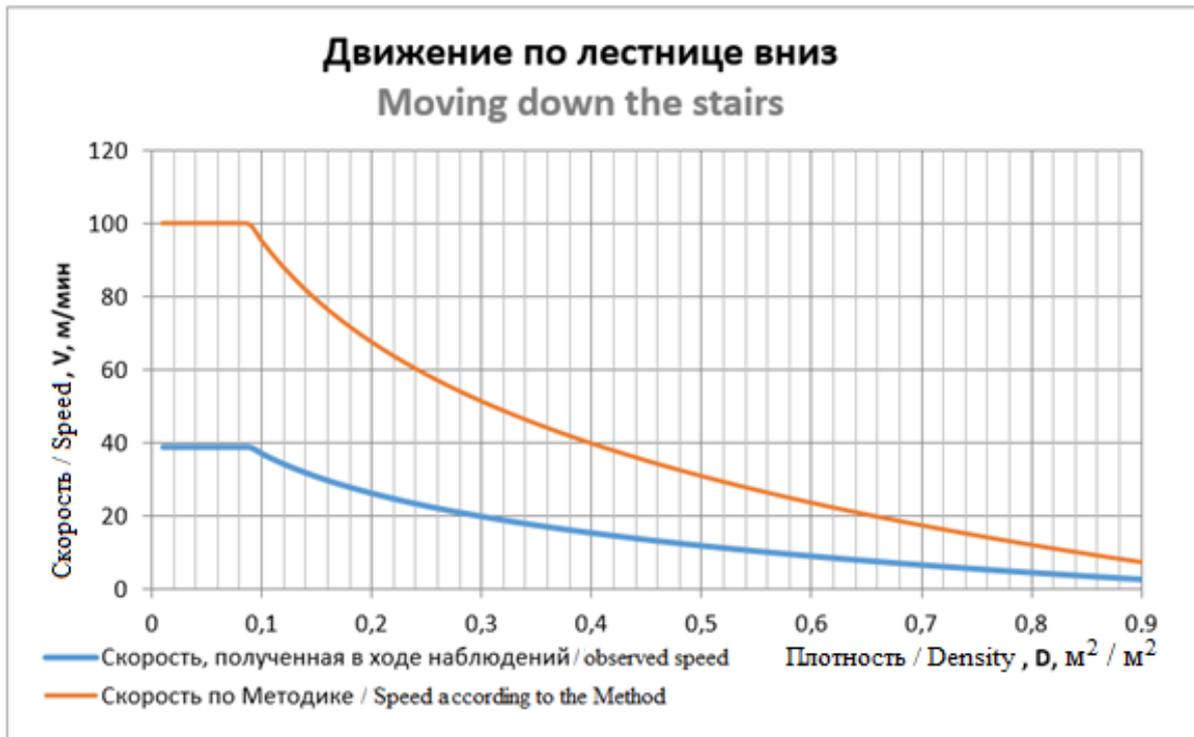


Рис. 5. Зависимость скорости движения по лестнице вниз от плотности людского потока
Fig. 5. Dependence of the speed of movement down the stairs on the density of human flow

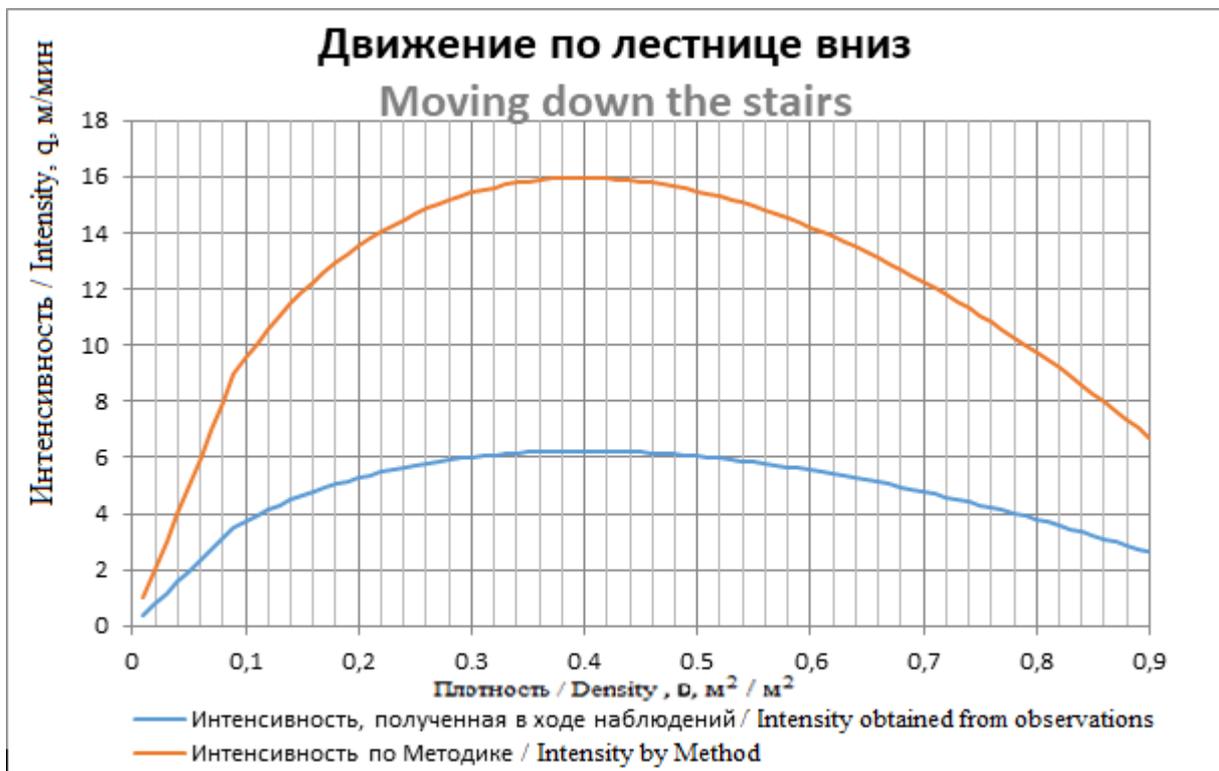


Рис. 6. Зависимость интенсивности движения по лестнице вниз от плотности людского потока
Fig. 6. Dependence of the intensity of traffic down the stairs on the density of human flow

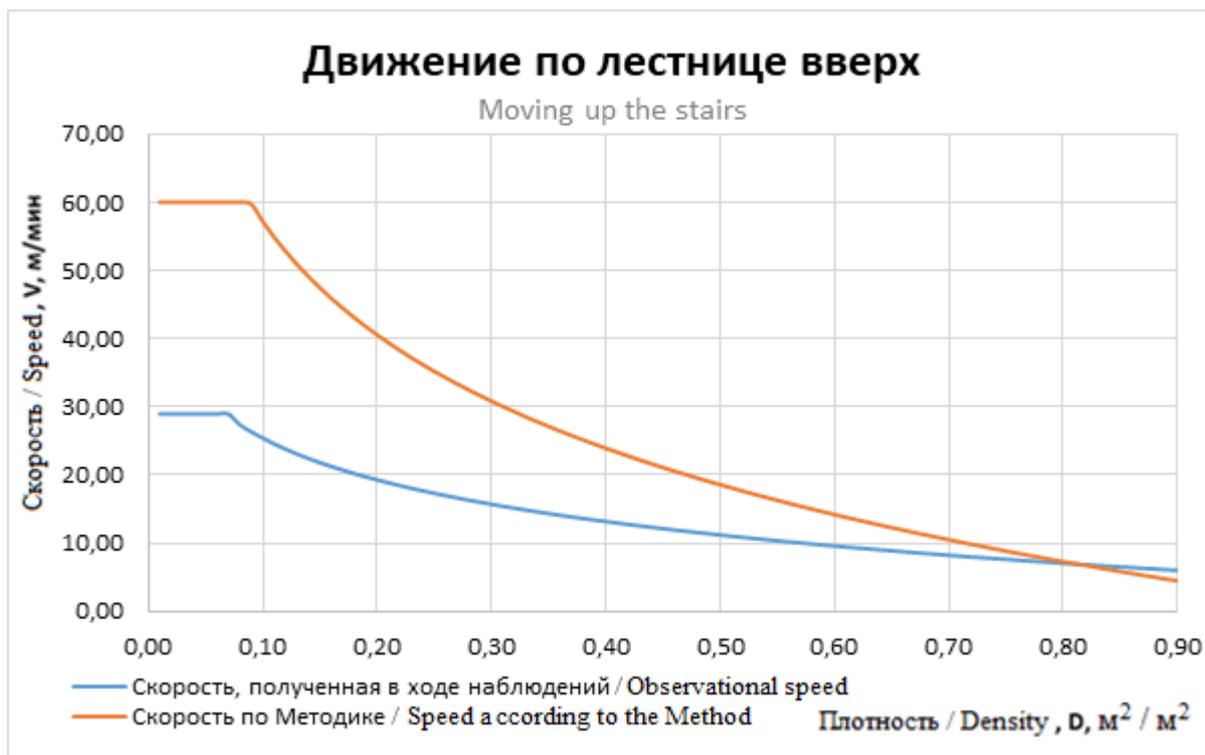


Рис. 7. Зависимость скорости движения по лестнице вверх от плотности людского потока
Fig. 7. Dependence of the speed of movement up the stairs on the density of human flow

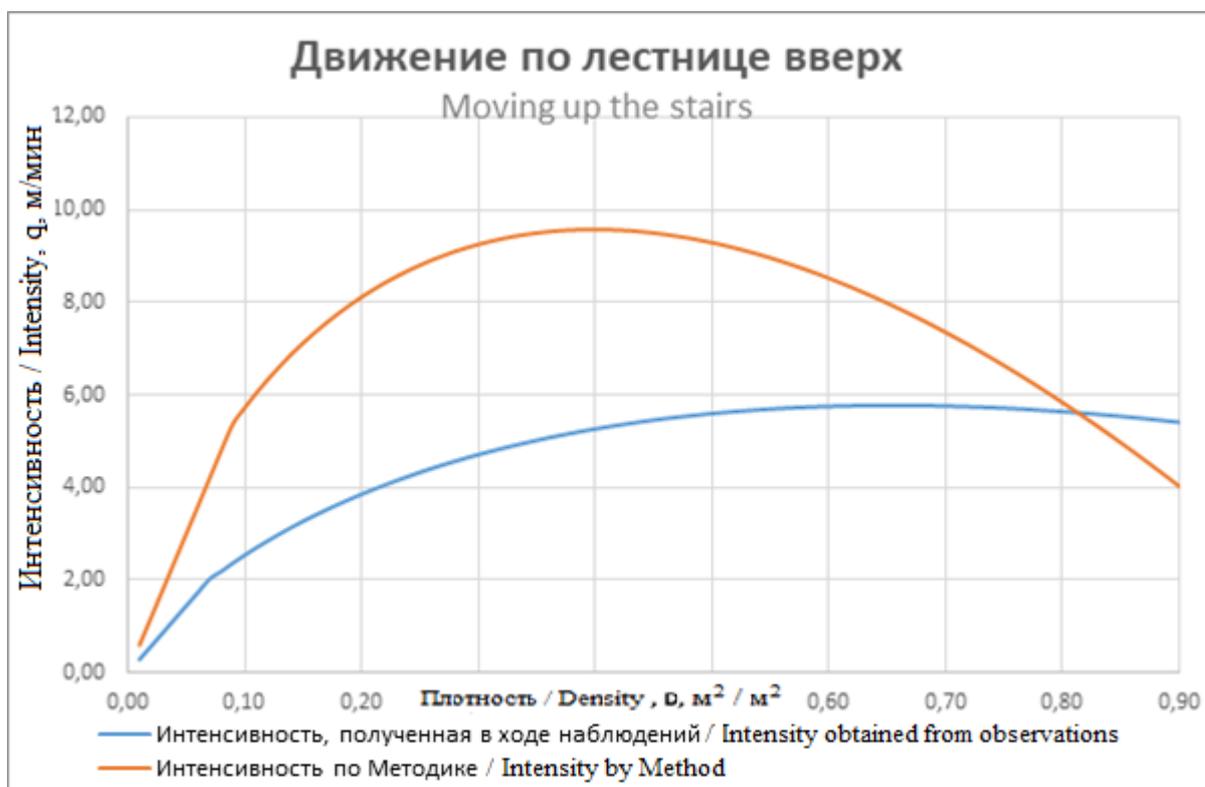


Рис. 8. Зависимость интенсивности движения по лестнице вверх от плотности людского потока
Fig. 8. Dependence of traffic intensity up the stairs on the density of human flow

На основании установленных ранее закономерностей движения людских потоков по различным участкам пути (В. В. Холщевников) для определения взаимосвязи между движением потоков людей по горизонтальному участку пути и через дверной проем, приняли, что скорость свободного движения вниз по лестнице соответствует

скорости свободного движения по горизонтальному участку пути и через проемы [13]. В результате были построены предварительные графики зависимости скорости и интенсивности движения от плотности людского потока, представленные на рис. 9–11.

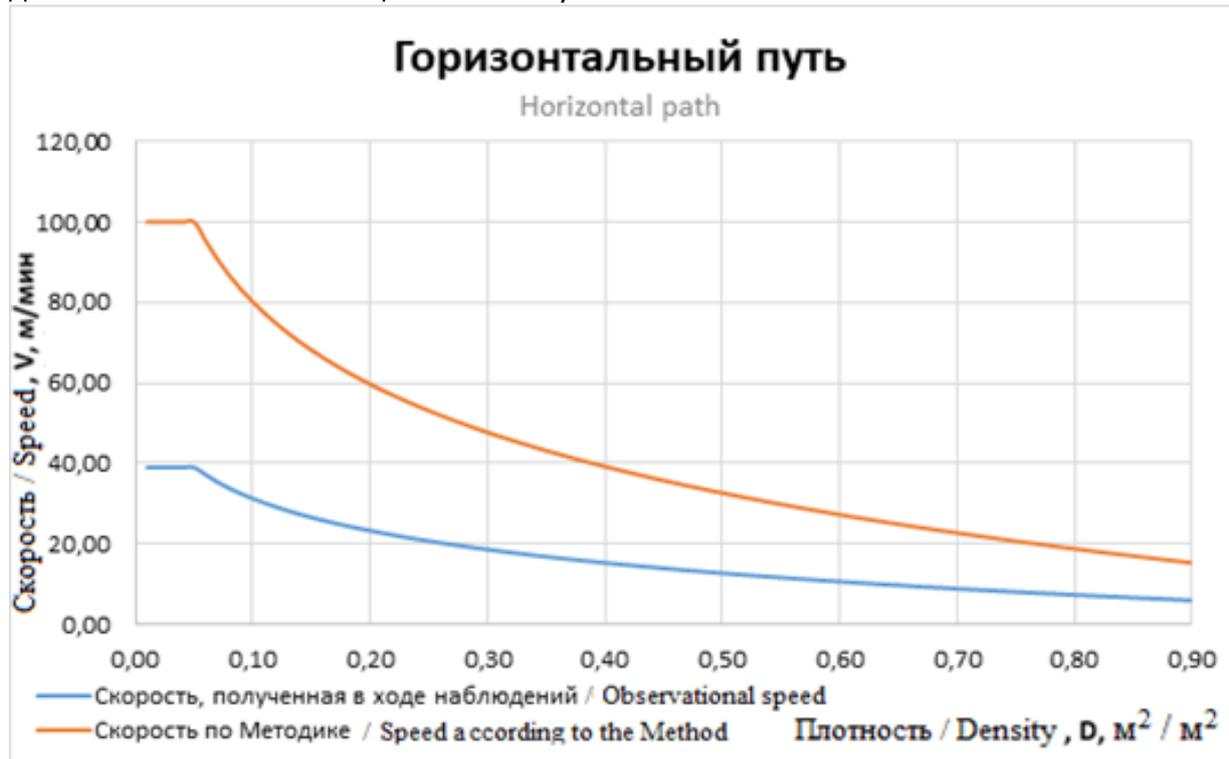


Рис. 9. Зависимость скорости движения по горизонтальному пути от плотности людского потока

Fig. 9. Dependence of the speed of movement along a horizontal path on the density of human flow

Натурные наблюдения и анализ этих данных позволили выявить существенные отличия от требований нормативных документов [2]. В табл. 3 приведено сравнение скорости свободного движения людей, выявленной в ходе проведения эксперимента, с данными указанными в Методике.

Ниже, на рис. 12, представлена индивидуально-поточная модель движе-

ния людей, созданная при помощи моделирования в программном продукте Pathfinder. Она отражает сравнительную оценку влияния параметров движения людей на расчетное время эвакуации. Модели построены с учетом объемно-планировочных решений ночного клуба, в котором проводились натурные наблюдения, при этом были рассмотрены сценарии движения людских потоков по лестницам вверх и вниз.

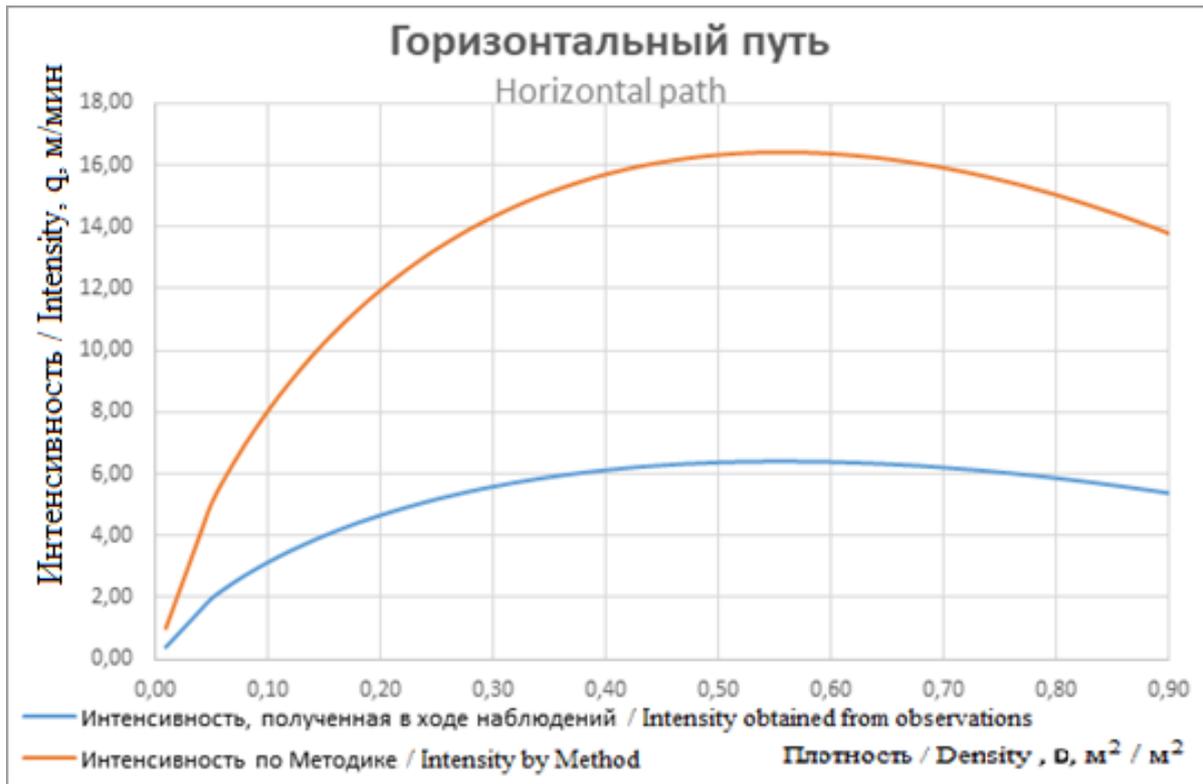


Рис. 10. Зависимость интенсивности движения по горизонтальному пути от плотности людского потока

Fig. 10. Dependence of traffic intensity along a horizontal path on the density of human flow

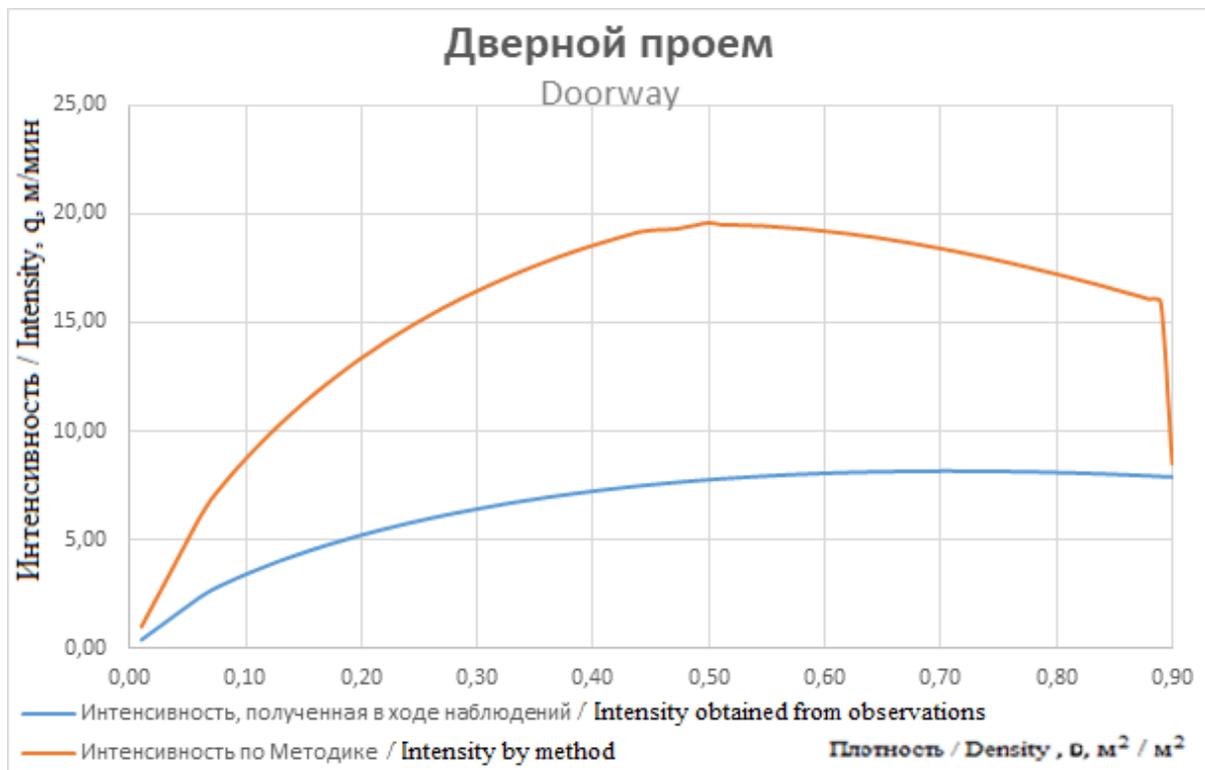


Рис. 11. Зависимость интенсивности движения через выходы от плотности людского потока

Fig. 11. Dependence of traffic intensity through exits on the density of human flow

Таблица 3.

Сравнение скорости свободного движения людей

Table 3.

Comparison of the speed of free movement of people

Вид пути Type of path	Скорость свободного движения, полученная в ходе натуральных наблюдений, м/мин Speed of free movement obtained during field observations, m/min	Расчетная скорость свободного движения в Методике, м/мин Estimated speed of free movement in the Methodology, m/min	Разница Difference
Лестница вниз Stairs down	39,27	100	в 2,5 раза 2.5 times
Лестница вверх Stairs up	28,94	60	в 2 раза 2 times

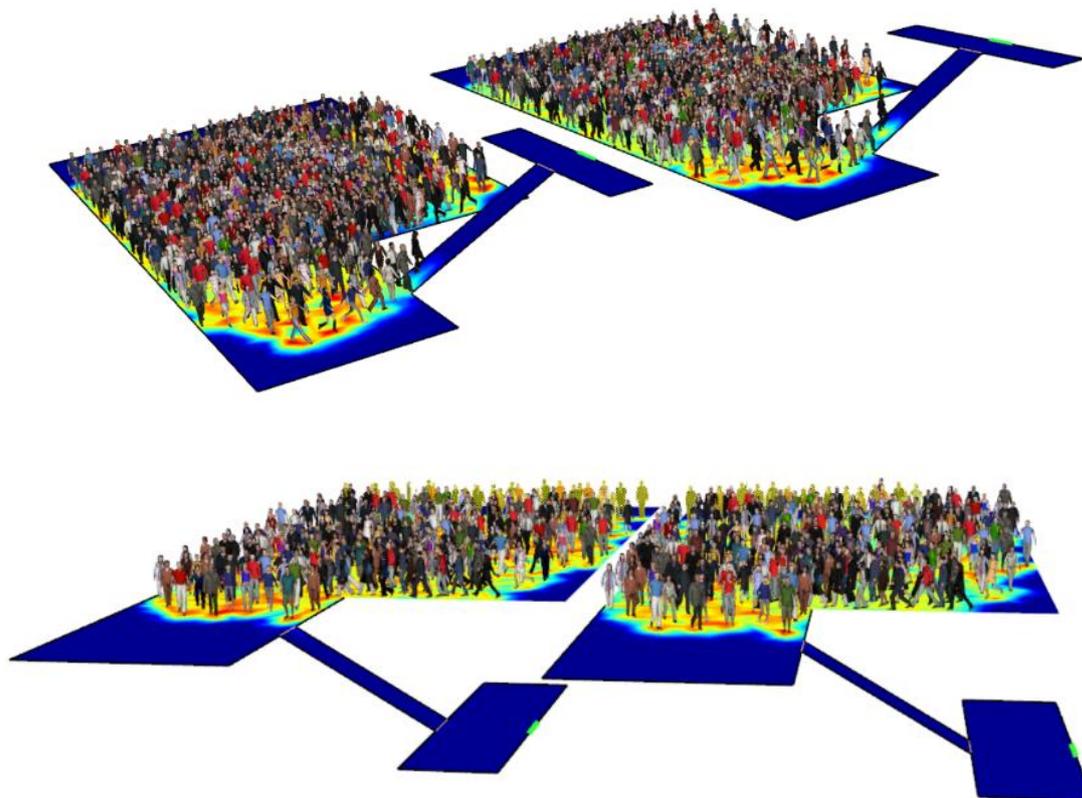


Рис. 12. Компьютерная модель в программном продукте Pathfinder

Fig. 12. Computer model in the Pathfinder software product

Результаты моделирования сведены в табл. 4.

Таблица 4.
Результаты моделирования
Table 4.
Simulation results

Расчетная ситуация Design situation	Скорость свободного движения, V_0 , м/мин Free movement speed, V_0 , m/min	Расчетное количество человек Estimated number of people	Расчетное время эвакуации, с Estimated evacuation time, s
Движение по лестнице вверх / Moving up the stairs			
Нормативная ситуация Regulatory situation	60	СП1.13130.2020 in normative literature $350 / 1,35 = 260$ чел / people	176,7
Фактическая ситуация Actual situation	30	Результат эксперимента Experiment result $350 / 0,55 = 637$ чел / people	615,1
Движение по лестнице вниз / Moving down the stairs			
Нормативная ситуация Regulatory situation	100	СП1.13130.2020 in normative literature $350 / 1,35 = 260$ чел / people	133,4
Фактическая ситуация Actual situation	40	Результат эксперимента Experiment result $350 / 0,55 = 637$ чел / people	515,5

Выводы

Подводя итоги, можно резюмировать, что существует колоссальная разница между реальной ситуацией и данными, указанными в нормативных актах в области пожарной безопасности.

В случае эвакуации по лестнице вверх, время составило 438,4 с, что на 71 % больше расчетных данных, представленных в Методике. При эвакуации по лестнице вниз расчетное время составило 382,1 с, что на 74 % превышает расчетные данные, используемые в действующих нормативных актах.

Результаты исследования говорят о необходимости дальнейших изысканий в данной области. Комплексный подход

к изучению движения потоков людей в ночных клубах при различных сценариях развития событий, к изучению особенностей поведения при движении в различных психофизиологических состояниях позволит установить достоверные данные для проведения соответствующих расчетов.

Образованные на данном этапе результаты могут быть теоретической основой для моделирования эвакуации людей из ночных клубов, а также стать отправной точкой для актуализации действующих нормативных актов в области пожарной безопасности, касающихся нормирования размеров эвакуационных путей и выходов в зданиях соответствующего назначения.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : федер. закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ.
2. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности : приказ МЧС России от 30.06.2009 № 382 : с учетом изменений, утвержденных приказом № 632 МЧС РФ от 02.12.2015.
3. СП 118.13330.2022. Общественные здания и сооружения.
4. СП 1.13130.2020. Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы.
5. Холщевников В. В. Людские потоки в зданиях, сооружениях и на территории их комплексов : дисс. ... д-ра техн. наук. М., 1983.
6. Милинский А. И. Исследование процесса эвакуации зданий массового назначения : дисс. ... канд. техн. наук. М., 1951.
7. Предтеченский В. М., Тарасова Т. А., Калинин В. А. Методика натурных наблюдений за процессами движения людей при помощи кино-фотосъемки // XXI науч.-техн. конф. М., 1962.
8. Исследование движения людей в условиях, близких к вынужденным : отчет / В. М. Предтеченский и др. ; Высшая школа МООН РСФСР. М., 1964.
9. Калинин В. А. Проектирование залов кинотеатров с учетом движения людских потоков : дисс. ... канд. техн. наук. М., 1966. 186 с.
10. Самошин Д. А. Состав людских потоков и параметры их движения при эвакуации : монография. М., 2016.
11. СНиП 2.08–02–89*. Общественные здания.
12. Проектирование клубов: пособие к СНиП 2.08–02–89*.
13. Холщевников В. В. Закономерности связи между параметрами людских потоков : диплом № 24–5. Научные открытия. М., 2006.
14. Холщевников В. В. Гносеология людских потоков : монография. М., 2019. 592 с.

REFERENCES

1. Federal Law "Technical Regulations on Fire Safety Requirements" dated July 22, 2008 No. 123-FZ. (rus).
2. Order of the Ministry of Emergency Situations of Russia dated June 30, 2009 No. 382 "On approval of the methodology for determining the calculated values of fire risk in buildings, structures and structures of various classes of functional fire hazard", taking into account the changes approved by Order No. 632 of the Ministry of Emergency Situations of the Russian Federation dated 02.12.2015. (rus).
3. SP 118.13330.2022 Public buildings and structures. (rus).
4. SP 1.13130.2020 Fire protection systems. Evacuation routes and exits. (rus).
5. Kholshchevnikov V.V. Human flows in buildings, structures and on the territory of their complexes. Dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences. MISI, 1983. (rus).
6. Milinsky A.I. Study of the process of evacuation of mass buildings: Dis... Cand. tech. Sci. Moscow, 1951. (rus).
7. Predtechensky V.M., Tarasova T.A., Kalintsev V.A. Methods of field observations of the processes of people's movement using film and photography. XXI scientific-technical. conf. MISS, 1962. (rus).
8. Predtechensky V.M., Tarasova G.A. and others. Study of the movement of people in conditions close to forced ones: Report. Higher School of the Ministry of Education and Science of the RSFSR. Moscow, 1964. (rus).
9. Kalintsev, V.A. Design of cinema halls taking into account the movement of human flows: dis. ...cand. tech. Sciences: 05.23.10. Moscow, 1966; 186. (rus).
10. Samoshin D. A. Composition of human flows and parameters of their movement during evacuation: Monograph. Moscow, Academy of State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2016. (rus).
11. SNiP 2.08–02–89*. Public buildings. (rus).
12. Manual for SNiP 2.08–02–89* "Design of clubs" (rus).
13. Kholshchevnikov, V.V. Patterns of connection between the parameters of human flows: Diploma No. 24–5. Scientific discoveries. Moscow, Russian Academy of Natural Sciences, International Academy of Authors of Scientific Discoveries and Inventions, 2006. (rus).
14. Kholshchevnikov V.V.. Epistemology of human flows: monograph. Moscow, Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia. 2019; 592.

Информация об авторах

Парфёненко Александр Павлович, кандидат технических наук, доцент кафедры комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 800496; Scopus Author ID: 57214086032; ResearcherID: AAP-2933-2020; ORCID: 0000-0001-7490-8773; e-mail: parf01@inbox.ru

Брюхов Евгений Николаевич, кандидат педагогических наук, доцент кафедры пожарной безопасности в строительстве, Уральский институт ГПС МЧС России, Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22; Author ID: 767262; e-mail: bryuxov@mail.ru

Кузнецов Антон Александрович, кандидат психологических наук, старший преподаватель кафедры пожарно-прикладной подготовки, Уральский институт ГПС МЧС России, Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22; Author ID: 850940; e-mail: kuznetzoff.aa@yandex.ru

Information about the authors

Aleksander P. Parfenenko, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of Department of Integrated Safety in Civil Engineering, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Yaroslavl'skoe Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RISC: 800496; Scopus Author ID: 57214086032; ResearcherID: AAP-2933-2020; ORCID: 0000-0001-7490-8773; e-mail: parf01@inbox.ru

Evgeniy N. Bryukhov, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor of the Department of Fire Safety in Construction, Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062 Russian Federation; Author ID: 767262; e-mail: bryuxov@mail.ru

Anton A. Kuznetsov, Candidate of Psychological Sciences, Senior lecturer of the Department of Fire-applied Training, Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062 Russian Federation; Author ID: 850940; e-mail: kuznetzoff.aa@yandex.ru