



БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Издается с января 2001 г.

Редакционный совет:

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

Главный редактор

РУСАК О. Н., д.т.н., проф.

Зам. главного редактора

ПОЧТАРЕВА А. В.

Редакционная коллегия:

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

7(211)
2018

СОДЕРЖАНИЕ

ОХРАНА ТРУДА

Сысоева Е. А., Подольная Н. Н. Нормы искусственного освещения: российский и европейский опыт 3

ОХРАНА ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ

Касаткина Е. А., Шумилов О. И., Храмов А. В., Канатьев А. Г. Факторы образования "городских островов тепла" в Заполярье 12

Каверзиева Т. Т., Носов В. Н. Экспериментально-теоретическое моделирование упругих свойств тканевых материалов спасательных тентов 19

ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Свиридова Т. В., Боброва О. Б., Саутина Е. Д. Совершенствование методов определения профессиональной пригодности персонала для удаленных трудовых зон 24

ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ

Кожиченков В. С., Киселева Т. Н., Фокин С. Н., Мартынюк В. Ф., Бугаев П. Н. Риск образования взрывоопасной газовой смеси при использовании природного газа в быту 29

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Харисов Г. Х., Фирсов А. В. Обоснование оптимального значения индивидуального пожарного риска в Российской Федерации 36

Удилов Т. В., Винокуров В. Н., Александрой В. И. Анализ мероприятий по защите вахтовых поселков от последствий природных пожаров 43

Лобова С. Ф., Копкин Е. В., Бардулин Е. Н., Соловьев А. С. Расчет теплового воздействия на здание при пожаре пролива мазута с использованием программы FIRE DYNAMICS SIMULATOR (FDS) 46

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ

Тимофеева С. С., Гармышев В. В., Дубровин Д. В. Методология и оценка загрязнения атмосферы, создаваемого пожарами на объектах техносферы в Сибирском федеральном округе 52

ОБРАЗОВАНИЕ

Кривобокова В. А. Анализ уровня теоретических знаний студентов о технике проведения сердечно-легочной реанимации 59

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



LIFE SAFETY

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

The journal published since
January 2001

Editorial board

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

Editor-in-chief

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

Deputy editor-in-chief

POCHTAREVA A. V.

Editorial staff

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

7(211)
2018

CONTENTS

LABOUR PROTECTION

Sysoeva E. A., Podolnaya N. N. Standards of Artificial Lighting: Russian and European Experience 3

POPULATION HEALTH PROTECTION

Kasatkina E. A., Shumilov O. I., Chramov A. V., Kanatjev A. G. Factors of Urban Heat Islands Formation above the Arctic Circle 12
Kaverzneva T. T., Nosov V. N. Experimental-Theoretical Modeling of Elastic Properties of Fabric Materials of Life-Saving Awnings 19

INDUSTRIAL SAFETY

Sviridova T. V., Bobrova O. B., Soutina E. D. The Improvement of the Methods of Determination of the Professional Competence of Staff for the Remote Employment Zones 24

SITUATION OF EMERGENCY

Kozhichenkov V. S., Kiselyova T. N., Fokin S. N., Martynyuk V. Ph., Bugaev P. N. Risk of Explosive Gas-Air Mixture Formation when Using Natural Gas in Domestic Conditions ... 29

FIRE SAFETY

Kharisov G. K., Firsov A. V. The Justification of Optimum Meaning Individual Fire Risk in the Russian Federation 36
Udilov T. V., Vinokurov V. N., Aleksandroi V. I. Analysis of Measures to Protect Settlements from the Effects of Wildfires 43
Lobova S. F., Kopkin E. V., Bardulin E. N., Solovyov A. S. Modeling of Heat Flux to the Building during Fire Strait Oil with Software FIRE DYNAMICS SIMULATOR (FDS) Use ... 46

REGIONAL PROBLEMS OF SAFETY

Timofeeva S. S., Garmyshev V. V., Dubrovin D. V. The Methodology and Assessment of the Pollution of Atmosphere Created by Fires on Objects of Technosphere in Siberian Federal District 52

EDUCATION

Krivobokova V. A. Analysis of the Level of Theoretical Knowledge of Students about the Technique of Cardiac-Pulmonary Resuscitation 59

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

УДК 644.36(470+571)(43)

Е. А. Сысоева, д-р экон. наук, доц., проф. кафедры, e-mail: sysoewa@mail.ru,
Н. Н. Подольная, канд. экон. наук, доц., доц. кафедры, Национальный исследовательский
Мордовский государственный университет имени Н. П. Огарева, Саранск

Нормы искусственного освещения: российский и европейский опыт

Рассмотрены сферы деятельности человека, в которых необходимо применение нормированного искусственного освещения. Представлены российские и европейские нормативные документы, устанавливающие нормы освещения для различных зданий и сооружений, наружного освещения городов, сельских населенных пунктов и других мест. Выявлено незначительное отличие российских и европейских норм освещения производственных и жилых помещений. Отмечена систематически проводимая работа по гармонизации российских норм освещения с европейскими требованиями.

Показано, что нормирование искусственного освещения способствует созданию комфортных и безопасных условий труда работников, оказывает влияние на производительность труда человека, на качество выполняемой им работы и обеспечивает повышение качества жизни населения.

Ключевые слова: искусственное освещение, качество освещения, нормы освещения, источники света, освещенность, свод правил, ГОСТ, индекс цветопередачи, пульсация, блескость, цветовая температура, жилые и общественные помещения

Введение

Свет является одним из главных источников жизни на земле. Люди настолько хорошо приспособлены и привычны к свету, что большую часть своей повседневной жизни не осознают его важность. Такое осознание приходит только при недостатке света и соответствующей затрудненности выполнения различных зрительных задач или ориентации в пространстве. Отсутствие или недостаточное количество естественного света эффективно компенсируется искусственным освещением.

Основная задача искусственного освещения состоит в обеспечении людей необходимыми условиями для жизненного существования. При этом освещение выполняет три важнейшие, влияющие на качество жизни человека, функции:

- 1) зрительную — выполнение зрительных задач, безопасность, ориентирование в пространстве;
- 2) эмоциональную — архитектурная интеграция, хорошее настроение;
- 3) биологическую — синхронизация биологических часов, здоровье и хорошее самочувствие.

Широкий ассортимент источников искусственного освещения, используемых в жизни современного общества в качестве предмета первой необходимости, помогает людям быть менее зависимыми от естественного освещения.

Энергоэффективные световые приборы и установки искусственного освещения благотворно влияют на здоровье человека, создают комфортную световую среду в жилых помещениях, школах, больницах, общественных зданиях, способствуют повышению производительности труда в промышленности, обеспечивают безопасность в доме и при передвижении в пространстве, снижают утомляемость и потерю зрения, освещают железные дороги и автомагистрали, применяются в зимних теплицах для выращивания овощей, цветов и ягод, используются в животноводстве, обеззараживают воздух в помещении и воду, входят в состав аппаратуры аэродромов, самолетов и кораблей, применяются в светосигнализации (светофоры, дорожные указатели), в архитектурно-художественном освещении помещений, экспозиционном и витринном освещении, аварийном освещении всех видов.

От освещения помещений, где находятся люди, зависит их здоровье, сопротивляемость стрессам, усталости, физическим и умственным нагрузкам. Сложные зрительные задачи нередко сочетаются с необходимостью смыслового анализа поступающей информации, с принятием решений при ограниченности времени и недопустимости ошибок, что вызывает у человека психофизиологическое и эмоциональное напряжение. В этой связи следует очень четко соблюдать требования норм освещения в жилых и нежилых помещениях.



Нормы по освещению площадок промышленных предприятий, административных и других общественных зданий и помещений, офисов, классных комнат

Российским нормативным документом, устанавливающим требования по освещению вновь строящихся и реконструируемых зданий и сооружений различного назначения, мест производства работ вне зданий, площадок промышленных и сельскохозяйственных предприятий, железнодорожных путей, наружного освещения городов, поселков и сельских населенных пунктов, автотранспортных тоннелей, является СП 52.13330.2016 "Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*" (далее — СП) [1]. С 1 июля 2014 г. в Российской Федерации введен в действие ГОСТ Р 55710—2013 "Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений" (далее — ГОСТ Р) [2]. Санитарные правила по освещению проектируемых, реконструируемых и существующих жилых и общественных зданий изложены в СанПиН 2.21/2.1.1.1278-03 "Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий" (далее — СанПиН) [3]. Со 2 марта 2017 г. введены в действие СП 256.1325800.2016 "Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа. Актуализированная редакция СП 31-110-2003" (далее — СП 16) [4]. Этот документ устанавливает правила проектирования и монтажа электроустановок вновь строящихся и реконструируемых жилых и общественных зданий в городах и сельских населенных пунктах и распространяется на электрические цепи номинальным напряжением до 1000 В переменного тока и 1500 В постоянного тока включительно и высоковольтные цепи (более 1000 В, но не выше 35 кВ) переменного тока.

В Европейском союзе (ЕС) с 2003 г. действуют единые европейские нормы освещенности EN 12464-1:2002 (далее — EN) [5], заменившие в странах — членах СЕН (Европейский комитет по стандартизации) национальные нормы освещения.

Основными показателями освещения в Российской Федерации, которые нормируются согласно СП, являются освещенность на рабочем месте, общий индекс цветопередачи, коэффициент пульсаций освещенности. Нормы показателей искусственного освещения стандартизованы и, в основном, гармонизированы с европейскими нормами.

Освещенность на рабочем месте является главной характеристикой для всех рабочих мест, на которых выполняется какая-либо работа. Освещенность (E) — это отношение светового потока,

падающего на элемент поверхности, содержащий рассматриваемую точку, к площади этого элемента. Освещенность измеряется в люксах (лк) и рассчитывается по формуле:

$$E = \frac{d\Phi}{dA}, \quad (1)$$

где $d\Phi$ — световой поток, падающий на элемент поверхности, люмен (лм); dA — площадь элемента поверхности, метр (м).

Значение освещенности зависит, в первую очередь, от рода выполняемой работы и поэтому устанавливается в зависимости от категории работы и окружающей работника обстановки. Например, согласно СП освещенность административных бюро (офисов) в зданиях управленческого и банковского типов и рабочих мест для компьютерного проектирования должна составлять 500 лк, в читальных залах, конференц-залах, в кассовых зонах магазинов — 300 лк, на лестничных клетках, площадках, ступеньках — 100 лк.

Следующей характеристикой, влияющей на качество светового цвета, является общий индекс цветопередачи (R_a). Индекс цветопередачи — это мера соответствия зрительных восприятий цветного объекта, освещенного исследуемым и стандартным источниками света при одинаковых условиях наблюдения [1]. За стандартный источник принят свет тепловых излучателей от лампы накаливания, общий индекс цветопередачи которой установлен равным 100. Исходя из этого, принята следующая система оценки качества цветопередачи:

- $R_a = 90$ — отличное качество;
- $90 > R_a > 80$ — очень хорошее качество;
- $80 > R_a > 70$ — хорошее качество;
- $70 > R_a > 60$ — удовлетворительное качество;
- $60 > R_a > 40$ — приемлемое качество;
- $R_a < 40$ — плохое качество.

В СП установлено, что для контроля цвета в полиграфической и текстильной промышленности, для хирургических кабинетов, для некоторых торговых залов требуемый индекс цветопередачи не должен быть ниже 90. Для помещений с низкой категорией зрительных работ разрешено применять источники света с невысоким качеством цветопередачи. В EN регламентируется, что в большинстве типов общественных помещений R_a должен быть не ниже 80.

Показателем освещения, также установленным в СП, является коэффициент пульсации (K_p), который рассчитывается по формуле:

$$K_p = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{2E_{\text{ср}}} \cdot 100, \quad (2)$$

где $E_{\max}$ и $E_{\min}$ — максимальное и минимальное значения освещенности соответственно за период

ее колебания, лк; E_{cp} — среднее значение освещенности за этот же период, лк.

В СП установлено, что глубина пульсации освещенности, измеряемая коэффициентом пульсации, на рабочих местах не должна превышать 20 %, для некоторых видов производства — 15 %. Соблюдение норм коэффициента пульсации освещенности позволяет предотвратить отрицательное влияние стробоскопического эффекта и снизить зрительное и общее утомление человека.

В EN 12464-1:2002 нет количественных показателей пульсации освещенности, в то же время указывается, что в помещениях с длительным пребыванием людей пульсации освещенности и возникновение стробоскопического эффекта не допускаются.

В российских и европейских нормативных документах по освещению регламентируется цветовая температура источников света. По цветности излучения все источники света разделены на три группы: теплые ($T_{цв} < 3500$ К), средние ($T_{цв} = 3500...5300$ К) и холодные ($T_{цв} > 5300$ К). В EN для большинства видов работ и помещений рекомендуются "средние" источники света ($T_{цв} = 4000$ К). В СП по этому вопросу указано, что при архитектурно-художественном освещении для "холодных" поверхностей рекомендуются источники света с цветностью излучения не ниже 4000 К, для "теплых" поверхностей — с цветностью излучения меньше 3500 К.

В СП приведен ряд коэффициентов, которые значительно облегчают процесс проектирования освещения с помощью автоматизированных светотехнических программ. Так, коэффициент, характеризующий прямую слепящую блескость светильников в осветительной установке в местах производства работ вне зданий (R_G), вычисляется по формуле:

$$R_G = 27 + 24 \lg \left(\frac{L_{vi}}{L_{ve}^{0,9}} \right), \quad (3)$$

где L_{vi} — суммарная вуалирующая яркость, вызванная осветительной установкой и определяемая суммой вуалирующих яркостей от каждого светильника ($L_{vi} = L_{v1} + L_{v2} + \dots + L_{vn}$), кандела/м (кд/м); L_{ve} — эквивалентная вуалирующая яркость фона (окружения), кд/м.

Вуалирующую яркость каждого светильника вычисляют по формуле:

$$L_v = 10 (E_{eye} \theta^{-2}), \quad (4)$$

где E_{eye} — освещенность на зрачке наблюдателя в плоскости, перпендикулярной линии зрения (2° ниже горизонтали), лк; θ — угол между линией

зрения наблюдателя и направлением падения света на зрачок наблюдателя, градус.

Эквивалентную вуалирующую яркость фона рассчитывают по формуле:

$$L_{ve} = 0,035 \rho E_T / \pi, \quad (5)$$

где E_T — средняя горизонтальная освещенность поверхности, лк; ρ — средний коэффициент отражения окружающих поверхностей; в случаях, когда он неизвестен, принимают равным 0,15.

По аналогии с европейскими нормами, в ГОСТ Р 55710—2013 регламентируется такой важный параметр, как блескость — это ощущение, возникающее при наличии в поле зрения повышенной яркости, которая вызывает дискомфортную и (или) слепящую блескость, либо ощущение, вызываемое отражением светового потока от рабочей поверхности в направлении глаз работающего (отраженная блескость). В отличие от СП, где для производственных помещений нормировался показатель ослепленности, характеризующий физиологическое воздействие блескости, в ГОСТ Р для всех рабочих мест и для производственных, общественных и административных помещений введен объединенный показатель дискомфорта, оценивающий психологическое воздействие блескости, и, следовательно, нормирование по этому показателю является более жестким и освещение рабочих мест должно быть более комфортным для работника.

Объединенный показатель дискомфорта (UGR), оценивающий дискомфортную блескость, вызывающую неприятные ощущения при неравномерном распределении яркостей в поле зрения, определяется в относительных единицах по формуле:

$$UGR = 8 \lg \left[\frac{0,25}{L_a} \sum_{i=1}^N \frac{L_i^2 \omega_i}{p_i^2} \right], \quad (6)$$

где L_i — яркость блеского источника, кд/м; ω_i — угловой размер блеского источника,стерадиан; p_i — индекс позиции блеского источника относительно линии зрения; L_a — яркость адаптации, кд/м.

В нормах по освещению рабочих мест общественных и административных зданий ГОСТ Р регламентирует минимальную освещенность, объединенный показатель дискомфорта, неравномерность освещенности и коэффициент пульсации освещенности, для ряда помещений также установлены нормы цилиндрической освещенности. Минимальная освещенность определяет количественную сторону освещения, а объединенный показатель дискомфорта, неравномерность освещенности, коэффициент пульсации



освещенности являются качественными характеристиками освещения.

В соответствии с EN по освещению рабочих мест внутри помещений, в ГОСТ Р введены следующие понятия: зона зрительной работы (часть рабочей поверхности, на которой выполняется зрительная работа), зона непосредственного окружения (зона шириной не менее 0,5 м, окружающая зону зрительной работы внутри поля зрения) и зона периферии (зона, следующая за зоной непосредственного окружения объекта наблюдения внутри поля зрения).

Равномерность освещения (U_o) определяется по формуле:

$$U_o = E_{\min}/E_{\text{ср}}, \quad (7)$$

где $E_{\min}$ — минимальные значения освещенности, лк; $E_{\text{ср}}$ — среднее значение освещенности, лк.

Равномерность освещения должна быть не менее 0,40 для зоны непосредственного окружения, 0,10 — для зоны периферии. При равномерности освещенности 0,10 освещенность поверхностей должна быть не менее 50 лк на стенах, 30 лк на потолке. Значение освещенности в зоне периферии должно быть не более 1/3 значения освещенности зоны непосредственного окружения. Значения освещенности в зоне непосредственного окружения и в зоне зрительной работы приведены в табл. 1.

Как правило, производственный процесс организовывается на промышленных объектах, отличающихся большими размерами помещений, значительной площадью и высокими потолками. Это накладывает определенные требования к световым приборам, обеспечивающим освещение таких производственных цехов, складов и лабораторий. Промышленное освещение должно быть заливающим, т.е. должны отсутствовать резкие переходы между недостаточно освещенными и светлыми зонами, кроме того, освещение должно быть экономичным и равномерным.

Таблица 1

Значения освещенности в зоне непосредственного окружения и в зоне зрительной работы, лк

$E_{\text{ср}}$ зоны непосредственного окружения	$E_{\text{ср}}$ зоны зрительной работы
Не менее 500	Свыше 750 включительно
Не менее 300	Свыше 500 включительно
Не менее 200	Свыше 300 включительно
Не менее 150	Свыше 200 включительно
Не менее 100	Свыше 150 включительно
Не менее 50	Свыше 100 включительно
До 50	До 50

Для производственных помещений различного целевого назначения применяют разные системы освещения, при этом нормы искусственного освещения рабочих мест регламентируются в зависимости от содержания загрязняющих веществ в воздушной среде данных производственных помещений. Так, для цементных заводов эти нормы отличаются от норм, установленных для кузнечных, мартеновских и химических цехов, и также отличаются от норм для инструментальных, сборочных, пошивочных цехов; для горячих цехов предприятий общественного питания, прачечных, душевых установлены свои нормы. В ГОСТ Р по освещению рабочих мест внутри здания приведены таблицы с нормируемыми количественными и качественными параметрами для различных помещений в зависимости от вида зрительной нагрузки, отдельно выделены таблицы для зон движения, вспомогательных и санитарно-бытовых помещений.

В настоящее время в производственных помещениях для удобства работников разработано и применяется переносное освещение — это освещение для временного увеличения освещенности отдельных мест работы. Потребность в переносном освещении может возникнуть не только в производственных помещениях или во время работы в автосервисах и ремонтных цехах, но и в экстремальных условиях для обеспечения выживания людей, а также у геологов, шахтеров и специалистов аварийных служб. Переносное освещение осуществляется переносными светильниками, питаемыми от сетей 127 В или 220 В в помещениях с нормальными условиями среды и от сетей 12 В и 42 В соответственно в особо опасных помещениях и в помещениях с повышенной опасностью.

Большое внимание уделяется освещению производственных помещений в различных отраслях промышленности, связанных с реальной опасностью образования взрывоопасной среды в зонах технологических установок, в складских помещениях и на открытых площадках, где работает человек. Для искусственного освещения таких помещений применяются специальные светильники различных конструкций и исполнений, отвечающие требованиям к надежной защите всех частей светильника от вредных воздействий окружающей среды, в том числе по электро-, пожаро- и взрывобезопасности.

Российские нормы предусматривают общее, местное, локальное и комбинированное освещение. Нормируемые уровни освещенности при разных системах освещения существенно различаются. К примеру, для работ наивысшей точности при малом контрасте объекта, различаемого

на светлом фоне, нормируемая освещенность составляет: при общем освещении — 750 лк, при комбинированном освещении — 2500 лк. Тип источника света также влияет на нормируемую освещенность, например, при использовании ламп накаливания или люминесцентных ламп с индексом цветопередачи $R_a > 90$ значение освещенности должно понижаться на одну ступень. В EN такого различия нет, в европейских нормах разделяется только освещенность в зоне выполнения задачи и в зоне непосредственного окружения.

В СП приведены рекомендуемые световые отдачи световых приборов для общего освещения помещений, освещения мест производства вне зданий, наружного утилитарного освещения селитебных территорий. Рекомендуемые световые отдачи световых приборов для общего освещения помещений приведены в табл. 2.

По ГОСТ Р при проектировании осветительных установок рекомендуется применение моделирующего освещения, под которым понимается направленное освещение для объемного восприятия объектов, выявляющее глубину, контуры и текстуру объекта различения или человека. В зависимости от конкретной зрительной задачи ГОСТ Р рекомендует следующую шкалу нормируемых значений средней освещенности $E_{ср}$: 20-30-40-50-75-100-150-200-300-400-500-600-750-1000-1250-1500-2000-2500-3000-3500-4000-4500-5000 лк. При этом средняя освещенность на рабочих местах с постоянным пребыванием людей должна быть не менее 200 лк.

Сравнительный анализ российских и европейских норм освещения, проведенный российскими светотехниками, позволяет сделать вывод, что они незначительно отличаются друг от друга, в них регламентируются практически одинаковые параметры освещения [6].

В СП, кроме рабочего освещения в офисах, административных и других общественных зданиях и помещениях, предусматривается аварийное освещение на случай нарушения питания основного

(рабочего) освещения. Аварийное освещение должно включаться автоматически при пропадании питания основного (рабочего) освещения, а также по сигналам систем пожарной и аварийной сигнализации или вручную, если сигнализации нет или она не сработала. Аварийное освещение подключается к источнику питания, независимому от источника питания рабочего освещения. Для аварийного освещения должны применяться источники света с индексом цветопередачи не менее 40.

Аварийное освещение делится на освещение эвакуационное и резервное. Эвакуационное освещение подразделяется на освещение путей эвакуации, эвакуационное освещение зон повышенной опасности и эвакуационное антипаническое освещение [1].

Резервное освещение следует предусматривать, если по условиям технологического процесса или ситуации требуется нормальное продолжение работы при нарушении питания рабочего освещения, а также если связанное с этим нарушение обслуживания оборудования и механизмов может вызвать чрезвычайные ситуации техногенного характера [1].

В EN требований к аварийному освещению нет, так как данные требования изложены в другом европейском нормативном документе и в целом совпадают с требованиями, установленными в СП.

В табл. 3 приведены сравнительные показатели норм освещенности по EN 12464-1 и СП 52.13330.2016.

Распространение с 1970-х годов персональных компьютеров изменило зрительную среду офисных помещений. В соответствии с нормами, установленными в СП 16, для помещений административных зданий с дисплеями и видеотерминалами, в компьютерных залах освещенность вертикальной поверхности экрана монитора при высоте над полом 1,2 м при общем освещении должна быть не менее 200 лк.

Таблица 2

Рекомендуемые световые отдачи световых приборов для общего освещения помещений

Тип источника света	Световая отдача приборов, лм/Вт, не менее, при минимально допустимых индексах цветопередачи R_a			
	$R_a \geq 80$	$R_a \geq 60$	$R_a \geq 40$	$R_a \geq 25$
Световые приборы со светодиодными источниками света и светодиодными модулями	90	100	—	—
Световые приборы с люминесцентными источниками света	50	40	—	—
Световые приборы с металлогалогенными источниками света	55	50	—	—
Световые приборы с натриевыми лампами высокого давления	—	50	60	—



Таблица 3

Сравнительные показатели норм освещенности по EN 12464-1 и СП 52.13330.2016 (фрагменты)

Вид помещений, род деятельности	Нормы по EN 12464-1			Нормы по СП 52.13330.2016		
	E , лк	UGR	R_a	E при общем освещении, лк	UGR не более	R_a
Кабинеты и рабочие комнаты, офисы, представительства	500	19	80	300	21	80
Проектные залы, конструкторские, чертежные бюро и др.	750	16	80	500	21	80
Читальные залы	500	19	80	400	21	80
Компьютерные залы — на экране дисплея — на рабочих столах	500	19	80	200 400	— 14	— 80
Конференц-залы, залы заседаний	500	19	80	200	24	80
Классные комнаты, аудитории, учебные кабинеты и др. — на середине доски — на рабочих столах и партах	300 500	19 19	8 0	500 400	— 21	80 80
Обеденные залы ресторанов, столовых	300	22	80	200	24	80
Помещения главных касс магазинов	500	19	80	300	21	80
Гостиница: — бюро обслуживания — помещения дежурного и обслуживающего персонала — гостиные, номера	200	22	80	300 300 200	24 24 —	80 80 80
Санитарно-бытовые помещения: — умывальные, уборные, курительные — душевые, гардеробные и др.	200	22	80	75 50	— —	80 80
Лестницы: — главные лестничные клетки общественных, производственных и вспомогательных зданий — лестничные клетки жилых зданий — остальные лестничные клетки	150	25	40	100 20 50	— — —	80 80 80
Лифтовые холлы: — в общественных, производственных и других зданиях, на полу — в жилых помещениях, на полу	100	22	80	100 20	— —	80 80
Книгохранилища и архивы, на стеллажах	200	25	80	100	—	80
Коридоры и проходы: — главные коридоры и проходы, на полу — поэтажные коридоры жилых зданий, на полу — остальные коридоры, на полу	100	28	40	100 20 50	— — —	80 80 80
Зрительные залы театров, концертные залы	—	—	—	300	24	80
Выставочные залы	—	—	—	300	25	80
Залы спортивных игр, на полу	—	—	—	300	24	80
Залы бассейнов, поверхность воды	—	—	—	300	24	80
Залы многоцелевого назначения	—	—	—	400	21	80

Огромное значение среди факторов внутришкольной среды имеет освещение учебных классов, которое должно быть комфортным, обеспечивающим снижение зрительной утомляемости, повышающим зрительную работоспособность и положительно влияющим на психофизиологическое состояние длительно находящихся в помещении учеников.

Внедрение в учебных заведениях в процесс обучения персональных компьютеров изменило зрительную среду классных комнат, в которых используется оборудование с дисплейными экранами.

Для таких классных комнат, применяющих расширенный ряд дисплейных экранов, разрабатывается и применяется специальное освещение, которое позволяет сделать обучение, в отличие от традиционного, личностно-ориентированным, центрированным на учителя. Такое освещение, соответствующее современным методам учебного процесса, позволяет исключить наличие мешающих бликов на дисплейных экранах и, в частности, на интерактивной белой доске, видимой из многих точек классной комнаты. Учитывая повсеместное

применение в процессе обучения персональных компьютеров, были актуализированы нормативные показатели освещения учреждений общего образования. Так, согласно установленным в СанПиН нормам в кабинетах информатики и вычислительной техники освещенность должна быть на экране дисплея — 200 лк, на рабочих столах и партах — 400 лк [3].

Показатели искусственного освещения в жилых помещениях

Качественное искусственное освещение также необходимо человеку, находящемуся в кругу семьи вечером, после завершения рабочего дня, поэтому правильно подобранные источники освещения во многом определяют комфортное пребывание

человека в домашней обстановке, когда отсутствует естественное освещение.

Самыми эффективными источниками света для использования в современных осветительных приборах для освещения квартир являются энергосберегающие лампы и в первую очередь, получившие широкое применение из-за своих несомненных преимуществ светодиодные источники света, которые отлично подходят для создания общего, местного и рабочего освещения. Для организации комфортного освещения в доме, максимально приближенного к дневному, чаще всего применяются "теплые" источники света с цветовой температурой не выше 4000 К и с высоким индексом цветопередачи.

В соответствии с СП 16 освещенность в жилых помещениях рекомендуется принимать согласно табл. 4.

Таблица 4

Показатели искусственного освещения в жилых помещениях

Наименование помещений	Рабочая поверхность и плоскость нормирования освещенности (Г-горизонтальная, В-вертикальная) — высота плоскости над полом, м	Освещенность рабочих поверхностей, лк	Показатель дискомфорта, M , не менее	Коэффициент пульсации освещенности K_p , %, не более
Жилые помещения				
Жилые комнаты, гостиные, спальни квартир и общежитий	Г-0,0	150 ¹⁾	—	—
Кухни, кухни-столовые, кухни-ниши квартир и общежитий	Г-0,0	150 ¹⁾	—	—
Детские	Г-0,0	200 ¹⁾	—	—
Кабинеты, библиотеки, комнаты отдыха	Г-0,0	300 ¹⁾	—	—
Вспомогательные помещения				
Ванные комнаты, уборные, санузлы, душевые, внутриквартирные коридоры, холлы	Г-0,0	50 ^{1) 2)}	—	—
Кладовые, подсобные	Г-0,0	30 ¹⁾	—	—
Гардеробные	Г-0,0	75 ¹⁾	—	—
Сауна, раздевалки	Г-0,0	100 ¹⁾	—	—
Бассейн	Г-поверхность воды	100 ¹⁾	60 ¹⁾	20 ¹⁾
Тренажерный зал	Г-0,0	150 ¹⁾	60 ¹⁾	20 ¹⁾
Общедомовые помещения				
Помещения консьержа	Г-0,0	150	60	20
Лестницы, поэтажные внеквартирные коридоры, вестибюли, лифтовые холлы, колясочные, велосипедные	Г-0,0	20	—	—



Продолжение табл. 4

Наименование помещений	Рабочая поверхность и плоскость нормирования освещенности (Г-горизонтальная, В-вертикальная) — высота плоскости над полом, м	Освещенность рабочих поверхностей, лк	Показатель дискомфорта, M , не менее	Коэффициент пульсации освещенности K_p , %, не более
Тепловые пункты, насосные, электрошитовые, венткамеры, основные проходы технических этажей, подполий, подвалов, чердаков	Г-0,0	20	—	—
1) для жилых домов и квартир приведенные требования — рекомендуемые 2) значения приведены для ламп накаливания "—" — требования отсутствуют Примечания. 1. Освещение в ванных комнатах должно обеспечивать в вертикальной плоскости над умывальником 100 лк при люминесцентных лампах или 50 лк при лампах накаливания 2. При применении объединенного показателя дискомфорта UGR его вычисляют по формуле: $UGR = 16 \lg M - 4,8$, где M — показатель дискомфорта				

Нормы освещенности городов и сельских поселений

В СП установлены нормы освещенности для улиц и дорог с асфальтобетонным покрытием городских поселений с регулярным транспортным движением:

- средняя яркость дорожного покрытия, не менее;
- общая равномерность распределения яркости дорожного покрытия, не менее;
- продольная равномерность распределения яркости дорожного покрытия, не менее;
- средняя освещенность дорожного покрытия, не менее;
- равномерность распределения освещенности дорожного покрытия, не менее.

Также в СП установлены нормы освещенности для улиц и дорог сельских поселений, для пешеходных переходов, автотранспортных тоннелей, автотранспортных пешеходных пространств, автозаправочных станций и стоянок, территорий жилых районов, наружного архитектурного освещения зданий и сооружений, витринного, рекламного, аварийного, охранного и дежурного освещения.

Интегрированные системы освещения

Эксперты прогнозируют, что в течение ближайших 20 лет будут активно применяться возможности интегрированных систем освещения в рамках инновационной концепции — Интернета вещей (Internet of things, IoT). Использование передовых информационных технологий позволит с помощью разнообразных мобильных приложений легко настраивать работу различных систем,

включая сферу световых решений, и управлять их функционалом. Системы "умный город", "умная дорога", "умный дом", "умный магазин" и "умный офис", объединенные достижениями ведущих мировых производителей светотехнической продукции в рамках одной концепции, смогут поддерживать достойный уровень жизни населения, обеспечивать безопасность и существенно экономить энергоресурсы.

Заключение

Нормированное искусственное освещение является неотъемлемой составляющей комфортных, безопасных условий труда работников, оказывает влияние на производительность труда человека, качество его работы, обеспечивает безопасность людей и повышает качество их жизни.

Анализ российских и европейских норм освещения позволяет сделать вывод, что они незначительно отличаются друг от друга, в них регламентируются схожие параметры освещения. Однако необходимо отметить, что в европейских нормах регламентируемые уровни освещенности несколько выше, чем в российских. В то же время отечественная нормативная база по освещению совершенствуется и актуализируется. Так, в 2017 г. вступили в силу новые СП 256.1325800.2016 "Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа. Актуализированная редакция СП 31-110-2003", в которых учтены современные требования в области проектирования искусственного освещения.

С появлением инновационных технологий в искусственном освещении нормы освещения во всех сферах деятельности человека существенно меняются,

становясь более жесткими, при этом последовательно проводится работа по гармонизации российских норм освещения с европейскими требованиями.

Актуализация существующих национальных норм искусственного освещения зданий и сооружений, селитебных зон, площадок предприятий и мест производства работ вне зданий выполняется ведущими специалистами в области светотехники, архитектуры, строительства и строительной физики, ведущими учеными Научного центра здоровья детей Российской академии медицинских наук и Российской медицинской академией последипломного образования Российской академии медицинских наук, Центра Госсанэпиднадзора в Москве.

Список литературы

1. **Естественное и искусственное освещение.** Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*: СП 52.13330.2016. URL: <http://docs.cntd.ru/document/456054197> (дата обращения 04.06.2018).

2. **Освещение** рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений: ГОСТ Р 55710—2013. — М.: Стандартинформ, 2014. — 16 с.
3. **Гигиенические требования** к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий: СанПиН 2.21/2.1.1.1278-03. URL: http://gostbank.metaltorg.ru/data/norms_new/sanpin/17.pdf (дата обращения 02.12.2017).
4. **Электроустановки** жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа. Актуализированная редакция СП 31-110-2003: СП 256.1325800.2016. — М., 2016. — 119 с.
5. **European standard norme europ@enne europ@ische norm.** Light and lighting — Lighting of work places — Part 1: Indoor work places: EN 12464-1:2002. URL: http://www.aget.it/app/webroot/files/uploads/filemanager/File/info/EN_12464-1.pdf (дата обращения 02.12.2017).
6. **Мирошкин Ю. А., Синицина Л. В.** Сравнительный анализ российских и европейских норм освещения помещений административных зданий // Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики: материалы XIII Всероссийской научно-технической конференции с международным участием (Саранск, 15—16 марта 2017 г.) в рамках IV Всероссийского светотехнического форума. — Саранск, 2017. — С. 245—249.

E. A. Sysoeva, Associate Professor, Professor of Chair, e-mail: sysoewa@mail.ru,
N. N. Podolnaya, Associate Professor, Associate Professor of Chair, National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk

Standards of Artificial Lighting: Russian and European Experience

The article deals with the spheres of human activity, which requires the use of standardized artificial light. The authors presented the Russian and European regulatory documents establishing rules of lighting for different buildings and structures, outdoor lighting of cities, villages and other places.

The results of the comparison of Russian and European standards of lighting of industrial and residential premises showed a slight difference between these norms.

The authors point out the ongoing systematically work to review and improve Russian standards of lighting bring it into line with European requirements.

The following conclusions are drawn: the regulation of artificial lighting helps to create a comfortable and safe environment for employees affects the productivity of human labor, the quality of its work and enhances the quality of life of the population.

Keywords: artificial lighting, quality of lighting, Standards of lighting, light sources, illumination, set of rules, GOST, color rendering index, surge, glare, color temperature, dwelling and common premises

References

1. **Estestvennoe i iskusstvennoe osveshhenie.** Aktualizirovannaja redakcija SNiP 23-05-95*: SP 52.13330.2016. URL: <http://docs.cntd.ru/document/456054197> (date of access 04.06.2018).
2. **Osveshhenie rabochih mest** vnutri zdaniy. Normy i metody izmerenij: GOST R 55710-2013. Moscow: Standartinform, 2014. 16 p.
3. **Gigienicheskie trebovaniya** k estestvennomu, iskusstvennomu i sovmeshhjonnomu osveshheniju zhilyh i obshhestvennyh zdaniy: SanPin 2.21/2.1.1.1278-03. URL: http://gostbank.metaltorg.ru/data/norms_new/sanpin/17.pdf (date of access 02.12.2017).
4. **Jelektroustanovki** zhilyh i obshhestvennyh zdaniy. Pravila proektirovaniya i montazha. Aktualizirovannaja redakcija SP 31-110-2003: SP 256.1325800.2016. Moscow, 2016. 119 p.

5. **European standard norme europ@enne europ@ische norm.** Light and lighting — Lighting of work places — Part 1: Indoor work places: EN 12464-1:2002. URL: http://www.aget.it/app/webroot/files/uploads/filemanager/File/info/EN_12464-1.pdf (date of access 02.12.2017).
6. **Miroshkin Ju. A., Sinicina L. V.** Sravnitel'nyj analiz rossijskih i evropejskih norm osveshhenija pomeshhenij administrativnyh zdaniy. *Problemy i perspektivy razvitiya otechestvennoj svetotekhniki, jelektrotehniki i jenergetiki: materialy XIII Vserossijskoj nauchno-tehnicheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem (Saransk, 15—16 marta 2017 g.) v ramkah IV Vserossijskogo svetotekhnicheskogo foruma.* — Saransk, 2017. P. 245—249.

УДК 551.584.31; 551.584.9; 551.587

Е. А. Касаткина¹, д-р физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.,

О. И. Шумилов¹, д-р физ.-мат. наук, гл. науч. сотр., e-mail: oleg@aprec.ru,

А. В. Храмов², д-р мед. наук, проф., **А. Г. Канатьев**¹, мл. науч. сотр.

¹ Полярный геофизический институт, Апатиты, Мурманская обл.,

² Балтийский государственный технический университет, Санкт-Петербург

Факторы образования "городских островов тепла" в Заполярье

Рассмотрена одна из проблем XXI столетия — образование так называемых городских островов тепла. В целях решения этой проблемы исследованы особенности городского микроклимата в двух городах Заполярья — Кировске (67,6 N, 33,7 E) и Апатитах (67,6 N, 33,4 E), расположенных на северо-западе России. Приведены данные эксперимента, который проводился в феврале 2014 г. и в декабре 2016 г. в Апатитах и Кировске, а также в окрестностях этих городов. Для анализа были использованы записи температуры, полученные при помощи температурного датчика, установленного на крыше автомобиля. Кроме термометра, автомобиль был оснащен встроенной глобальной системой позиционирования (GPS), которая в автоматическом режиме позволяла привязывать каждое измерение температуры к соответствующей высоте и координатам. Показано, что колебания температуры внутри и вне этих городов сильно зависят от местных орографических эффектов и физического состояния пограничного слоя атмосферы, в значительной степени перекрывающих возможные урбанистические эффекты.

Ключевые слова: "городские острова тепла", городской микроклимат, топоклимат, дорожная климатология

Введение

На сегодняшний день существует много исследований, в которых обсуждается генерация "городских островов тепла" в крупных мегаполисах средних и низких широт, и почти ничего не известно об их возникновении за Полярным кругом. Однако "острова тепла" в полярных городах и факторы их формирования принципиально отличаются от таковых в более низких широтах. За Полярным кругом в период полярной ночи Солнце почти все время находится за горизонтом, и предполагаемый вклад солнечного излучения в образование "городских островов тепла" ничтожен. Кроме того, образование "городских островов тепла" зимой может быть важным фактором, влияющим на обеспечение и безопасность жизнедеятельности на Крайнем Севере.

В современной климатологии в условиях растущей урбанизации все большее значение приобретает изучение климата городов, а именно образования так называемых городских островов тепла — Urban Heat Island (далее — УНІ), когда температура в центре города выше, чем в окружающей сельской местности. Известно, что в 2009 г.

численность городского населения увеличилась и впервые сравнялась с численностью сельского населения и в настоящее время продолжает расти [1]. По некоторым прогнозам ожидается, что городское население планеты увеличится до 6 млрд человек к 2050 г. [2]. Городское население России на 1 января 2016 г. составило около 74 % [3].

Необходимость изучения данного явления обусловлена возможным негативным воздействием УНІ на городской климат и здоровье человека [4—6]. Формирование УНІ зимой в высоких широтах может иметь положительный эффект, который заключается в снижении энергетических затрат на отопление. Интерес к изучению УНІ вызван возможным экономическим эффектом от снижения энергозатрат на отопление зимой и кондиционирование летом. В некоторых работах приведены оценки, свидетельствующие о возможном значительном (до 50 %) вкладе УНІ в температурные тренды "глобального потепления" [7—9].

Индикатором интенсивности УНІ является разность температур между центральной частью города и окружающей сельской местностью и в крупных городах может превышать 10 °C [10—12].

Например, в зимний период в Челябинске был зарегистрирован УНІ, интенсивность которого составила 15°C [13]. К основным причинам формирования УНІ относятся все факторы, влияющие на потоки приходящей солнечной и переизлучаемой поверхностью длинноволновой радиации (метеопараметры, сезон и время суток, плотность городских застроек, тип дорожных покрытий, степень озеленения, загрязнение атмосферы и др.), а также антропогенные источники тепла (отопление, промышленность, транспорт) [6, 8, 11, 12].

Основная масса исследований в области городской климатологии посвящена образованию "городских островов тепла" в крупных мегаполисах средних и низких широт [6, 8, 11, 12]. В России подавляющее число таких исследований посвящено Москве, Санкт-Петербургу [9, 14, 15] и другим крупным городам [13, 16]. Ряд результатов, полученных в этих исследованиях, подтверждает основные закономерности формирования УНІ для крупных городов, включая орографические особенности территории. В высоких широтах образование "городских островов тепла" зимой в полярную ночь имеет свои особенности, так как в данном случае солнце находится за горизонтом, приток солнечной радиации отсутствует и антропогенные источники тепла являются основными. Образование "городских островов тепла" зимой может быть важным фактором, влияющим на обеспечение и безопасность жизнедеятельности на Крайнем Севере.

К настоящему времени известны лишь несколько работ о формировании УНІ в зимний период за Полярным кругом [17–20]. Средние значения интенсивности УНІ в зимнее время, полученные по данным наземных измерений в небольших городах Барроу (численность населения ~6000 человек) и Фэрбанксе (~35 000 человек), составляют 2,2 °C и 1 °C соответственно [17, 18]. В результате анализа спутниковых данных о температуре в Апатитах (~57 000 человек) в январе 2014 г. был выявлен УНІ интенсивностью до 3,2 °C [20]. В результате анализа долговременных изменений температуры в самом крупном по численности населения городе Кольского Заполярья — Мурманске (302 000 человек) выраженных признаков УНІ не обнаружено [19]. Сравнение температурных данных наземных и спутниковых измерений показало, что последние не всегда обеспечивают достаточную точность измерений, например при исследовании УНІ в Апатитах погрешность измерений его интенсивности составила 1,68 °C [20]. Полученные результаты свидетельствуют о систематическом завышении оценки интенсивности УНІ, полученной по спутниковым данным, по сравнению с наземными измерениями [6, 11, 20].

Например, для Апатитов величина этой погрешности достигала 1,1 °C [20], для Сеула — 5,6 °C [6]. Оценка интенсивности УНІ по разности температурных измерений в двух точках (между городом и пригородом) также может приводить к искаженным результатам, особенно в условиях сложного холмистого рельефа. Поэтому для получения более полной информации о пространственной структуре УНІ обычно на территории города устанавливается несколько датчиков (до 10 и более) [13, 15, 18, 20] или используются передвижные метеостанции [16].

В целях изучения особенностей городского микроклимата и выявления возможных причин, повлиявших на формирование обнаруженного "городского острова тепла", были проведены одновременные измерения высоты над уровнем моря h и температуры с помощью датчиков, установленных на автомобиле, в городах Кировске (~27 000 жителей) и Апатитах, а также в их окрестностях в феврале 2014 г. и декабре 2016 г. Следует отметить, что методика термического картирования применяется достаточно давно в дорожной климатологии и полностью себя оправдала, особенно в условиях сложного холмистого рельефа [21, 22].

Данные и методы измерений

Климат Кольского полуострова формируется под влиянием теплых воздушных масс из северных районов Атлантического океана и холодных из Арктики. Несмотря на высокие широты, климат полуострова намного мягче климата других заполярных районов России. В центральных районах Кольского полуострова климат становится более континентальным. Географическое расположение городов Кировска и Апатитов определяет их климатические особенности. Город Апатиты расположен за Полярным кругом в центре Кольского полуострова между озером Имандра и горным массивом Хибин. Характерными особенностями климата являются относительно теплая зима и прохладное лето. Средняя температура января-февраля в Апатитах примерно от –13 до –15 °C.

Город Кировск находится в 20 км к северо-востоку от города Апатиты на берегу озера Большой Вудъявр. С трех сторон он окружен горами Хибинами, самыми высокими горами России за полярным кругом. Средняя температура января-февраля в Кировске колеблется от –8° до –14 °C. Вблизи Хибинских гор в понижениях рельефа часто, особенно зимой, при слабом ветре возникают застои холодного воздуха и наблюдается явление температурной инверсии. Полярная ночь в Кировске и Апатитах длится с 15 по 28 декабря.

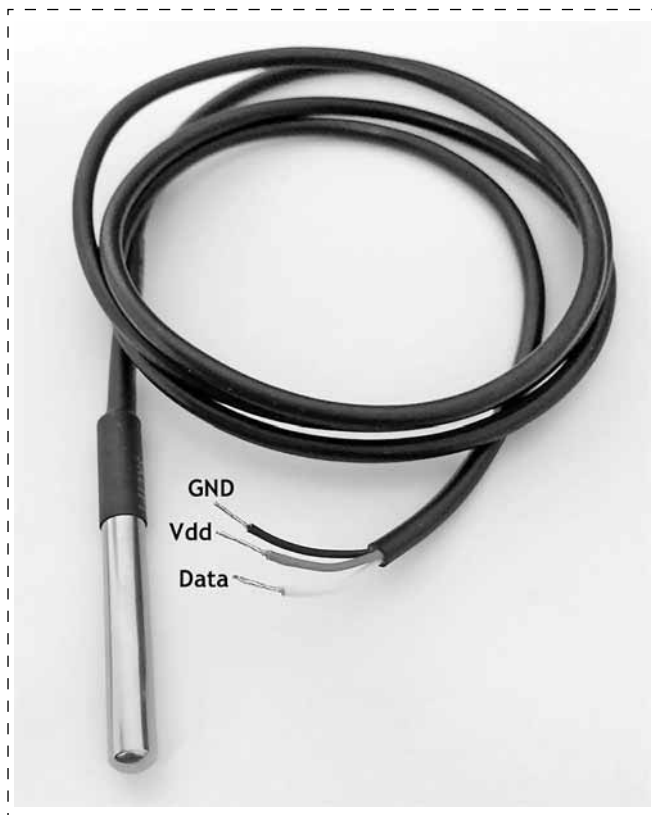


Рис. 1. Датчик температуры DS18B20

Во время проведения эксперимента для измерений температуры использовался термодатчик DS18B20 (рис. 1), установленный на крыше автомобиля на высоте ~1,5 м. Термодатчик DS18B20 позволяет определять температуру окружающей среды в диапазоне от -55 до $+125$ °C с точностью $0,5$ °C и получать данные в виде цифрового сигнала с разрешающей способностью $0,0625$ °C при 12-битном разрешении. Время получения данных составляет 750 мс. Одновременно с измерениями температуры происходило позиционирование на местности при помощи системы GPS, что позволяло сопоставлять показания датчика температуры с высотой и координатами местности. Применение данной методики измерений позволяет более детально исследовать роль локальных топографических особенностей в возможном образовании УНІ, что невозможно с достаточной точностью обеспечить при проведении стационарных и спутниковых измерений.

Результаты и обсуждение

Известно, что в высоких широтах УНІ имеет максимальную интенсивность зимой в условиях ясной и безветренной погоды [17, 18]. Поэтому представлены результаты, относящиеся

к зимнему сезону: 11 февраля 2014 г., 12 февраля 2014 г. и 6 декабря 2016 г. По данным метеонаблюдений температура в период измерений 11 и 12 февраля 2014 г. не превышала -2 °C, скорость ветра — 4 м/с 11 февраля и 6 м/с 12 февраля соответственно. На рис. 2 приведены данные аэрологического зондирования, проводившегося в г. Кандалакша ($67,2^{\circ}\text{N}$, $32,4^{\circ}\text{E}$) (<http://weather.uwyo>).

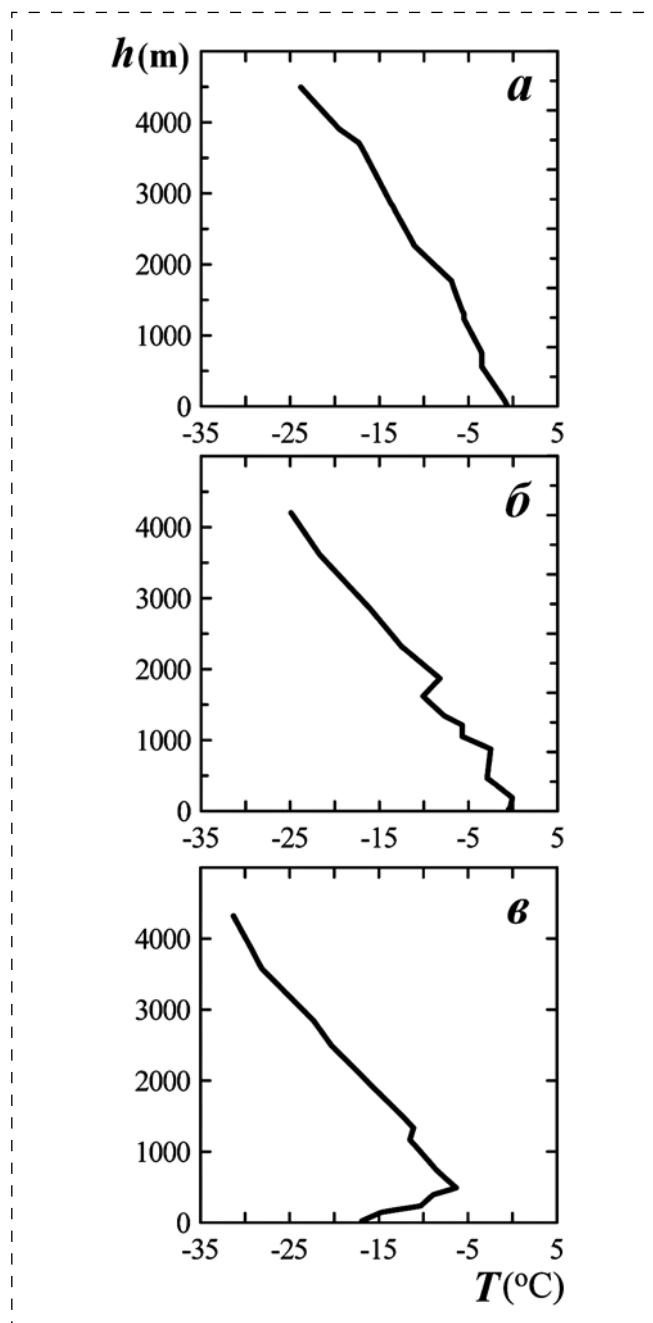


Рис. 2. Вертикальные распределения температуры T с высотой h по данным аэрологического зондирования г. Кандалакша ($67,2^{\circ}\text{N}$, $32,4^{\circ}\text{E}$): а — 11 февраля 2014 г., б — 12 февраля 2014 г., в — 6 декабря 2016 г.

edu). В первый период (11–12 февраля 2014 г.) распределение температуры по высоте соответствовало фоновому (стандартному) распределению температуры с вертикальным градиентом (см. рис. 2, *а* и *б*), принимающим значения от $-0,65$ °C/100 м до $-0,98$ °C/100 м [23]. При измерении 6 декабря 2016 г. наблюдалась сильная положительная инверсия (см. рис. 2, *в*), интенсивность которой достигала $2,23$ °C/100 м.

Результаты одновременных измерений температуры T и высоты h приведены на рис. 3. Измерения 11 февраля 2014 г. проводились в Апатитах и пригороде. При движении от города в направлении пригорода (слева направо на графике, расстояние $r \sim 14$ км) характер изменения температуры с высотой, в целом, соответствует фоновым изменениям вертикального градиента температуры (см. рис. 2). Какого-либо заметного превышения температуры на территории города по сравнению с пригородом не наблюдалось. Более того, в пределах городской застройки в восточной части было зафиксировано даже некоторое понижение температуры по сравнению с пригородом, очевидно, соответствующее наблюдаемому перепаду

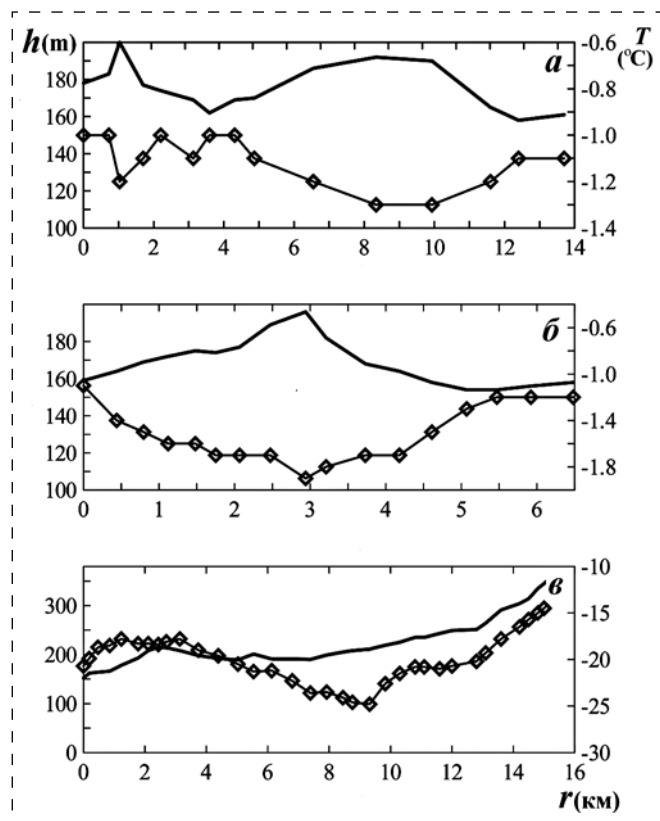


Рис. 3. Данные автомобильных измерений температуры T (кривая с ромбами) и высоты h (сплошная кривая): *а* — 11 февраля 2014 г., *б* — 12 февраля 2014 г., *в* — 6 декабря 2016 г.

высот (см. рис. 3, *а*). Хотя зависимость в данном случае нельзя назвать строго линейной, коэффициент корреляции ($r = -0,53$, $p = 0,05$) является значимым. Соответствующее регрессионное соотношение дает вертикальный градиент температуры ($-0,5$ °C/100 м), что близко к стандартному распределению температуры с высотой и соответствует фоновым значениям (рис. 4, *а*). Измерения 11 февраля 2014 г. проводились в условиях облачности и скорости ветра 6 м/с. Известно, что интенсивность УНІ максимальна при невысоких значениях скорости ветра (до 4 м/с), но по некоторым оценкам даже при скорости ветра 8 м/с

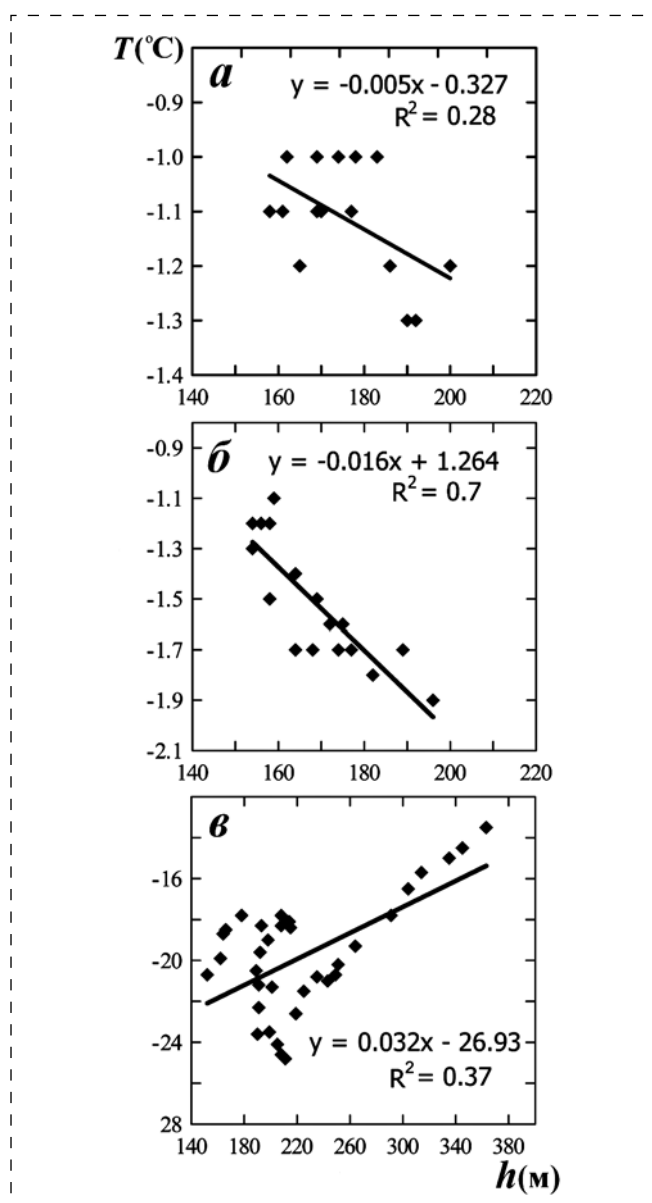


Рис. 4. Регрессионные зависимости температуры T от высоты h , вычисленные по данным автомобильных измерений: *а* — 11 февраля 2014 г., *б* — 12 февраля 2014 г., *в* — 6 декабря 2016 г.



может сохраняться устойчивый УНІ интенсивностью до 1°C [18].

Измерения 12 февраля 2014 г. проводились в пределах города Апатиты. На протяжении всего маршрута плотность городской застройки не менялась. Как видно из рис. 3, б, максимальная амплитуда колебаний температуры в пределах города не превышала $0,7...0,8^{\circ}\text{C}$ при перепаде высот до 40 м. При коэффициенте корреляции ($r = -0,87$, $p = 0,001$) и построенной регрессионной зависимости значение вертикального градиента температуры $-1,6^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$ близко к фоновым значениям [23] (рис. 4, б).

Измерения 6 декабря 2016 г. проводились в Кировске и окрестностях в условиях, близких к полярной ночи, при сильной температурной инверсии (см. рис. 2, в). Об этом свидетельствуют также данные аэрологического зондирования в г. Мурманске ($68,9^{\circ}\text{N}$, $33,1^{\circ}\text{E}$) и в обсерватории Соданкюла — Финляндия ($67,2^{\circ}\text{N}$, $26,4^{\circ}\text{E}$) (здесь не приведены). О наличии сильной инверсии свидетельствуют также данные метеостанций в Кировске и Апатитах. В этот день температура в Апатитах опустилась до -20°C (до -10°C в Кировске) при перепаде высот между двумя станциями $\sim 200\text{ м}$ (см. рис. 3, в). Скорость ветра в период измерений не превышала 1 м/с . В данном случае зависимость температуры от высоты является абсолютно противоположной: температура увеличивается с высотой ($r = -0,61$, $p = 0,001$), значение вертикального градиента при этом $3,2^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$ (рис. 4, в). Максимальная температура в пределах Кировска достигала значения $-13,5^{\circ}\text{C}$ на высоте 363 м и на $11,3^{\circ}\text{C}$ превышала минимальное значение температуры в пригородной зоне ($-24,8^{\circ}\text{C}$) и на $6,5^{\circ}\text{C}$ температуру в Апатитах (-20°C) (см. рис. 3, в). Величина вертикального градиента температуры в Кировске и окрестностях, рассчитанная для 6 декабря 2016 г., превышает фоновое значение ($2,2^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$). Данное несоответствие предположительно связано с микроклиматическими особенностями, возникающими в условиях сложного холмистого рельефа. Для холмистых и горных рельефов наблюдается характерное изменение температуры с высотой, связанное с явлениями стока охлажденных воздушных масс со склонов холмов, что приводит к застою холодного воздуха в вогнутых формах рельефа и образованию так называемых озер холода (cold pool) [21, 23–25]. На смену стекающему холодному воздуху из вышележащих слоев атмосферы поступает более теплый воздух. Следствием такого перераспределения температуры в условиях холмистого рельефа является образование локальной инверсии с градиентом в среднем до $3...4^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$, а в отдельных случаях до $8...12^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$ [23, 24],

что не противоречит полученным результатам. Ряд результатов эксперимента свидетельствует о том, что распределение температуры в пределах "озер холода" является резко неоднородным: разница температур между центром и периферией может достигать $1...5^{\circ}\text{C}$ [25]. Моделирование пространственного распределения температур в условиях холмистого рельефа является достаточно сложным процессом, поэтому часто используют эмпирические соотношения, полученные на основе анализа многочисленных измерений [21], что обуславливает ценность проведения таких экспериментов.

Заключение

На примере полярных городов Апатиты и Кировска были изучены особенности местного микроклимата и возможная генерация значений УНІ. Измерения температуры в зимний период проводились на автомобиле. Обнаружено, что условия атмосферного пограничного слоя в сочетании с локальными орографическими эффектами являются основными факторами, вызывающими колебания температуры как в городских, так и в пригородных районах. При этом значительного вклада урбанистического фактора в образование УНІ зимой в полярных городах не обнаружено. В период измерений самая низкая температура была зафиксирована 6 декабря 2016 года вблизи Кировска в области понижения рельефа. Такие локальные температурные инверсии, связанные с орографическими особенностями местности, могут наблюдаться в долинах в результате стока холодного воздуха. Полученные результаты указывают на необходимость проведения дополнительных измерений для более полного исследования влияния локальных орографических особенностей на температурные колебания в полярных городах и вокруг них.

Список литературы

1. Satterthwaite D., McGranahan G., Tacoli C. Urbanization and its implications for food and farming // *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*. — 2010. — Vol. 365. — P. 2809–2820.
2. McCarthy M. P., Best M. J., Betts R. A. Climate change in cities due to global warming and urban effects // *Geophysical Research Letters*. — 2010. — Vol. 37, L09705. doi: 10.1029/2010GRL042845.
3. Федеральная служба государственной статистики: <http://www.gks.ru> (дата обращения 10.05.2017).
4. Changnon S. A., Kunkel K. E., Reinke B. C. Impacts and responses to the 1995 heat wave: A call to action // *Bulletin of the American Meteorological Society*. — 1996. — Vol. 77. — P. 1497–1505.
5. Oke T. R. *Boundary Layer Climates*. Routledge, 2002.

6. **Rizwan A. M., Leung D. Y. C., Liu C.** A review on the generation, determination and mitigation of urban heat island // *Journal of Environmental Sciences*. — 2008. Vol. 20. — P. 120–128.
7. **Jones P. D., Lister D. H., Li Q.** Urbanization effects in large-scale temperature records, with an emphasis to China // *Journal of Geophysical Research*. — 2008. — Vol. 113, D16122. doi: 10.1029/2008JD009916.
8. **McCarthy M. P., Best M. J., Betts R. A.** Climate change in cities due to global warming and urban effects // *Geophysical Research Letters*. — 2010. — Vol. 37, L09705. doi: 10.1029/2010GL042845.
9. **Прогноз** тепловой реакции городской среды Санкт-Петербурга и Киева на изменение климата (по материалам съемок спутниками EOS и Landsat) / В. И. Горный, В. И. Лялько, С. Г. Крицук и др. // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. — 2016. — Т. 13. — С. 176–191.
10. **Klysik K., Fortuniak K.** Temporal and spatial characteristics of the urban heat island of Lodz, Poland // *Atmospheric Environment*. — 1999. — Vol. 33. — P. 3885–3895.
11. **Kim Y. H., Baik J. J.** Maximum urban heat island intensity in Seoul // *Journal of Applied Meteorology*. — 2002. — Vol. 41. — P. 651–659.
12. **Surface** urban heat island across 419 global big cities / S. Peng, S. Piao, P. Ciais et al. // *Environmental Science & Technology*. — 2011. — Vol. 46. — P. 696–703.
13. **Кораблева Е. Г., Ленская О. Ю.** Исследования острова тепла города Челябинска в зимний период // *Вестник Челябинского государственного университета*. — 2010. — № 8. Экология. Природопользование. Вып. 4. — С. 15–23.
14. **Рубинштейн К. Г., Гинзбург А. С.** Оценка изменения температуры воздуха и количества осадков в крупных городах (на примере Москвы и Нью-Йорка) // *Метеорология и гидрология*. — 2003. — № 2. — С. 29–38.
15. **Investigation** of temporal-spatial parameters of an urban heat island on the basis of passive microwave remote sensing / M. N. Khaikine, I. N. Kuznetsova, E. N. Kadyrov, E. A. Miller // *Theoretical and Applied Climatology*. — 2006. — Vol. 84. — P. 161–169.
16. **Экологическая оценка** микроклимата и загрязнения воздушного бассейна индустриально-развитых городов Германии и России / С. А. Куролап, Л. Катцшнер, А. Катцшнер и др. // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Экология*. — 2011. — № 2. — С. 7–16.
17. **Magee N., Curtis J., Wendler G.** The urban heat island effect at Fairbanks, Alaska // *Theoretical and Applied Climatology*. — 1999. — Vol. 64. P. 39–47.
18. **The urban heat** island in winter at Barrow, Alaska / K. M. Hinkel, F. E. Nelson, A. E. Klene, J. H. Bell // *International Journal of Climatology*. — 2003. — Vol. 23. — P. 1889–1905.
19. **Демин В. И., Анциферова А. Р., Мокротоварова О. И.** Изменения температуры воздуха в Мурманске с начала XIX века // *Вестник Кольского научного центра РАН*. — 2015. — № 1. — С. 113–125.
20. **Константинов П. И., Грищенко М. Ю., Варенцов М. И.** Картографирование островов тепла городов Заполярья по совмещенным данным полевых измерений и космических снимков на примере г. Апатиты (Мурманская область) // *Исследование Земли из космоса*. — 2015. — № 3. — С. 27–33.
21. **Chapman L., Thornes J. E., Bradley A. V.** Modelling of road surface temperature from a geographical parameter database. Part I: Statistical // *Meteorological Applications*. — 2001. — Vol. 8. — P. 409–419.
22. **Gustavsson T., Borgen J., Green C.** Road climate in cities: A study of the Stockholm area, South-East Sweden // *Meteorological Applications*. — 2001. — Vol. 8. — P. 409–419.
23. **A simple** height-based correction for temperature downscaling in complex terrain / P. Sheridan, S. Smith, A. Brown, S. Vosper // *Meteorological Applications*. — 2010. — Vol. 17. — P. 329–339.
24. **Романова Е. Н., Мосолова Г. И., Береснева И. А.** Микроклиматология и ее значение для сельского хозяйства. — Л.: Гидрометеиздат, 246 с.
25. **Clements C. B., Whiteman C. D., Horel J. D.** Cold-air-pool structure and evolution in a mountain basin: Peter Sinks, Utah // *Journal of Applied Meteorology*. — 2003. — Vol. 42. — P. 752–768.

E. A. Kasatkina¹, Senior Researcher, **O. I. Shumilov**¹, Chief Researcher, e-mail: oleg@aprec.ru, **A. V. Chramov**², Professor, **A. G. Kanatjev**¹, Junior Researcher

¹ Polar Geophysical Institute, Kola Science Center RAS, Apatity

² Baltic State Technical University, Saint-Petersburg

Factors of Urban Heat Islands Formation above the Arctic Circle

Generation of Urban Heat Island (UHI) is considered as one of the major problems in the XXI century. Before, to the UHI problem in the Arctic it had not been paid enough attention. To date, there are many studies that discuss the generation of heat islands in big cities located in the middle and low latitudes, and almost nothing is known about the UHI occurrence behind the Polar circle. However, the heat islands in the polar cities and the factors of their formation are fundamentally different from those in the lower latitudes. Above the Arctic Circle during the polar night, the Sun is almost all the time behind the horizon, and the estimated contribution of solar radiation to the formation of UHI is negligible. In addition, the formation of urban heat islands in winter can be an important factor affecting the sustainability and safety of life in the North. For this purpose, the features of the urban microclimate in the two polar cities Kirovsk (67.6 N, 33.7 E) and Apatity (67.6 N, 33.4 E), located in the northwest Russia, were investigated. The experiment was conducted in April 2014 and in December 2016 inside and in the vicinity of these cities. For the analysis, temperature records obtained using a temperature sensor

mounted on the roof of the car (~1.5 m) were used. In addition to the digital thermometer, the car was also equipped with a global positioning system GPS, which automatically allowed each temperature measurement to be connected to the appropriate height and coordinates. Our results show that the temperature variations within and outside these cities depend on local orographic effects and the physical condition of the atmospheric boundary layer, largely overlapping possible urban effects.

Keywords: urban heat islands, urban microclimate, topo-climate, road climatology

References

1. Satterthwaite D., McGranahan G., Tacoli C. Urbanization and its implications for food and farming. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*. 2010. Vol. 365. P. 2809–2820.
2. McCarthy M. P., Best M. J., Betts R. A. Climate change in cities due to global warming and urban effects. *Geophysical Research Letters*. 2010. Vol. 37, L09705. doi: 10.1029/2010GRL042845.
3. Federal'naja sluzhba gosudarstvennoj statistiki: <http://www.gks.ru> (date of access 10.05.2017).
4. Changnon S. A., Kunkel K. E., Reinke B. C. Impacts and responses to the 1995 heat wave: A call to action. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 1996. Vol. 77. P. 1497–1505.
5. Oke T. R. *Boundary Layer Climates*. Routledge, 2002.
6. Rizwan A. M., Leung D. Y. C., Liu C. A review on the generation, determination and mitigation of urban heat island. *Journal of Environmental Sciences*. 2008. Vol. 20. P. 120–128.
7. Jones P. D., Lister D. H., Li Q. Urbanization effects in large-scale temperature records, with an emphasis to China. *Journal of Geophysical Research*. 2008. Vol. 113, D16122. doi: 10.1029/2008JD009916.
8. McCarthy M. P., Best M. J., Betts R. A. Climate change in cities due to global warming and urban effects. *Geophysical Research Letters*. 2010. Vol. 37, L09705. doi: 10.1029/2010GL042845.
9. Prognoz teplovoj reakcii gorodskoj sredy Sankt-Peterburga i Kiev na izmenenije klimata (po materialam s'emok sputnikami EOS i Landsat) / V. I. Gornyy, V. I. Ljaljko, S. G. Kricuk et al. *Sovremennye problemy distacionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2016. Vol. 13. P. 176–191.
10. Klysik K., Fortuniak K. Temporal and spatial characteristics of the urban heat island of Lodz, Poland. *Atmospheric Environment*. 1999. Vol. 33. P. 3885–3895.
11. Kim Y. H., Baik J. J. Maximum urban heat island intensity in Seoul // *Journal of Applied Meteorology*. 2002. Vol. 41. P. 651–659.
12. Surface urban heat island across 419 global big cities / S. Peng, S. Piao, P. Ciais et al. *Environmental Science & Technology*. 2011. Vol. 46. P. 696–703.
13. Korableva E. G., Lenskaja O. Ju. Issledovanie ostrova tepla goroda Cheljabinska v zimnij period. *Vestnik Cheljabinskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2010. No. 8. Jecologija. Prirodopoljzovanie. Is. 4. P. 15–23.
14. Rubinshtejn K. G., Ginzburg A. S. Ocenka izmenenija temperatury vozduha i kolichestva osadkov v krupnyh gorodah (na primere Moskvy i Nju-Jorka). *Meteorologija i gidrologija*. 2003. No. 2. P. 29–38.
15. Investigation of temporal-spatial parameters of an urban heat island on the basis of passive microwave remote sensing / M. N. Khaikine, I. N. Kuznetsova, E. N. Kadygrov, E. A. Miller. *Theoretical and Applied Climatology*. 2006. Vol. 84. P. 161–169.
16. Jecologicheskaja ocenka mikroklimata i zagraznenija vozdušnogo bassejna industrial'no-razvityh gorodov Germanii i Rossii / S. A. Kurolap, L. Katcsner, A. Katcsner. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Geografija. Jecologija*. 2011. No. 2. P. 7–16.
17. Magee N., Curtis J., Wendler G. The urban heat island effect at Fairbanks, Alaska. *Theoretical and Applied Climatology*. 1999. Vol. 64. P. 39–47.
18. The urban heat island in winter at Barrow, Alaska / K. M. Hinkel, F. E. Nelson, A. E. Klene, J. H. Bell. *International Journal of Climatology*. 2003. Vol. 23. P. 1889–1905.
19. Demin V. I., Anciferova A. R., Mokrotovarova O. I. Izmenenija temperatury vozduha v Murmanske s nachala XIX veka. *Vestnik Kol'skogo nauchnogo centra RAN*. 2015. No. 1. P. 113–125.
20. Konstantinov P. I., Grishchenko M. Ju., Varencov M. I. Kartografirovaniye osrovoev tepla gorodov Zapoljar'a po sovmeshchennym dannym polevyh izmerenij i kosmicheskikh snimkov na primere g. Apatity (Murmanskaja oblast'). *Issledovanie Zemli iz kosmosa*. 2015. No. 3. P. 27–33.
21. Chapman L., Thornes J. E., Bradley A. V. Modelling of road surface temperature from a geographical parameter database. Part I: Statistical. *Meteorological Applications*. 2001. Vol. 8. P. 409–419.
22. Gustavsson T., Borgen J., Green C. Road climate in cities: A study of the Stockholm area, South-East Sweden. *Meteorological Applications*. 2001. Vol. 8. P. 409–419.
23. A simple height-based correction for temperature downscaling in complex terrain / P. Sheridan, S. Smith, A. Brown, S. Vosper. *Meteorological Applications*. 2010. Vol. 17. P. 329–339.
24. Romanova E. N., Mosolova G. I., Berseneva I. A. Mikroklimatologija i eje znachenie dlja sel'skogo hozjajstva. Leningrad: Girometeoizdat, 1983. 246 p.
25. Clements C. B., Whiteman C. D., Horel J. D. Cold-air-pool structure and evolution in a mountain basin: Peter Sinks, Utah. *Journal of Applied Meteorology*. 2003. Vol. 42. P. 752–768.

Т. Т. Каверзнева, канд. техн. наук, доц., e-mail: kaverztt@mail.ru,

В. Н. Носов, канд. физ.-мат. наук, доц., Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Экспериментально-теоретическое моделирование упругих свойств тканевых материалов спасательных тентов

Обоснована оценка упругих свойств тканевых материалов спасательных тентов через статический прогиб, который предлагается определять экспериментальным путем. Рассмотрено моделирование упругих свойств тканевых материалов на примере прогнозирования благополучного приземления человека при падении на спасательный тент. Показано, что условия, при которых возможно благополучное приземление, связаны с упругими свойствами материала тента. Показано, что чем меньше статический прогиб и жестче тент, тем с большей высоты может падать человек с точки зрения обеспечения упругих свойств материала тента. Определены условия благополучного приземления человека на удерживаемый спасателями натянутый тент, зависящие от высоты падения и статического прогиба тента, обеспечивающие отсутствие больших перегрузок и отсутствие касания поверхности земли тента, деформированного под действием веса человека. Сделан вывод, что предложенная модель позволяет прогнозировать в условиях реального времени результат приземления на спасательный тент.

Ключевые слова: упругие свойства тканевого материала, спасательные тенты, статический прогиб, высота падения, безопасность, условия благополучного приземления

Введение

Широкое использование тканевых материалов различного назначения в промышленности, в строительстве и в быту требует методик прогнозирования сроков их службы. Особенно актуально прогнозирование механических свойств тканевых материалов в результате естественного износа или многократного деформирования, когда использование тканевых материалов связано с необходимостью обеспечения безопасной эксплуатации объектов. Моделирование упругих свойств материалов под действием разнообразных факторов, в том числе и факторов внешней среды, является важной задачей, связанной с определением нормативных сроков службы, позволяющих безопасно эксплуатировать тканевые материалы. Одним из примеров необходимости прогнозирования упругих свойств тканевых материалов является задача определения границ использования спасательных тентов при падении на него человека с высоты.

При отсутствии специальных средств при пожарах в зданиях малой высотности известен способ спасения с помощью развернутого тента (мембраны) [1], который можно подготовить к приему падающего на него человека в сравнительно короткое время. Общие технические требования

к спасательным устройствам приведены в нормативных документах [2, 3]. Известны случаи, когда отрезанных огнем людей удавалось спасти с помощью брезента или одеяла, особенно при малом весе падающего и небольшой высоте падения. Оценка риска благополучного приземления при спасении людей методом "прыжка на тент" является актуальной задачей, связанной с прогнозированием упругих свойств материала тента.

Потребность спасения людей подобным методом может сложиться не только при пожарах. Анализ причин повышенного травматизма на строительных площадках показывает, что падение работника с высоты часто приводит к тяжелому или смертельному исходу [4]. Обрыв троса, "зацеп" и зависание человека на высоте при выполнении им трудовых обязанностей — возможные сценарии применения методов спасения людей в условиях дефицита времени. Обучить людей быстро развернуть тент и подготовить его для эвакуации человека с высоты нетрудно, учитывая, что члены рабочего коллектива обладают силой и здоровьем трудоспособного возраста.

Условия благополучного приземления падающего на тент человека определяются рядом факторов, как независимых, так и взаимосвязанных между собой. Рассмотрим более подробно упругие свойства самого тента [5, 6], когда скорость



падения человека в момент соприкосновения с материалом тента падает до нуля, причем испытываемые человеком перегрузки находятся в пределах его жизнеобеспечения.

Экспериментально-теоретический подход к определению упругих свойств тента

При подготовке тента к принятию на него падающего с высоты человека группа людей старается равномерно располагаться по периметру тента, создавая равномерное натяжение материала. Равномерно натянутый тент можно рассматривать в качестве мембраны, привычной для математического описания упругих свойств физических тел. Считая падающего человека материальной точкой, жесткость тента постоянной, пренебрегая весом тента, дифференциальное уравнение движения тела человека на мембране (тенте) запишется в виде:

$$m\ddot{x} = -cx, \quad (1)$$

где c — жесткость мембраны, Н/м; x — координата движения, м; m — масса тела человека, кг.

Уравнение (1) запишем в форме уравнения гармонических колебаний

$$\ddot{x} + k^2x = 0, \quad (2)$$

где k — частота колебаний; $k^2 = \frac{c}{m}$.

Чтобы определить жесткость тента, необходимо учесть ряд факторов. Например, на упругие свойства тента влияют условия хранения, износ материала, состояние погодных условий (влажности, температуры), количество людей, удерживающих тент, и другие факторы, вносящие неопределенность в решение задачи.

Предлагается определять жесткость мембраны экспериментально, измеряя статический прогиб мембраны под действием веса тела человека. Обозначим Δ — экспериментально определенный статический прогиб, м, тогда

$$c\Delta = mg \quad \text{или} \quad \Delta = \frac{mg}{c}. \quad (3)$$

Решение дифференциального уравнения (2) записывается в форме [7]

$$x(t) = C_1 \cos kt + C_2 \sin kt. \quad (4)$$

Начальные условия для определения постоянных интегрирования C_1 и C_2 : при времени $t = 0$: $x(0) = -\Delta$ и $\dot{x}(0) = v$. Тогда $C_1 = -\Delta$ и $C_2 = \frac{v}{k}$, где v — скорость падения человека на мембрану.

В таком случае $x(t) = -\Delta \cos kt + \frac{v}{k} \sin kt$.

Максимальный прогиб мембраны при падении тела на нее можно определить по формуле:

$$A = \Delta + \sqrt{\Delta^2 + \left(\frac{v}{k}\right)^2} = \Delta + \sqrt{\Delta^2 + \frac{v^2\Delta}{g}}. \quad (6)$$

Для определения значения прогиба тента A по формуле (6) необходимо знать скорость падения тела человека. Так как тело падает в воздушной среде, следует учесть влияние сопротивления воздуха на скорость падения. Силу сопротивления воздуха R определяем следующим образом:

$$R = C_x \frac{\rho v^2}{2} S, \quad (7)$$

где $\frac{\rho v^2}{2}$ — скоростной напор воздушного потока;

ρ — плотность воздуха; S — площадь поперечного сечения падающего на мембрану тела; C_x — коэффициент сопротивления воздуха.

Дифференциальное уравнение падения человека можно представить в виде

$$m\ddot{x} = mg - \gamma \dot{x}^2, \quad (8)$$

где $\gamma = C_x \frac{\rho}{2} S$.

Коэффициент γ можно определить из известных экспериментальных данных предельной скорости падения человека $v_\infty = 50...60$ м/с (160...210 км/ч).

При средней массе человека 80 кг $\gamma = \frac{mg}{v_\infty^2} = 0,32$.

Умножая левую и правую части уравнения (8) на dx , получим дифференциальное уравнение с разделяющимися переменными $\frac{\dot{x}d\dot{x}}{g - \frac{\gamma}{m}\dot{x}^2} = dx$,

решая которое можно определить высоту падения человека $\ln\left(1 - \frac{\gamma}{mg}v^2\right) = \frac{2\gamma H}{m}$. Скорость падения человека на тент [5, 6]

$$v^2 = v_\infty^2 \left(1 - e^{-\frac{2\gamma H}{m}}\right). \quad (9)$$

Зная скорость падения человека на тент и максимальный прогиб тента, обеспечивающего отсутствие касания поверхности натянутого тента грунта земли, можно определить или требуемую жесткость тента (как функцию высоты падения тела), или допустимую высоту падения (как функцию выбранной жесткости тента). Приземление обычно благополучно при падениях

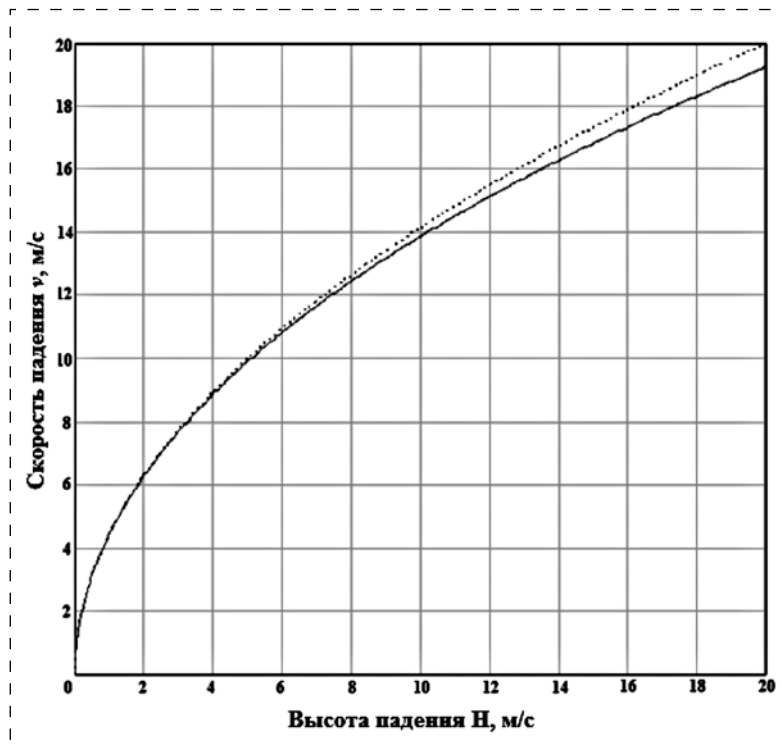


Рис 1. Зависимость скорости падения тела v от высоты падения H :
— — расчет по формуле (9); - - - — расчет по формуле (10)

с небольших высот, при которых можно применить следующую формулу скорости падения тела:

$$v = \sqrt{2gH}. \quad (10)$$

Из графика зависимости скорости падения тела от высоты падения (рис. 1) следует, что при высотах до 10 м разница в расчете скорости падения по формулам (9) и (10) составляет менее 1 %, при 20 м — менее 4 %, при 30 м — около 6 %. При столь небольшом расхождении целесообразно использование формулы (10).

Применение формулы (10) при определении максимального прогиба мембраны позволяет получить зависимость статического прогиба Δ от высоты падения тела H :

$$A = \Delta + \sqrt{\Delta^2 + 2H\Delta}. \quad (11)$$

Преобразовав формулу (11) и задаваясь значениями высоты установки тента над поверхностью земли $h = 2$ м, 1,5 м, 1,2 м и 1 м, найдем предельную высоту падения H , соответствующую экспериментально определенному статическому прогибу Δ (рис. 2):

$$H = \frac{h^2 - 2h\Delta}{2\Delta}. \quad (12)$$

На рис. 3 представлена зависимость высоты падения H от высоты установки тента h при различных Δ .

Условия благополучного приземления на тент

Чем меньше прогиб Δ и жестче тент, тем с большей высоты может падать человек с точки зрения обеспечения упругих свойств тента. Чтобы выжить при "приземлении" на тент, человек не должен удариться о поверхность земли и испытать большие перегрузки. Для безопасного "приземления" человека введем следующие условия: 1) отсутствие касания поверхности грунта при падении; 2) отсутствие больших перегрузок.

Кратковременно человек может выдержать большую перегрузку, чем долговременно. Например, перегрузка $n = 15g$ может быть перенесена при времени действия 2...3 с, а $30g$ — 1 с при направлении перегрузки от спины к груди или от ног к голове. Поэтому принято второе условие, учитывающее как амплитуду перегрузки, так

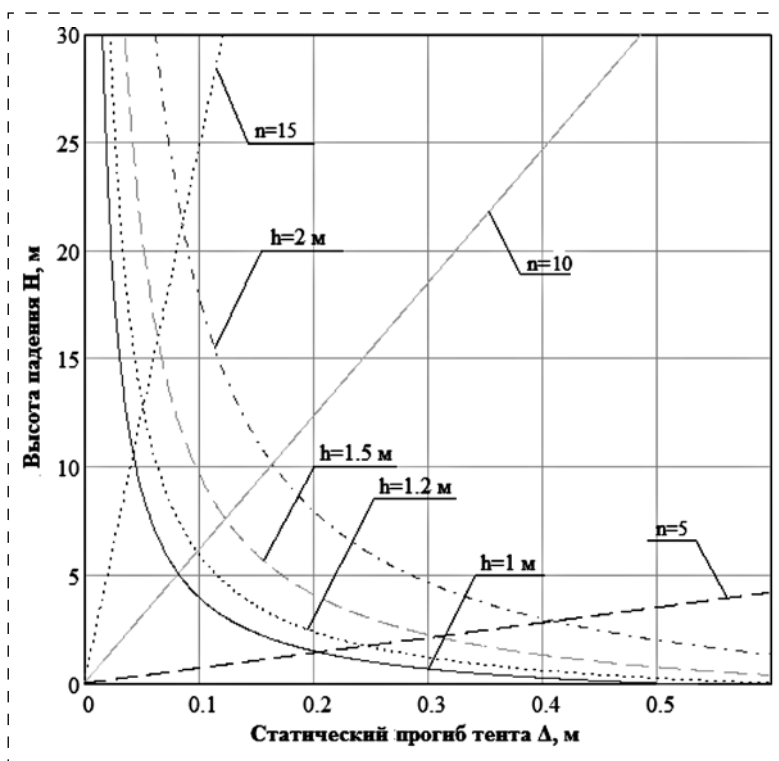


Рис. 2. Зависимость высоты падения H от статического прогиба тента Δ для разных перегрузок n и разной высоты h

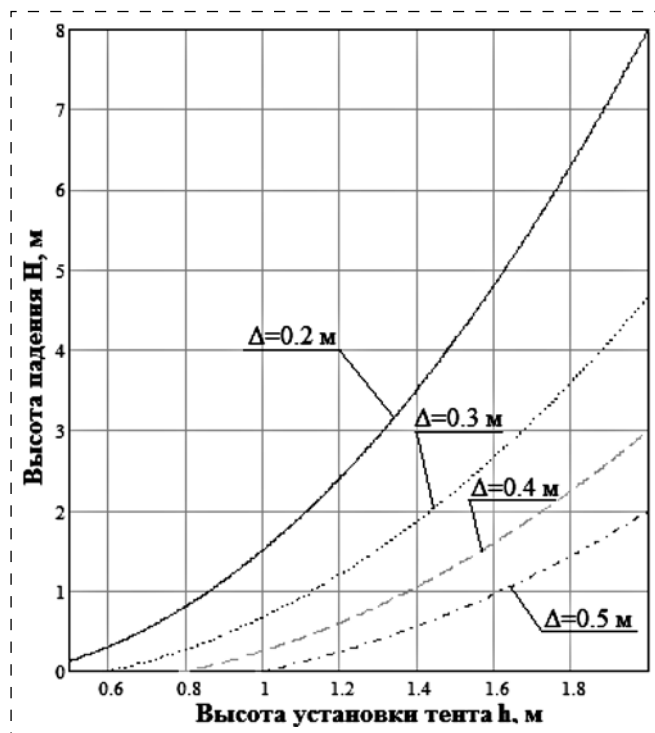


Рис. 3. Зависимость высоты падения H от высоты установки тента h при различных значениях статического прогиба Δ

и время действия этой перегрузки. При отсутствии больших перегрузок можно пользоваться формулой

$$\frac{8H}{\pi^2 n^2} \leq \Delta. \quad (13)$$

На рис. 2 представлены лучами зависимости H от Δ при перегрузке пятнадцатикратной, десятикратной и пятикратной. Значение перегрузки n зависит от точки падения на мембрану: чем ближе к центру, тем меньше перегрузка. Считая зависимость Δ линейной от расстояния до центра тента (форма тента принимается за круг), можно определить область, где перегрузка не превышает заданной. При высоте установки тента $h = 1,2$ м, статическом прогибе в центре $\Delta = 0,15$ м максимальная высота падения составляет примерно 6 м. Перегрузка $n = \sqrt{\frac{8H}{\pi^2 \Delta}}$

составляет 5,7g. Если человек падает на расстоянии половины радиуса от центра, то высота падения может составить 13 м, но при этом перегрузка будет 12g.

Выводы

В статье обоснована зависимость упругих свойств тканевых материалов спасательных

тентов от статического прогиба. Показано, что определение жесткости тента через экспериментально измеренный статический прогиб под действием веса человека позволяет учесть изменение упругих свойств тканевого материала тента от времени, условий хранения и ряда других факторов, плохо поддающихся расчету. Получены необходимые аналитические условия благополучного приземления человека на тент, зависящие от высоты падения и статического прогиба тента, обеспечивающие отсутствие больших перегрузок и отсутствие касания тентом поверхности земли под действием веса человека. Сделан вывод о том, что моделирование упругих свойств тканевых материалов спасательных тентов через экспериментально измеренный статический прогиб позволяет прогнозировать такой фактор риска, как падение с высоты.

Список литературы

1. Савченкова Л. А., Каверзнева Т. Т. Подбор материалов для обеспечения надежной эвакуации методом "прыжок на тент" // XLI Неделя науки СПбГПУ: Материалы Международной научно-практической конференции с международным участием. Ч. XII. — СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2012. — 86 с.
2. ГОСТ Р 53273—2009. Техника пожарная. Устройства спасательные прыжковые пожарные. Общие технические требования. Методы испытаний.
3. НПБ 303-2001. Устройства спасательные прыжковые пожарные. Общие технические требования. Методы испытаний.
4. Тархов Д. А., Каверзнева Т. Т., Идрисова Д. И. Анализ причин тяжелого и смертельного травматизма на строительной площадке // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). Mining Informational and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal). — 2015. — № 11, специальный выпуск 60-2. — С. 244—253.
5. Мазуренко К. С., Каверзнева Т. Т., Носов В. Н. Оценка прогиба спасательного тента // Неделя науки СПбГПУ: материалы научно-практической конференции с международным участием. Институт военно-технического образования и безопасности СПбГПУ. — СПб.: Изд-во Политехнического университета. 2014. — 118 с. (С. 33—36).
6. Мазуренко К. С., Каверзнева Т. Т., Носов В. Н. Экспериментальная оценка прогиба спасательного тента // Безопасность в чрезвычайных ситуациях: сборник научных трудов VI Всероссийской научно-практической конференции. — СПб.: Изд-во Политехнического университета. 2014. — 246 с. (С. 46—49).
7. Носов В. Н. Теоретическая механика: учебное пособие. — СПб.: Изд-во Политехн.ун-та, 2013. — 206 с.

T. T. Kaverzneva, Associate Professor, e-mail: kaverztt@mail.ru,
V. N. Nosov, Associate Professor, Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University

Experimental-Theoretical Modeling of Elastic Properties of Fabric Materials of Life-Saving Awnings

The estimation of the elastic properties of the fabric materials of rescue tents through the static deflection, which is proposed to be determined experimentally, is substantiated. The aim of the work is to simulate the elastic properties of fabric materials by the example of predicting the safe landing of a person when falling on a rescue tent. It is shown that the conditions under which a successful landing are possible are associated with the elastic properties of the tent material. It is proposed to determine the stiffness of the tent through the experimentally measured static deflection under the influence of the human weight, which allows one to take into account the change in the elastic properties of the tent over time, the storage conditions, and the influence of a number of other factors that are difficult to calculate. It is shown that the smaller the static deflection and the stiffer canopy, the higher the height a person can fall from the point of view of ensuring the elastic properties of the material of the awning. But in order to survive when landing on the awning, a person should also not break up when striking the surface of the earth with deformation of the awning, and those experienced during an impact of the overload must be within the life support. Conditions were obtained for a person to safely land on a stretched awning held by rescuers, depending on the height of the fall and the static deflection of the awning, ensuring the absence of large overloads and the absence of touching the surface of the earth with an awning deformed under the weight of a man. It is concluded that the proposed model allows predicting in real-time the result of landing on a rescue tent.

Keywords: elastic properties of fabric material, life-saving awnings, static deflection, fall height, safety, conditions for safe landing

References

1. **Savchenkova L. A., Kaverzneva T. T.** Podbor materialov dlya obespecheniya nadezhnoy evakuatsii metodom "pryzhok na tent". *KHLI Nedelya nauki SPbGPU: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem*. Chast' XII. Saint-Petersburg: Izdatel'stvo Politehnicheskogo universiteta, 2012. — 86 p.
2. **GOST R 53273—2009.** Tekhnika pozharnaya. Ustroystva spasatel'nyye pryzhkovyye pozharnyye. Obshchie tekhnicheskkiye trebovaniya. Metody ispytaniya.
3. **NPB 303-2001.** Ustroystvo spasatel'nyye pryzhkovyye. Obshchiye tekhnicheskkiye trebovaniya. Metody ispytaniya.
4. **Tarkhov D. A., Kaverzneva T. T., Idrisova D. I.** Analiz prichin tyazhelogo i smertelnogo travmatizma na stroitel'noy ploshchadke. *Gornyy informatsionno-analiticheskyy byulleten' (nauchno-tekhni-*
cheskiy zhurnal). 2015. No. 11 (spetsial'nyy vypusk 60-2). 648 p. P. 244—253.
5. **Mazurenko K. S., Kaverzneva T. T., Nosov V. N.** Otsenka progiba spasatel'nogo tenta. *Nedelya nauki SPbGPU: materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem*. Institut voyenno-tekhnicheskogo obrazovaniya i bezopasnosti SPbGPU. Saint-Petersburg: Izdatel'stvo Politehnicheskogo universiteta, 2014. 118 p. P. 33—36.
6. **Mazurenko K. S., Kaverzneva T. T., Nosov V. N.** Eksperimental'naya otsenka progiba spasatel'nogo tenta. *Bezopasnost' v chrezvychaynykh situatsiyakh: sbornik nauchnykh trudov VI Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Saint-Petersburg: Izdatel'stvo Politehnicheskogo universiteta, 2014. 246 p. P. 46—49.
7. **Nosov V. N.** Teoreticheskaya mekhanika: uchebnoye posobiye. Saint-Petersburg: Izdatel'stvo Politehnicheskogo universiteta, 2013. 206 p.

УДК 331.452

Т. В. Свиридова, канд. техн. наук, доц. кафедры,
О. Б. Боброва, ст. преподаватель кафедры, e-mail: obproshkina@mail.ru,
Е. Д. Саутина, студент, Магнитогорский государственный технический
университет им. Г. И. Носова

Совершенствование методов определения профессиональной пригодности персонала для удаленных трудовых зон

В статье приведены данные анализа современного состояния вопроса профессионального отбора персонала для удаленных трудовых зон. Рассмотрены три основные составляющие отбора вахтового персонала. Установлено, что медицинская, психологическая и профессиональная составляющие отбора взаимосвязаны по многим элементам и позволяют отобрать работника, соответствующего условиям вахтового труда. Выявлено, что эффективность адаптации персонала определяется качеством проведенного профессионального психологического отбора, рационального распределения по специальностям, рационализацией режимов труда и отдыха, применением средств и методов психокоррекции, обучением навыкам саморегуляции. Разработана диаграмма причинно-следственных связей (диаграмма Исикавы), показывающая совокупность проблем системы отбора контингента сотрудников для выполнения сложных работ в удаленных трудовых зонах. Проведен опрос персонала предприятий, использующих вахтовый метод труда в экстремальных условиях. По результатам опроса установлены наиболее значимые проблемы в каждом из исследуемых факторов. Выявлена необходимость их учета при разработке эффективной системы отбора контингента сотрудников для выполнения сложных работ в удаленных трудовых зонах.

Ключевые слова: вахтовый персонал, диаграмма Исикавы, сложные работы в удаленных трудовых зонах, рационализация режимов труда и отдыха

Главное преимущество организации труда в удаленных трудовых зонах состоит в том, что она позволяет использовать межрегиональные и внутрирегиональные трудовые ресурсы, обеспечивает быстрое привлечение в новые районы рабочей силы в необходимых объемах, открывает возможность привлечения специалистов из регионов страны, имеющих развитый рынок труда. Метод экономически выгоден за счет снижения удельных и абсолютных затрат. Кроме того, появляется возможность решить болезненную для северных регионов проблему возникновения "мертвых городов" при исчерпании природных ресурсов, сэкономить на расходах по созданию социальной и вспомогательной инфраструктуры, использовать уже созданный технический и социально-экономический потенциал ранее освоенных (базовых) регионов [1].

Вахтовый метод применяется при значительном удалении места работы от места постоянного проживания работников или места нахождения работодателя в целях сокращения сроков строительства, ремонта или реконструкции объектов производственного, социального и иного

назначения в необжитых, отдаленных районах или районах с особыми природными условиями, а также в целях осуществления иной производственной деятельности [2].

В настоящее время основными проблемами использования вахтового метода организации труда являются: вынужденный социальный и психофизиологический дискомфорт, интенсивный труд работников во время вахты, нарушенный биоритмологический стереотип жизнедеятельности, измененный привычный социальный уклад жизни.

Перемещения работников через несколько часовых поясов, сменность социально-производственных и климатических условий в цикле "вахта-отдых" не позволяют установиться сколько-нибудь стабильным взаимоотношениям человека с внешней средой. Работа в таком режиме сопровождается хроническим напряжением регуляторно-адаптационных систем организма и, как следствие, повышенной заболеваемостью [3].

Разработка механизмов и инновационных технологий управления персоналом для предприятий, использующих вахтовые формы

организации труда, требует учета многих природно-климатических, социально-экономических, медико-биологических и иных факторов.

Известно, что адаптация к новому месту и режиму труда в зависимости от возраста протекает в пределах 10...20 суток, а к климатогеографическим условиям она составляет 20...40 дней. Из этого следует, что используемые варианты вахтовых режимов труда нередко противоречат физиологическому протеканию приспособительных реакций, не обеспечивают достижения фонового уровня физиологических систем организма и приводят к сокращению фазы устойчивой работоспособности [4].

Специфика производственной деятельности такова, что человек, помимо психофизиологических перегрузок, переживает постоянное ощущение ответственности, необходимости быть готовым действовать в сложных, аварийных ситуациях, что также способствует истощению психологических ресурсов организма.

Такие факторы, как климатический контраст, смена часовых поясов, изменение геомагнитного поля, отрыв от семьи, практически не оказывают воздействия на организм при ближних вахтах. Основные изменения связаны с тяжестью и напряженностью труда. При дальних вахтах перечисленные факторы проявляют свое влияние по описанным выше механизмам. Их влияние усиливается утомлением, вызванным тяжестью и напряженностью труда. В дополнение к перечисленным проявлениям можно добавить отмеченную в медико-биологических исследованиях повышенную реактивную тревожность.

Процедура профессионального отбора вахтового персонала складывается из трех основных составляющих: 1) медицинского (медико-физиологического) отбора; 2) компетентностного отбора; 3) психологического отбора.

Медико-физиологический отбор выявляет состояние профессионального здоровья кандидата и уровень его физического развития, необходимый для профессиональной деятельности в экстремальных условиях при таких дополнительных нагрузках, какими в рассматриваемом случае являются длительные авиаперелеты, десинхроноз, особенности питания, климатогеографические условия, специфика профессиональной деятельности и др.

Компетентностный отбор позволяет установить степень соответствия профессиональной квалификации, т. е. уровня необходимых компетенций, а также опыта работы в конкретной трудовой сфере, требованиям данного рабочего места.

Психологический отбор представляет собой комплекс технологий, позволяющих выявить лиц, наиболее пригодных по своим психологическим особенностям и способностям к профессиональной

деятельности (в данном случае к профессиональной деятельности вахтовым методом) [5, 6].

Все три вида отбора взаимосвязаны, по многим элементам пересекаются, а в совокупности позволяют отобрать работника, наиболее адекватно соответствующего по своим деловым, личностным и медико-биологическим качествам условиям вахтового труда в экстремальных условиях.

После такого отбора начинается процесс профессиональной адаптации вахтовых рабочих, так как сохранение функционального состояния на уровне нормы требует подчас несоизмеримых с результатом затрат.

До сих пор изучались либо медико-физиологические процессы адаптации, либо личностно-психологические, при этом управление этими процессами также решалось либо в физиологическом, либо в личностно-психологическом аспекте.

Вахтовый работник, попадая в непривычные условия жизнедеятельности, демонстрирует ряд психологических феноменов, выходящих за рамки представления о привычной норме, а потому требующих объяснения. При этом представления о способности адаптироваться в обычной обстановке к определенной профессии в экстремальных условиях Крайнего Севера приобретают другой смысл, в то время как представители совершенно разных профессий, работая вахтовым методом, приобретают ряд сходных адаптивных качеств, которые обеспечивают для них успешность профессиональной деятельности. Сходство этих качеств обусловлено общими условиями труда, степень влияния которых на профессионала оказывается сильнее, чем необходимость выполнять определенные функциональные обязанности [7].

Профессиональная адаптация является компонентом общего процесса адаптации, который включает психофизиологическую, социально-психологическую, организационную и профессиональную составляющие и является процессом уравнивания системы "человек — профессиональная среда". Она проявляется в эффективности труда, в удовлетворенности человека процессом деятельности, результатами труда, взаимоотношениями в коллективе и собой как профессионалом.

Профессиональную адаптацию можно рассматривать как процесс профессионального становления, развития, но при этом выделять в качестве ее этапов первичную адаптацию, период стабилизации, возможную дизадаптацию, вторичную адаптацию и возрастное снижение адаптационных возможностей.

Оптимальна модель развития субъекта профессиональной деятельности, связанная с жизнедеятельностью в целом. Основу этой модели составляют два способа существования онтологического субъекта — творческого и адаптивного,



в зависимости от выбора субъектом способа существования. В этой модели важны активность человека, принятие им решения творческого преобразования ситуации, а не просто пассивного приспособления, что приводит в итоге к более успешному существованию в профессии. Психологический анализ этих двух способов существования опирается в первую очередь на ценности и мотивацию субъекта, а также на когнитивно-регуляторные процессы. Таким образом, эти способы выступают в качестве основных регуляторов, определяющих ход профессиональной адаптации.

Показателем успешного профессионального развития является способность человека выйти за пределы повседневного функционирования, умение не фиксироваться на профессиональных шаблонах и стереотипах, а качественно преобразовывать свой внутренний мир. Главным условием такой позиции становится профессиональная рефлексия. Это и есть субъектная позиция профессионала. Неспособность человека выйти на этот уровень приводит к различным вариантам профессиональной деформации, требующим применения психологической защиты. Преобразовательная активность сближает социальный, психологический и биологический аспекты адаптации, причем сложность тех или иных жизненных ситуаций выступает в качестве развивающего потенциала, стимулируя человека к преодолению трудностей.

Самой актуальной проблемой организации труда в удаленных трудовых зонах является довольно высокая степень профессиональных рисков. Существует многообразие подходов к данной проблеме. Условно их можно объединить в два направления: первое представляется как психология безопасности, рассматриваемая в качестве отрасли психологической науки, изучающей психологический аспект безопасности в разных видах деятельности; второе — выделилось как психологическое обеспечение задач, стоящих перед специалистами различных видов деятельности, приводящее к более безопасному выполнению этой деятельности.

Психологическое сопровождение вахтовых форм труда — это система мероприятий, направленных на сохранение и повышение эффективности деятельности трудовых коллективов путем психологической оптимизации входящих в их состав людских контингентов. Психологическое обеспечение профессиональной деятельности должно отвечать следующим принципам: профессиональности, обоснованности, индивидуального подхода, непрерывности и оптимальной длительности мероприятий.

Эффективность адаптации персонала определяется качеством проведенного профессионального психологического отбора, рационального

распределения по специальностям, рационализацией режимов труда и отдыха, применением средств и методов психокоррекции, обучением навыкам саморегуляции.

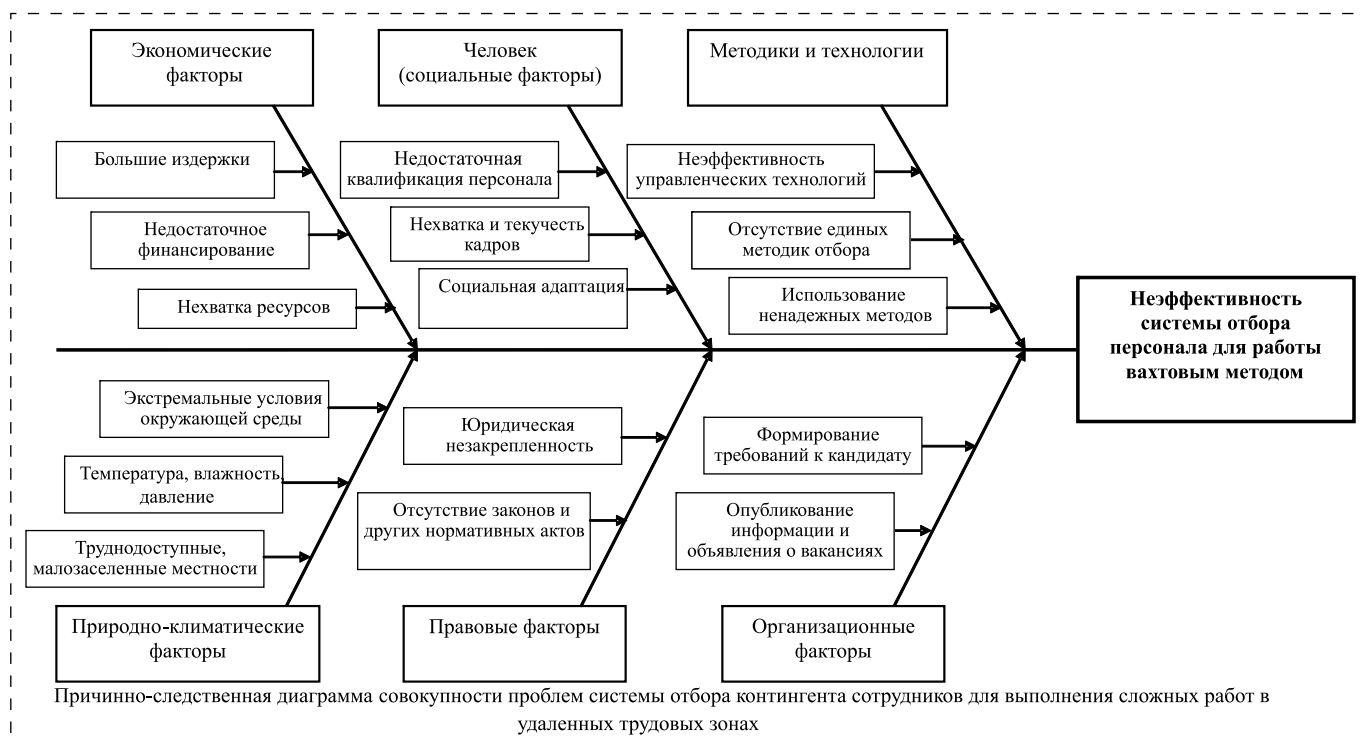
При вахтовой форме организации труда требуются профессионалы многих специальностей. Их профессиональная деятельность и функциональные состояния детерминированы различными факторами, которые необходимо контролировать при психологическом обеспечении вахтового труда. Жизнедеятельность работников связана с феноменом групповой изоляции, следовательно, необходимо минимизировать социально-психологические проблемы путем формирования микрогрупп, обеспечения возможности связи с семьей и друзьями в вахтовый период и проведения тренинговой работы в межвахтовом периоде.

Помочь работнику адаптироваться к профессиональной деятельности в удаленных трудовых зонах можно: применяя методы психологической разгрузки; способствуя комфортному жизнеобеспечению работников во время вахтового заезда; психологическим и материальным стимулированием труда персонала.

Психологическое обеспечение любой трудовой деятельности включает ряд обязательных этапов. Особое значение имеет этап диагностики психологических качеств личности работников, отражающей адаптацию и саморегуляцию, изменений этих качеств в течение вахты и всего рабочего стажа (профессиогенез), а также этап сопровождения вахтовой адаптации с учетом метаадаптивного подхода.

Специфика метаадаптивного подхода заключается в применении на каждом этапе характерных моделей профессионально значимых ситуаций и рефлексивного их осмысления. Эти модели дифференцированы, они включают работу с ментальными схемами таких аспектов социосредовой адаптации, как образ вахты, образ "Я", система ценностных установок, локус контроля, уровень и диапазон применимости саморегулятивных стратегий в соответствии с целями (профессиональными, социально-психологическими и ситуативными), в них представлены наиболее актуальные аспекты объекта труда, условий труда и субъекта труда, разработанные на основе проведенных исследований и анализа факторов, способствующих более эффективной профессиональной адаптации и саморегуляции профессионалов.

Модель психологического сопровождения профессиональной деятельности вахтовых специалистов на основе рискоориентированного подхода предполагает наличие следующих направлений управления рисками: контроль рисков (периодическая диагностика критериев и идентификаторов психологических рисков в профессиональной деятельности, оценка персонала; изоляция рисков (профессиональный



Причинно-следственная диаграмма совокупности проблем системы отбора контингента сотрудников для выполнения сложных работ в удаленных трудовых зонах

отбор на основе психофизиологических показателей с целью исключения работников с пограничными психическими состояниями, расстройствами личности, профессиональный подбор по профессиональным компетенциям и профессионально важным качествам); снижение рисков (обучение вахтового персонала способам адаптации, методам саморегуляции, разрешению конфликтных ситуаций, алгоритмам реагирования в чрезвычайных ситуациях; работа с кадровым резервом и молодежью) [8, 9].

На рисунке дана диаграмма причинно-следственных связей (диаграмма Исикавы), показывающая совокупность проблем системы отбора контингента сотрудников для выполнения сложных работ в удаленных трудовых зонах.

Основными факторами, оказывающими влияние на неэффективность системы отбора персонала для работы вахтовым методом, являются: экономические; социальные; методологические; природно-климатические; правовые; организационные.

Каждый из рассмотренных факторов характеризуется рядом проблем, которые обозначены на диаграмме причинно-следственных связей (см. рисунок).

В проведенном опросе студентов заочной формы обучения по специальности "Горное дело", работающих вахтовым методом труда в районах Северного и Полярного Урала, участвовали 170 человек, которым было предложено выбрать

наиболее значимые проблемы по каждому из вышеприведенных факторов. В результате статистической обработки данных опроса установлены наиболее значимые проблемы по каждому из исследуемых факторов, приведенные в таблице.

Все перечисленные выше факторы необходимо учитывать при разработке эффективной системы отбора контингента сотрудников для выполнения сложных работ в удаленных трудовых зонах.

В настоящее время необходимы новые подходы к схеме взаимодействия работодателя с наемными работниками при вахтовом методе.

Использование причинно-следственной диаграммы даст возможность совершенствовать

Результаты анкетирования

Исследуемые факторы	Проблемы
Экономические	Недостаточное финансирование
Социальные	Социальная адаптация
Методологические	Отсутствие единых методик отбора
Природно-климатические	Экстремальные условия окружающей среды
Правовые	Отсутствие законов и других нормативных актов
Организационные	Формирование требований к кандидату



систему отбора персонала для работы в удаленных трудовых зонах. Это позволит снизить уровни профессиональных рисков, характерных для вахтовых методов работы, минимизировать расходы на содержание персонала, уменьшить или исключить социальную напряженность в рабочих коллективах.

Список литературы

1. **Силин А. Н.** Нефтегазовый Север: социальная ситуация и технологии ее регулирования: Монография. — М.: НИЦ ИНФРА-М, 2013. — 251 с. (Научная мысль).
2. **Симонова Н. Н.** Адаптация к работе вахтовым методом в экстремальных условиях Крайнего Севера: Учеб. пособие. — Архангельск: ИД Сев. (Арктич.) федер. ун-т им. М. В. Ломоносова (САФУ), 2014. — 170 с.
3. **Силин А. Н.** Социальные проблемы Арктического региона: Монография. — Тюмень: ТИУ, 2016. — 240 с.
4. **Кульбовская Н. К., Бедерова А. Б.** Психология труда как основа управления безопасным поведением работника // Безопасность в техносфере. — 2010. — № 1. — С. 21—24.

5. **Иванова М. В., Глебова Е. В.** Обзор исследований по развитию профессионального отбора на предприятиях топливно-энергетического комплекса // Безопасность жизнедеятельности. — 2017. — № 2. — С. 17—22.
6. **Подбор** психодиагностических методик для оценки профессионально важных качеств руководителей и специалистов ООО "Газпром Трансгаз Самара" / Н. М. Павлова, М. В. Иванова, А. Т. Волохина, Е. В. Глебова // Безопасность жизнедеятельности. — 2012. — № 1. — С. 20—24.
7. **Дубинина Н. И., Дегтева Г. Н., Корнеева Я. А.** Вопросы оптимизации медицинского сопровождения вахтовых работников в условиях Арктической зоны РФ // Вестник уральской медицинской академической науки. — 2014. — № 2. — С. 51—53.
8. **Родин В. Е., Белинский С. О., Бондарев И. П.** Стресс на рабочем месте как фактор профессионального риска. Методы снижения стрессовых ситуаций // Безопасность жизнедеятельности. — 2016. — № 11. — С. 3—8.
9. **Разработка** автоматизированной методики тренинга профессионально важных качеств руководителей и специалистов объектов магистрального транспорта газа / Н. М. Павлова, М. В. Иванова, А. Т. Волохина, Е. В. Глебова // Безопасность жизнедеятельности. — 2013. — № 3. — С. 14—17.

T. V. Sviridova, Associate Professor, **O. B. Bobrova**, Senior Lecturer,
e-mail: obproshkina@mail.ru, **E. D. Soutina**, Student, Nosov Magnitogorsk State
Technical University

The Improvement of the Methods of Determination of the Professional Competence of Staff for the Remote Employment Zones

In this article the analysis of the current state of the problem of the professional selection of staff for the remote zones is shown. The three main components of the selection of the duty staff are considered. It is found that medical, psychological and professional components of the selection are interrelated for many elements, and allow to select the employee, who match up to the condition of the duty work.

This research also indicates that the efficiency of the staff adaptation is determined by the quality of the professional psychological selection, rational distribution by industry, rationalization of the modes of work and rest, the use of means and methods of psychotherapy and skills training of the self-regulation. The diagram of the causal link (The diagram of Ishikawa) showing the set of the problems of the selection system of the staff contingent for the execution of complex operations in remote labor zones is created. The survey of the staff, who use the duty method of work in extreme conditions is conducted. The results of the survey of the most significant problems in each of the studied factors are established. The necessity of the accounting is revealed in the development of an effective system for the selection of the staff for the execution of complex operations in the remote labor zones.

Keywords: shift personnel, Ishikawa diagram, complex work in remote labor zones, rationalization of work and rest regimes

References

1. **Silin A. N.** Neftegazovyy Sever: social'naya situatsiya i tehnologii ee regulirovaniya: monografiya. Moscow: NIC INFRA-M, 2013. 251 p.
2. **Simonova N. N.** Adaptatsiya k rabote vakhovym metodom v jekstremal'nyh uslovijah Krajnego Severa: Uchebnoe posobie. Arhangel'sk: ID SAFU, 2014. 170 p.
3. **Silin A. N.** Social'nye problemy Arkticheskogo regiona: monografiya. Tjumen': TIU, 2016. 240 p.
4. **Kul'bovskaia N. K., Bederova A. B.** Psihologija truda kak osnova upravlenija bezopasnym povedeniem rabotnika. *Bezopasnost' v tehnosfere*. 2010. No. 1. P. 21—24.
5. **Ivanova M. V., Glebova E. V.** Obzor issledovanij po razvitiyu professional'nogo otbora na predpriyatijah toplivno-jenergeticheskogo kompleksa. *Bezopasnost' zhiznedejatel'nosti*. 2017. No. 2. P. 17—22.

6. **Podbor** psihodiagnosticheskikh metodik dlja ocenki professional'no vazhnykh kachestv rukovoditelej i specialistov ООО "Gazprom Transgaz Samara" / N. M. Pavlova, M. V. Ivanova, A. T. Volohina, E. V. Glebova. *Bezopasnost' zhiznedejatel'nosti*. 2012. No. 1. P. 20—24.
7. **Dubinina N. I., Degteva G. N., Korneeva Ja. A.** Voprosy optimizatsii medicinskogo soprovozhdenija vakhovyx rabotnikov v uslovijah Arkticheskoy zony RF. *Vestnik ural'skoj medicinskoj akademicheskoy nauki*. 2014. No. 2. P. 51—53.
8. **Rodin V. E., Belinskij S. O., Bondarev I. P.** Stress na rabochem meste kak faktor professional'nogo riska. Metody snizhenija stressovykh situacij. *Bezopasnost' zhiznedejatel'nosti*. 2016. No. 11. P. 3—8.
9. **Razrabotka** avtomatizirovannoj metodiki treninga professional'no vazhnykh kachestv rukovoditelej i specialistov ob'ektov magistral'nogo transporta gaza / N. M. Pavlova, M. V. Ivanova, A. T. Volohina, E. V. Glebova. *Bezopasnost' zhiznedejatel'nosti*. 2013. No. 3. P. 14—17.

УДК 614.8

В. С. Кожиченков, зам. ген. директора, **Т. Н. Киселева**, начальник управления, **С. Н. Фокин**, зам. главного инженера управления, АО "МОСГАЗ", Москва, **В. Ф. Мартынюк**, д-р техн. наук, проф., e-mail: anaopa@gmail.com, **П. Н. Бугаев**, асп., Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) им. И. М. Губкина, Москва

Риск образования взрывоопасной газовоздушной смеси при использовании природного газа в быту

Проведен анализ формирования газовоздушных смесей в помещениях газифицированного жилищного фонда Москвы при различных утечках. На основе статистических данных АО "МОСГАЗ" определена вероятность образования взрывоопасной газовоздушной смеси как один из этапов анализа риска взрыва газовоздушной смеси в помещениях.

Ключевые слова: газифицированный жилой фонд, утечка газа, газовоздушная смесь

Введение

Использование газа в жилых помещениях связано с опасностью аварийных взрывов в этих помещениях [1, 2]. Произошедшие в последнее время случаи взрывов в жилых домах (Ижевск, 2017 г., Волгоград, 2017 г., ...) [3] вновь привлекают внимание к обеспечению взрывобезопасности жилых помещений. Кроме того за последнее десятилетие изменились условия эксплуатации газовых приборов в быту: стали более широко применяться различные виды газового оборудования и гибких подводок, жильцы часто прибегают к перепланировке помещений, что иногда ведет к нарушению работы вентиляции, на многих кухнях установлены пластиковые окна, которые представляют значительную опасность с точки зрения взрывоустойчивости. Возникают вопросы с доступом сотрудников газовых служб в квартиры для проведения техобслуживания

внутридомовых газопроводов и диагностики газовых приборов.

В Москве газифицированы более 1,8 млн квартир, оборудованных газовыми плитами, проточными и емкостными газовыми водонагревателями [4]. Ежегодное снижение числа газифицированных квартир (рис. 1) обусловлено сносом ветхого жилого фонда города, переводом квартир в нежилой фонд и на электроснабжение.

Несмотря на то что квартиры берут только 2 % от общего потребления газа Москвой [5], и по статистике идет снижение количества объектов газифицированного жилищного фонда, в жилом секторе из года в год происходят аварии и несчастные случаи, связанные с утечками природного газа, часто вызывая общественный резонанс.

Анализ аварийных утечек в газифицированных жилых домах

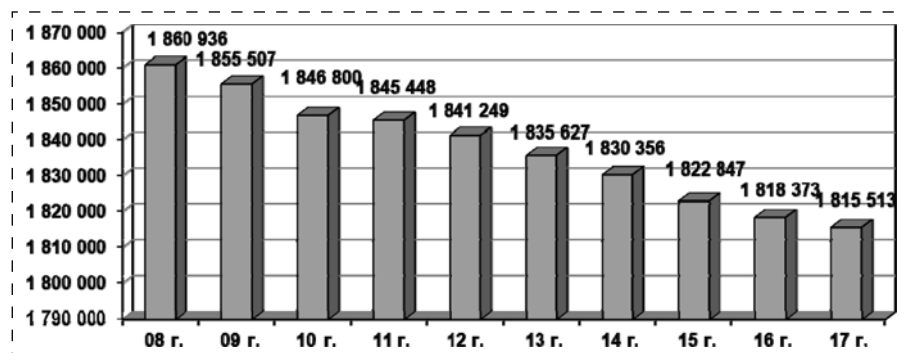


Рис. 1. Изменение числа газифицированных квартир в жилом фонде Москвы за период 2008–2017 гг. [4]

При анализе в качестве источников использовались данные об аварийных вызовах жильцами аварийной бригады, которые фиксируются управлением аварийно-восстановительных работ в АО "МОСГАЗ". В табл. 1 указана статистика подтвержденных аварийных вызовов в газифицированные жилые дома с 01.04.2017. по 30.04.2017. Всего 2999 заявок, при выезде в 203 квартирах обнаружены и устранены утечки газа.

Таблица 1

**Статистика аварийных вызовов
в газифицированные жилые дома**

Причина вызова	Количество вызовов
Запах газа в кухне	175
Запах газа от колонки	13
Запах газа от стояка	3
Запах газа в подъезде	8
Запах газа в квартире	4

В соответствии со схемой газовой разводки (рис. 2) можно выделить места утечек газа.

Данные о вызовах позволяют определить частоту утечек в различных местах газовой разводки (табл. 2).

Наибольшее количество утечек происходит на месте подсоединения гибкой подводки к отключающему устройству (крану) — 70, в кране 1/8" газовой плиты — 50, в кране на опуске перед прибором — 37 и через пробитие гибкой подводки — 26.

Рассчитаны вероятности утечек на наиболее уязвимых местах (табл. 3), 1/год на единицу оборудования, с учетом того что общее количество газовых плит составляет 1 815 298 [5].

В основном фиксируются мелкие утечки. Чаше всего причиной утечек является нарушение правил безопасности [6] самими же жильцами, самовольная установка или переоборудование газовых приборов, использование несертифицированных или просроченных гибких подводок, применение оборудования с просроченным сроком эксплуатации.

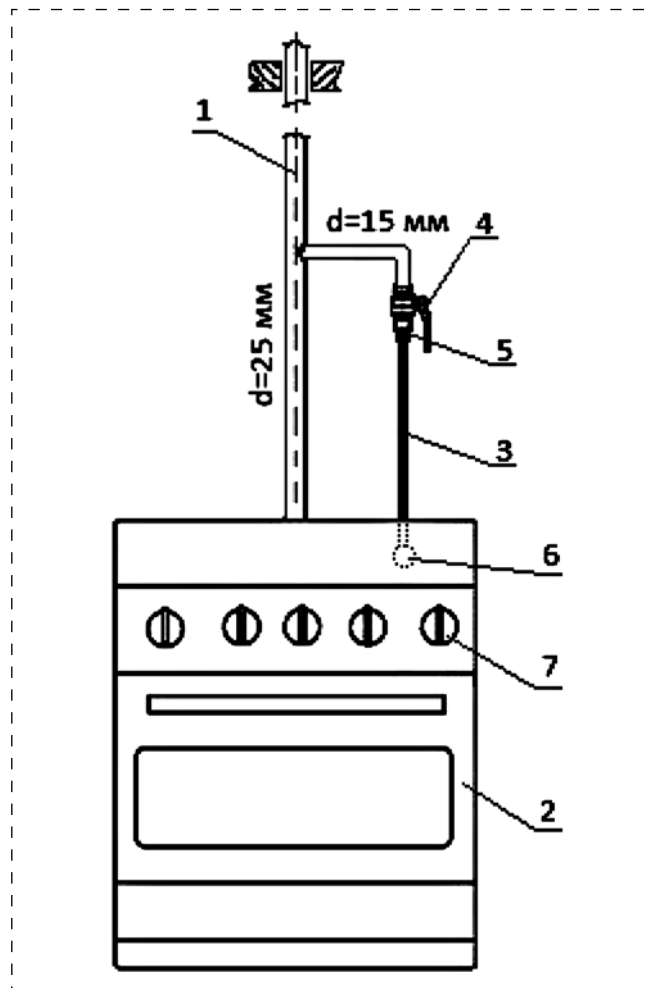


Рис. 2. Схема газовой разводки:
1 — газовый стояк; 2 — бытовое газовое оборудование (плита); 3 — гибкая подводка; 4 — кран на опуске (ответвлении) перед газовым прибором; 5 — место подсоединения гибкой подводки к отключающему устройству (крану); 6 — место подсоединения гибкой подводки к газовому прибору; 7 — краны 1/8" газовой плиты

Таблица 2

Частота утечек в различных местах газовой разводки

Место утечки газа	Количество случаев за месяц
Утечка газа на месте подсоединения гибкой подводки к отключающему устройству (крану)	70
Утечка в кране 1/8" газовой плиты	50
Утечка газа в кране на опуске (ответвлении) перед прибором	37
Утечка газа через пробитие гибкой подводки	26
Утечка на месте подсоединения гибкой подводки к газовому прибору	5
Утечка газа в муфтовом соединении (сгон, угольник)	2
Утечка в подводящем газопроводе на горелку рабочего стола	3
Утечка в подводящем газопроводе на горелку духового шкафа	1
Утечка газа в сварном шве	1
Утечка газа на коррозированном участке газопровода ($d = 1...5$ мм)	2
Утечка газа в блок-кране водонагревателя	1
Утечка газа в кране на стояке	1
Утечка газа через открытые краны 1/8" газовой плиты (конфорки)	2

Вероятности утечек газа

Место утечки газа	Вероятность утечки газа, 1/год на единицу оборудования
Утечка газа на месте подсоединения гибкой подводки к отключающему устройству	$4,63 \cdot 10^{-4}$
Утечка в кране 1/8" газовой плиты	$3,31 \cdot 10^{-4}$
Утечка газа в кране на опуске (ответвлении) перед прибором	$2,45 \cdot 10^{-4}$
Утечка газа через пробитие гибкой подводки	$1,72 \cdot 10^{-4}$
Утечка на месте подсоединения гибкой подводки к газовому прибору	$3,30 \cdot 10^{-5}$
Утечка в подводящем газопроводе на горелку рабочего стола	$1,99 \cdot 10^{-5}$
Утечка в подводящем газопроводе на горелку духового шкафа	$6,61 \cdot 10^{-6}$
Утечка через открытые краны 1/8" газовой плиты (конфорки)	$1,32 \cdot 10^{-5}$

Интенсивности утечек из различных источников

Рабочее давление в газовой системе составляет около 1,4 кПа. По данным работы [7], в системе газоснабжения расход газа через "неплотность" составляет $q \approx 0,19 \text{ м}^3/\text{ч} \cdot S$, где S — площадь отверстия, мм².

В табл. 4 указаны интенсивности утечек из основных источников. Площади поперечного сечения отверстий S , мм², взяты из ГОСТ ИЕС 60079-10-1—2011 [8]. Расход газа через конфорки определяют в соответствии с паспортными данными.

Динамика формирования газозвушной смеси

Обычно процесс формирования газозвушной смеси при аварийной утечке газа описывается уравнением диффузии (2-й закон Фика) [9]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + D_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + D_z \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} + \frac{\partial Q}{\partial V_{\text{см}}}, \quad (1)$$

где C — объемная концентрация вещества в смеси, об. %; D — коэффициент диффузии для трех направлений, м²/с; $Q = q - L_{\text{вент}} C$ — объемный расход газа, м³/ч; q — расход газа, м³/ч;

$L_{\text{вент}}$ — вентиляционный расход, м³/ч; x, y, z — пространственные координаты, м; t — время, ч; $V_{\text{см}}$ — объем смеси, м³.

Уравнение (1) учитывает тот факт, что поток вещества может меняться в процессе диффузии, т. е. является нестационарным.

Согласно данным работы [7], при выполнении условия $\frac{800D}{l} > q$, где l — характерный линейный

размер помещения при малой интенсивности утечки, зависимость концентрации газа в помещении от пространственной координаты незначительна. Допустимо применение однозонной модели, которая предполагает осреднение концентрации газа по объему помещения при утечке, т. е. считается, что распределение концентрации газа не зависит от пространственных координат.

Применение однозонной модели дает заниженное прогнозное значение концентрации газа в помещении. Однако в небольших помещениях без загромождений распределение концентрации происходит довольно быстро. Поэтому применение такой модели в типичной кухне квартиры дает достаточно адекватную оценку.

Таблица 4

Интенсивности утечек из основных источников

Место утечки газа	Площадь поперечного сечения отверстия S , мм ²	Интенсивность утечки, м ³ /ч
Утечка газа на месте подсоединения гибкой подводки к отключающему устройству (крану) и газовому прибору	0,1	0,019
Утечка в кране 1/8" газовой плиты	0,1	0,019
Утечка газа в кране 3/4" на опуске перед прибором	0,25	0,048
Утечка газа через пробитие гибкой подводки 1/2"	0,5	0,095
Утечка через открытые краны 1/8" газовой плиты (конфорки)	Малая конфорка	0,11
	Средняя (две конфорки в плите)	0,2
	Большая конфорка	0,37
	Все четыре конфорки	0,9



Изменение концентрации газа в помещении без учета вентиляции

В настоящее время во многих случаях бывает, что естественная вентиляция либо плохо работает, либо полностью отсутствует, особенно в верхних этажах домов в теплое время года, что создает дополнительную опасность. Рассмотрим риск образования взрывоопасной газовой смеси при такой ситуации.

В соответствии с однозонной моделью, изменение концентрации газа в помещении в любой момент времени без учета вентиляции описывается уравнением:

$$\frac{dC}{dt} = \frac{100q}{V}, \quad (2)$$

где C — объемная концентрация газа, об. %; q — расход газа, м³/ч; V — объем помещения, м³.

Изменение во времени t концентрации газа в помещении без учета вентиляции, при различных расходах для помещения объемом $V = 36,7$ м³ показано на рис. 3.

Практически важно знать, когда будет достигнута взрывоопасная концентрация в помещении при аварийной утечке. Нижний концентрационный предел воспламенения (НКПВ) для метана равен 5 об. % [4]. Также важен расчет времени, через которое человек может почувствовать запах газа с момента утечки. Учитывая, что природный газ не имеет запаха и цвета, для своевременного обнаружения утечек газа его одорируют. Наибольшее распространение в качестве одоранта получил этилмеркаптан (C_2H_5SH) с резким запахом.

Удельный расход одоранта зависит от состава и свойств одорируемого газа, климатических условий и т. д. Согласно ГОСТ 5542—2014 [10] содержание одоранта в нетоксичных газах должно быть таким, чтобы человек с нормальным обонянием ощущал запах одоранта при объемном содержании газа в воздухе помещения, равным 1/5 его нижнего предела взрываемости. Это означает, что природный газ, имеющий НКПВ = 5 об. %, должен ощущаться в воздухе помещений при 1 %-ной концентрации газа. На практике средняя норма расхода этилмеркаптана для одоризации природного газа, поступающего в городские сети, установлена 16 г на 1000 м³ газа [11].

С использованием этих значений определяем время достижения взрывоопасной концентрации и время, через которое можно ощутить запах газа с момента утечки (табл. 5).

В случае однозонной модели для достижения взрывоопасной концентрации в любой точке объема помещения при утечках необходимо достаточно долгое время. При утечках через "неплотность" должны пройти сутки и более времени, и даже при утечках через открытые конфорки — несколько часов. Тогда как запах газа с момента утечки ощущается быстро, несмотря на сильно консервативную оценку.

Данная зависимость представляет собой балансовое соотношение и дает грубую оценку времени. В реальных условиях вблизи места утечки возникает область повышенной концентрации газа, где образуется взрывоопасная смесь и при появлении источника зажигания возможно его воспламенение, однако размер этой области невелик и аварийный процесс имеет характер вспышки.

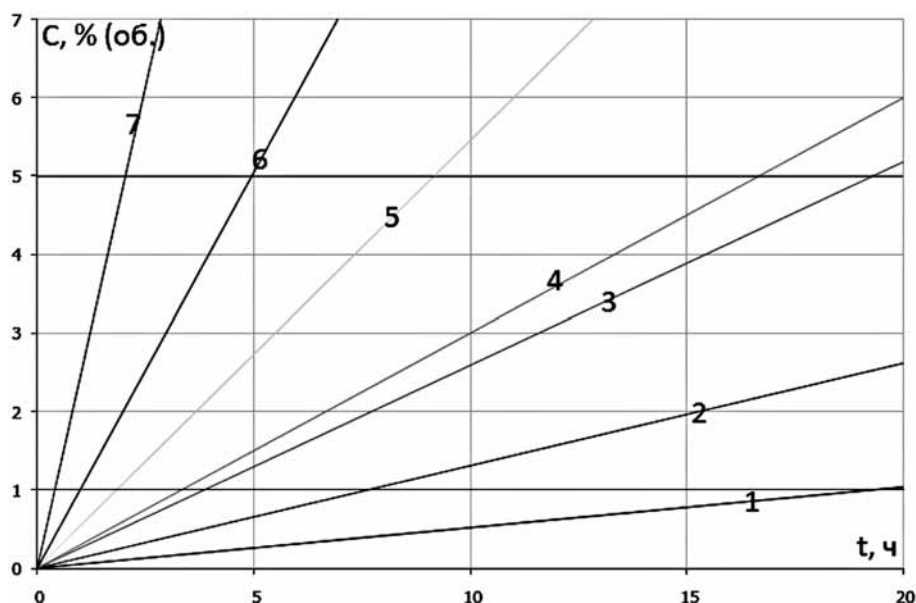


Рис. 3. Изменение во времени t концентрации газа в помещении без учета вентиляции:

1 — 0,019 м³/ч; 2 — 0,048 м³/ч; 3 — 0,095 м³/ч; 4 — 0,11 м³/ч; 5 — 0,2 м³/ч; 6 — 0,37 м³/ч; 7 — 0,9 м³/ч, НКПВ метана — 5 об. %, концентрация ощущения запаха газа — 1 об. %

**Время достижения взрывоопасной концентрации и время ощущения запаха газа в помещении
без учета вентиляции в зависимости от интенсивности утечки**

Место утечки газа	Интенсивность утечки, м ³ /ч	Время, ч	
		НКПВ метана — 5 об. %	Концентрация ощущения запаха газа — 1 об. %
Утечка газа на месте присоединения гибкой подводки к отключающему устройству (крану) и газовому прибору	0,019	96,6	19,3
Утечка в кране 1/8" газовой плиты	0,019	96,6	19,3
Утечка газа в кране 3/4" на опуске перед прибором	0,048	38,2	7,6
Утечка через пробитие гибкой подводки 1/2"	0,095	19,3	3,9
Утечка через открытую малую конфорку	0,11	16,7	3,3
Утечка через открытую среднюю конфорку (две в плите)	0,2	9,2	1,8
Утечка через открытую большую конфорку	0,37	5,0	1,0
Утечка через все четыре открытые конфорки	0,9	2,0	0,4

Изменение концентрации метана в вентилируемом помещении

Вентиляция предназначена для создания в помещении воздушной среды, удовлетворяющей определенным требованиям, она способствует удалению газа из помещения и препятствует образованию взрывоопасной смеси. Нормальным в газифицированных помещениях считается воздухообмен, поддерживающий более чем трехкратный обмен воздуха в течение часа [4]. Рассмотрим риск образования взрывоопасной смеси в вентилируемом помещении.

Уравнение изменения концентрации в вентилируемом помещении в любой момент времени для однозонной модели имеет вид:

$$\frac{dC}{dt} = \frac{100q}{V} - \frac{L_{\text{вент}}C}{V}, \quad (4)$$

где $L_{\text{вент}}$ — вентиляционный расход, м³/ч.

Таким образом, получаем логарифмическую зависимость концентрации от времени. Изменение во времени концентрации газа в помещении при различных расходах для помещения объемом $V = 36,7 \text{ м}^3$ и с минимальной естественной вентиляцией в жилом помещении, равной $L_{\text{вент}} = 5 \text{ м}^3/\text{ч}$ [7], показано на рис. 4.

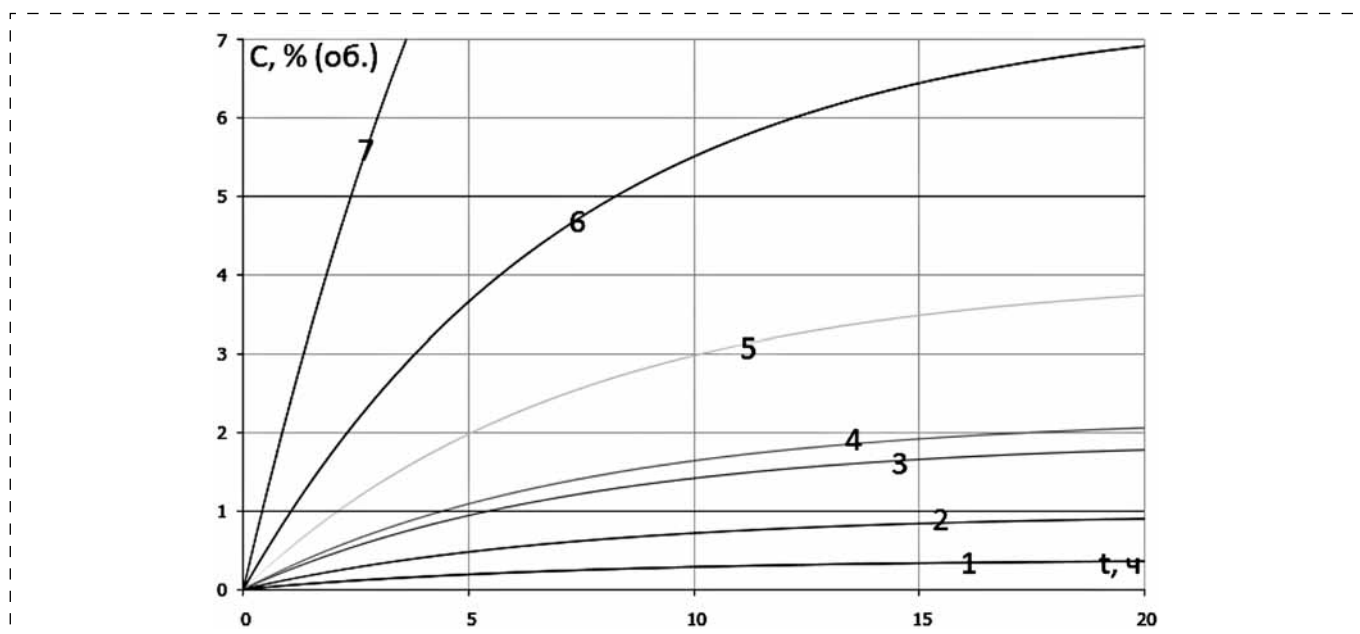


Рис. 4. Изменение во времени t концентрации газа в вентилируемом помещении:

1 — 0,019 м³/ч; 2 — 0,048 м³/ч; 3 — 0,095 м³/ч; 4 — 0,11 м³/ч; 5 — 0,2 м³/ч; 6 — 0,37 м³/ч; 7 — 0,9 м³/ч; НКПВ метана — 5 об. %; концентрация ощущения запаха газа — 1 об. %



Таблица 6

**Время образования взрывоопасной смеси и время ощущения запаха газа
в вентилируемом помещении в зависимости от интенсивности утечки**

Место утечки газа	Интенсивность утечки, м ³ /ч	Время, ч	
		НКПВ метана — 5 об. %	Концентрация ощущения запаха газа — 1 об. %
Утечка газа на месте присоединения гибкой подводки к отключающему устройству (крану) и газовому прибору	0,019	—	—
Утечка в кране 1/8" газовой плиты	0,019	—	—
Утечка газа в кране 3/4" на опуске перед прибором	0,048	—	—
Утечка через пробитие гибкой подводки 1/2"	0,095	—	5,5
Утечка через открытую малую конфорку	0,11	—	4,4
Утечка через открытую среднюю конфорку (две в плите)	0,2	—	2,1
Утечка через открытую большую конфорку	0,37	8,3	1,1
Утечка через все четыре открытые конфорки	0,9	2,4	0,4

Определяем время достижения взрывоопасной концентрации и время, через которое можно ощутить запах газа с момента утечки (табл. 6).

Из таблицы видно, что опасность взрыва значительно уменьшается при наличии постоянной вентиляции из-за резкого снижения возможности образования взрывоопасных концентраций в жилых помещениях.

Полученные данные о динамике образования взрывоопасной смеси природного газа в помещениях жилого фонда будут использованы в следующей работе при анализе риска взрыва в жилых домах.

Заключение

1. По результатам анализа данных об аварийных вызовах в газифицированные жилые дома Москвы оценены вероятности утечек различной интенсивности на газовой разводке. Наибольшее количество утечек происходит на месте подсоединения гибкой подводки к отключающему устройству.

2. Изучена динамика образования взрывоопасной смеси в помещении. Показано, что образование взрывоопасной смеси требует очень большого времени (порядка нескольких часов), что значительно превышает время достижения сигнальных концентраций этилмеркаптана.

3. При наличии нормально работающей вентиляции образование взрывоопасной смеси практически исключено.

Список литературы

1. **Анализ** аварий и несчастных случаев на объектах газового надзора: Учебное пособие / Б. А. Красных, В. Ф. Мартынюк и др. — М.: ООО "Анализ опасностей", 2003. — 320 с.
2. **Мартынюк В. Ф.** Аварийные взрывы в системах распределения и потребления природного газа // Нефть, газ и бизнес. — 2008. — № 7. — С. 49—51.
3. <http://tass.ru/info/4255543> (дата обращения 13.02.2018).
4. **Свойства** природного газа и характеристика ВДГО, эксплуатирующегося в жилищном фонде города Москвы. Материалы семинара по газовой безопасности и ликвидации последствий ЧС. — М.: АО "Мосгаз", 2016. — 23 с.
5. <http://www.mos-gaz.ru/about/infographics/> (дата обращения 1.06.2017).
6. **Постановление** Правительства РФ от 14.05.2013 № 410 (ред. от 06.10.2017) "О мерах по обеспечению безопасности при использовании и содержании внутридомового и внутриквартирного газового оборудования".
7. **Комаров А. А., Чиликина Г. В.** Условия формирования взрывоопасных облаков в газифицированных жилых помещениях // Пожаровзрывобезопасность. — 2002. — Т. 11. — № 4. — С. 24—28.
8. **ГОСТ ИЕС 60079-10-1—2011** Взрывоопасные среды. Часть 10-1. Классификация зон. Взрывоопасные газовые среды.
9. **Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М.** Механика сплошных сред. — М.: Гос. изд.-во технико-теоретической лит-ры, 1953. — 788 с.
10. **ГОСТ 5542—2014** Газы горючие природные промышленного и коммунально-бытового назначения. Технические условия.
11. **Фокин С. В., Шпортько О. Н.** Система газоснабжения: устройство, монтаж и эксплуатация: Учебное пособие. — М.: Альфа-М: ИНФРА-М, 2011. — 288 с.

V. S. Kozhichenkov, Deputy General Director, **T. N. Kiselyova**, Head of Administration, **S. N. Fokin**, Deputy Chief Engineer of Administration, MOSGAS JSC, Moscow, **V. Ph. Martynyuk**, Professor, e-mail: anaopa@gmail.com, **P. N. Bugaev**, Postgraduate, Gubkin Russian State University of Oil and Gas, Moscow

Risk of Explosive Gas-Air Mixture Formation when using Natural Gas in Domestic Conditions

The analysis of explosion natural gas-air mixture formation is considered. Based on the statistical data of MOSGAS JSC the risk of forming an explosive mixture is considered. This data will be used for risk analysis natural gas-air mixture explosion in domestic conditions.

Keywords: gasified housing, gas leak, gas-air mixture

References

1. **Analiz** avarij i neschastnyh sluchaev na objektah gazovogo nadzora: Uchebnoe posobie / B. A. Krasnyh, V. F. Martynyuk i dr. Moscow: OOO "Analiz opasnostej", 2003. 320 p.
2. **Martynyuk V. F.** Avarijnye vzryvy v sistemah raspredelenija i potreblenija prirodnogo gaza. *Neft', gaz i biznes*. 2008. No. 7. P. 49—51.
3. <http://tass.ru/info/4255543> (date of access 13.02.2018).
4. **Svojstva** prirodnogo gaza i harakteristika VDGO, jekspluatirujushhegosja v zhilishhnom fonde goroda Moskvy. Materialy seminarov po gazovoj bezopasnosti i likvidacii posledstvij ChS. Moscow: AO "Mosgaz", 2016. 23 p.
5. <http://www.mos-gaz.ru/about/infographics/> (date of access 1.06.2017).
6. **Postanovlenie** pravitel'stva RF ot 14.05.2013 No. 410 (red. ot 06.10.2017) "O merah po obespecheniju bezopasnosti pri ispol'zovanii i soderzhanii vnutridomovogo i vnutrikvartirnogo gazovogo oborudovanija".
7. **Komarov A. A., Chilikina G. V.** Usloviya formirovaniya vzryvoopasnykh oblakov v gazifitsirovannykh zhilykh pomeshcheniyakh. *Pozharovzryvobezopasnost*. 2002. Vol. 11. No. 4. P. 24—28.
8. **GOST IEC 60079-10-1—2013** Vzryvoopasnye sredy. Chast' 10-1. Klassifikacija zon. Vzryvoopasnye gazovye sredy.
9. **Landau L. D., Lifshic E. M.** Mehanika sploshnykh sred. Moscow: Gosudsrstvennoe izdatel'stvo tehniko-teoreticheskoy literatury, 1953. 788 p.
10. **GOST 5542—2014** Gazy gorjuchie prirodnye promyshlennogo i kommunal'no-bytovogo naznachenija. Tehnicheskie usloviya.
11. **Fokin S. V., Shport'ko O. N.** Sistema gazosnabzhenija: ustrojstvo, montazh i jekspluatacija: Uchebnoe posobie. Moscow: Al'fa-M: INFRA-M, 2011. 288 p.

Информация

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

Оформить подписку можно через подписные агентства
или непосредственно в редакции журнала

Подписной индекс по каталогу:

Пресса России — 94032

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

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

УДК 614.841

Г. Х. Харисов, д-р техн. наук, проф., проф. кафедры,
А. В. Фирсов, канд. техн. наук, доц., доц. кафедры, e-mail: firsovaalex@mail.ru,
Академия ГПС МЧС России, Москва

Обоснование оптимального значения индивидуального пожарного риска в Российской Федерации

Представлен новый метод учета ущерба при пожарах, включающий материальный ущерб и ущерб в результате гибели и травмирования людей, который конвертирован в денежные единицы. Указанный метод позволяет сравнивать затраты, выделяемые на обеспечение пожарной безопасности, с суммарным ущербом при пожарах и вычислять оптимальное значение индивидуального пожарного риска, который соответствует минимуму суммарного ущерба при пожарах и минимуму затрат на обеспечение пожарной безопасности.

Ключевые слова: индивидуальный пожарный риск, затраты на обеспечение пожарной безопасности, стоимость человеческой жизни, прямой ущерб при пожарах

Под оптимальным значением индивидуального пожарного риска понимается тот риск, который в соответствии с классическим экономическим анализом безопасности людей соответствует минимуму затрат на обеспечение пожарной безопасности и прямому ущербу в результате пожаров. Этот вопрос применительно к пожарному риску можно разъяснить следующим образом [1].

Общим методом расчета оптимального значения индивидуального пожарного риска $R_{\text{опт}}$ является подход, основанный на экономическом анализе безопасности. Согласно этому методу критерием оптимума уровня безопасности служит минимум величины $Q(R_{\text{опт}})$, представляющей собой сумму двух составляющих: $Q_1(R)$ — расходы на обеспечение пожарной безопасности, соответствующей индивидуальному пожарному риску R ; $Q_2(R)$ — суммарный ущерб от пожаров, обусловленный индивидуальным пожарным риском R . Таким образом:

$$Q(R_{\text{опт}}) = Q_1(R) + Q_2(R). \quad (1)$$

Значение $R_{\text{опт}}$ может быть принято в качестве значения допустимого индивидуального пожарного риска. В соответствии с Техническим регламентом [2] допустимый пожарный риск — пожарный риск, уровень которого допустим и обоснован исходя из социально-экономических условий.

На рис. 1 представлена графическая иллюстрация приведенного выше выражения.

Статистически фиксируемый индивидуальный пожарный риск R — отношение числа людей $N_{\text{п}}$, погибших при пожарах в стране за один год, к среднегодовой численности населения N страны за этот же период [3]:

$$R = N_{\text{п}} / N. \quad (2)$$

В мировой практике для учета травматизма применяют принцип приравнивания травмы к гибели человека при помощи индексов социального ущерба. При этом индексу социального ущерба в результате гибели человека присваивается высший индекс, равный 1, а травме, в зависимости от

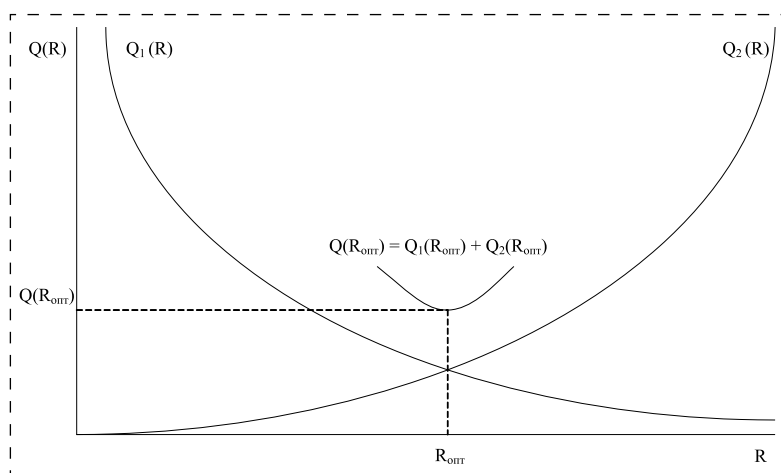


Рис. 1. Определение оптимального значения индивидуального пожарного риска

Индексы социального ущерба в результате гибели и травмирования людей, принятые в Великобритании и Нидерландах

Страна	Опасный фактор	Индекс социального ущерба в результате				
		гибели человека	травмирования человека			
			тяжелая травма	средняя травма	легкая травма	очень легкая травма
Великобритания	Пожар	1	1	0,1	0,01	0,001
Нидерланды	Опасные потребительские товары	1	1	0,1	0,01	0,001

ее тяжести, — индекс меньше 1. Таким образом, травмирование людей по своим социальным последствиям приравнивается к гибели человека.

В табл. 1 представлены индексы социального ущерба в результате гибели и травмирования людей опасными факторами пожара, принятые в Великобритании и Нидерландах [4, 5].

По статистическим данным при пожарах в Российской Федерации ежегодно погибают около 8 тыс. человек и примерно столько же травмируются [3]. За отсутствием в нашей стране нормативных индексов, приведенных в табл. 1, используем эти индексы, считая, что степень тяжести травмирования человека при пожаре соответствует средней травме. Тогда число травмированных людей, приравненных к погибшим $N_{\text{ТП}}$, равно:

$$N_{\text{ТП}} = 0,1N_{\text{Т}}, \quad (3)$$

где $N_{\text{Т}}$ — число людей, травмированных при пожарах.

Суммарное число погибших людей $N_{\text{П}}$ и травмированных, приравненным к погибшим $N_{\text{ТП}}$, составляет:

$$N_{\text{ППП}} = N_{\text{П}} + N_{\text{ТП}}. \quad (4)$$

При пожарах погибают люди самых различных возрастов. Средний возраст людей, погибающих при пожарах в Российской Федерации, составляет $t = 51,15$ года [3].

Экономический эквивалент стоимости жизни человека (без различия пола), погибшего при пожаре в возрасте 51,15 года, составляет $\mathcal{E}(t) = 10,46$ млн руб. [3]. Экономический эквивалент стоимости жизни среднестатистического человека (без различия пола) в возрасте 36,8 лет в 2014 г. составлял 22,4 млн руб., в возрасте 1 год — 53 млн руб., в возрасте 100 лет — 1,5 млн руб. [6].

Прямой ущерб $Y_{\text{Г}}$ в результате гибели и травмирования людей при пожарах, выраженный в денежных единицах, составляет:

$$Y_{\text{Г}} = \mathcal{E}(t) N_{\text{ППП}}. \quad (5)$$

Суммарный ущерб от пожаров $Q_2(R)$:

$$Q_2(R) = Y_{\text{П}} + Y_{\text{Г}}, \quad (6)$$

где $Y_{\text{П}}$ — прямой материальный ущерб от пожаров.

Расходы федерального бюджета на обеспечение пожарной безопасности $Q_1(R)$ приведены в работах [7, 8], статистически фиксируемый индивидуальный пожарный риск R , число людей, погибших $N_{\text{П}}$ и травмированных $N_{\text{Т}}$ при пожарах, прямой материальный ущерб $Y_{\text{П}}$ при пожарах зафиксированы в статистическом сборнике [9]. В табл. 2 представлена динамика основных показателей обстановки с пожарами в Российской Федерации для обоснования оптимального (допустимого) значения индивидуального пожарного риска.

Используя метод наименьших квадратов [10], выведем эмпирические формулы по восьми точкам R , $Q_1(R)$, $Q_2(R)$ с 2009 по 2016 год (см. табл. 2):

$$Q_1(R) = 23\,132 + 2949R - 25R^2 \text{ млн руб.}; \quad (7)$$

$$Q_2(R) = 3448R - 13R^2 - 45\,643 \text{ млн руб.} \quad (8)$$

Ошибка аппроксимации формул (7) и (8) составляет менее 2 %.

На основании полученных результатов, с учетом данных табл. 2, формулы (7) и (8) представлены графически на рис. 2 и 3.

С помощью формул (7) и (8) попытаемся отыскать $R_{\text{ОПТ}}$, как это представлено на рис. 1. Для этой цели сумму составляющих формул (7) и (8) приравняем к эмпирическим значениям $Q_1(R) + Q_2(R)$ за 2016 год (см. табл. 2):

$$\begin{aligned} Q(R_{\text{ОПТ}}) &= Q_1(R) + Q_2(R) = \\ &= 23\,132 + 2949R - 25R^2 + 3448R - 13R^2 - 45\,643 = \\ &= 6397R - 22\,511 - 38R^2 = 224\,867, \end{aligned} \quad (9)$$

где $Q_1(R) = 111\,228$ и $Q_2(R) = 113\,639$; $Q_1(R) + Q_2(R) = 111\,228 + 113\,639 = 224\,867$.

Решая уравнение (9), получаем $R_{\text{ОПТ}} = 60$. В уравнении (9) индивидуальный пожарный риск R выражен в единицах 10^{-6} 1/чел. год. Таким образом, $R_{\text{ОПТ}} = 60 \cdot 10^{-6}$ 1/чел. год, т. е. в 2016 г. на

Динамика основных показателей обстановки с пожарами в Российской Федерации
для обоснования оптимального значения индивидуального пожарного риска (в текущих ценах, инфляция не учтена)

Наименование показателя	Годы										Источник
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016			
Расходы федерального бюджета по разделу "Обеспечение пожарной безопасности", млн руб. $Q_1(R)$	75 529	84 864	92 879	103 492	105 841	108 191	110 539	111 228	[7, 8]		
Статистически фиксируемый индивидуальный пожарный риск, 10^{-6} 1/чел. год R	98	92	84	82	74	70	65	60	[9]		
Число погибших людей при пожарах N_{π}	13 946	13 070	12 018	11 635	10 601	10 138	9377	8711	[9]		
Число травмированных людей при пожарах N_{τ}	13 269	13 117	12 516	11 962	11 132	10 997	10920	9845	[9]		
Число травмированных людей, приравненных к погибшим $N_{\pi\tau}$	1327	1312	1252	1196	1113	1100	1092	985	Формула (3)		
Число погибших + травмированных, приравненных к погибшим $N_{\pi\tau\pi}$	15 273	14 382	13 270	12 831	11 714	11 238	10 469	9696	Формула (4)		
Прямой материальный ущерб от пожаров, млн руб. $У_{\pi}$	11 194	14 565	18 042	15 690	14 890	18 250	18 810	12 219	[9]		
Прямой ущерб в результате гибели и травмирования людей, млн руб. $У_{\tau}$	159756	150 436	138 854	134 199	122 528	117 549	109 506	101 420	Формула (5)		
Суммарный ущерб от пожаров, млн руб. $Q_2(R)$	170 950	165 001	156 896	149 889	137 418	135 799	128 316	113 639	Формула (6)		
$Q_1(R)/Q_2(R)$	0,442	0,514	0,592	0,698	0,770	0,797	0,861	0,979	Формула (10)		

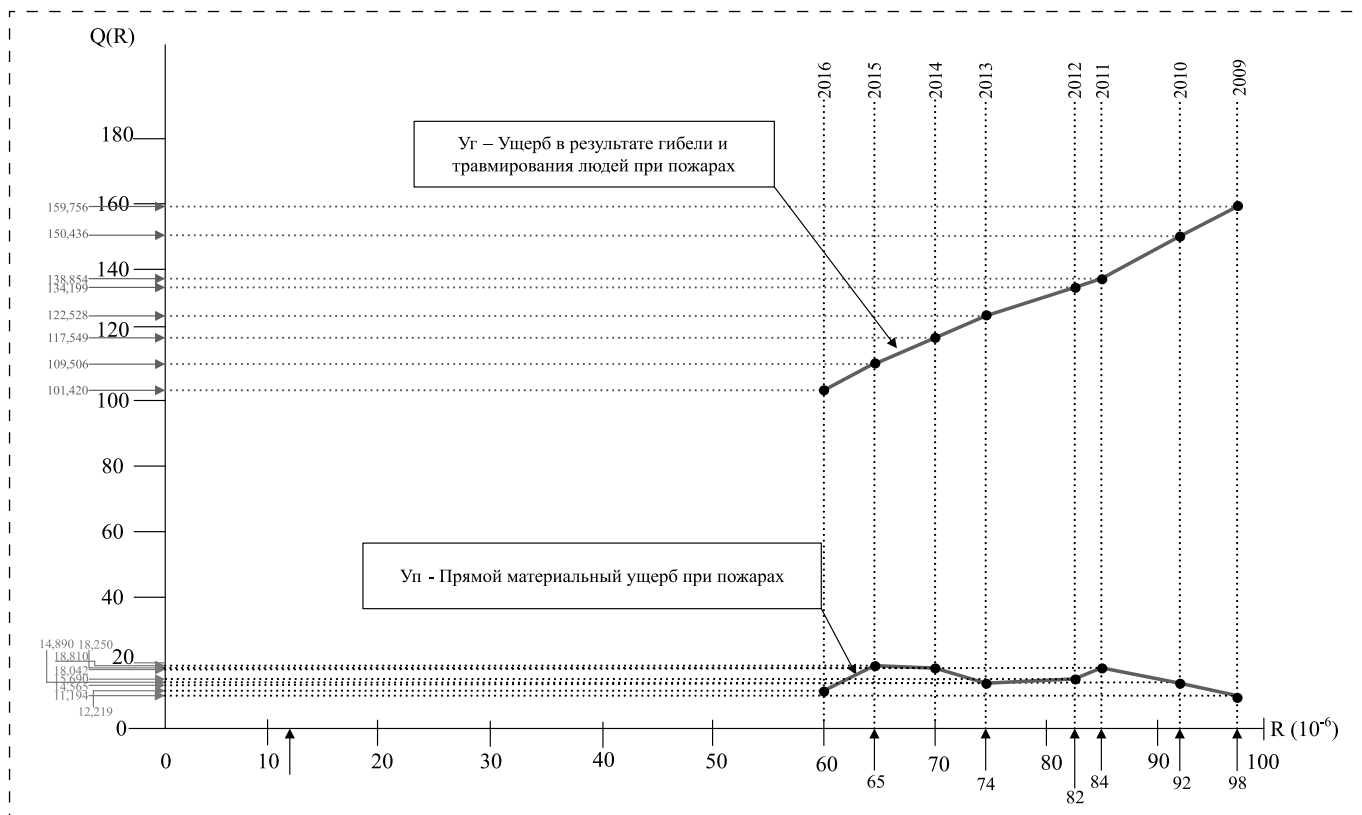


Рис. 2. Ущерб при пожарах в зависимости от индивидуального пожарного риска

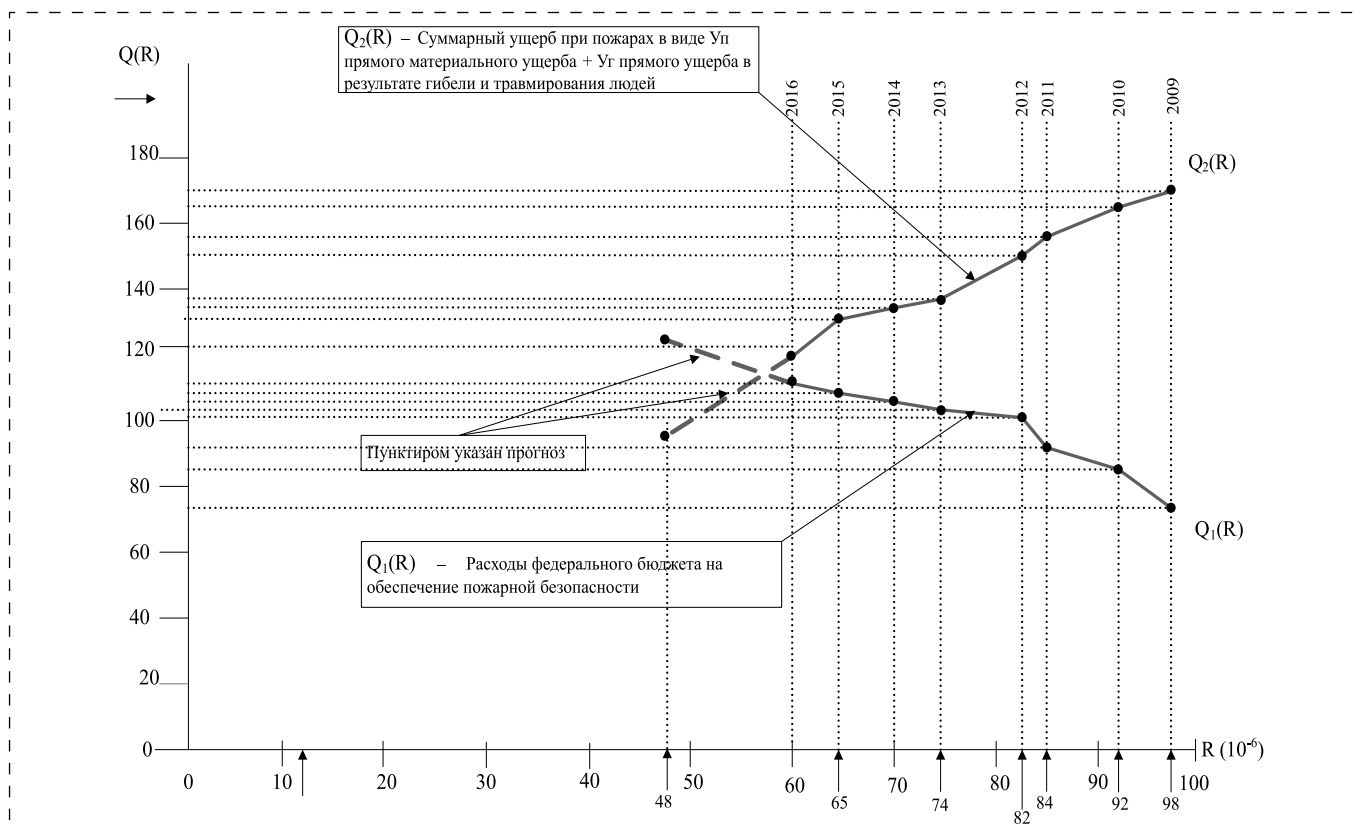


Рис. 3. Графическая аппроксимация формул (7) и (8)



1 млн человек в Российской Федерации при пожарах погибало 60 человек в год, а отношение $Q_1(R_{\text{опт}})/Q_2(R_{\text{опт}}) = 111\,228 \text{ млн руб.} / 113\,639 \text{ млн руб.} = 0,979$ (см. рис. 1).

Отношение:

$$Q_1(R)/Q_2(R) \quad (10)$$

характеризует эффективность вложений расходов на обеспечение пожарной безопасности в стране. При $Q_1(R)/Q_2(R) = 1$ в соответствии с рис. 1 индивидуальный пожарный риск принимает оптимальное значение $R_{\text{опт}}$. Если $Q_1(R)/Q_2(R) < 1$, то расходы на обеспечение пожарной безопасности в стране недостаточны, а индивидуальный пожарный риск является социально неприемлемым, так как $R > R_{\text{опт}}$ (расходы на обеспечение пожарной безопасности в стране меньше суммарного ущерба при пожарах).

В табл. 3 приведены отношения $Q_1(R)/Q_2(R)$ в различных странах [3].

Объяснение того, что в США, Великобритании, Швеции (и в других развитых странах) отношение $Q_1(R)/Q_2(R)$ существенно выше единицы (а в соответствии с рис. 1 должно быть равно единице), содержится в Британском стандарте [11], в разделе 4.3.1. Безопасность людей, где разъясняется, что если риск, связанный с пожаром, является существенным, то противопожарные характеристики здания должны снижать пожарный риск до такой степени, при которой он может рассматриваться как допустимый. Для того чтобы этот подход имел силу, затраты на дальнейшее снижение пожарного риска должны учитывать непредвиденные обстоятельства, препятствующие эвакуации людей из зданий и сооружений. Иными словами, риск, связанный с пожаром, должен быть минимальным практически допустимым (в соответствии с принципом ALARP). Принцип ALARP — минимальный практически допустимый риск (ALARP — As Low As Reasonably Practicable) — ситуация, при которой предпринимаются все разумные меры по снижению риска

в допустимых пределах до момента, когда затраты на его снижение непропорционально высоки по сравнению с ожидаемым повышением уровня безопасности [11].

По-видимому, наблюдаемое значение отношения $Q_1(R)/Q_2(R)$ больше единицы во всех странах, указанных в табл. 3, за исключением России, представляет собой практическое применение принципа ALARP в сфере обеспечения пожарной безопасности объектов защиты. После достижения оптимального уровня риска в точке пересечения кривых $Q_1(R)$ и $Q_2(R)$ (рис. 1) затраты на обеспечение пожарной безопасности значительно превосходят, особенно в США, итоговое снижение риска, а это и есть управление индивидуальным пожарным риском в соответствии с принципом ALARP.

Если ориентироваться на опыт Швеции (см. табл. 3) в области обеспечения пожарной безопасности, где отношение $Q_1(R)/Q_2(R) = 1,28$, то в соответствии с принципом ALARP расходы федерального бюджета по разделу "Обеспечение пожарной безопасности" необходимо увеличить по сравнению с 2016 г. на 11 123 млн руб. (на 10 %). Обоснование прогнозируемых показателей представлено ниже.

Расходы $Q_1(R)$ за 2016 г. составляли 111 228 млн руб. (см. табл. 2), а за 2009 г. — 75 529 млн руб. За это время расходы увеличены на 35 699 млн руб.:

$$\Delta Q_1(R) = 111\,228 - 75\,529 = 35\,699 \text{ млн руб.}$$

Индивидуальный пожарный риск R (см. табл. 2) за это время снизился с 98 до 60 на 38 единиц:

$$\Delta R = 98 - 60 = 38.$$

Уменьшение риска R на одну единицу потребовало 939 млн руб.:

$$\Delta Q_1(r = 1) = \frac{\Delta Q_1(R)}{\Delta R} = \frac{35\,699}{38} = 939 \text{ млн руб.}$$

Уменьшение риска с $R = 60$, наблюдавшегося в 2016 г. (см. табл. 2), до прогнозируемых $R = 48$ (см. рис. 3) потребует 11 268 млн руб.:

Таблица 3

Отношение $Q_1(R)/Q_2(R)$ в различных странах

Страна	Год	Экономический эквивалент стоимости жизни человека, погибающего при пожарах* (без различия пола)	R индивидуальный пожарный риск, 10^{-6} 1/чел. год	$Q_1(R)/Q_2(R)$	Источник
США	2014	2,21 млн долл.	10	4,00	[3]
Великобритания	2014	1,31 млн евро	6	2,04	[3]
Швеция	2014	1,12 млн евро	10	1,28	[3]
Россия	2016	10,46 млн руб.	60	0,98	Табл. 2

* Средний возраст человека, погибшего при пожарах, принят равным, как в Российской Федерации — 51,15 года

$$\Delta Q_1(R = 12) = \Delta Q_1(R = 1)(60 - 48) = 939 \cdot 12 = 11\,268 \text{ млн руб.},$$

где $Q_1(R = 12)$ — расходы на снижение индивидуального пожарного риска на $R = 12$ единицам.

Тогда прогнозируемые расходы федерального бюджета $Q_1(R)_п$ на обеспечение пожарной безопасности составят 111 228 млн руб., выделявшиеся в 2016 г., плюс $\Delta Q_1(R = 12) = 11\,268$ млн руб.

$$Q_1(R)_п = 111\,228 + 11\,268 = 122\,496 \text{ млн руб.}$$

Суммарный ущерб от пожаров $Q_2(R)$ сократился со 170 950 млн руб. в 2009 г. до 113 639 млн руб. в 2016 г. (см. табл. 2) на 57 311 млн руб.:

$$\Delta Q_2(R) = 170\,950 - 113\,639 = 57\,311 \text{ млн руб.}$$

Суммарный ущерб от пожаров $\Delta Q_2(R)$ сократился в результате снижения наблюдаемого индивидуального пожарного риска с $R = 98$ в 2009 г. до $R = 60$ в 2016 г. (см. табл. 2) на $\Delta R = 98 - 60 = 38$.

Тогда сокращение суммарного ущерба $\Delta Q_2(R = 1)$ в результате снижения наблюдаемого индивидуального риска R на одну единицу ($R = 1$) составляет:

$$\Delta Q_2(R = 1) = \frac{\Delta Q_2(R)}{\Delta R} = \frac{57\,311}{38} = 1508 \text{ млн руб.}$$

Уменьшение риска с $R = 60$ до прогнозируемых $R = 48$ должно сопровождаться уменьшением суммарного ущерба на 18 096 млн руб.

$$\Delta Q_2(R = 12) = \Delta Q_2(R = 1)(60 - 48) = 1508 \text{ млн руб.} \cdot 12 = 18\,096 \text{ млн руб.},$$

где $\Delta Q_2(R = 12)$ — снижение суммарного ущерба в результате снижения индивидуального пожарного риска на $R = 12$ единицам.

Тогда прогнозируемый суммарный ущерб от пожаров $\Delta Q_2(R)_п$ составит суммарный ущерб 113 639 млн руб., наблюдавшийся в 2016 г. (см. табл. 2), минус прогнозируемый суммарный ущерб $\Delta Q_2(R = 12) = 18\,096$ млн руб. в результате снижения риска с $R = 60$ до $R = 48$ на 12 единиц:

$$\Delta Q_2(R)_п = 113\,639 - 18\,096 = 95\,543 \text{ млн руб.}$$

В соответствии с формулой (10) отношение $Q_1(R)/Q_2(R) = 122\,496 \text{ млн руб.} / 95\,543 \text{ млн руб.} = 1,28$.

Выводы

Предлагаемый метод учета ущерба при пожарах в виде прямого материального ущерба и прямого ущерба в результате гибели и травмирования людей позволяет обосновать затраты на обеспечение пожарной безопасности в стране. При этом методе жизни погибающих и травмируемых людей конвертируются в денежные единицы, которые суммируются с прямым

материальным ущербом, также выраженным в денежных единицах. Суммарный ущерб при пожарах в виде денежных единиц можно сравнить с затратами на обеспечение пожарной безопасности в стране и обосновать оптимальное значение индивидуального пожарного риска в зданиях и сооружениях. Оптимальное (допустимое) значение индивидуального пожарного риска — это пожарный риск, который допустим и обоснован исходя из социально-экономических условий в стране.

Статистически фиксируемый индивидуальный пожарный риск в 2016 г. составлял $60 \cdot 10^{-6}$ 1/чел. год. Оптимальное значение индивидуального пожарного риска на ближайшие три года составляет $48 \cdot 10^{-6}$ 1/чел. год. Это потребует увеличения расходов федерального бюджета по разделу "Обеспечение пожарной безопасности" с 111 228 млн руб. на 10 % по сравнению с 2016 г. Указанное увеличение расходов приведет к сокращению суммарного ущерба при пожарах со 113 639 млн руб. в 2016 г. до 95 543 млн руб. Индивидуальный пожарный риск при этом снизится с $60 \cdot 10^{-6}$ до $48 \cdot 10^{-6}$. Это означает сокращение числа людей, погибавших при пожарах, на $(60 - 48) \cdot 10^{-6} \cdot 147 \cdot 10^6 = 1764$ человека ($147 \cdot 10^6$ — среднегодовая численность населения РФ).

Список литературы

1. **Безопасность России.** Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Анализ риска и проблем безопасности. В 4-х частях. Ч. 4. Научно-методическая база анализа риска и безопасности / Науч. руковод. К. В. Фролов. — М.: МГОФ "Знание", 2007. — 864 с.
2. **Федеральный закон** от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности".
3. **Харисов Г. Х., Фирсов А. В.** Обоснование нормативного значения и расчетной величины индивидуального пожарного риска в зданиях и сооружениях: Монография. — М.: Академия ГПС МЧС России, 2014. — 225 с.
4. **Rasbash D. J.** Criteria for acceptability for use with quantitative approaches to Fire safety // Fire safety journal. — 1984—1985. — No. 8. — P. 141—158.
5. **Criteria** for risk related to dangerous goods // IFPEA Conference. — Wageningen, Holland, 1980.
6. **Харисов Г. Х.** Экономический эквивалент стоимости человеческой жизни: Монография. Издание третье, переработанное и дополненное. — М.: Академия ГПС МЧС России, 2016. — 66 с.
7. **Доклад** директора Финансово-экономического департамента МЧС России на совещании на тему: "О формировании бюджета МЧС России на 2013 г." 22 октября 2012 г. — М., 2012.
8. **Федеральный закон** от 14.12.2015 № 359-ФЗ (ред. от 22.11.2016) "О федеральном бюджете на 2016 год".
9. **Пожары** и пожарная безопасность в 2012—2016 г.: Статистический сборник. — М.: ВНИИПО МЧС России, 2016 — 148 с.
10. **Интернет-портал** по расчету теории вероятности. URL: www.Kontrolnaya-rabota.ru/p/teoriya-veroyatnosti/metod-naimenshih-kvadratov/ (дата обращения 10.01.2018).
11. **BS 7974-7: 2003** Application of fire safety engineering principles to the design of buildings. Part 7: // Probabilistic fire risk assessment. — British Standards Institution (BSI), London, UK, 2003.

G. K. Kharisov, Professor, Professor of Department, **A. V. Firsov**, Associate Professor,
e-mail: firsovaalex@mail.ru, Academy of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Moscow

The Justification of Optimum meaning Individual Fire Risk in the Russian Federation

Presents a new method of recording damage in case of fire, including material losses and damage as a result of the death and injury of people, which converted into monetary units. This method allows to compare the costs allocated to fire safety, with a total damage in fires and to calculate the optimal value of individual fire risk. The latter corresponds to the minimum total damage in fires and minimize the cost of providing fire safety.

Keywords: individual fire risk, the cost of fire safety, the value of human life, the direct damage by fire

References

1. **Bezopasnost' Rossii.** Pravovye, social'no-jekonomicheskie i nauchno-tehnicheskie aspekty. Analiz riska i problem bezopasnosti. V 4-h chastjah. Ch. 4. Nauchno-metodicheskaja baza analiza riska i bezopasnosti / Nauchn. rukovoditel'. K. V. Frolov. Moscow: MGOF "Znanie", 2007. 864 p.
2. **Federal'nyj zakon** ot 22 ijulja 2008 g. No. 123-FZ "Tehnicheskij reglament o trebovaniyah pozharnoj bezopasnosti".
3. **Harisov G. H., Firsov A. V.** Obosnovanie normativnogo znachenija i raschetnoj velichiny individual'nogo pozharnogo riska v zdanijah i sooruzhenijah: Monografija. Moscow: Akademija GPS MChS Rossii, 2014. 225 p.
4. **Rashash D. J.** Criteria for acceptability for use with quantitative approaches to Fire safety. *Fire safety journal*. 1984—1985. No. 8. P. 141—158.
5. **Criteria** for risk related to dangerous goods. *IFPEA Conference*. Wageningen, Hol-land, 1980.
6. **Harisov G. H.** Jekonomicheskij jekvivalent stoimosti chelovecheskoj zhizni: Mo-nografija. Moscow: Akademija GPS MChS Rossii, 2016. 66 p.
7. **Doklad** direktora Finansovo-jekonomicheskogo departamenta MChS Rossii na so-veshhanii na temu: "O formirovanii bjudzheteta MChS Rossii na 2013 g." 22 oktjabrja 2012 g. Moscow, 2012.
8. **Federal'nyj zakon** ot 14.12.2015 No. 359-FZ (red. ot 22.11.2016) "O federal'nom bjudzhetete na 2016 god".
9. **Pozhary** i pozharnaja bezopasnost' v 2012—2016 g.: Statisticheskij sbornik. Moscow: VNIPO MChS Rossii, 2016. 148 p.
10. **Internet-portal** po raschetu teorii veroyatnosti. URL: www.Kontrolnaya-rabota.ru/p/teoriya-veroyatnosti/metod-naimenshih-kvadratov/ (date of access 10.01.2018).
11. **BS 7974-7:2003** Application of fire safety engineering principles to the design of buildings. Part 7: // Probabilistic fire risk assessment. — British Standards Institution (BSI), London, UK, 2003.



ТЕМАТИЧЕСКИЕ РАЗДЕЛЫ:

- системы и технические средства видеонаблюдения;
- системы и средства ограничения доступа;
- системы и средства обеспечения пожарной безопасности;
- технические средства обеспечения безопасности;
- средства индивидуальной защиты;
- охрана труда.

Подробности на сайте expocrimea.com

Т. В. Удилов, канд. техн. наук, зам. начальника кафедры, e-mail: udilov_nauka@mail.ru, Восточно-Сибирский институт МВД России, Иркутск, **В. Н. Винокуров**, ст. преп., **В. И. Александрой**, ст. преп., Государственный аграрный университет Северного Зауралья, Тюмень

Анализ мероприятий по защите вахтовых поселков от последствий природных пожаров

Рассмотрены основные виды мероприятий, направленных на защиту вахтовых поселков от воздействия опасных факторов природных пожаров. Предложено поэтапное выполнение противопожарных мероприятий в рамках реализации системы обеспечения пожарной безопасности вахтового поселка в концепции федерального законодательства.

Ключевые слова: природный пожар, противопожарная защита, вахтовый поселок, технологии тушения лесного пожара

Исторически сложилось так, что освоение труднодоступных и отдаленных районов страны организуется вахтовым методом. Вахтовый метод — особая форма осуществления трудового процесса вне места постоянного проживания работников, когда не может быть обеспечено ежедневное их возвращение к месту постоянного проживания [1].

Для обеспечения жизнедеятельности работников, привлекаемых к работам вахтовым методом, организуются вахтовые поселки, представляющие собой совокупность зданий и сооружений различного назначения. Как правило, обустройство вахтовых поселков организуется с использованием быстровозводимых модульных зданий или домов контейнерного типа. Зачастую такие поселки вынужденно расположены в непосредственной близости к лесным массивам. В связи с этим повышается вероятность их уничтожения или повреждения природными пожарами.

Случаи, когда природные пожары угрожают жизни и здоровью работников вахтовых поселков, происходят практически ежегодно. Анализируя данные средств массовой информации за последние пять лет, можно найти ряд характерных примеров. Так, в июле 2012 г. в Хабаровском крае лесной пожар подошел вплотную к вахтовому поселку лесозаготовителей Сизиман, работников поселка срочно эвакуировали прибывшие спасатели, при этом пришлось задействовать авиацию и флот [2].

В июле 2016 г. крупный лесной пожар подошел к нефтепроводу "Куюмба-Тайшет" в Эвенкийском районе и расположенному рядом вахтовому поселку. Только благодаря оперативному прибытию и слаженным действиям сотрудников и авиации лесопожарного центра удалось остановить распространение лесного пожара [3].

Зарубежные вахтовые поселки также нередко становятся жертвой лесных пожаров. Так, в мае 2016 г. в канадской провинции Альберта лесными пожарами были полностью уничтожены несколько вахтовых поселков нефтяников [4].

Во всех перечисленных случаях для спасения работников вахтовых поселков было задействовано большое количество единиц пожарной и вспомогательной техники, спасательные службы, авиационная техника, а также добровольческие спасательные формирования.

Согласно рекомендациям [5] защита населенных пунктов от лесных пожаров может быть обеспечена путем поэтапной реализации комплекса соответствующих мероприятий. К таким этапам, по мнению авторов [5], можно отнести: проведение оценки вероятности приближения лесного пожара к населенному пункту и возникновения чрезвычайных пожарных ситуаций; формирование информационной базы пирологических характеристик растительности на территории, прилегающей к населенному пункту; проведение профилактических мероприятий вблизи населенного пункта и на его территории; активная защита в случае возникновения чрезвычайной пожарной ситуации от приближающегося крупного лесного пожара.

При обеспечении пожарной безопасности вахтового поселка также важна реализация аналогичного комплекса мероприятий, возможно, сравнительно меньшего масштаба.

Рассматривая систему обеспечения пожарной безопасности вахтового поселка в концепции федерального законодательства [6], можно выделить три подсистемы.

1. Систему предотвращения пожара, представляющую собой группу организационных



мероприятий и способов применения технических средств, основной целью которых является исключение возможности возникновения пожара как на территории, так и вблизи вахтового поселка.

2. Систему противопожарной защиты, представляющую собой группу организационных мероприятий и способов применения технических средств, действие которых направлено на защиту от воздействия опасных факторов пожара людей, объектов и имущества вахтового поселка.

3. Комплекс организационно-технических мероприятий по обеспечению пожарной безопасности на объектах вахтового поселка.

В рамках данных подсистем необходима поэтапная реализация мероприятий предложенных рекомендаций [5].

На *первом этапе* реализации системы предотвращения пожара вахтового поселка необходимо провести оценку вероятности возникновения пожара вблизи вахтового поселка, а также оценить характер наиболее вероятных сценариев развития чрезвычайной ситуации, связанной с возникновением и развитием природного пожара вблизи поселка.

На первом этапе изучаются информационные карты, данные системы дистанционного мониторинга лесных пожаров, устанавливаются пожароопасные периоды года для конкретной местности, сезонность пожаров, проводится анализ горимости лесов этой местности за прошлые годы. В результате оценки комплекса факторов пожарной опасности территории, карты грозовой активности, класса пожарной опасности по условиям погоды, напряженности пожароопасного сезона, типов основных проводников горения, полноты насаждения, породного состава и средних диаметров деревьев, рельефа местности, данных карты ветровых районов определяются вероятность, характер и максимально опасные последствия чрезвычайных ситуаций вблизи вахтового поселка, связанных с природным пожаром.

На *втором этапе* реализации системы предотвращения пожара вахтового поселка производится обобщение полученных данных в единую информационную базу, основное назначение которой заключается в построении оперативного прогноза возникновения и развития природного пожара вблизи вахтового поселка, а также для планирования мероприятий по защите вахтового поселка от природных пожаров.

Информационная база данного этапа должна содержать следующие сведения о территории вокруг вахтового поселка: пирологическую характеристику растительности; сведения о подъездных путях, естественных и искусственных барьерах и преградах (дороги, болота, водоемы, минерализованные полосы и т. п.).

На *третьем этапе* реализации системы предотвращения пожара вахтового поселка необходимо проведение пожарных профилактических мероприятий вблизи вахтового поселка и на его территории. Как правило, на данном этапе проводятся мероприятия, позволяющие полностью исключить или уменьшить вероятность распространения пожара на территорию поселка: создание защитных полос между лесными массивами и поселковыми строениями, сезонная очистка территории от сухой растительности. При этом вокруг поселка создается так называемая опорная линия для его активной защиты.

При реализации системы противопожарной защиты вахтового поселка должны предусматриваться следующие мероприятия:

- организация патрулирования территории вблизи поселка с целью обнаружения очагов возгорания на ранней стадии развития;

- организация эвакуации людей и имущества в заранее предусмотренные безопасные зоны с защитными элементами от опасных факторов природного пожара;

- оборудование объектов на территории вахтового поселка системами обнаружения пожара, а также системами оповещения людей о пожаре;
- обеспечение наличия на объектах вахтового поселка огнетушащих средств в достаточном количестве;

- создание высококомобильных отрядов из числа работников поселка, снабженных эффективной малогабаритной техникой пожаротушения.

К комплексу организационно-технических мероприятий по обеспечению пожарной безопасности на объектах вахтового поселка следует отнести следующие мероприятия:

- регулярные проверки исправности пожарной техники, а также техники, привлекаемой в случае пожара (автоцистерны, тракторная техника и т. п.);

- инструктаж работников поселка по действиям в случае поступления сигнала о пожаре;

- привлечение работников в добровольческие пожарные формирования;

- проведение пожарно-тактических учений с работниками поселка;

- соблюдение правил противопожарного режима на территории вахтового поселка.

Сезонное патрулирование территории вблизи поселка с целью своевременного обнаружения очагов возгорания целесообразно обеспечивать малыми оперативными группами рабочих в составе звеньев по два-три человека. При этом их рекомендуется вооружить высококомобильными (носимыми) механизированными или ранцевыми средствами тушения пожара, такими как ручной

моторизованный грунтомет ГРМ-0,25/5 [7], моторизованный ранцевый огнетушитель ГИРС-120РБ [8], ранцевый моторизованный огнетушитель ОРМ-4/25 [9], воздуходувки-опрыскиватели лесопожарные "Ангара" или "Тайга" [10].

В районах с низкими температурами окружающей среды или безводных районах актуально применение пневмоимпульсных технологий пожаротушения, исключающих необходимость использования воды в качестве огнетушащего средства. Примером эффективного использования подобной техники могут быть исследования создания струи мелкодисперсного твердого огнетушащего вещества при помощи пневматических линеметов и других носимых пневмоимпульсных устройств [11–13].

Предложенная последовательность реализации комплекса мероприятий по защите вахтовых поселков от природных пожаров позволит существенно снизить вероятность перехода крупных пожаров на объекты поселка и минимизировать ущерб от подобного рода чрезвычайных ситуаций.

Список литературы

1. **Российская Федерация.** Трудовой кодекс Российской Федерации: Федер. закон: [принят Гос. Думой 21 декабря 2001 г.; одобрен Советом Федерации 26 декабря 2001 г.]. — М.: Проспект, 2017. — 272 с.
2. **Официальный сайт "Пятый канал".** URL: <https://www.5-tv.ru> (дата обращения 20.12.2017).
3. **Новости — КГАУ "Лесопожарный центр".** URL: <http://www.lpcentr.ru> (дата обращения 20.12.2017).
4. **Природный пожар в Форт МакМюррей** — Электронная энциклопедия пожарного дела. URL: <https://wiki-fire.org> (дата обращения 20.12.2017).
5. **Волокитина А. В.** Защита населенных пунктов от чрезвычайных ситуаций, связанных с природными пожарами: практические рекомендации. — Красноярск: Институт леса им. В. Н. Сукачева, 2002. — 63 с.
6. **Российская Федерация.** Законы. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон: [принят Гос. Думой 4 июля 2008 г.; одобрен Советом Федерации 11 июля 2008 г.]. — Новосибирск: Норматика, 2017. — 112 с.
7. **Комбинированный лесопожарный грунтомет** и рекомендации по его применению / И. М. Бартенев, М. В. Драпалюк, П. Э. Гончаров и др. // Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ. — 2012. — № 84. — С. 174–184.
8. **ГИРС** — технологии пожаротушения. URL: <http://girs.ru> (дата обращения 20.12.2017).
9. **Официальный сайт ФГБУ "Авиалесоохрана".** URL: <https://aviales.ru> (дата обращения 20.12.2017).
10. **Официальный сайт ООО "Лесхозснаб".** URL: <http://lessnab.com> (дата обращения 20.12.2017).
11. **Удилов Т. В.** Оценка возможности применения пневматических линеметов для подачи огнетушащих порошков // Исторические и современные аспекты решения проблем горения, тушения и обеспечения безопасности людей при пожарах: Материалы XX Международной научно-практической конференции. Секция 2. — М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2007. — С. 176–178.
12. **Удилов Т. В., Самойлов В. И., Рожков Д. М.** Поиск высокоэффективного способа тушения низового лесного пожара // Деятельность правоохранительных органов и федеральной противопожарной службы в современных условиях: проблемы и перспективы развития: Материалы Международной научно-практической конференции — Иркутск: ФГОУ ВПО ВСИ МВД России, 2008 — С. 274–277.
13. **Удилов Т. В.** Модель малогабаритной установки для тушения низовых лесных пожаров // Сопряженные задачи механики реагирующих сред, информатики и экологии: Материалы 8-й Всероссийской конференции с участием зарубежных ученых. — Томск: Изд-во Том. ун-та, 2009. — С. 112–113.

T. V. Udilov, Deputy Chief of Chai e-mail: udilov_nauka@mail.rur, East Siberian Institute of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation, Irkutsk,
V. N. Vinokurov, Senior Lecturer, **V. I. Aleksandroi**, Senior Lecturer, Northern Trans-Ural State Agricultural University, Tyumen

Analysis of Measures to Protect Settlements from the Effects of Wildfires

The article deals with the main types of measures aimed at protecting shift camps from the impact of dangerous factors of wildfires. The stage-by-stage performance of fire-prevention actions within implementation of the concept of system of ensuring fire safety of the shift settlement is offered. The analysis of organizational and technical measures allowed to combine the proposed fire-prevention measures into three elements of the fire safety system of the shift camp: the fire prevention system, which is a group of organizational measures, technical means and methods of their application to eliminate the possibility of fire in the territory and near the shift camp; fire protection system, which is a group of organizational measures, technical means and methods of their application to protect people and property of the shift camp from the impact of dangerous fire factors; a set of organizational and technical measures to ensure fire safety at the objects of the shift village.

Keywords: forest fire, wildfire, forest fire extinguishing technologies, fire prevention, fire protection, shift camp, the protection of the settlement from a forest fire



References

1. **Rossijskaja Federacija.** Trudovoj kodeks Rossijskoj Federacii: Federal'nyj zakon. Moscow: Prospekt, 2017. 272 p.
2. **Oficial'nyj sayt** "Pjatyj kanal". URL: <https://www.5-tv.ru> (date of access 20.12.2017).
3. **Novosti — KGAU** "Lesopozharnyj centr". URL: <http://www.lpcentr.ru> (date of access 20.12.2017).
4. **Prirodnyj pozhar** v Fort MakMjurrej — Jelektronnaja jenciklopedija pozharnogo dela. URL: <https://wiki-fire.org> (date of access 20.12.2017).
5. **Volokitina A. V.** Zashhita naselennyh punktov ot chrezvychajnyh situacij, svjazannyh s prirodnyimi pozharami: prakticheskie rekomendacii. Krasnojarsk: Institut lesa im. V. N. Sukacheva, 2002. 63 p.
6. **Rossijskaja Federacija.** Zakony. Tehnicheskij reglament o trebovanijah pozharnoj bezopasnosti: Federal'nyj zakon: July 11, 2008. Novosibirsk: Normatika, 2017. 112 p.
7. **Kombinirovannyj lesopozharnyj gruntomet** i rekomendacii po ego primeneniju / I. M. Bartenev, M. V. Drapaljuk, P. Je. Goncharov i dr. *Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal KubGAU*. 2012. No. 84. P. 174—184.
8. **GIRS** — tehnologii pozharotushenija. URL: <http://girs.ru> (date of access 20.12.2017).
9. **Oficial'nyj sayt** FGBU "Avialesoohrana". URL: <https://aviales.ru> (date of access 20.12.2017).
10. **Oficial'nyj sayt** ООО "Leshozsnab". URL: <http://lessnab.com> (date of access 20.12.2017).
11. **Udilov T. V.** Ocenka vozmozhnosti primeneniya pnevmaticheskikh linemetov dlja podachi ognetusashhih poroshkov. *Istoricheskie i sovremennye aspekty reshenija problem gorenija, tushenija i obespechenija bezopasnosti ljudej pri pozharah: Materialy XX Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. Sekcija 2.* Moscow: FGU VNIPO MChS Rossii, 2007. P. 176—178.
12. **Udilov T. V., Samojlov V. I., Rozhkov D. M.** Poisk vysokoeffektivnogo sposoba tushenija nizovogo lesnogo pozhara. *Dejatel'nost' pravoohranitel'nyh organov i federal'noj protivopozharnoj sluzhby v sovremennyh uslovijah: problemy i perspektivy razvitiya: Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii.* Irkutsk: FGOU VPO VSI MVD Rossii, 2008. P. 274—277.
13. **Udilov T. V.** Model' malogabaritnoj ustanovki dlja tushenija nizovyh lesnyh pozharov. *Soprjazhennye zadachi mehaniki reagirujushhih sred, informatiki i jekologii: Materialy 8-j Vserossijskoj konferencii s uchastiem zarubezhnyh uchenyh.* Tomsk: Izd-vo Tom. un-ta, 2009. P. 112—113.

УДК 614.841.4

С. Ф. Лобова, ст. науч. сотр., e-mail: sophyf@mail.ru, **Е. В. Копкин**, д-р техн. наук, проф. кафедры, **Е. Н. Бардулин**, д-р экон. наук, проф., начальник кафедры, **А. С. Соловьев**, начальник отдела, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Расчет теплового воздействия на здание при пожаре пролива мазута с использованием программы FIRE DYNAMICS SIMULATOR (FDS)

Рассмотрено применение численного моделирования естественно-конвективного пламени при пожаре пролива мазута в обваловании с помощью специализированной программы FIRE DYNAMICS SIMULATOR (FDS). Результаты сравнивались с результатами, полученными по эмпирическим зависимостям и с помощью простых моделей для инженерных расчетов. Сформулированы основные этапы работы, в рамках которых осуществлялось моделирование динамики пожара полевым методом.

Ключевые слова: численное моделирование, естественно-конвективное пламя, полевая модель, плотность теплового потока излучения, FDS

Введение

Численное полевое моделирование естественно-конвективного пламени (полевой метод) — это с физико-математической точки зрения решение системы дифференциальных уравнений (системы Навье-Стокса) с заданными граничными и начальными условиями, описывающими каждый конкретный сценарий пожара. Для решения данной системы уравнений используются численные

методы, т.е. уравнения решаются с помощью специальных математических схем и приближений. Существует большое число специализированных программ, которые могут решить данные уравнения численно, а также могут включать в себя различные модели физических процессов, происходящих при пожаре. К таким моделям относят модели турбулентности, модели горения, модели излучения. Все эти модели имеют различную степень точности и требуют разных вычислительных ресурсов.

Рассмотрим на конкретном примере моделирование естественно-конвективного пламени, включающее расчет теплового потока излучения от пламени на облучаемые объекты полем методом с использованием программы FIRE DYNAMICS SIMULATOR (FDS), при проливе и возгорании нефтепродукта в обваловании и воздействии опасных факторов пожара (в данном случае теплового потока излучения) на конструкции расположенного рядом с проливом здания.

В выбранной для решения поставленной задачи программе FDS содержатся достаточно точные численные модели физических процессов, происходящих при пожаре. Модель крупных вихрей для моделирования турбулентных пульсаций, модель переменной смешения для моделирования горения, метод конечных объемов, используемый для решения уравнения переноса теплового потока излучения, корректно описывают естественно-конвективные виды пламени, наблюдаемые при пожарах, в частности при пожарах пролива.

Программа FDS прошла большое количество валидаций в научной среде и зарекомендовала себя как программа, решающая с большой степенью точности большинство инженерных задач в области обеспечения пожарной безопасности.

Работа с программой FDS осуществлялась в оболочке PyroSim, которая представляет собой графический интерфейс (препроцессор и, частично, постпроцессор) для FDS.

Этапы проведения численного моделирования

Краткая характеристика объекта исследования

В данной работе рассматривается резервуарный парк для мазута, состоящий из двух резервуаров в обваловании. Рядом с парком (на расстоянии 16 м от края обвалования) расположено здание высотой 20 м (рис. 1). Степень огнестойкости здания — II. Класс функциональной пожарной опасности — Ф 5.1. Категория здания по взрывопожарной и пожарной опасности — В. На рис. 2 представлена схема обвалования.

Расчетная область и граничные условия

Резервуарный парк и часть здания для проведения моделирования строятся в границах расчетной области (рис. 3), которая представляет собой объем, содержащий модель исследуемого окружающего пространства, в данном случае с размерами $180 \times 55 \times 20$ м. Рассматривается ситуация, когда произошла разгерметизация обоих резервуаров и мазут разлился по всей поверхности,

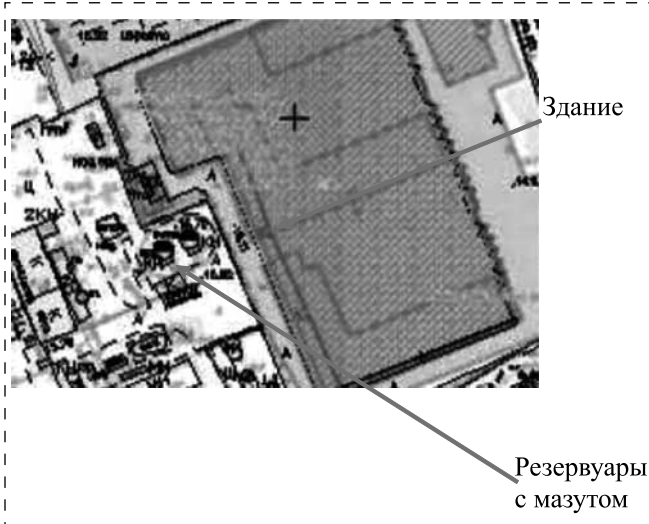


Рис. 1. План расположения здания и резервуарного парка

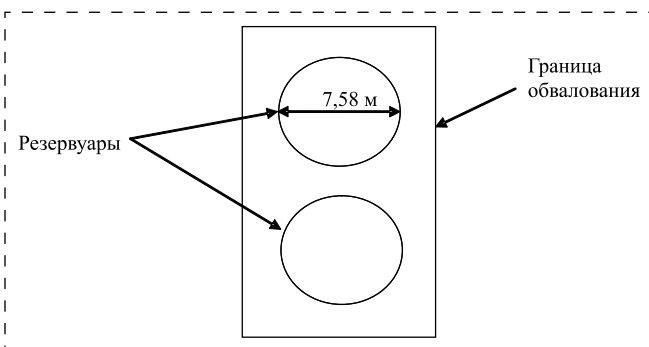


Рис. 2. Схема резервуарного парка

ограниченной обвалованием. При возгорании мазута формируется пожар пролива. Далее рассмотрены сценарии пожара при отсутствии бокового ветра и при наличии бокового ветра, направленного в сторону здания. Интерес в исследовании представлял падающий тепловой поток излучения от пламени на окружающие предметы.

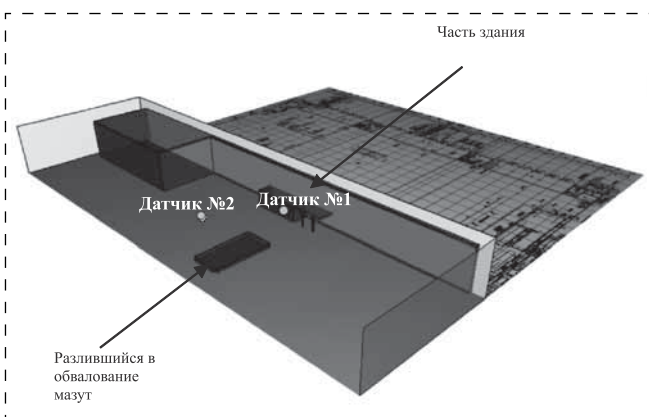


Рис. 3. Расчетная область



Значения теплового потока излучения измерялись с помощью датчиков № 1 и № 2, расположенных на одинаковых расстояниях от обвалования, но на разных от центра пролива.

Определение параметров расчетной сетки

Важным этапом численного моделирования является выбор разрешающей способности расчетной сетки. Размер ячейки сетки [1] должен находиться в интервале от $0,25D^*$ до $0,0625D^*$, где D^* — характеристический диаметр пожара, м:

$$D^* = \left(\frac{\dot{Q}}{\rho_{\infty} c_p T_{\infty} \sqrt{g}} \right)^{\frac{2}{5}},$$

где $\dot{Q}$ — мощность очага пожара, Вт; T_{∞} — температура воздуха, К; c_p — удельная теплоемкость воздуха, Дж/кг·К; ρ_{∞} — плотность воздуха при температуре T_{∞} , кг/м³; g — ускорение свободного падения, м/с².

Для рассматриваемого случая значение D^* , полученное по формуле, составило 7,07 м.

Соответственно, максимальный размер ячейки сетки (грубая сетка):

$$\delta x_{\max} = 0,25D^* = 1,77 \text{ м},$$

минимальный размер ячейки сетки:

$$\delta x_{\min} = 0,0625D^* = 0,44 \text{ м}.$$

В данном исследовании сетка строилась равномерной с размером ячейки 0,5 м.

Исходные данные для проведения расчетов

Существуют значения излучения тепловых потоков, при которых происходит загорание горючих материалов. Данные значения называются критическими и зависят от типа материала облучаемого объекта.

Критические значения интенсивности облучения для различных материалов приведены в табл. 1.

Характеристики реакции горения определяли по методике [2]:

низшая теплота сгорания 42 000 кДж/кг;
удельная скорость выгорания 0,035 кг/м²·с;
выделение угарного газа (СО) 0,161 кг/кг.

Характеристики окружающей среды были приняты в соответствии с Санитарными правилами [3] с учетом места расположения исследуемого

Таблица 1

**Критические значения интенсивности облучения q_{cr}
(плотности теплового потока излучения)
для различных материалов [2]**

Материалы	q_{cr} , кВт/м ²
Древесина (сосна влажностью 12 %)	13,9
Древесно-стружечные плиты (плотностью 417 кг/м ³)	8,3
Торф брикетный	13,2
Торф кусковой	9,8
Хлопок-волокно	7,5
Слоистый пластик	15,4
Стеклопластик	15,3
Пергамин	17,4
Резина	14,8
Уголь	35,0
Рулонная кровля	17,4
Картон серый	10,8
Декоративный бумажно-слоистый пластик	19,0...24,0
Металлопласт	24,0...27,0
Плита древесно-волоконная	13,0
Плита древесно-стружечная	12,0
Плита древесно-стружечная с отделкой "Полипен"	12,0
Плита древесно-волоконная с лакокрасочным покрытием под ценные породы дерева	12,0...16,0
Кожа искусственная	17,9...20,0
Стеклопластик на полиэфирной основе	14,0
Лакокрасочные покрытия	25,0

объекта и времени года: температура воздуха 38 °С; скорость бокового ветра (в сторону здания) 0 м/с, 5 м/с, 10 м/с.

Результаты расчета

Результаты моделирования сценариев пожара, в рамках которых изучалась передача тепла от очага пожара на конструкции здания, приведены на рис. 4—9 (см. обложку).

На рис. 4 (см. 2-ю стр. обложки) показано развитие пожара в условиях неподвижной среды (скорость бокового ветра 0 м/с). Величина падающего на конструкции здания теплового потока излучения не превышает 7 кВт/м² (рис. 5 — см. 2-ю стр. обложки).

На рис. 6—9 (см. 3-ю и 4-ю стр. обложки) представлены результаты моделирования сценариев пожара, в которых учитывалось влияние бокового ветра. Величина падающего на конструкции здания теплового потока излучения в этом случае также не превышает 7 кВт/м^2 (см. рис. 7 и 9).

Сравнивая результаты моделирования при неподвижной среде и при наличии бокового ветра (см. рис. 4—9), можно сделать вывод, что наличие бокового ветра не оказывает значительного влияния на величину падающего на конструкции здания теплового потока излучения. Это объясняется лучшими условиями смешения горючего с окислителем при неподвижной среде и деформацией и отрывом пламени при наличии бокового ветра.

На рис. 10 и 11 показаны зависимости плотности теплового потока излучения от времени при скорости ветра 0 м/с . Графики построены по данным датчиков № 1 и № 2 (см. рис. 3).

Для валидации полученных результатов моделирования проведем сравнение результатов численного моделирования пожара пролива с эмпирическими данными и с упрощенными инженерными методами расчета теплового потока излучения.

При обработке и обобщении многочисленных экспериментов по измерению плотности тепловых потоков излучения от пламени получена следующая зависимость [4] для теплового потока q , кВт/м^2 , падающего на вертикальную поверхность, расположенную на расстоянии R от центра поверхности горючего:

$$q = 15,4 \left(\frac{D^*}{R} \right)^{1,59}.$$

Полученная зависимость справедлива для больших естественно-конвективных видов пламени, образующихся над поверхностью жидких горючих.

Существуют также несколько приближенных методов расчета плотности тепловых потоков излучения от пламени. Одним из них является модель точечного источника [5]. Основным допущением данной модели является то, что вся

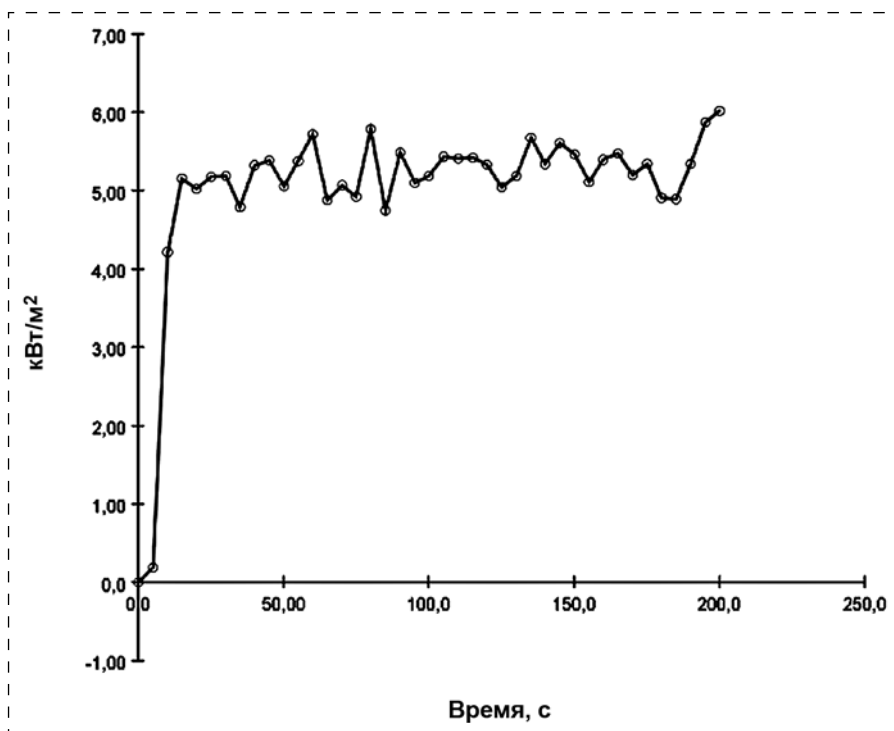


Рис. 10. Плотность теплового потока излучения по датчику № 1 при скорости ветра 0 м/с

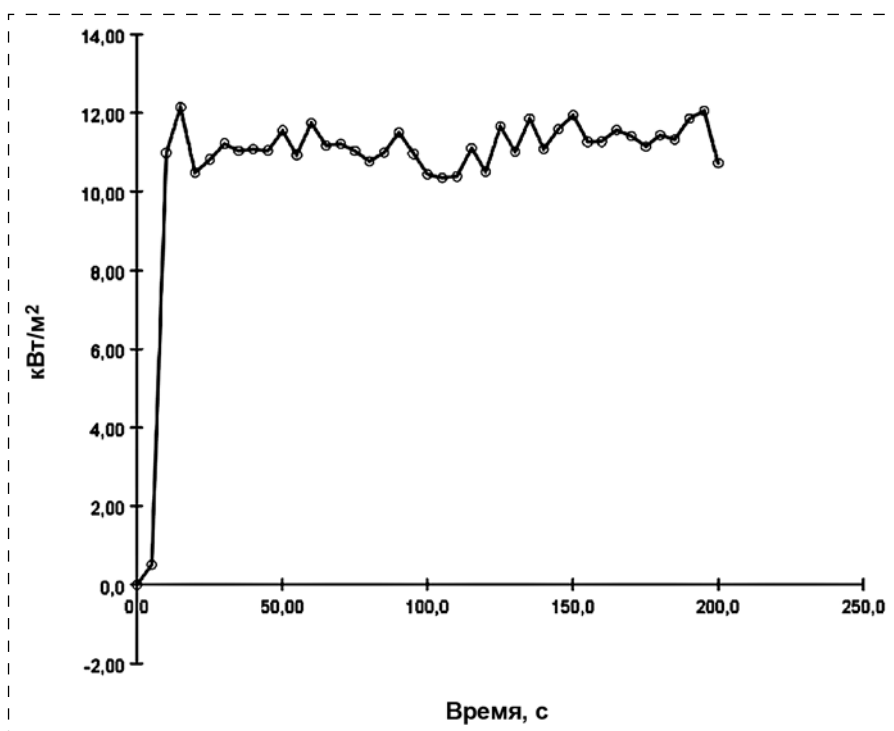


Рис. 11. Плотность теплового потока излучения по датчику № 2 при скорости ветра 0 м/с



Таблица 2

Значения плотности теплового потока излучения в области расположения датчиков № 1 и № 2

Плотность теплового потока излучения, кВт/м ²					
Расчетное значение		Значение по эмпирической зависимости		Значение по модели точечного источника	
Датчик № 1	Датчик № 2	Датчик № 1	Датчик № 2	Датчик № 1	Датчик № 2
5,2	11,0	8,7	11,2	10,0	13,0

излучаемая пламенем энергия испускается из одной точки, расположенной на половине длины пламени. Соответственно, в рамках данной модели плотность теплового потока излучения вычисляется по следующей формуле:

$$q = \tau_R \frac{\dot{Q}_R}{4\pi R^2},$$

где τ_R — коэффициент пропускания излучения атмосферой; $\dot{Q}_R$ — мощность теплового излучения, Вт; R — расстояния до облучаемого объекта от центра поверхности горения, м.

В табл. 2 представлены значения плотности тепловых потоков излучения на расстоянии 16 м от края обвалования, полученные в результате моделирования и посредством инженерных расчетов. Нужно отметить: несмотря на то что датчики № 1 и № 2 расположены на расстоянии 16 м от края обвалования, расстояние от центра поверхности горения до датчиков разное вследствие вытянутой формы поверхности горения.

Сравнение результатов расчетов, приведенных в табл. 2, показало, что значения плотности тепловых потоков излучения на конструкции здания, полученные в результате инженерных расчетов, больше значений, полученных в результате моделирования пламени полемым методом. Отличие значений плотности теплового потока излучения в большей степени связано с тем, что как эмпирическая зависимость, так и модель точечного источника не учитывают форму горящей поверхности (форму пролива). В данном случае форма горящей поверхности — прямоугольник, и тепловой поток излучения будет больше с более протяженной стороны прямоугольника (датчик № 2), что учитывается при проведении численного расчета полемым методом.

Также можно сделать вывод относительно возможности распространения пламени на

здание. Так как значение плотности теплового потока, падающего на конструкции производственного здания при горении мазута в обваловании, меньше критических значений плотности тепловых потоков излучения для различных строительных материалов (см. табл. 1), то тепловой поток излучения от пламени пожара пролива является для здания безопасным при заданных условиях.

Выводы

Полученные с помощью программы FIRE DYNAMICS SIMULATOR (FDS) значения плотности тепловых потоков излучения находятся в хорошем согласии с экспериментальными и эмпирическими зависимостями.

Разрешающая способность расчетной сетки, подобранной в соответствии с работой [2], при стандартных настройках модели излучения оказалась достаточной для получения адекватных результатов моделирования.

С помощью численного моделирования естественно-конвективного пламени получен ответ на вопрос о возможности распространения пожара на здания и оказания какого-либо значимого влияния на конструкции здания в случае пролива нефтепродукта в обвалование.

Наличие бокового ветра оказывает слабое влияние на тепловой поток излучения от пожара пролива размером порядка 10 м.

Численное полевое моделирование естественно-конвективного пламени позволяет учитывать архитектурные решения в каждом конкретном сценарии пожара, обеспечивая тем самым более гибкий подход к конкретной задаче.

Список литературы

1. McGrattan Kevin etc. Fire Dynamics Simulator (version 5). User's Guid. National Institute of Standards and Technology

- Special Publication 1019-5. Washington, DC: U. S. Government Printing Office, 2010. 222 p.
2. **Приложение** к приказу МЧС России от 10.07.2009 № 404 "Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах" (ред. от 14.12.2010).
3. **СП 131.13330.2012** Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99.

4. **Shokri M., Beyler C. L.** Radiation from Large Pool Fires // *SFPE Journal of Fire Protection Engineering*. 1989. Vol. 4. No. 1. P. 141–150.
6. **Снегирев А. Ю., Талалов В. А.** Теоретические основы пожаро- и взрывобезопасности. Горение неперемешанных реагентов: Учеб. пособие. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. 212 с.

S. F. Lobova, Senior Researcher, e-mail: sophyf@mail.ru, **E. V. Kopkin**, Professor, **E. N. Bardulin**, Professor, Head of Chair, **A. S. Solovyov**, Head of Department, Saint-Petersburg University of State Firefighting of EMERCOM of Russia

Modeling of Heat Flux to the Building during Fire Strait Oil with Software FIRE DYNAMICS SIMULATOR (FDS) use

The article describes the application of numerical modeling of buoyant flame when burning fuel oil in the Strait of bonding. The simulation was carried out using specialized software FIRE DYNAMICS SIMULATOR (FDS). The results were compared with empirical correlations and simple models of engineering calculation of radiation. The article also defines the main tasks, the solution of which is necessary for the numerical experiments, and the assumptions that have a place in the numerical modeling of a field method.

Keywords: computational Fluid Dynamics modeling, buoyant flame, field model, radiative heat flux, Fire Dynamics Simulator (FDS)

References

1. **McGrattan Kevin** etc. Fire Dynamics Simulator (version 5). User's Guid. National Institute of Standards and Technology Special Publication 1019-5. Washington, DC: U. S. Government Printing Office, 2010. 222 p.
2. **Prilogenie** k prikazu MCHS Rossii ot 10.07.2009 No. 404 "Metodica opredeleniya raschetnyh velichin pogarnogo riska na proizvodstvennyh objectach" (redakcija ot 14.12.2010).

3. **СП 131.13330.2012** Stroitel'naya klimatologiya. Aktualizirovanaya redakziya SNiP 23-01-99.
4. **Shokri M., Beyler C. L.** Radiation from Large Pool Fires. *SFPE Journal of Fire Protection Engineering*. 1989. Vol. 4. No. 1. P. 141–150.
5. **Snegirev A. Yu., Talalov V. A.** Teoreticheskie osnovy pogaro-e vzryvobezopasnosti. Gorenje neperemeshanyh reagentov: Uchebnoe posobie. Saint-Petersburg: Izdftel'stvo Polytechnicheskogo universiteta, 2008. 212 p.

Специализированная выставка Безопасность. Охрана. Спасение/SENTEX Россия Нижний Новгород Нижегородская ярмарка, павильон № 1 13—15 ноября 2018

Тематика выставки: Предупреждение и ликвидация ЧС. Пожарная безопасность. Медицина катастроф. Промышленная и экологическая безопасность. Технические средства и системы безопасности. Охрана и безопасность труда. Транспортная безопасность и др.

Сайт: http://www.yarmarka.ru/catalog/14/439/sentex_2018.html

УДК 614.841.3:614.833

С. С. Тимофеева, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой,
В. В. Гармышев, канд. техн. наук, докторант, Иркутский национальный
исследовательский технический университет, e-mail: diamant1959@mail.ru,
Д. В. Дубровин, ст. инженер, Главное управление МЧС России по Иркутской
области, Иркутск

Методология и оценка загрязнения атмосферы, создаваемого пожарами на объектах техносферы в Сибирском федеральном округе

Рассмотрена проблема загрязнения воздушного бассейна в результате чрезвычайных ситуаций, связанных с пожарами на объектах техносферы Сибирского федерального округа. Обоснована необходимость и показана значимость оценки загрязнения атмосферы в результате пожаров. Предложена методология поэтапного определения качественных и количественных сгоревших материалов. На основе данных мониторинга последствий пожаров в округе за 2001–2016 гг. рассчитаны усредненные значения массы сгоревших материалов. Принимая во внимание удельные показатели выделения токсикантов при горении различных групп материалов, были определены массовые значения приоритетных токсичных продуктов сгорания. Рассчитана усредненная удельная нагрузка на атмосферу в результате залповых выбросов загрязняющих веществ при техносферных пожарах в субъектах Российской Федерации Сибирского федерального округа.

Ключевые слова: анализ последствий пожаров, объекты техносферы, токсичные продукты горения, загрязнение атмосферы

Введение

В настоящее время пожары стали достаточно частым явлением. Причиной возникновения пожара чаще всего становится человеческий фактор. Пожар может возникнуть в жилом секторе, в общественных зданиях, на производстве, в лесах, а в засушливые летние периоды — на мусорных свалках. Любой пожар — это неконтролируемый процесс горения, при котором образуется большое количество загрязняющих окружающую среду веществ. Эти вещества влияют как на компоненты биосферы, так и на здоровье человека [1].

При пожарах в современных зданиях, при строительстве которых применяются в больших количествах полимерные и синтетические материалы, образуются токсичные продукты горения. Установлено, что в продуктах горения содержится около 150 видов химических соединений, оказывающих токсическое воздействие. Среди самых распространенных — оксиды углерода, серы, азота, хлористый водород, углеводороды различных классов, спирты, альдегиды, бензол и его гомологи, полиароматические соединения (ПАУ) и др. Среди самых опасных — соли и оксиды тяжелых металлов, бенз(а)пирен (БаП), диоксины [1, 2].

Все они попадают в воздух окружающей среды и переносятся воздушными массами. Большинство перечисленных химических веществ оказывают вредное воздействие на живые организмы. Так, диоксины, ПАУ и другие способны вызывать онкологические заболевания у людей, а оксиды серы — гибель растительности [2].

В условиях пожара горение, как правило, протекает в диффузном режиме. Вещества и материалы при этом сгорают не полностью и наряду с частицами сажи попадают в окружающую среду в виде газообразных, жидких продуктов горения. Тепловые потоки, регулирующие газообмен и развитие пожара, обеспечивают перенос загрязнителей в пространстве. Течение пожара характеризуется определенными параметрами, например массовой скоростью выгорания, площадью пожара, плотностью теплового потока, продолжительностью пожара, скоростью газообмена и дымовыделения, температурой горения и т. д. Эти параметры определяют обстановку и достигаемые в конкретных условиях значения опасных факторов пожара, приводят к нарушению условий жизнедеятельности, заболеваниям, травмам, гибели людей [1, 3].

Опасные факторы пожара — токсичность продуктов горения, плотность дыма, температура

пожара и другие — можно назвать экологически опасными факторами пожара. Они являются негативными абиотическими факторами для экосистем суши и водных объектов [4]. Экологическая опасность пожаров прямо обусловлена изменением химического состава, температуры воздуха, воды и почвы, а косвенно и других параметров окружающей среды. По данным работ [1—4] экологическая нагрузка на окружающую среду при пожарах определяется, прежде всего, пожарной нагрузкой, т.е. количественным и качественным составом горючих материалов, статистикой и динамикой пожаров.

В данном исследовании предпринята попытка на примере субъектов Российской Федерации (РФ) Сибирского федерального округа (СФО) проанализировать статистику и динамику пожаров, определить частоту и особенности пожаров различных объектов, оценить пожарную нагрузку и скорость выгорания, а также потенциальный риск для населения, пожарных и спасателей по массе выброшенных в атмосферу токсичных веществ, сравнить субъекты РФ СФО по удельным валовым выбросам токсикантов между собой.

Характеристика объекта исследования

СФО основан 13 мая 2000 года и является одним из самых больших округов России, он занимает площадь 5114,8 тыс. км² (30 % территории страны), где проживают 19 320,6 тыс. человек, плотность населения 3,9 чел. км⁻², доля городского населения — 71,1 %. На территории округа расположены 12 субъектов РФ, в том числе четыре республики (Алтай, Бурятия, Тыва, Хакасия); три края (Алтайский, Забайкальский, Красноярский); пять областей (Иркутская, Кемеровская, Новосибирская, Омская, Томская) [4].

Данные материалов [4, 5], а также Главного управления Сибирского регионального центра МЧС России, ГАИ позволили количественно определить и выделить двенадцать групп объектов техносферы с учетом особенностей их функциональной пожарной опасности.

1. Жилые объекты: здания государственного и муниципального назначения, частные дома, садово-дачные товарищества, мобильные здания, общежития квартирного типа — 2,56 млн объектов.

2. Объекты производственного назначения: предприятия, заводы, фабрики, комбинаты лесной, деревообрабатывающей, целлюлозно-бумажной, горнодобывающей, топливной промышленности, цветной металлургии, энергетики, машиностроения, пищевой, химической и нефтехимической промышленности, автотранспортные

предприятия, гаражи, объекты открытого хранения: горючих и других газов, легковоспламеняющихся (ЛВЖ), горючих жидкостей (ГЖ), леса, пиломатериалов, щепы, угля, торфа, технологические установки — 173,69 тыс. объектов.

3. Здания и помещения учебно-воспитательного назначения: дошкольные образовательные и общеобразовательные организации среднего, высшего и дополнительного профессионального образования, внешкольные учреждения школьников, молодежи, аэроклубы, автошколы — 75,84 тыс. объектов.

4. Здания и помещения здравоохранения и социального обслуживания населения: лечебные стационары, медицинские центры, амбулаторно-поликлинические организации, аптеки, реабилитационные и коррекционные учреждения, станции переливания крови, скорой помощи, санитарно-курортные учреждения, дома-интернаты и пансионаты для детей, престарелых, инвалидов, детей-инвалидов — 88,52 тыс. объектов.

5. Здания и помещения сервисного обслуживания населения: торговые центры, рынки, магазины, павильоны, предприятия розничной и мелкооптовой торговли, торгово-развлекательные комплексы, предприятия общественного питания, объекты бытового и коммунального обслуживания населения, учреждения гражданских обрядов, объекты связи, вокзалы всех видов транспорта, учреждения обслуживания пассажиров, туристические и транспортные агентства, объекты санитарно-бытового назначения — 352,15 тыс. объектов.

6. Здания и помещения для временного пребывания людей: гостиничные комплексы, гостиницы, отели, мотели, кемпинги, дома отдыха, туристические базы, летние лагеря и пансионаты для детей и взрослых, общежития учебных заведений, спальные корпуса интернатов — 36,82 тыс. объектов.

7. Сооружения, здания и помещения для культурно-досуговой деятельности населения и религиозных обрядов: крытые и открытые плоскостные спортивные сооружения, конно-спортивные, физкультурно-досуговые комплексы, библиотеки, читальные залы, медиатеки, музеи, выставки, океанариумы, ночные клубы, танцевальные комплексы, кинотеатры, театры, концертные залы, цирки, дельфинарии, планетарии, религиозные организации и учреждения — 30,68 тыс. объектов.

8. Здания по обслуживанию общества и государства: здания государственных учреждений по обслуживанию общества, учреждения управления фирм, организаций и предприятий, архива, депозитарии, кредитно-финансовые и страховые организации, банки, суды, прокуратуры,



нотариально-юридические учреждения, правоохранительные организации, МЧС, учреждения социальной защиты населения, научно-исследовательские, проектные и конструкторские организации, редакционно-издательские организации — 38,73 тыс. объектов.

9. Новостроящиеся и реконструируемые здания и сооружения: жилые, общественные, производственные, сельскохозяйственные и другие объекты — 25,02 тыс. объектов.

10. Транспортные средства: гусеничные, колесные машины, легковые, пассажирские, грузовые (личного и муниципального назначения), рельсовые и безрельсовые механические муниципальные транспортные средства — 13,14 млн единиц.

11. Объекты сельскохозяйственного назначения: здания по производству и хранению кормов, зерна, технических культур, овощей, фруктов, сушки сельскохозяйственной продукции, объекты открытого хранения сена, соломы, объекты тепличного хозяйства, объекты по переработке и хранению сельскохозяйственной продукции, сельскохозяйственные угодья — 24,41 тыс. объектов.

12. Объекты животноводства: фермы скотоводства, звероводства, коневодства, кролиководства, овцеводства, объекты птицеводства, пчеловодства, свиноводства, собаководства, оленеводства, рыбоводства — 32,63 тыс. объектов.

Таким образом, функционирование в СФО объектов жилого сектора, промышленности, общественного и другого назначения связано с риском возникновения пожаров, которые могут нанести существенный вред здоровью, привести к гибели людей, а также вызвать загрязнение экосистем.

Анализ общественной опасности пожаров

Всесторонний анализ динамики техносферных пожаров дает возможность оценить возможные масштабы неблагоприятных воздействий на окружающую среду. В основу исследования положен временной интервал 2001—2016 гг., для которого характерно формирование пространственной единицы как федерального округа, однородность требований статистического учета и представления сведений о последствиях пожаров.

В табл. 1 приведены усредненные статистические характеристики последствий пожаров на объектах техносферы в субъектах РФ СФО за 2001—2016 гг. [4, 6—8].

На основе приведенных в таблице данных можно сделать вывод, что пожары, происходящие на территории СФО, наносят существенный вред экономике России и являются значимым фактором риска для здоровья населения и состояния природной среды региона.

Методика и подходы к оценке загрязнения атмосферы

Пожары как явление чрезвычайного характера, влияющие на социально-экологическую ситуацию, впервые привлекли к себе внимание ученых в начале 90-х годов XX столетия.

В работе [9] была впервые предложена методика оценки экологических последствий пожаров, связанных с загрязнением атмосферы в жилых зданиях, на основе экспериментальных данных по удельным выбросам токсичных продуктов сгорания на единицу сгоревшего материала. Данная

Таблица 1

Усредненные основные показатели последствий чрезвычайных ситуаций, связанных с пожарами в субъектах РФ СФО за 2001—2016 гг.

Субъект РФ СФО	Количество пожаров, ед. · год ⁻¹	Основные последствия пожаров				
		Прямой ущерб, млн руб. · год ⁻¹	Погибло при пожарах, чел. · год ⁻¹	Травмировано при пожарах, чел. · год ⁻¹	Повреждено объектов (строений), ед. · год ⁻¹	Уничтожено объектов (строений), ед. · год ⁻¹
Республика Бурятия	246,6	13,0	18,0	16,2	115,0	131,6
Республика Алтай	1432,2	497,7	115,5	95,5	1024,4	407,8
Республика Тыва	517,7	23,9	24,0	42,6	392,2	125,5
Республика Хакасия	776,8	29,3	65,1	39,0	589,2	187,6
Забайкальский край	3833,2	117,5	252,5	214,7	2968,5	864,7
Красноярский край	1910,1	65,1	125,5	87,0	1367,9	542,2
Алтайский край	4622,6	333,2	309,4	268,8	3618,0	1004,6
Новосибирская область	3765,5	476,8	279,8	238,2	2399,2	1366,3
Томская область	3855,0	182,5	256,0	110,7	3126,8	728,2
Иркутская область	3696,4	252,0	255,7	420,3	2966,3	730,1
Кемеровская область	2643,3	90,1	186,1	153,5	2087,3	556,0
Омская область	1332,1	67,5	95,5	68,3	1038,2	293,9

методика может быть использована для оценки локальных последствий, но применительно к территории округа необходимо ее адаптировать и усовершенствовать.

Расчет и оценка загрязнения атмосферы в результате пожаров на объектах техносферы проводились в следующей последовательности.

Во-первых, определена масса сгоревших материалов в результате исследования последствий пожаров, произошедших в жилых, общественных, производственных зданиях и сооружениях, а также на других объектах техносферы округа.

- Важно отметить, что около 90 % объектов техносферы, расположенных в СФО, являются типовыми, особенно жилые, что несколько облегчает решение поставленной задачи. Поэтому сведения о виде объекта пожара, составе и количестве веществ и материалов, месте пожара, его площади и продолжительности являются тем инструментарием, который позволяет определить качественные и количественные показатели сгоревших материалов, веществ в результате пожара [1–4]. При оценке количества сгоревших материалов, веществ предложено дифференцировать их на группы. Ниже преречислены группы материалов, веществ, сгоревших при пожарах на объектах техносферы в СФО за 2001–2016 гг.
- Конструкционные и отделочные материалы из древесины или на ее основе.
- Природное топливо.
- Резинотехнические изделия и материалы.
- Тепло- и звукоизоляционные, отделочные синтетические материалы, созданные на основе ароматических углеводов.
- Материалы, изделия из синтетики, шерсти, хлопка, целлюлозы, кожи, кожзаменителя.
- Горючие газы.
- Продукция сельскохозяйственного производства.
- Иные изделия, материалы, вещества сложного состава.

Среднестатистические усредненные значения массы сгоревших при пожарах материалов на объектах техносферы в субъектах РФ СФО за 2001–2016 гг., приведены в табл. 2

Исходная база этих данных включает информацию по 30 случаям, с учетом вида и места произошедшего пожара в каждом из 12 видов групп функциональной пожарной опасности объектов техносферы.

При расчете массы сгоревших веществ и материалов учитывался коэффициент недожога, который принимался: для объектов I–II степени огнестойкости (наиболее огнестойкие) — 0,5, для III степени огнестойкости (средней стойкости) — 0,65, а для объектов IV–V степени (самой низкой огнестойкости) — 0,8; при горении ЛВЖ, ГЖ, горючих газов, твердых горючих материалов на открытых складах — 0,9 [2, 4, 9–11].

Во-вторых, основополагающим фактором в оценке количества выбросов токсичных продуктов горения, является определение удельного значения выбросов и вида загрязняющего вещества [1, 9].

С учетом приведенных выше данных о составе и массе сгоревших материалов и данных работ [1–4, 9–12] были рассчитаны и сгруппированы усредненные удельные виды выбросов продуктов горения как отношение массы выбросов токсичных продуктов горения ($M_{\text{пр}}$) к массе сгоревших материалов (M_r) (табл. 3).

Значения массы загрязняющих веществ, поступивших в атмосферу в результате пожаров на объектах техносферы СФО, представлены в табл. 4.

Для сравнения в табл. 5 приведены усредненные значения массовых выбросов токсичных продуктов сгорания при пожарах в субъектах РФ СФО за 2001–2016 гг.

В абсолютных цифрах (см. табл. 5) опасность выбросов от пожаров для здоровья населения и состояния территорий субъектов видна не так наглядно, как при сравнении относительных показателей, учитывая площадь территорий,

Таблица 2

Среднестатистические значения массы сгоревших материалов при пожарах на объектах техносферы в субъектах РФ СФО за 2001–2016 гг.

Объект исследования	Масса сгоревших материалов, т/год	Объект исследования	Масса сгоревших материалов, т/год
Республика Алтай	18 509,5	Красноярский край	327 108,8
Республика Бурятия	95 704,2	Иркутская область	266 850,5
Республика Тыва	24 821,3	Кемеровская область	196 631,4
Республика Хакасия	51 594,1	Новосибирская область	159 040,7
Алтайский край	179 880,6	Омская область	162 412,0
Забайкальский край	124 251,4	Томская область	88 240,5



Таблица 3

**Усредненные значения удельных массовых выбросов загрязняющих веществ
при пожарах на объектах техносферы СФО за 2001–2016 гг.**

Группа соединений (неорганические вещества)	Наименование токсичных веществ	Удельные выбросы, $M_{\text{ПГ}}/M_{\text{Г}}$, т/т	Группа соединений (неорганические вещества)	Наименование токсичных веществ	Удельные выбросы, $M_{\text{ПГ}}/M_{\text{Г}}$, т/т
Газообразные соединения	Аммиак	$1,7 \cdot 10^{-5}$	Альдегиды и кетоны	Ацетальдегид	$1,4 \cdot 10^{-3}$
	Сероводород	$2,8 \cdot 10^{-5}$		Ацетон	$2,3 \cdot 10^{-3}$
	Хлор	$1,4 \cdot 10^{-7}$		Акролеин	$6,2 \cdot 10^{-5}$
	Хлористый водород	$3,3 \cdot 10^{-4}$		Формальдегид	$8,3 \cdot 10^{-6}$
	Цианистый водород	$7,5 \cdot 10^{-5}$	Амины	Пиридин	$6,7 \cdot 10^{-6}$
Аэрозоль (взвешенные частицы)	Сажа	$1,8 \cdot 10^{-2}$	Эфиры	Толуилنديизо- цианат	$1,2 \cdot 10^{-4}$
Углеводороды и их производные	Ацетилен	$6,8 \cdot 10^{-4}$	Оксиды	Диоксид углерода	$1,8 \cdot 10^{-1}$
	Бенз(а)пирен	$7,1 \cdot 10^{-7}$		Диоксид кремния	$4,0 \cdot 10^{-2}$
	Винилхлорид	$4,9 \cdot 10^{-6}$		Диоксид азота	$7,0 \cdot 10^{-4}$
	Ксилол	$3,7 \cdot 10^{-6}$		Оксид азота	$1,5 \cdot 10^{-3}$
	Нафталин	$3,7 \cdot 10^{-5}$		Оксид углерода	$2,1 \cdot 10^{-3}$
	Пропилен	$3,0 \cdot 10^{-6}$		Оксид серы	$1,3 \cdot 10^{-5}$
	Стирол	$1,1 \cdot 10^{-5}$		Пятиокись ванадия	$9,7 \cdot 10^{-8}$
	Толуол	$4,4 \cdot 10^{-6}$	Спирты и фенолы	Алиловый спирт	$2,4 \cdot 10^{-6}$
Карбоновые кислоты и их производные	Уксусная кислота	$7,0 \cdot 10^{-6}$		Крезол	$3,6 \cdot 10^{-6}$
	Фосген	$2,2 \cdot 10^{-8}$		Пропиловый спирт	$3,0 \cdot 10^{-5}$
				Фенол	$1,7 \cdot 10^{-4}$

Таблица 4

**Группы и масса химических соединений, поступивших в атмосферу при пожарах,
за 2001–2016 гг. на объектах техносферы в СФО**

Группа соединений	Масса выброса, т/год	Группа соединений	Масса выброса, т/год
Оксиды	304 416,4	Эфиры	167,5
Аэрозоль (взвешенные частицы)	23 254,7	Спирты и фенолы	23,5
Альдегиды и кетоны	5093,3	Карбоновые кислоты	10,1
Углеводороды и их производные	1541,4	Амины	6,7
Газообразные соединения	569,6	Итого	335 083,2

Таблица 5

Усредненные массовые выбросы токсичных продуктов сгорания при пожарах в субъектах РФ СФО за 2001–2016 гг.

Объект исследования	Масса выбросов, т/год	Объект исследования	Масса выбросов, т/год
Республика Алтай	729,3	Красноярский край	61034,5
Республика Бурятия	18 095,4	Иркутская область	49 542,1
Республика Тыва	4627,5	Кемеровская область	41 444,6
Республика Хакасия	10 492,0	Новосибирская область	35 638,4
Алтайский край	39 374,5	Омская область	36 861,2
Забайкальский край	21 014,9	Томская область	16 228,8

Усредненная удельная нагрузка на атмосферу токсичными продуктами горения в субъектах РФ СФО за 2001–2016 гг.

Объект исследования	Площадь территории, тыс. км ²	Усредненное значение выбросов токсикантов в результате пожаров на объектах техносферы, т/год	Удельная нагрузка атмосферы токсичными продуктами горения, т/ км ² ·год ⁻¹
Республика Алтай	92,9	729,3	$7,8 \cdot 10^{-3}$
Республика Бурятия	351,3	18 095,4	$5,1 \cdot 10^{-2}$
Республика Тыва	168,5	4627,5	$2,7 \cdot 10^{-2}$
Республика Хакасия	61,9	10 492,0	$1,7 \cdot 10^{-1}$
Алтайский край	167,9	39 374,5	$2,3 \cdot 10^{-1}$
Забайкальский край	431,8	21 014,9	$4,8 \cdot 10^{-2}$
Красноярский край	2366,7	61 034,5	$2,5 \cdot 10^{-2}$
Иркутская область	774,8	49 542,1	$6,4 \cdot 10^{-2}$
Кемеровская область	95,5	41 444,6	$4,3 \cdot 10^{-1}$
Новосибирская область	177,7	35 638,4	$2,0 \cdot 10^{-1}$
Омская область	141,1	36 861,2	$2,6 \cdot 10^{-1}$
Томская область	314,3	16 228,8	$5,1 \cdot 10^{-2}$
СФО	5144,9	335 083,2	$6,5 \cdot 10^{-2}$

которые подвержены загрязнению (табл. 6). Данные табл. 6 позволяют сделать вывод, что наиболее экологически рисковыми территориями являются Кемеровская, Омская области, Алтайский край.

Выводы

На основании представленных выше данных можно сделать следующие выводы.

1. Развитие новых технологий привело к созданию и росту техносферы, таящей в себе потенциальную опасность в виде пожаров, оказывающих отрицательное воздействие на экономику, экологию, все чаще угрожая жизни и здоровью людей.

2. Установлено, что в СФО ежегодно гибнут от дыма, ядовитых веществ и других опасных факторов пожаров в среднем 2168 человек, а получают травмы, инвалидность — 1732 человека.

3. Залповые выбросы в атмосферу загрязняющих веществ в количестве 336 тыс. т, вносят дополнительный вклад в загрязнение атмосферы СФО, которые, к сожалению, на сегодня не учитываются в оценке загрязнения окружающей среды региона.

4. Представленные результаты исследований являются объективной оценкой вклада техносферных пожаров в загрязнение атмосферы на региональном уровне.

Список литературы

1. **Исаева Л. К.** Экологические последствия пожаров: дис. в виде научного доклада ... д-ра техн. наук. — М.: Акад. ГПС МВД РФ, 2001. — 108 с.
2. **Тимофеева С. С., Гармышев В. В.** Методика оценки неучтенной экологической нагрузки на атмосферу, создаваемую пожарами в Иркутской области // Вестн. Забайкал. гос. ун-та. 2016 т. 22 № 1. С. 48–56.
3. **Загрязнение атмосферы** залповыми выбросами при пожарах и авариях на промышленных объектах Байкальского региона: оценка, прогноз, превентивные меры: Монография / С. С. Тимофеева, Д. В. Седов, В. Л. Макухин и др. — Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2009. — 192 с.
4. **Социальные, экономические и экологические последствия пожаров** в муниципальных центрах Сибирского федерального округа: анализ, оценка, прогноз: Монография / С. С. Тимофеева, В. В. Гармышев, С. Р. Хисматуллин и др. — Иркутск: Аспринт, 2010. — 169 с.
5. **Сибирский федеральный округ.** URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Сибирский_федеральный_округ (дата обращения 20.09.2017).
6. **Лупанов С. А., Зуева Н. А.** Обстановка с пожарами в Российской Федерации в 2008 году // Пожарная безопасность. — 2005. — № 1. — С. 124–127.
7. **Анализ обстановки с пожарами и последствиями от них на территории Российской Федерации за 2015 год** — М.: Департамент надзорной деятельности МЧС России, 2016. — 21 с.
8. **Матюшин Ю. А., Четчина Т. А.** Обстановка с пожарами в Российской Федерации в 2016 году // Пожарная безопасность. — 2017. — № 1. — С. 129–147.
9. **Исаева Л. К., Серков Б. Б.** Экологические последствия загрязнения воздуха при пожарах в жилых зданиях // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. — М.: ВНИИТ, 1992. — № 2. — С. 39–49.
10. **Процессы горения** / И. М. Абдургимов, А. С. Андросов, Л. К. Исаева и др. — М.: ВИПШТ МВД СССР, 1984 — 268 с.
11. **Дроздова Т. И., Скушников А. И.** Теория горения и взрыва. Процессы горения и взрыва: Учеб. пособие. — Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2010. — 144 с.
12. **Методика** расчета выбросов от источников горения при разливе нефти и нефтепродуктов. — М.: ГК РФ, 1997. — 26 с.



S. S. Timofeeva, Professor, Head of Chair, **V. V. Garmyshev**, Doctoral Candidate, e-mail:diamant1959@mail.ru, National Research Irkutsk State Technical University, **D. V. Dubrovin**, Senior Engineer, Main Directorate of the Ministry for Emergency Situations of Russia for the Irkutsk Region, Irkutsk

The Methodology and Assessment of the Pollution of Atmosphere Created by Fires on Objects of Technosphere in Siberian Federal District

The article considers the problem of air pollution as a result of emergency situations associated with fires at the facilities of the technosphere of the Siberian Federal District. The necessity is substantiated and the significance of the estimation of atmospheric pollution as a result of fires is shown. A methodology for the phased determination of qualitative and quantitative burned materials is proposed. As a result of monitoring the consequences of fires in the district for 2001 — 2016. The calculations were used to determine the averaged values of the mass of burnt materials. Taking into account the specific indicators of toxicant emissions in the combustion of different groups of materials, the mass values of the priority toxic combustion products were determined. The averaged specific load of the atmosphere as a result of volley emissions of pollutants in technospheric fires in the subjects of the Russian Federation of the Siberian Federal District is calculated.

Keywords: fire consequences analysis, technosphere objects, toxic combustion products, air pollution

References

1. **Isaeva L. K.** Ecological consequences of fires: diss. in the form of a scientific report ... Dr. Tech. Sciences — M.: Acad. State Fire Service of the Ministry of the Interior of the Russian Federation, 2001. — 108 p.
2. **Timofeeva S. S., Garmyshev V. V.** A technique for assessing the unaccounted environmental load on the atmosphere created by fires in the Irkutsk region. *Vestnik Transbaikalskoy state University*. 2016. Vol. 22. No. 1. P. 48—56.
3. **The atmospheric** pollution by salvo emissions during fires and accidents at industrial sites of the Baikal region: assessment, forecast, preventive measures: Monograph. / S. S. Timofeeva, D. V. Sedov, V. L. Makukhin et al. Irkutsk: Publishing House of IrSTU, 2009. 192 p.
4. **Social**, economic and environmental consequences of fires in municipal centers of the Siberian Federal District: analysis, evaluation, forecast: Monograph. / S. S. Timofeeva, V. V. Garmyshev, S. R. Khismatulin et al. Irkutsk: Asprint, 2010. 169 p.
5. **Siberian Federal District**. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Siberian_Federal_District (date of access 20.09.2017).
6. **Lupanov S. A., Zueva N. A.** The situation with fires in the Russian Federation in 2008. *Fire safety*. 2005. No. 1. P. 124—127.
7. **Analysis** of the situation with fires and their consequences in the territory of the Russian Federation for 2015. Moscow: Department for Supervision of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2016. 21 p.
8. **Matyushin Yu. A., Chechetina T. A.** The situation with fires in the Russian Federation in 2016. *Fire safety*. 2017. No. 1. P. 129—147.
9. **Isaeva L. K., Serkov B. B.** Ecological consequences of air pollution during fires in residential buildings. *Problems of safety in emergency situations*. Moscow: VINITI, 1992. No. 2. P. 39—49.
10. **Combustion** processes / I. M. Abdurgimov, A. S. Androsov, L. K. Isaeva et al. Moscow: VPSHT MVD USSR, 1984. 268 p.
11. **Drozdova T. I., Skushnikova A. I.** The theory of combustion and explosion. Processes of combustion and explosion: Teaching aid. Irkutsk: IrSTU, 2010. 144 p.
12. **The methodology** for calculating emissions from combustion sources during oil spills and oil products. Moscow: RF Civil Code, 1997. 26 p.

УДК 616-083.98

В. А. Кривобокова, канд. биол. наук, доц., e-mail: krivoborova10@rambler.ru,
Курганский государственный университет

Анализ уровня теоретических знаний студентов о технике проведения сердечно-легочной реанимации

В статье представлен анализ уровня теоретических знаний студентов о технике проведения базовой сердечно-легочной реанимации, выявлены пробелы в знаниях и распространенные ошибки. В соответствии с полученными результатами анкетирования предложены рекомендации при составлении программ лекционных и практических занятий на тему: "Основы сердечно-легочной реанимации" в курсе "Безопасность жизнедеятельности". Полученные данные имеют большую практическую значимость и могут быть интересны всем участникам образовательного процесса.

Ключевые слова: студенты, первая помощь, сердечно-легочная реанимация

Многие люди, став свидетелями несчастного случая или аварии, в лучшем случае могут вызвать скорую медицинскую помощь, несмотря на то что в таких ситуациях жизнь и здоровье человека зависит от своевременной квалифицированной первой помощи. Следовательно, оказать помощь на месте развития клинической смерти должен уметь любой человек, первый оказавшийся рядом с пострадавшим. Базовая сердечно-легочная реанимация (СЛР) является начальным этапом оживления, когда случайный прохожий нередко оказывается один на один с пострадавшим. Известно, что при прочих равных условиях люди, которым проводилась СЛР до прибытия профессиональных медиков, имеют в 2 раза больше шансов на выживание.

Учитывая актуальность данного вопроса, в исследовании принимали участие студенты.

Целью данного исследования явилось оценить уровень теоретических знаний студентов Курганского государственного университета о технике проведения сердечно-легочной реанимации.

Исходя из данной цели, были сформулированы следующие **задачи**:

- разработать перечень вопросов, позволяющих объективно оценить уровень теоретических знаний студентов о технике проведения сердечно-легочной реанимации;
- провести анкетирование среди студентов;
- проанализировать результаты исследования;
- составить программу лекционных и практических занятий с учетом имеющихся у студентов пробелов в знаниях данной темы;

- провести для студентов лекционные и практические занятия, акцентируя внимание на имеющиеся у них пробелы в знаниях;
- провести итоговое анкетирование;
- проанализировать полученные данные.

В соответствии с поставленной целью и задачами исследования было опрошено 500 студентов очной формы обучения Курганского государственного университета в возрасте от 18 до 22 лет. Анкетирование проводилось на первом практическом занятии дисциплины "Безопасность жизнедеятельности", и к моменту проведения опроса студенты на лекционном занятии еще не проходили тему "Основы сердечно-легочной реанимации".

Следует подчеркнуть, что обучение в вузе проводится согласно Федеральному государственному образовательному стандарту (ФГОС). Курс "Безопасность жизнедеятельности" в рабочих планах для подготовки как бакалавров, так и специалистов относится к модулю базовой части блока 1. Одной из компетенций, формируемых у студентов при изучении данной дисциплины, является общекультурная компетенция (ОК) — "Способность использовать приемы первой помощи, методы защиты в условиях чрезвычайных ситуаций".

Для формирования у студентов первой части данной компетенции необходимо знать их уровень подготовленности в вопросах оказания первой помощи пострадавшим. В исследовании был проанализирован уровень теоретических знаний студентов о технике проведения сердечно-легочной



реанимации, так как знания из этой области являются самыми необходимыми. Статистика свидетельствует, что более 20 % людей могли бы быть спасены, если человек, оказавшийся на месте происшествия, владел приемами СЛР.

На основе анализа данных научной литературы и нормативно-правовых документов был составлен перечень вопросов для анкетирования студентов. Необходимо уточнить, что в анкете не было представлено вариантов ответов. Связано это с тем, чтобы предупредить вероятность угадывания студентами правильных ответов и объективно оценить их уровень теоретических знаний.

Анкета

1. Факультет _____
2. Курс _____
3. Возраст _____
4. Какую помощь оказывают пострадавшему лицу, не имеющие медицинского образования, при несчастных случаях и других жизнеугрожающих состояниях и заболеваниях до прибытия медицинского персонала?
5. Вы зашли в аудиторию (цех) и видите, что на полу лежит человек без движения. Что Вы будете делать в первую очередь?
6. Какие признаки относятся к остановке сердца?
7. Как проверить наличие сознания у пострадавшего?
8. Как определить дыхание у пострадавшего?
9. На какой артерии нужно определять пульс у пострадавшего для оценки кровообращения?
10. Что такое агональное дыхание?
11. Имеет ли место критическая ситуация? Пора ли начинать проведение СЛР?
12. Ребенок в возрасте 6 лет в критическом состоянии (без сознания, отсутствует дыхание). Рядом, кроме Вас, никого нет. Когда Вы начнете проводить сердечно-легочную реанимацию и когда позвоните в службу скорой медицинской помощи?
13. Непрямой массаж сердца пострадавшему необходимо делать, чтобы он лежал на ... поверхности.
14. Какое должно быть расположение рук при проведении непрямого массажа сердца ребенку первого года жизни, ребенку в возрасте от года до пубертатного периода, подростку, взрослому человеку?
15. Какое оптимальное соотношение компрессий грудной клетки и количества вдохов искусственной вентиляции легких взрослому человеку при проведении реанимации одним спасателем?

16. С какой частотой (в минуту) следует проводить компрессии грудной клетки взрослому человеку?

17. С какой частотой (в минуту) следует проводить компрессии грудной клетки грудному ребенку?

18. На сколько нужно продавливать грудную клетку при непрямом массаже сердца грудному ребенку, ребенку в возрасте от года до пубертатного периода, подростку, взрослому человеку?

После составления перечня вопросов для анкеты был проведен опрос среди студентов на первом практическом занятии дисциплины "Безопасность жизнедеятельности".

Первая помощь — это комплекс срочных простейших мероприятий по спасению жизни человека. Следует констатировать, что принятие Федерального Закона от 25 ноября 2009 г. № 267-ФЗ "О внесении изменений в Основы законодательства Российской Федерации об охране здоровья граждан и отдельные законодательные акты Российской Федерации", дополнившего Основы законодательства Российской Федерации об охране здоровья граждан ст. 19.1. "Первая помощь", впервые ввела термин "первая помощь" для обозначения помощи пострадавшим, оказываемой лицами, не имеющими медицинского образования, при несчастных случаях и других жизнеугрожающих состояниях и заболеваниях до прибытия медицинского персонала [1]. Цель ее — устранить явления, угрожающие жизни, а также предупредить дальнейшие повреждения и возможные осложнения. Необходимо подчеркнуть, что речь идет не о лечении пострадавшего, а о проведении мероприятий, позволяющих поддержать основные жизненные функции организма в данный момент и не дать пострадавшему умереть [2].

Одним из вопросов в предложенной анкете был вопрос: Какую помощь оказывают пострадавшему лицу, не имеющие медицинского образования, при несчастных случаях и других жизнеугрожающих состояниях и заболеваниях до прибытия медицинского персонала?

По результатам анкетирования можно утверждать, что большинство студентов не владеют информацией (85 %). Для обозначения данного вида помощи они написали такие термины, как: "первая медицинская помощь" (70 %), "доврачебная помощь" (10 %), "неотложная помощь" (5 %). Как видно из представленного выше перечня, это неправильные ответы. Всего лишь 15 % студентов ответили верно: "первая помощь".

Перед оказанием первой помощи пострадавшему в первую очередь необходимо оценить обстановку, для того чтобы вовремя увидеть возможные источники опасности как для собственной жизни, так и для жизни и здоровья пострадавшего. Если воздействуют поражающие факторы, тогда необходимо их устранить, причем изначально ликвидируют угрожающие факторы для жизни и здоровья того, кто будет оказывать первую помощь, а затем — повреждающие факторы для пострадавшего. Нужно это для того, чтобы обеспечить безопасные условия проведения первой помощи, что прописано в Приказе Министерства здравоохранения и социального развития Российской Федерации от 4 мая 2012 года № 477н "Об утверждении перечня состояний, при которых оказывается первая помощь, и перечня мероприятий по оказанию первой помощи" [3].

На основе результатов анкетирования можно констатировать, что о данном аспекте знают всего лишь 10 % студентов. Это было выявлено после ответов студентов на следующий вопрос: "Вы зашли в аудиторию (цех) и видите, что на полу лежит человек без движения. Что вы будете делать в первую очередь?". Большинство опрошенных дали неверные ответы (90 %), а именно: 25 % студентов изначально будут проверять признаки сознания у пострадавшего, 15 % — обеспечивать проходимость верхних дыхательных путей и проверять признаки дыхания у пострадавшего, 25 % — оценивать наличие пульса у пострадавшего, 20 % — звонить в скорую помощь, 3 % — проверять реакцию зрачков на свет, 2 % — сразу приступят к проведению сердечно-легочной реанимации. И только 10 % студентов изначально будут оценивать обстановку, выявляя угрожающие факторы для себя и поражающие факторы для пострадавшего и обеспечивая безопасные условия для оказания первой помощи.

Полученные данные могут свидетельствовать о том, что большинство опрошенных студентов не задумываются о собственной безопасности и до оказания первой помощи пострадавшему дело может не дойти, если пострадавший, например, находится под воздействием электрического тока.

Следующим этапом алгоритма основных мероприятий по поддержанию жизнедеятельности является оценка состояния пострадавшего, т. е. необходимо установить, жив он или нет, определить тяжесть его состояния. Если перед нами несколько пострадавших, тогда нужно оценить тяжесть каждого из них. Делается это для того, чтобы определить очередность и объем оказания

первой помощи. Следует помнить, что главное внимание должно уделяться жизненно важным функциям: сознанию, дыханию и кровообращению [3].

Оценив результаты анкетирования, можно констатировать, что большинство студентов знают, какие признаки относятся к остановке сердца. А именно отсутствие сознания, дыхания и кровообращения (95 %). Но, к сожалению, не знают, какие действия нужно совершать для того, чтобы распознать остановку сердца у пострадавшего. Около 55 % опрошенных для определения сознания у пострадавшего будут хлопать его по щекам, 20 % — щипать пострадавшего, 5 % — брызгать ему на лицо холодной водой. И только 20 % студентов дали верный ответ — это прикоснуться и аккуратно (подразумевая возможное повреждение шейного отдела позвоночника) попытаться встряхнуть за плечи, и громко обратиться к пострадавшему, спросив, все ли с ним в порядке.

Если пострадавший находится без сознания, тогда необходимо позвать на помощь находящихся поблизости людей. Делается это лишь в том случае, если есть такая возможность, и только после этого необходимо оценивать дыхание у пострадавшего.

Для определения дыхания у пострадавшего около 70 % студентов поднесут к его рту зеркальце, что является неверным ответом, так как данные действия не являются эффективными. Изначально необходимо восстановить проходимость дыхательных путей и увидеть дыхательные движения грудной клетки, услышать дыхание и ощутить выдыхаемый воздух щекой, т. е. оценку дыхания проводить по принципу "вижу — слышу — ощущаю". Данный ответ дали только 30 % студентов. Следует подчеркнуть, что констатация остановки дыхания должна проводиться достаточно быстро. Необходимо помнить, что только наличие выдоха является признаком спонтанной вентиляции [4].

Оценку кровообращения начинают с определения пульса на крупных артериях, таких как сонная или бедренная. В практике, в основном, определяют пульс на сонной артерии. При анализе анкетных данных можно утверждать, что 45 % студентов будут определять пульс у пострадавшего на сонной артерии и 55 % — на лучевой артерии. Как видно из представленных ответов, 55 % студентов не знают, что отсутствие пульса на лучевой артерии не является достоверным признаком остановки сердца, так как пульс в данной



области может не прощупываться, даже при его наличии.

Необходимо уточнить, что согласно обновленным рекомендациям Европейского Реанимационного Совета (ЕРС) от 2015 г. пульс у пострадавшего можно не определять. Связано это с тем, что для непрофессионалов оценка пульса у пострадавшего может вызывать затруднение. Следовательно, если пострадавший находится без сознания и не дышит или дышит ненормально (агональное дыхание), следует считать, что у него произошла остановка сердца и необходимо начинать комплекс СЛР [5]. Из опрошенных студентов только 10 % знают, что такое агональное дыхание.

Имеет ли место критическая ситуация? Пора ли начинать проведение СЛР? Для ответа на эти вопросы отводится не более 10 с. Никто из студентов на данный вопрос не ответил правильно.

Обязательно нужно вызвать бригаду скорой медицинской помощи, другие специальные службы, сотрудники которых обязаны оказывать первую помощь в соответствии с федеральным законом.

Знают ли студенты, когда нужно звонить в службу скорой медицинской помощи? Для ответа на данный вопрос им была предложена ситуационная задача: "Ребенок в возрасте 6 лет в критическом состоянии (без сознания, отсутствует дыхание). Рядом, кроме Вас, никого нет. Когда Вы начнете проводить сердечно-легочную реанимацию (СЛР) и когда позвоните в службу скорой медицинской помощи?". На основе полученных ответов можно констатировать, что никто из студентов не ответил верно. Большинство опрошенных (96 %) написали, что сначала будут звонить в службу скорой медицинской помощи и только потом проводить СЛР, 4 % — немедленно проводить СЛР и звонок после того, как пострадавший придет в сознании. В данной ситуации сначала необходимо провести СЛР в течение 2 мин и только после этого звонить в службу скорой медицинской помощи. Полученные результаты свидетельствуют о том, что студенты не знают, когда нужно вызывать бригады скорой медицинской помощи согласно обновленным рекомендациям Европейского Реанимационного Совета (ЕРС) от 2015 г. [5].

Проведение сердечно-легочной реанимации начинается с непрямого массажа сердца. Положительным моментом является то, что большинство студентов знают, что непрямой массаж сердца пострадавшему необходимо проводить,

когда он лежит на твердой поверхности и грудная клетка освобождена от стесняющей одежды (97 %).

Следует уточнить, что компрессии грудной клетки должны приходиться на нижнюю треть грудины — на два поперечных пальца выше мечевидного отростка в центре грудины. Об этом знают 37 % опрошенных студентов.

О том, что непрямой массаж сердца ребенку первого года жизни следует проводить двумя пальцами, знает 94 % студентов, ребенку в возрасте от 1 года до пубертатного периода — одной рукой (97 %), подростку и взрослому человеку — двумя руками (100 %).

Число компрессионных сжатий грудной клетки в минуту в ходе СЛР является важным фактором восстановления спонтанного кровообращения и выживаемости с сохранением нормальных функций нервной системы [4]. Следовательно, если СЛР проводится взрослому человеку одним спасателем, он может выполнять только компрессионные сжатия грудной клетки пострадавшего с частотой от 100 до 120 сжатий в минуту. Необходимо уточнить, если спасатель умеет делать искусственное дыхание, он должен чередовать компрессионные сжатия с искусственным дыханием в соотношении 30:2.

Как показали результаты исследования, только 16 % студентов знают, что у грудного ребенка и взрослого человека компрессии грудной клетки следует проводить с одинаковой частотой — 100–120 сжатий в минуту. А об оптимальном соотношении компрессий грудной клетки и количества вдохов искусственной вентиляции легких взрослому человеку при проведении СЛР одним спасателем известно только 33 % студентам.

Во время СЛР необходимо выполнять компрессионные сжатия грудной клетки на определенную глубину. Оптимальной для грудного ребенка считается глубина компрессии приблизительно 4 см, для ребенка в возрасте от 1 года до пубертатного периода — 5 см, а для подростка и взрослого человека — 5...6 см. На сколько сантиметров нужно продавливать грудную клетку при непрямом массаже сердца грудному ребенку, ребенку в возрасте от года жизни до пубертатного периода, подростку и взрослому человеку знают 15 %, 21 % и 25 % опрошенных, соответственно.

Данное исследование было направлено на оценку теоретических знаний у студентов о технике проведения СЛР, на выявление пробелов и распространенных ошибок. Как показало анкетирование, студенты знают лишь общие

моменты и недостаточно осведомлены о новых стандартах проведения сердечно-легочной реанимации.

На основе полученных результатов исследования были разработаны и проведены лекционные и практические занятия, направленные на улучшение теоретических знаний студентов, приобретение и закрепление практических навыков проведения сердечно-легочной реанимации.

От качества подготовки обученных людей прямо зависит результативность сердечно-легочной реанимации [4]. Учитывая высокую актуальность данного вопроса, обучение студентов технике сердечно-легочной реанимации должно соответствовать последним международным нормам и рекомендациям. А именно — обновленным рекомендациям 2015 г. Европейского Реанимационного Совета (ЕРС), в состав которого входит Россия. Следовательно, национальная система обучения в вопросах проведения сердечно-легочной реанимации должна основываться на Обзоре обновленных рекомендаций American Heart Association по СЛР и неотложной помощи при сердечно-сосудистых заболеваниях от 2015 г. [5]. Необходимо также составлять программу лекционных и практических занятий с учетом действующего законодательства.

Следовательно, на лекционных и практических занятиях студентам необходимо не только рассказывать о существовании данных документов, но и предоставлять возможность поработать с ними. На практических занятиях студентам необходимо показывать видеосюжеты, предлагать решать ситуационные задачи и, конечно же, для приобретения практических навыков проведения сердечно-легочной реанимации предоставлять возможность поработать с роботами-тренажерами. Только в результате комплексной работы у студентов сформируется правильное представление об универсальном алгоритме основных мероприятий по поддержанию жизнедеятельности, так как большинство из них (90 %) не знает, с чего нужно начинать. Данный алгоритм направлен на то, чтобы обратить внимание обучающихся, что, как и в какой последовательности следует делать, а от каких действий необходимо воздержаться.

Для того чтобы оценить результат проделанной работы, на заключительном практическом занятии необходимо провести повторное анкетирование студентов. Проанализировав полученные

данные, можно констатировать, что на все вопросы анкеты большинство студентов ответили верно (95...100 %). Объясняется это тем, что за время изучения курса "Безопасность жизнедеятельности" в вузе им была предоставлена актуальная и современная информация о последних стандартах проведения сердечно-легочной реанимации. Ввиду этого можно предположить, что студенты также хорошо осведомлены и о тех аспектах техники проведения сердечно-легочной реанимации, которые в анкете не рассматривались. Следовательно, на основе проделанной работы можно констатировать, что удалось не только повысить уровень знаний студентов о проведении сердечно-легочной реанимации, но и методически осуществить формирование первой части общекультурной компетенции в учебном процессе.

Содержащиеся в работе данные могут представлять интерес для всех участников образовательного процесса и быть использованы при проведении лекционных и практических занятий по курсам "Безопасность жизнедеятельности", "Основы медицинских знаний".

Список литературы

1. **Федеральный Закон** от 25 ноября 2009 г. № 267-ФЗ "О внесении изменений в Основы законодательства Российской Федерации об охране здоровья граждан и отдельные законодательные акты Российской Федерации" ст. 19.1. "Первая помощь" // Справочная правовая система "Консультант Плюс". URL: <http://www.consultant.ru> (дата обращения 15.02.2018).
2. **Оказание** первой помощи пострадавшим (памятка). — М: МЧС России, 2015. — 92 с.
3. **Приказ** Минздравсоцразвития России от 04.05.2012 № 477н "Об утверждении перечня состояний, при которых оказывается первая помощь, и перечня мероприятий по оказанию первой помощи" // Справочная правовая система "Консультант Плюс". URL: <http://www.consultant.ru> (дата обращения 15.02.2018).
4. **Прасмыцкий О. Т., Павлов О. Б.** Практические навыки по анестезиологии и реаниматологии. Сердечно-легочная реанимация: учеб.-метод. пособие. — Минск: БГМУ, 2015. — 28 с.
5. **Обзор** обновленных рекомендаций American Heart Association по СЛР и неотложной помощи при сердечно-сосудистых заболеваниях от 2015 г. — 41 с. URL: <http://docplayer.ru/25853431-Obzor-obnovlennyh-rekomendaciy-american-heart-association-po-slr-i-neotlozhnoy-pomoshchi-pri-serdechnososudistyh-zabolevaniyah-ot-2015-g.html> (дата обращения 15.02.2018).



V. A. Krivobokova, Associate Professor, e-mail: krivoborova10@rambler.ru,
Kurgan State University

Analysis of the Level of Theoretical Knowledge of Students about the Technique of Cardiac-Pulmonary Resuscitation

The article presents an analysis of the level of theoretical knowledge of students about the technique of basic cardiopulmonary resuscitation, revealed gaps in knowledge and common mistakes. In accordance with the results of the survey, recommendations for the preparation of lecture and practical training programs on the theme: "basics of cardiopulmonary resuscitation" in the course "life Safety" are proposed. The obtained data are of great practical importance and may be of interest to all participants of the educational process.

Keywords: students, first aid, cardiac-pulmonary resuscitation.

References

1. **Federalnyy Zakon** ot 25 noyabrya 2009 g. № 267-FZ "O vnesenii izmeneniy v Osnovy zakonodatelstva Rossiyskoy Federatsii ob ohrane zdorovya grazhdan i otdelnyye zakonodatelnyye aktyi Rossiyskoy Federatsii" stat'ja 19.1. "Pervaya pomoshch". *Spravochnaya pravovaya sistema "Konsultant Plyus"* URL: <http://www.consultant.ru> (date of access 15.02.2018).
2. **Okazanie** pervoy pomoschi postradavshim (pamyatka). Moscow: MCHS Rossii, 2015. 92 p.
3. **Prikaz** Minzdravsotsrazvitiya Rossii ot 04.05.2012 № 477n "Ob utverzhenii perechnya sostoyaniy, pri kotorykh okazyivaetsya pervaya pomoshch, i perechnya meropriyatiy po okazaniyu pervoy pomoschi. *Spravochnaya pravovaya sistema "Konsultant Plyus"*. URL: <http://www.consultant.ru> (date of access 15.02.2018).
4. **Prasmyitskiy O. T., Pavlov O. B.** Prakticheskie navyiki po anesteziologii i reanimatologii. Serdechno-legochnaya reanimatsiya: ucheb.-metod. posobie. Minsk: BGMU, 2015. 28 p.
5. **Obzor** obnovlennyy rekomendatsiy American Heart Association po SLR i neotlozhnoy pomoschi pri serdechno-sosudistyyih zabolevaniyah ot 2015 g. 41 p. URL: <http://docplayer.ru/25853431-Obzor-obnovlennyh-rekomendatsiy-american-heart-association-po-slr-i-neotlozhnoy-pomoshchi-pri-serdechnososudistyyih-zabolevaniyah-ot-2015-g.html> (date of access 15.02.2018).

Учредитель ООО "Издательство "Новые технологии"

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

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

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

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

Сдано в набор 26.04.18. Подписано в печать 22.06.18. Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная. Заказ BG718. Журнал зарегистрирован в Министерстве Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций.

Свидетельство о регистрации ПИ № 77-3762 от 20.06.2000.

Оригинал-макет ООО "Авансд солишнз".

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