



МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

УДК 614.8

ИННОВАЦИОННЫЕ СРЕДСТВА СПАСЕНИЯ ПАДАЮЩИХ С ВЫСОТЫ ТЕЛ В УСЛОВИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ОПАСНОСТЕЙ

В. Л. Мурзинов, О. В. Сушкова

Рассмотрены современные средства спасения падающих с высоты тел: натяжное спасательное полотно, спасательная подушка, «куб жизни». Описано разработанное с участием авторов статьи устройство для спасения падающих с высоты тел, для которого рассчитаны следующие показатели: время заполнения воздухом внутренней полости спасательного средства, расход воздуха, перепад давления.

Ключевые слова: инновационные средства спасения, время заполнения, спасательное средство, расход воздуха, перепад давления, показатели эффективности, канал подачи воздуха.

Введение. Предупреждение гибели людей на пожарах и в других чрезвычайных ситуациях, особенно в многоэтажных домах, является наиболее важной задачей при определении критериев безопасности. Часто люди погибают только потому, что у пожарных не было возможности эвакуировать их из горящего здания. В случае крупных пожаров, обитатели верхних этажей становятся заложниками высотного здания: огонь перекрывает пожарные лестницы, и спасти людей с верхних этажей стандартными средствами практически невозможно. Важно для каждого человека, оказавшегося в критической ситуации во время пожара на высотном этаже, иметь уверенность в обеспечении собственной безопасности.

Мурзинов Валерий Леонидович, д-р техн. наук, проф. кафедры пожарной и промышленной безопасности, Воронежский государственный архитектурно-строительный университет; Россия, г. Воронеж, e-mail: vlmurzinov@box.vsu.ru

Сушкова Ольга Вячеславовна, аспирант кафедры пожарной и промышленной безопасности, Воронежский государственный архитектурно-строительный университет; Россия, г. Воронеж, e-mail: faustovaolga@vgasu.vrn.ru

Многоэтажные сооружения в силу своей специфичности более пожароопасны, нежели здания малой этажности. Высотные здания характеризуются быстрым развитием пожара по вертикали и сложностью проведения эвакуации и спасательных работ. Интенсивнее всего задымление верхних этажей, где эвакуация людей весьма затруднена.

Кроме того, при пожаре часто приходит в негодность лифтовое оборудование и системы противопожарной защиты. Основной причиной трагических последствий при пожарах в высотных зданиях является охват путей эвакуации продуктами горения и огнем.

1. Современные средства эвакуации из высотных зданий. Попавшим в беду людям надо предоставить шанс спастись самим, и это можно сделать с использованием инновационных средств эвакуации. Выбор способов эвакуации на сегодняшний момент невелик.

Службами спасения и пожарными службами используется натяжное спасательное полотно, которое удерживается спасателями в количестве 16 человек (рис. 1). И надежность спасения в данном случае связана с действиями каждого из 16 спасателей. Кроме того, площадь полотна довольно мала [2].

Спасательная подушка (рис. 2) рассчитана на подхватывание прыгающих или падающих лю-

дей с высоких объектов при пожарах. Однако для эксплуатации этого устройства необходим многочисленный персонал (например, для подкачки надувных мешков), кроме того, не исключены травмы спасаемых людей из-за наличия на приемной поверхности жестких крышек.



Рис. 1. Натяжное спасательное полотно

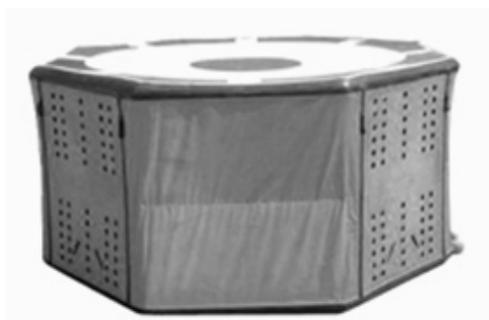


Рис. 2. Спасательная подушка

Для спасения из зданий небольшой этажности используется «Куб жизни» (рис. 3), содержащий надувное основание, выполненное из изолированных, соединенных между собой надувных подушек (изолированных секций), сгруппированных в два яруса, на верхней стороне основания по периметру сгруппированных подушек закреплено приемное полотно.



Рис. 3. «Куб жизни»

Но иногда подушки надуваются до давления, при котором исключается выброс спасаемого с приемного полотна. При таком избыточном давлении, чтобы погасить кинетическую энергию падающего тела, высота надувного основания (ярусов

подушек) должна быть достаточно большой — больше 2 м. А кроме того, вследствие равной деформации подушек приземление спасаемого в периферийной части приемного полотна может привести к его скатыванию с полотна и травме [2].

Как видно, все эти средства имеют массу недостатков, которые при их использовании дают высокий риск получения смертельной травмы спасаемого человека.

2. Устройство для спасения падающих с высоты тел. Сотрудниками Воронежской государственной лесотехнической академии во главе с профессором кафедры пожарной и промышленной безопасности Воронежского ГАСУ В. Л. Мурзиновым было изобретено и разработано устройство для спасения падающих с высоты тел (рис. 4) [1]. Изобретение относится к области деятельности служб министерства чрезвычайных ситуаций и предназначено для спасения людей и различных объектов при их эвакуации из высотных зданий и сооружений.

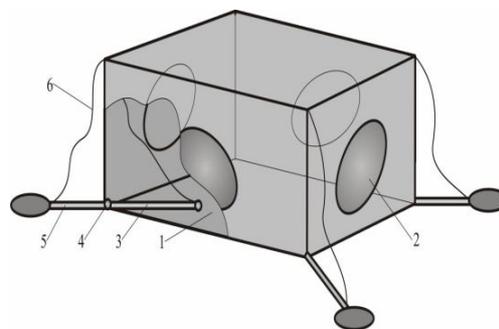


Рис. 4. Устройство для спасения падающих с высоты тел

Устройство для спасения падающих с высоты тел содержит пневмокамеру 1, выполненную из прочного гибкого эластичного материала и имеющую форму призмы. В боковых стенках пневмокамеры 1 выполнены клапаны 2 с возможностью пропускания воздуха только вовнутрь пневмокамеры 1. Внутри пневмокамеры 1 установлены поворотные подпружиненные штанги 3, соединенные через шарнир 4 с опорными штангами 5. К свободному концу поворотной подпружиненной штанги 3 прикреплен тяговый фал 6 (трос, служащий для подъема), свободный конец которого выведен из пневмокамеры 1 наружу.

Устройство работает следующим образом. По прибытии подразделения МЧС к месту чрезвычайной ситуации для спасения людей, находящихся на высоте, бойцы подразделения разворачивают устройство в положение, показанное на рис. 5.

На каждую опорную штангу 5 становится один боец, который берет в руки тяговый фал 6. Затем по команде они натягивают фалы 6, тем самым поворачивая поворотные подпружиненные штанги 3 вокруг шарниров 4. Внутренняя полость пневмокамеры 1 начнет увеличиваться и за счет образующегося в ней разрежения через клапаны 2 начнет поступать воздух из окружающей атмосферы.

ры. Натяжение фалов 6 продолжается до тех пор, пока стенки пневмокамеры 1 натянутся (рис. 6).

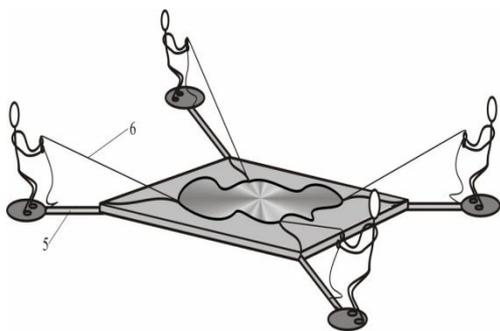


Рис. 5

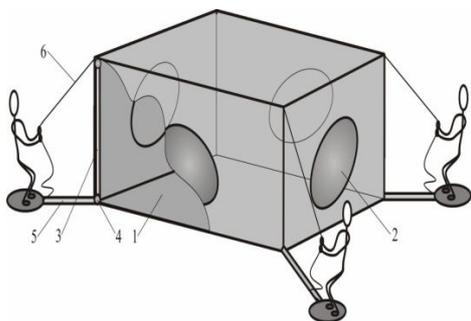


Рис. 6

Фалы 6 освобождают от натяжения, и поворотные подпружиненные штанги 3 за счет упругого соединения с шарниром 4 и под действием собственного веса перейдут в исходное положение.

Давление в пневмокамере 1 под действием веса стенок пневмокамеры станет несколько больше атмосферного, что обеспечит гарантированное уплотнение клапанов 2 и сохранение формы пневмокамеры 1 перед падением на него тела (рис. 7).

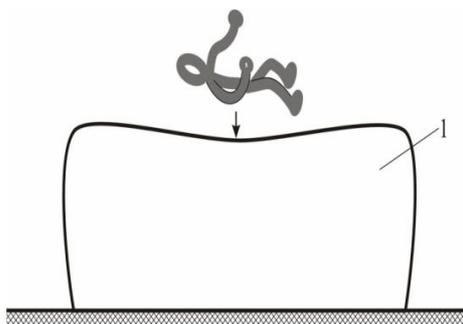


Рис. 7. Принцип работы устройства для спасения падающих с высоты тел

Кинетическая энергия падающего тела будет расходоваться на деформацию объема пневмокамеры 1 (рис. 7), что приведет к плавному торможению скорости падения тела (рис. 8).

Одним из важных показателей эффективности работы спасательного устройства является время его развёртывания, включающее доставку спасательного средства, подготовительные операции и

собственно наполнение внутренней полости спасательного средства воздухом.

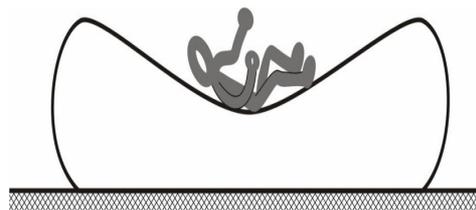


Рис. 8

Время первых двух этапов для всех типов спасательных средств практически одинаковое. Для определения времени заполнения воздухом внутренней полости спасательного средства рассмотрим расчетную схему на рис. 9. Время заполнения может быть определено из соотношения

$$\tau_o = \frac{A \cdot B \cdot H}{Q_c}, \quad (1)$$

где A, B, H — геометрические характеристика спасательного средства, м; Q_c — средний расход заполнения внутренней полости м³/с.

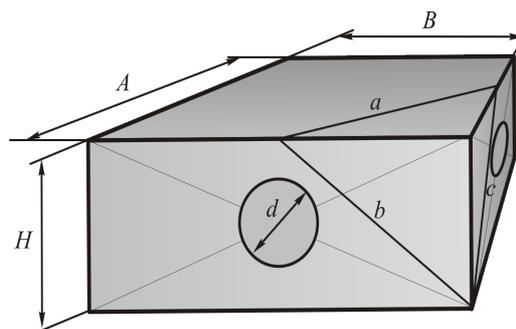


Рис. 9

Однако действительный, мгновенный расход воздуха в процессе заполнения будет изменяться, и определится зависимостью

$$Q = \frac{\pi}{4} m \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot d^2 \sqrt{\Delta P} = k_1 \sqrt{\Delta P}, \quad (2)$$

где $k_1 = \frac{\pi}{4} m \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot d^2, \frac{M^4}{c\sqrt{H}}$;

m — количество каналов для подачи воздуха в полость; ρ — плотность воздуха, кг/м³; d — диаметр канала для подачи воздуха в полость, м; ΔP — перепад давления, обеспечивающий движение воздуха в каналах, Па.

Перепад давления ΔP может быть определён на основе расчётной схемы на рис. 10, т. е.

$$\Delta P = \frac{F_{T1}}{S_o}, \quad (3)$$

где $F_{T1} = F_1 \sin \alpha$ — усилие, поворачивающее штангу; H ; F_1 — усилие, развиваемое одним бойцом, Н;

α — угол между штангой и линией действия усилия бойца; S_0 — площадь поверхности спасательного средства, которую боец перемещает, преодолевая сопротивление перепада давления ΔP , м²:

$$S_0 = \sqrt{p_x(p_x - a)(p_x - b)(p_x - c)}, \quad (4)$$

где $p_x = \frac{a+b+c}{2}$; $a = \frac{1}{2}\sqrt{A^2 + B^2}$;

$$b = \frac{1}{2}\sqrt{4H^2 + B^2}; \quad c = \frac{1}{2}\sqrt{4H^2 + A^2}.$$

Учитывая геометрические соотношения на рис. 2 выразим изменение усилия F_{T1} через угол β поворота штанги.

Получим

$$\operatorname{tg}(\beta - \alpha) = \frac{H \sin \beta - h}{H \cos \beta + L} \quad \text{или} \quad \operatorname{tg}(\beta - \alpha) = k_2, \quad (5)$$

где h — высота расположения усилий, прикладываемых бойцом, м; L — расстояние бойца до поворотной штанги, м;

$$k_2 = \frac{H \sin \beta - h}{H \cos \beta + L}.$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\operatorname{tg} \beta - k_2}{k_2 \cdot \operatorname{tg} \beta + 1}, \quad (6)$$

Не превышая 5 % погрешности можно сделать замену $\sin \alpha \approx \operatorname{tg} \alpha$, тогда соотношение (3) будет

$$\Delta P = \frac{F_1 \operatorname{tg} \beta - k_2}{S_0 k_2 \operatorname{tg} \beta + 1}. \quad (7)$$

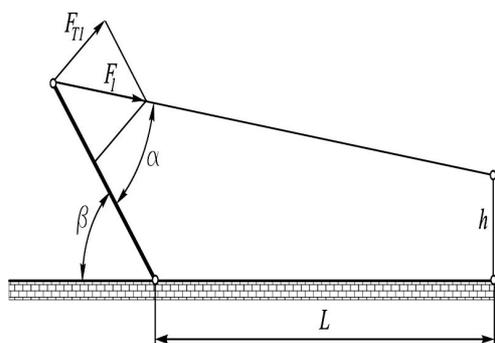


Рис. 10

Из (7) видно, что перепад давления, создающий поток воздуха во внутреннюю полость спасательного средства, существенно зависит от угла поворота штанги, поэтому расходные характеристики также будут функциями от угла поворота β . Уравнение (2) с учётом (7) примет вид

$$Q(\beta) = k_1 \sqrt{\frac{F_1}{S_0}} \sqrt{\frac{\operatorname{tg} \beta - k_2}{k_2 \operatorname{tg} \beta + 1}}. \quad (8)$$

Средний расход для интервала изменения $\beta = \left[0, \dots, \frac{\pi}{2}\right]$ будет

$$Q_c(\beta) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi/2} Q(\beta) d\beta. \quad (9)$$

Уравнение (1), принимая во внимание (9), запишем в виде

$$\tau_o = \frac{A \cdot B \cdot H}{\frac{2}{\pi} \int_0^{\pi/2} Q(\beta) d\beta}. \quad (10)$$

По уравнениям (8) и (9) построены графики, показанные на рис. 11.

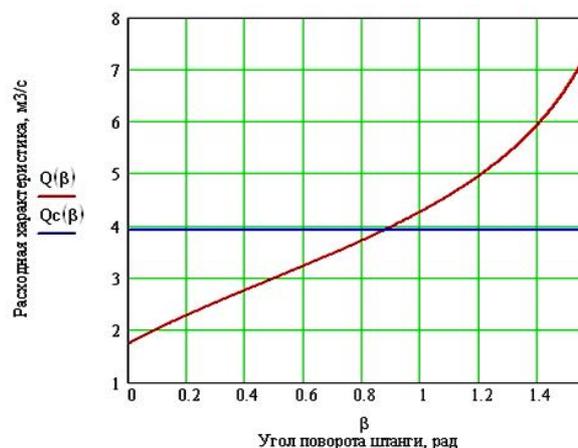


Рис. 11. Расходные характеристики каналов подачи воздуха в спасательное средство

Для построения графиков использовались данные из строчки № 7 в таблице. Время развёртывания определялось по уравнению (10).

Таблица

Время развёртывания спасательного устройства (без учёта подготовительных операций)

№ пп	Геометрические характеристики, м			Время развёртывания, с	Усилие, развиваемое бойцом, Н	Средний расход воздуха наполнения, м ³ /с
	A	B	H			
1.	6	3	2,5	8	300	5,7
2.	6	3	2,5	10	200	4,65
3.	6	3	2,5	14	100	3,29
4.	6	4	3	16	300	4,63

Окончание табл.

№ пп	Геометрические характеристики, м			Время развертывания, с	Усилие, развиваемое бойцом, Н	Средний расход воздуха наполнения, м ³ /с
	А	В	Н	τ_0	F_1	$Q_c(\beta)$
1.	6	4	3	19	200	3,78
2.	6	4	3	30	100	2,67
3.	8	5	3	31	300	3,91
4.	8	5	3	38	200	3,19
5.	10	5	3	42	300	3,56
6.	10	5	3	52	200	2,90
7.	8	5	3	53	100	2,26
8.	10	5	3	73	100	2,06

Выводы

1. С участием авторов статьи было разработано устройство, предназначенное для спасения людей и различных объектов при их эвакуации из высотных зданий и сооружений.

2. Преимущества от применения предлагаемого изобретения обусловлены тем, что повышается надежность и автономность работы устройства, так как отсутствует необходимость в источнике

сжатого воздуха. Устройство достаточно быстро (за десятки секунд) может быть приведено в рабочее состояние неограниченное количество раз. При длительном хранении устройства до момента его использования оно сохраняет свою работоспособность и при хранении нет необходимости проводить дополнительные проверки работоспособности.

Библиографический список

1. Пат. 2335312. Российская Федерация, МПК А62В 1/22. Устройство для спасения падающих с высоты тел / Мурзинов В. Л. и др.; заявитель и патентообладатель Воронежская государственная лесотехническая академия. — № 2007104643/12; заявл. 06.02.2007; опубл. 10.10.2008, Бюл. № 28.

2. Пат. 2193905. Российская Федерация. Устройство для спасения людей с высоких объектов в экстремальных ситуациях / Шайдурова Г. И.; Шатров В. Б.; Зарицкий В. И.; Кремлев А. Н.; Макаревич Ю. Л.; Севастьянов Р. В.; Каримов В. З. опубл. 10.12.2002.

3. Дьяконова, С. Н. Исследование концепции развития инновационных процессов / С. Н. Дьяконова // РИСК: Ресурсы, информация, снабжение, конкуренция. — 2009. — № 3. — С. 176—179.

References

1. Pat. 2335312. Rossijskaya Federaciya, MPK A62V 1/22. Ustrojstvo dlya spaseniya padayushhix s vysoty tel / Murzinov V. L. i dr.; zayavitel' i patentoobladatel' Voronezhskaya gosudarstvennaya lesotexnicheskaya akademiya. — № 2007104643/12; zayavl. 06.02.2007; opubl. 10.10.2008, Byul. № 28.

2. Pat. 2193905. Rossijskaya Federaciya. Ustrojstvo dlya spaseniya lyudej s vysokix ob'ektov v e'kstremaal'nyx situacijax / Shajdurova G. I.; Shatrov V. B.; Zarickij V. I.; Kremlev A. N.; Makarevich Yu. L.; Sevast'yanov R. V.; Karimov V. Z. opubl. 10.12.2002.

3. D'yakonova, S. N. Issledovanie koncepcii razvitiya innovacionnyx processov / S. N. D'yakonova // RISK: Resursy, informaciya, snabzhenie, konkurenciya. — 2009. — № 3. — S. 176—179.

INNOVATIVE SURVIVAL EQUIPMENT OF BODIES FALLING FROM HEIGHT IN CONDITIONS OF TECHNOGENIC DANGERS

Murzinov V. L.,

D. Sc. in Engineering, Prof.,
Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering;
Russia, Voronezh, e-mail: vlmurzinov@box.vsi.ru

Sushkova O. V.,

PhD student, Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering;
Russia, Voronezh, ph. 8(473) 276-39-74,
e-mail: faustovaolga@vgasu.vrn.ru

The modern means of salvation falling from a height tel: inside the rescue canvas, rescue cushion, «cube of life». Described developed with participation of the authors of the article, a device for rescue of falling from a height of bodies, for which the following indices were calculated: the time to fill the air of the inner cavity of rescue, air flow, pressure drop.

Keywords: innovative means of salvation, filling time, salvage tool, air flow, pressure drop, performance indicators, a channel of air.



ПОЖАРНАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

УДК 614.841.33(045)

К ВОПРОСУ О ЦЕЛЯХ ВЫЕЗДА ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ПОЖАРНОЙ ОХРАНЫ НА ПОЖАР

И. А. Муконина

Рассматривается задача введения новой цели выезда подразделений пожарной охраны — спасение людей. Предложена математическая модель определения максимально допустимого расстояния от здания повышенной этажности до пожарного депо с учетом спасения людей различными способами (при помощи эластичного рукава, коленчатого подъемника, автолестницы, спасательной веревки, спасение людей выносом на руках). Предложены пути совершенствования разработанной математической модели.

Ключевые слова: пожар, пожарная охрана, пожарное депо, меры пожарной безопасности, спасение людей.

Введение. В 2009 г. в нашей стране вступили в силу Федеральный закон «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [1] и СП 11.13130.2009 [2]. Статья 76 Федерального закона [1] гласит: «Дислокация подразделений пожарной охраны на территориях поселений и городских округов определяется исходя из условия, что время прибытия первого подразделения к месту вызова в городских поселениях и городских округах не должно превышать 10 минут, а в сельских поселениях — 20 минут».

Статья 97 Федерального закона [1] определяет требования к месту размещения пожарных депо на территории производственного объекта. Определение числа и мест дислокации подразделений пожарной охраны проводится в соответствии с СП 11.13130.2009 [2] на основании расчетного определения максимально допустимого расстояния от объекта предполагаемого пожара до ближайшего пожарного депо, определения пространственных зон

размещения пожарных депо для каждого объекта и областей пересечения этих пространственных зон для всей совокупности объектов предполагаемого пожара. При этом максимально допустимое расстояние от объекта пожара до пожарного депо определяется в зависимости от особенностей объекта (наличия автоматической пожарной сигнализации, пожарной опасности веществ и материалов, находящихся в здании и т. п.) и целей выезда дежурного караула на пожар:

– цель № 1: ликвидация пожара прежде, чем его площадь превысит площадь, которую может потушить один дежурный караул;

– цель № 2: ликвидация пожара прежде, чем наступит предел огнестойкости строительных конструкций в помещении пожара;

– цель № 3: ликвидация пожара прежде, чем опасные факторы пожара достигнут критических для жизни людей значений [2].

Цель № 1 определяет максимально допустимое расстояние от объекта пожара до пожарного депо l_1 , цель № 2 — l_2 , цель № 3 — l_3 соответственно.

Цель № 3 в соответствии с требованиями СП 11.13130.2009 подлежит реализации при тушении пожаров в зданиях с массовым пребыванием людей, когда расчетное время эвакуации людей из здания больше необходимого времени эвакуации, а также при ликвидации пожаров в помещениях, из

Муконина Ирина Александровна, аспирант кафедры пожарной и промышленной безопасности, Воронежский государственный архитектурно-строительный университет; Россия, г. Воронеж, тел.: 8-951-871-86-29; e-mail: miral2000@yandex.ru

© Муконина И.А., 2013

которых эвакуация людей невозможна без причинения вреда их жизни или нецелесообразна по условиям технологического процесса.

Если расчетное время эвакуации людей из здания больше необходимого времени эвакуации людей, очевидно, что опасность для жизни наступает до того, как люди эвакуируются из здания, то есть их эвакуация не завершается до прибытия пожарных подразделений.

К помещениям, из которых эвакуация людей невозможна без причинения вреда их жизни, относятся, например, помещения с послеоперационными больными, помещения с людьми в барокамерах.

Причем данные положения СП 11.13130.2009 несколько противоречат положениям статьи 53 Федерального закона [1], которая гласит, что каждое здание должно иметь такое объемно-планировочное и конструктивное исполнение, чтобы обеспечивалась безопасная эвакуация людей при пожаре. При невозможности безопасной эвакуации людей их защита обеспечивается посредством систем коллективной защиты (противодымная защита, устройство незадымляемых лестничных клеток, проектирование безопасных зон в зданиях).

Стоит отметить, что пожары, которые произошли в зданиях повышенной этажности, показывают, что осуществить эвакуацию людей до наступления критических значений опасных факторов пожара в большинстве случаев невозможно [3].

Что касается жилых многоэтажных зданий, ситуация усложняется присутствием маломобильных групп населения — немощных людей, мобильность которых снижена из-за старения организма (инвалидов по старости); инвалидов, использующих при движении дополнительные опоры (костыли, палки); инвалидов, передвигающихся на креслах-колясках, приводимых в движение вручную; беременных женщин. Если в новостройках принимаются меры по эвакуации инвалидов при пожаре, то в большинстве жилых домов, построенных ранее, соответствующих мер не было принято. При этом даже при работающей системе противодымной защиты люди могут быть заблокированы не только на этаже пожара, но и на других этажах из-за высокой скорости распространения дыма и потоков тепла [3].

Таким образом, в многоэтажных зданиях прибывающие пожарные подразделения в большинстве случаев немедленно приступают к спасению людей. При этом стоит отметить, что цель № 3 в [2] не учитывает спасение людей при пожаре, а только ликвидацию пожара (его тушение) прибывшими силами и средствами одного дежурного караула. Так как сил одного дежурного караула не всегда достаточно для проведения спасательных работ и тушения пожара, а спасение людей — первоочередная задача для пожарной охраны, автор считает необходимым введение цели № 4 — спасение людей прежде, чем опасные факторы пожара достигнут критических для жизни людей значений.

В связи с обозначенными проблемами возникает необходимость разработки математической модели определения максимально допустимого расстояния от объекта пожара до пожарного депо в зависимости от цели выезда дежурного караула на пожар (цель № 4) — спасение людей прежде, чем опасные факторы пожара достигнут критических для жизни людей значений.

1. Математическая модель определения максимально допустимого расстояния от объекта пожара до пожарного депо с учетом проведения спасательной операции. Спасение людей — действия по эвакуации людей, которые не могут самостоятельно покинуть зону, где имеется вероятность воздействия на них опасных факторов пожара [3].

Время, за которое должны быть проведены работы по спасению людей подразделениями пожарной охраны, не должно превышать время наступления критических значений опасных факторов пожара (необходимого времени эвакуации людей из помещения при пожаре). В математической форме запишем:

$$\tau_{об} + \tau_c + \tau_{сб} + \tau_{сл} + \tau_{бр} + \tau_{сн} \leq \tau_{нб}, \quad (1)$$

где $\tau_{об}$ — время от момента возникновения пожара до момента его обнаружения, мин; τ_c — время от момента обнаружения пожара до момента сообщения о нем в пожарную охрану, мин; $\tau_{сб}$ — время сбора личного состава по тревоге, мин; $\tau_{сл}$ — время следования пожарных подразделений до места пожара, мин; $\tau_{бр}$ — время от момента прибытия на пожар до момента подачи огнетушащего средства из первого ствола в очаг пожара (время боевого развертывания), мин; $\tau_{сн}$ — время проведения спасательной операции по спасению людей из мест их сосредоточения, мин; $\tau_{нб}$ — необходимое время эвакуации людей из помещения (здания, сооружения) при пожаре, мин.

Нормирование радиуса выезда изменилось на нормирование временной характеристики, которая, очевидно, определяется по формуле

$$l_4 = \frac{V_{сл} \cdot \tau_{сл}}{60}, \quad (2)$$

где l_4 — максимально допустимое расстояние по дорогам населенного пункта от здания (сооружения) до пожарного депо при четвертой цели выезда на пожар, км; $V_{сл}$ — средняя скорость следования пожарных автомобилей, км/ч.

Подставив в формулу (2) формулу (1), получим

$$l_4 \leq \frac{V_{сл}}{60} (\tau_{нб} - \tau_{об} - \tau_c - \tau_{сб} - \tau_{бр} - \tau_{сн}). \quad (3)$$

Спасение людей организуется и проводится в зависимости от наличия спасательных устройств у прибывшего подразделения пожарной охраны, таких как автолестницы, коленчатые подъемники, спасательные рукава, спасательные веревки и т. п.

Рассмотрим формулу (3) — математическую модель цели № 4 — в зависимости от применяемых спасательных устройств.

2. Определение максимально допустимого расстояния по дорогам населенного пункта от здания (сооружения) до пожарного депо в случае спасения людей при помощи эластичного рукава, коленчатого подъемника, автолестницы. Суммарное время T_c спасательной операции по спасению всех людей из мест сосредоточения при помощи одного спасательного средства спасения в соответствии с методикой, приведенной в [3]:

$$T_c = \sum_{k_1}^{k_1} t_1 + \sum_{k_1}^{k_1} t_2 + \sum_{k_1}^{k_1} t_{\phi n} + \sum_{k_2}^{k_2} t_4 + \sum_{k_2}^{k_2} t_5 + \sum_{k_2}^{k_2} t_6, \quad (4)$$

где t_1 — время приведения средства спасения в рабочее состояние на требуемой позиции (в среднем 120 с), мин; t_2 — время подъема, поворота и выдвигания средства спасения к месту сосредоточения спасаемых людей, мин:

$$t_2 = \frac{h}{V_e}, \quad (5)$$

где h — высота выдвигания, м; V_e — скорость выдвигания (в среднем 0,3 м/с), м/мин; k_1 — число мест сосредоточения спасаемых людей; k_2 — число передислокаций средства спасения с одной позиции на другую ($k_2 = k_1 - 1$).

Фактическое время спуска на землю всех спасаемых людей из одного места сосредоточения при спасении с помощью эластичного рукава или коленчатого подъемника T_ϕ равно

$$T_\phi = \Pi \cdot n \cdot h \cdot k, \quad (6)$$

где Π — пропускная способность средства спасения (табл. 18.7 [3]); n — число людей, терпящих бедствие при пожаре в одном месте сосредоточения на высоте h метров; k — коэффициент задержки, учитывающий увеличение времени спуска на землю за счет потерь времени при входе спасаемых людей в средство спасения (табл. 18.7 [3]).

$$l_4 \leq \frac{V_{cl}}{60} \left(\tau_{нб} - \tau_{об} - \tau_c - \tau_{сб} - \tau_{бр} - \frac{\sum_{k_1}^{k_1} t_1 + \sum_{k_1}^{k_1} t_2 + \sum_{k_1}^{k_1} t_{\phi n} + \sum_{k_2}^{k_2} t_4 + \sum_{k_2}^{k_2} t_5 + \sum_{k_2}^{k_2} t_6}{N_{cn}} \right). \quad (11)$$

3. Определение максимально допустимого расстояния по дорогам населенного пункта от здания (сооружения) до пожарного депо в случае спасения людей выносом на руках. Суммарное время T_c проведения спасательной операции (время выноса всех спасаемых людей наружу здания или сооружения) при вовлечении в нее имеющихся в наличии N_{nn} пожарных:

$$T_c = \frac{A_1 \cdot h \cdot N_c \cdot k_1}{N_{nn}} + N_c \cdot f, \quad (12)$$

где $A_1 = 1,2$ (чел. × мин)/(чел. × м).

Фактическое время $T_{\phi 1}$ спуска на землю первого человека, спасаемого при помощи автолестницы:

$$T_{\phi 1} = 6 \cdot \Pi \cdot h \cdot k. \quad (7)$$

Фактическое время $T_{\phi n}$ спуска на землю n -го человека, спасаемого при помощи автолестницы:

$$T_{\phi n} = T_{\phi 1} + 6 \cdot \Pi \cdot h_1 \cdot (n - 1)k, \quad (8)$$

где $h_1 = 3$ м — расстояние по вертикали между людьми, спускающимися по лестнице; t_4 — время сдвигания, поворота и опускания средства спасения ($t_4 = t_2$), мин; t_5 — время приведения средства спасения в транспортабельное состояние ($t_5 = t_1$), мин; t_6 — время передислокации средства спасения с одной позиции на другую, мин:

$$t_6 = \frac{S}{V}, \quad (9)$$

где S — расстояние передислокации, м; V — скорость передислокации (0,5 м/с), м/мин.

Количество N_{cn} средств спасения при требуемом времени T_{mp} проведения спасательной операции по спасению людей из всех мест сосредоточения:

$$N_{cn} = \frac{T_c}{T_{mp}}, \quad (10)$$

где T_{mp} — время, по истечении которого хотя бы один опасный фактор пожара в месте сосредоточения спасаемых людей принимает опасное для жизни человека значение. Рассчитывается для конкретных условий или подбирается исходя из опыта спасения людей в аналогичных случаях, мин.

Подставим формулы (4) и (10) в формулу (3), (учитывая, что T_{mp} и $\tau_{нб}$ — одна и та же величина). Получим математическую модель определения максимально допустимого расстояния от здания (сооружения) до пожарного депо в случае спасения людей при помощи эластичного рукава, коленчатого подъемника, автолестницы:

Физический смысл числа A_1 выражает среднюю производительность одного пожарного (в числителе «человек»), который в течение 1,2 минуты спускает одного спасаемого человека (в знаменателе «человек») на один метр по вертикали; h — высота от уровня земли, на которой находятся люди, терпящие бедствие при пожаре, м; N_c — число людей, нуждающихся в спасении способом выноса на руках; $f = 1$ мин/чел. — коэффициент, учитывающий потери времени за счет образования очереди спасателей при их движении к месту и от места скопления спасаемых людей, а также при их

снабжении средствами индивидуальной защиты органов дыхания; $k_1 = 1$ — при работе пожарных без средств индивидуальной защиты органов дыхания; $k_1 = 1,5$ — при работе пожарных в средствах индивидуальной защиты органов дыхания.

$$l_4 \leq \frac{V_{сл}}{60} \left(\tau_{нб} - \tau_{об} - \tau_c - \tau_{сб} - \tau_{бп} - \left(\frac{A_1 \cdot h \cdot N_c \cdot K_1}{N_{нн}} + N_c \cdot f \right) \right) \quad (13)$$

4. Определение максимально допустимого расстояния по дорогам населенного пункта от здания (сооружения) до пожарного депо в случае спасения людей при помощи спасательной веревки. Суммарное время T_c проведения спасательной операции при вовлечении в нее имеющих в наличии $N_{нн}$ пожарных:

$$T_c = \frac{A_2 \cdot h \cdot N_c \cdot k_2 \cdot k_1}{N_{нн}} + 0,15 \cdot h \cdot k_1, \quad (14)$$

где $A_2 = 0,1$ (чел. \times мин/чел. \times м). Физический смысл числа A_2 выражает среднюю производительность одного пожарного (в числителе «человек»), который в течение 0,1 минуты спускает одного спасаемого человека (в знаменателе «человек») на

$$l_4 \leq \frac{V_{сл}}{60} \left(\tau_{нб} - \tau_{об} - \tau_c - \tau_{сб} - \tau_{бп} - \left(\frac{A_2 \cdot h \cdot N_c \cdot k_2 \cdot k_1}{N_{нн}} + 0,15 \cdot h \cdot k_1 \right) \right) \quad (15)$$

5. Определение максимально допустимого расстояния по дорогам населенного пункта от здания (сооружения) до пожарного депо в случае спасения людей с помощью коленчатого подъемника (на примере г. Воронежа). Рассмотрим на примере десятиэтажного офисного здания, имеющего две пожаробезопасные зоны на десятом этаже. Количество людей в каждой пожаробезопасной зоне — 10 человек.

Пожаробезопасная зона отделена от других помещений и примыкающих коридоров противопожарными преградами, имеющими пределы огнестойкости:

- стены — REI 90,
- перекрытия — REI 60,
- двери 1-го типа — EI 60,
- окна 1-го типа — E 60.

Расстояние передислокации спасательного средства (расстояние между зонами безопасности) — 30 м.

Получим:

$$\tau_{нб} = 60 \text{ мин}; t_1 = 120 \text{ с} = 2 \text{ мин};$$

$$t_2 = 100 \text{ с} = 1,67 \text{ мин (рассчитывается по (5),$$

принято: $h = 30 \text{ м}, V_в = 0,3 \text{ м/с};$

Подставим формулу (12) в формулу (3), учитывая, что $T_{мп}$ и $\tau_{нб}$ — одна и та же величина. Получим математическую модель определения максимально допустимого расстояния от здания (сооружения) до пожарного депо в случае спасения людей выносом на руках:

один метр по вертикали; h — высота от уровня земли, на которой находятся люди, терпящие бедствие при пожаре, м; N_c — число людей, нуждающихся в спасении при помощи спасательной веревки; $k_1 = 0,15 \text{ мин/м}$ — время подъема пожарных без средств индивидуальной защиты органов дыхания на 1 м по вертикали; $k_2 = 2$ — учет времени освобождения спасаемого человека от спасательной веревки, времени подъема освободившейся веревки для повторного использования, времени на непредвиденные обстоятельства.

Подставим формулу (14) в формулу (3). Получим математическую модель определения максимально допустимого расстояния от здания (сооружения) до пожарного депо в случае спасения людей при помощи спасательной веревки:

$k_1 = 2$, так как предусмотрено две зоны безопасности, то число мест сосредоточения спасаемых людей принимаем два;

$$k_2 = k_1 - 1 = 1.$$

Фактическое время спуска на землю всех спасаемых людей из одного места сосредоточения при спасении с помощью коленчатого подъемника определяется по формуле (6):

$$T_{ф} = 720 \text{ с} = 12 \text{ мин.}$$

В расчете принято:

$$П = 0,4 \text{ с/(чел.} \times \text{м)}; n = 10 \text{ чел.}; h = 30 \text{ м};$$

$$t_4 = t_2 = 100 \text{ с} = 1,67 \text{ мин};$$

$$t_5 = t_1 = 2 \text{ мин};$$

$$t_6 = 60 \text{ с} = 1 \text{ мин (принимаем } S = 30 \text{ м,}$$

$$V = 0,5 \text{ м/с)};$$

$N_{сн} = 1$ (используется один коленчатый подъемник для проведения спасательной операции);

$\tau_{об} = 1 \text{ мин}$ (здание оборудовано автоматической пожарной сигнализацией);

$$\tau_c = 1 \text{ мин};$$

$$\tau_{сб} = 1 \text{ мин};$$

$$\tau_{бп} = 5 \text{ мин};$$

$$V_{сл} = 40 \text{ км/ч [4].}$$

Подставим значения в формулу (11), получим

$$l_4 \leq \frac{40}{60} \left(60 - 1 - 1 - 1 - 5 - \frac{\sum_{k1}^1 2 + \sum_{k1}^1 1,67 + \sum_{k1}^1 12 + \sum_{k2}^2 1,67 + \sum_{k2}^2 2 + \sum_{k2}^2 1}{1} \right), \quad l_4 = 10,66 \text{ км.}$$

Выводы. В результате анализа определения максимально допустимого расстояния по дорогам населенного пункта от здания (сооружения) до пожарного депо в зависимости от целей выезда пожарных подразделений (по СП 11.13130.2009), авторами был сделан вывод о необходимости введения новой цели выезда — спасание людей в зависимости от наличия спасательных устройств у прибывшего подразделения пожарной охраны.

Предложена математическая модель определения максимально допустимого расстояния по дорогам населенного пункта от здания (сооружения) до пожарного депо для многоэтажных зданий для следующих случаев спасания людей: 1) при помощи эластичного рукава, коленчатого подъемника, автолестницы; 2) выносом на руках; 3) при помощи спасательной веревки.

Авторы видят возможность совершенствования предложенной математической модели по следующим направлениям:

– разработка модели не только для многоэтажных зданий, а, например, для многофунк-

ональных центров (торгово-развлекательных), больниц и т. д.;

– разработка расчетных формул определения времени от момента прибытия на пожар до момента возможности начала проведения спасательных работ;

– проверка чувствительности модели;

– введение в модель «возмущающих» факторов (например, некомплект личного состава);

– разработка расчетных формул в случае спасания людей при помощи других спасательных средств, например лестниц, крупных стационарных сооружений (лифтов, подвесных карабинов, люлек), канатно-спусковых устройств, желобов-спусков и скатов, амортизационных устройств (полотен, сеток, мембранных устройств, пневматических подушек и матов).

Библиографический список

1. **Технический регламент о требованиях пожарной безопасности:** фед. закон Рос. Федерации от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ: [принят Гос. Думой Федер. собр. Рос. Федерации 4 июля 2008 г.: одобр. Советом федерации Федер. Собр. Рос. Федерации 11 июля 2008 г.]. — М.: ФГУ ВНИИПО, 2008. — 157 с.
2. **СП 11.13130.2009.** Места дислокации подразделений пожарной охраны. Порядок и методика определения. — Введ. 2009-05-01. — М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009. — 15 с.
3. **Теребнев, В. В.** Справочник руководителя тушения пожара. Тактические возможности пожарных подразделений / В. В. Теребнев. — М.: Пожкнига, 2004. — 248 с.
4. **Иванников, В. П.** Справочник руководителя тушения пожара / В. П. Иванников, П. П. Ключ. — М.: Стройиздат, 1987. — 288 с.

References

1. **Texnicheskij reglament o trebovaniyax požarnoj bezopasnosti:** fed. zakon Ros. Federacii ot 22 iyulya 2008 g. № 123-FZ: [prinyat Gos. Dumoj Feder. sobr. Ros. Federacii 4 iyulya 2008 g.: odobr. Sovetom federacii Feder. Sobr. Ros. Federacii 11 iyulya 2008 g.]. — M.: FGU VNIIPPO, 2008. — 157 s.
2. **SP 11.13130.2009.** Mesta dislokacii podrazdelenij požarnoj ohrany. Poryadok i metodika opredeleniya. — Vved. 2009-05-01. — M.: FGU VNIIPPO MChS Rossii, 2009. — 15 s.
3. **Terebnev, V. V.** Spravochnik rukovoditelya tusheniya požhara. Takticheskie vozmozhnosti požharnyx podrazdelenij / V. V. Terebnev. — M.: Pozhkniга, 2004. — 248 s.
4. **Ivannikov, V. P.** Spravochnik rukovoditelya tusheniya požhara / V. P. Ivannikov, P. P. Klyus. — M.: Stroijizdat, 1987. — 288 s.

ABOUT THE DEPARTURE PURPOSES OF THE FIRE PROTECTION DIVISIONS ON FIRE

Mukonina I. A.,

PhD student,

Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering;

Russia, Voronezh,

tel.: 8 (951) 871-86-29, e-mail: miral2000@yandex.ru

The conclusion about the necessity of introduction of the new departure purposes of the fire protection divisions. This purpose is the rescue of people. The mathematical model for determining the maximum allowable distance from the high-rise buildings to the fire station with the rescue of people in different ways (for example, with flexible hoses, engine hoist, ladders, rope rescue, rescue people on the hands) is offered. The ways of improving this mathematical model are offered.

Keywords: fire, fire protection, fire department, fire safety measures, the rescue of people.

О ВЗРЫВАХ ПРИРОДНОГО ГАЗА И ИХ ПОСЛЕДСТВИЯХ В МНОГОЭТАЖНОМ ЖИЛОМ СЕКТОРЕ

Е. А. Сушко, А. М. Зайцев, А. А. Кашникова, Д. С. Черных

Анализируются статистические материалы по взрывам природного газа в жилом секторе нашей страны, а также данные по человеческим жертвам и материальным потерям. Показана актуальность темы, намечены пути профилактического, организационного и технического решения проблемы

Ключевые слова: взрыв, природный газ, жилой сектор, жертвы.

Введение. Взрыв это — физический или/и химический быстропротекающий процесс горения с выделением значительной энергии в небольшом объёме за короткий промежуток времени, приводящий к ударным, вибрационным и тепловым воздействиям на строительные конструкции зданий и сооружений и окружающую среду.

В последнее годы на территории нашей страны участились случаи взрывов природного газа в жилых домах.

1. Анализ последствий взрыва природного газа в жилом секторе. По данным ОАО «Росгазификация», ежегодно в жилом секторе (быту) происходят порядка 230 различных инцидентов (чрезвычайных происшествий), связанных с использованием газа. При этом возрастает число погибших: например, в 2012 году погибло 130 человек (80 % в результате отравления оксидом углерода, 20 % в результате взрывов газозвдушной смеси и пожаров) [1].

«Ростехнадзор» возложил вину за произошедшее именно на человеческий фактор: по статистике, эпицентры взрыва в подавляющем большинстве случаев находятся внутри квартир.

Сушко Елена Анатольевна, канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой пожарной и промышленной безопасности, Воронежский ГАСУ; Россия, г. Воронеж, тел.: (473)271-53-21, e-mail: vgasupb@mail.ru

Зайцев Александр Михайлович, канд. техн. наук, доц., проф. кафедры пожарной и промышленной безопасности, Воронежский ГАСУ; Россия, г. Воронеж, тел.: 8-951-567-80-29

Кашникова Анастасия Александровна, студент кафедры пожарной и промышленной безопасности, Воронежский ГАСУ; Россия, г. Воронеж, тел.: 8-950-770-66-10, e-mail: vip.nasty.nastenska@mail.ru

Черных Дарья Сергеевна, аспирант кафедры пожарной и промышленной безопасности, Воронежский ГАСУ; Россия, г. Воронеж, тел.: 8-961-295-17-99

Отрицательные последствия взрывов в жилом секторе можно разделить на следующие категории (рис 1):

- повреждение и обрушение зданий (уничтожение жилого фонда);
- гибель и травмирование людей;
- материальный ущерб;
- психологическое воздействие на население;
- загрязнение окружающей среды.

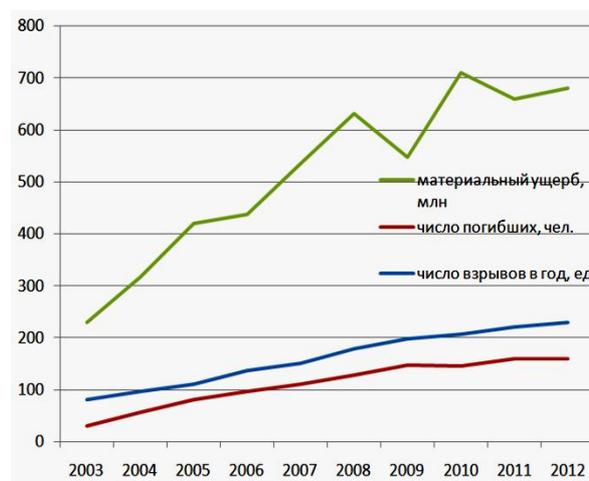


Рис. 1. График изменения числа взрывов природного газа в жилом секторе нашей страны, количество погибших и материальных потерь за последние 10 лет

Попробуем проанализировать сложившуюся ситуацию.

Согласно вступившему в силу в мае 2006 года постановлению правительства ответственность за исправное состояние газовых плит и колонок лежит на самих жильцах [2]. За их же счет проводится и ремонт газового оборудования, что недешево, поэтому собственники привычно решают сэкономить. И, как показывает статистика, такая экономия приводит к очень плачевным результатам!

Со взрывами бытового газа следует бороться несколькими путями. Рассмотрим их по отдельности.

Предупредить взрыв — значит, прежде всего, не допустить утечку газа. Если не брать во внимание случаев преднамеренных действий, то взрывоопасные газоздушные смеси образуются в результате неисправностей газового оборудования. Вот с ними и надо бороться.

Способы борьбы с неисправностями общеизвестны: необходимо проводить периодические профилактические работы по устранению утечек, хозяевам квартир нужно обращать особое внимание на детей, престарелых, социально опасных личностей. Бдительность хозяев квартиры гарантирует безопасность, возможно, всего подъезда.

Профилактика взрывов бытового газа — это профилактика бытового газового оборудования. Такая услуга должна быть обязательной, и ее цену следует включать в себестоимость газа.

В настоящее время уже выпускаются газовые плиты с автоматическим отключением подачи газа при заливке пламени.

Для того чтобы снизить количество взрывов бытового газа и количество возгораний, которые последовали за взрывом (рис. 2), необходимо усилить пропагандистскую и профилактическую работу среди населения. Если каждый пользователь будет знать и безукоризненно выполнять нормы безопасной эксплуатации газового оборудования, то следует ожидать, что статистические показатели снизятся в несколько раз.



Рис. 2. Взрыв жилого дома в Томске 25 февраля 2013 г. (дом не газифицирован, причиной взрыва является переносной баллон с бытовым газом)

Очень часто взрывы природного газа приводят к разрушению остекления, разрушению несущих и ограждающих строительных конструкций. Нередко в результате взрывов происходит обрушение целых подъездов жилых домов, как это показано на рис. 3.

Необходимо подчеркнуть, что квартиры, где используется природный газ, с точки зрения взрывопожаробезопасности относятся к категории Б [3]. На промышленных предприятиях для защиты от взрывов уже при проектировании предусматриваются взрывозащитные клапана, легкобрасываемая кровля и специальное остекление, которое легко

разрушается при взрывах. Что касается защиты квартир, то в качестве своего рода предохранительного клапана для сброса избыточного давления и защиты здания от разрушения можно рассматривать окна.

Этот вопрос заслуживает более подробного рассмотрения.



Рис. 3. Обрушение дома в Астрахани 27 февраля 2012 г. (из-за взрыва газа пострадали 11 человек, 6 госпитализированы, среди пострадавших — 6 детей)

2. Возможные пути решения проблем. С точки зрения физики то, что происходит при воспламенении газа на кухне от спички или от искры при взрывоопасной концентрации (5—14%), это быстрое сгорание газоздушной смеси. Это приводит к моментальному повышению давления в помещении. Например, если кухня размером $3 \times 3 \times 2,5$ м будет вся заполнена стехиометрической смесью природного газа с воздухом и произойдет загорание этой смеси, то давление в таком замкнутом объеме может составить примерно 0,8 МПа, усилие на междуэтажные перекрытия может достичь максимального размера $7 \cdot 10^6$ Н (700 тс) [4]. Естественно, и перекрытия и стены будут разрушены, вышележащие строительные конструкции будут приподняты, а затем тоже обрушены, т. е. полностью разрушится некоторая часть многоэтажного дома, как показано на рис. 3.

А если на кухне будет окно с обычной деревянной рамой с крупными переплетами и стеклами толщиной 2 мм, которые разрушатся уже при избыточном давлении 0,005 МПа, и площадь открывшегося при этом отверстия будет не менее $1,5 \text{ м}^2$, то горение газа и истечение продуктов сгорания будут компенсировать друг друга, давление на кухне не поднимется выше 0,005 МПа, и, следовательно, здание не получит никаких разрушений.

Однако в настоящее время широко используются пластиковые стеклопакеты, которые разрушаются при гораздо более высоком давлении и, таким образом, не выполняют взрывозащитную функцию, что приводит в нарастанию отрицательных последствий взрывов природного газа в жилом секторе.

Для того чтобы устройство сброса давления взрыва было эффективным, оно должно вскрываться при достаточно низком давлении и иметь достаточно большую площадь проходного сечения, чтобы после его вскрытия рост давления в защищаемом объеме был исключен.

Легкосбрасываемая кровля может быть установлена только на верхних этажах, поэтому вряд ли может быть рекомендована для широкого применения в жилых домах, а окна — это, пожалуй, основное средство взрывозащиты, причем вполне пригодное для взрывозащиты кухонь. Главное, чтобы окно разрушалось при минимальном давлении и чтобы вскрывшееся в результате этого отверстие было достаточно большим. Приведенное выше соотношение ($0,05 \text{ м}^2$ на 1 м^3) рекомендуется СНиП для взрывоопасных производственных зданий, а не для бытовых помещений жилых зданий [5].

Известно, что стекло легче разрушается если оно тоньше и больше по площади. СНиП прямо устанавливают, что стекло может выполнять роль взрывозащиты при толщине 3, 4 и 5 мм, при площади не менее соответственно 0,8; 1 и $1,5 \text{ м}^2$. Армированное стекло вообще не может использоваться для этих целей.

Проблема взрывозащиты кухонь в жилых домах в последнее время усложнилась тем, что в них стали устанавливать современные металлопластиковые окна с многослойными стеклопакетами. Такие окна обеспечивают лучшую тепло- и шумоизоляцию, они менее доступны для проникновения в квартиру злоумышленника, имеют ряд других бесспорных преимуществ. Но их также неоспоримый недостаток в том, что они слишком прочны.

Возможно, именно по причине очень широкого распространения металлопластиковых окон и наблюдается всплеск количества катастрофических взрывов, связанных с бытовым газом. Если раньше при взрыве бытового газа на кухне с окном со слабой деревянной рамой и 2-миллиметровыми стеклами страдали (получали ожоги) только жильцы одной квартиры, то теперь прочные металлопластиковые окна со стеклопакетами превратили кухни в своего рода «мины», угрожающие всему подъезду.

Но данный недостаток металлопластиковых окон вполне может быть устранен их разработчиками и изготовителями. Для этого достаточно лишь предусмотреть специальное слабое звено в конструкции их крепления в оконном проеме, например, в виде срезного штифта или другого ослабленного крепежного элемента. При этом не надо думать, что, если окно будет иметь специально ослабленное крепление, то через него легко будет проникнуть в квартиру. Для того чтобы вылетело окно площадью $1,2 \text{ м}^2$ при давлении $0,005 \text{ МПа}$, на него должна действовать сила более чем полтонны. Приложить такое усилие к окну снаружи злоумышленнику вряд ли удастся [6].

Крепление окна может быть даже шарнирным, чтобы оно не вылетало полностью из оконно-

го проема, а, например, поворачивалось и после сброса давления взрыва возвращалось на место.

На наш взгляд, по вопросу устройства окон на кухнях и в других бытовых помещениях, где используется бытовой газ, необходимо разработать специальный технический регламент. Разработке такого регламента должны предшествовать серьезные научные исследования, включающие не только глубокие теоретические обоснования, но и натурные испытания в полигонных условиях [7, 8].

Однако разработчикам и изготовителям металлопластиковых окон уже сейчас можно рекомендовать разработать типоряд специальных конструкций окон для кухонь разных размеров и провести их испытания, например, на зданиях, подлежащих сносу. Такие впечатляющие эксперименты с соответствующей киносъемкой будут не только достаточно обоснованным научным подтверждением их эффективности, но и хорошей рекламой.

Следует отметить, что вышибные проемы и легкосбрасываемая кровля позволяют предотвратить разрушение основных несущих строительных конструкций и здания в целом, но ожоги и другие поражения людей, находящихся в данном помещении, при этом не исключаются.

Выводы. На основе проведенного анализа можно сделать следующие выводы:

- обеспечение взрывобезопасности в жилом секторе является актуальной проблемой, поскольку растет количество взрывов природного газа, человеческих жертв и материального ущерба, в том числе от разрушений строительных конструкций зданий;

- в средствах массовой информации не проводится пропагандистских мероприятий по обеспечению взрывопожаробезопасности в жилом секторе;

- необходимо усилить проведение профилактических работ по предупреждению пожаров и взрывов в жилом секторе соответствующими службами газового хозяйства и государственного пожарного надзора;

- необходимо повысить уровень государственного пожарного надзора по обеспечению взрывопожаробезопасности на объектах строительства;

- строительным, промышленным, научно-исследовательским организациям следует усилить работу по обеспечению за счет технических, технологических или иных методов взрывозащиту жилого сектора при возникновении взрывоопасной концентрации природного газа.

В заключение необходимо отметить, что основной причиной взрывов является невнимательное отношение жильцов к эксплуатации газовых приборов (залив их или неисправность оборудования) и отсутствие необходимого в этом случае проветривания помещения. В результате образуется взрывоопасная концентрация газозооушной смеси, которая при возникновении источников зажигания может привести к взрывам и другим тяжелым последствиям.

Библиографический список

References

1. **Официальный сайт** Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации стихийных бедствий. — (<http://www.mchs.gov.ru>). — (01.09.2013).
2. **О порядке предоставления коммунальных услуг гражданам:** постановление Правительства Российской Федерации от 23 мая 2006 г. № 307 // Российская газета. — 2006. — 1 июня. — № 4081.
3. **ОНТП 24-86.** Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности. — М.: ВНИИПО МВД СССР. — 25 с.
4. **Правила противопожарного режима в Российской Федерации.** — М.: Омега-Л, 2012. — 86 с. — (Безопасность и охрана труда).
5. **СНиП П-90-81.** Производственные здания промышленных предприятий [утв. постановлением Гос. комитета СССР по делам строительства от 7 декабря 1981 г. № 202]. — М.: Стройиздат 1982. — 15 с.
6. **Обучающие материалы. Теоретические основы горения и взрыва.** — <http://bezop-pogor.ru/obuchayushhie-materialy-teoreticheskie-osnovy-goreniya-i-vzryva.html>). — (01.09.2013).
7. **Sushko, Ye. A.** «Development of the Technique for Calculation of Efficient Modes of Operation of Ventilation Systems of Industrial Premises», Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering / Ye. A. Sushko, K. N. Sotnikova, S. L. Karpov // Construction. Architecture. Transport. — 2011. — № 2. — С. 143.
8. **Облиенко, А. В.** Экспериментальные исследования закономерностей распределения пожаровзрывоопасных веществ в промышленных помещениях / А. В. Облиенко, С. О. Потапова, Е. А. Сушко // Научный вестник Воронежского ГАСУ. Строительство и архитектура. — 2010. — № 3 (19). — С. 154—163.

1. **Oficial'nyj sajt** Ministerstva Rossijskoj Federacii po delam grazhdanskoj oborony, chrezvychajnym situacijam i likvidacijam stixijnyx bedstvij. — (<http://www.mchs.gov.ru>). — (01.09.2013).
2. **O poryadke predostavleniya kommunal'nyx uslug grazhdanam:** postanovlenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 23 maya 2006 g. № 307 // Rossijskaya gazeta. — 2006. — 1 iyunya. — № 4081.
3. **ONTP 24-86.** Opredelenie kategorij pomeshhenij i zdaniy po vzryvopozharnoj i pozharnoj opasnosti. — M.: VNIPO MVD SSSR. — 25 s.
4. **Pravila protivopozharnogo rezhima v Rossijskoj Federacii.** — M.: Omega-L, 2012. — 86 s. — (Bezopasnost' i ohrana truda).
5. **SNiP P-90-81.** Proizvodstvennye zdaniya promyshlennyx predpriyatij [utv. postanovleniem Gos. komiteta SSSR po delam stroitel'stva ot 7 dekabrya 1981 g. № 202]. — M.: Strojizdat 1982. — 15 s.
6. **Obuchayushhie materialy. Teoreticheskie osnovy goreniya i vzryva.** — <http://bezop-pogor.ru/obuchayushhie-materialy-teoreticheskie-osnovy-goreniya-i-vzryva.html>). — (01.09.2013).
7. **Sushko, Ye. A.** «Development of the Technique for Calculation of Efficient Modes of Operation of Ventilation Systems of Industrial Premises», Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering / Ye. A. Sushko, K. N. Sotnikova, S. L. Karpov // Construction. Architecture. Transport. — 2011. — № 2. — S. 143.
8. **Oblienko, A. V.** Eksperimental'nye issledovaniya zakonomernostej raspredeleniya pozharovzryvoopasnyx veshhestv v promyshlennyx pomeshheniyax / A. V. Oblienko, S. O. Potapova, E. A. Sushko // Nauchnyj vestnik Voronezhskogo GASU. Stroitel'stvo i arxitektura. — 2010. — № 3 (19). — S. 154—163.

ABOUT THE EXPLOSIONS OF NATURAL GAS AND THEIR CONSEQUENCES IN HIGH-RISE RESIDENTIAL SECTOR

Sushko E. A.,

PhD in Engineering, Assoc. Prof.,
Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering;
Russia, Voronezh, tel.: (473)271-53-21, e-mail: vgasupb@mail.ru

Zajcev A. M.,

PhD in Engineering, Assoc. Prof.,
Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering;
Russia, Voronezh, tel.: 8-951-567-80-29

Kashnikova A. A.,

Student,
Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering;
Russia, Voronezh, tel.: 8-950-770-66-10, e-mail: vip.nasty.nastenka@mail.ru

Chernyx D. S.

PhD student,
Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering;
Russia, Voronezh, tel.: 8-961-295-17-99

The paper analyses the statistical materials in explosions of natural gas in the residential sector of our country, as well as data on casualties and material losses. The urgency of this theme, the ways of preventive, institutional and technical problem solution.

Keywords: explosion, natural gas, the residential sector, the victim.



МОНИТОРИНГ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ РИСКОВ

УДК 614.842/.847

КОНЦЕПЦИЯ СТРАТИФИКАЦИОННОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ И ОПИСАНИЯ ОБЪЕКТОВ ГОРОДСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ УРОВНЯ СВОДНОГО ИНДЕКСА ТЕХНОГЕННОГО РИСКА

О. А. Рыбин, В. В. Попов, А. Н. Нестругин

Объекты городской инфраструктуры являются критически важными элементами обеспечения целостности и безопасности жизнедеятельности общества, и их физический износ является серьезным фактором риска. Однако в практике надзорных органов МЧС России методам оценки риска и ранжированию объектов городской инфраструктуры с точки зрения уровня сводного индекса риска уделяется, на наш взгляд, недостаточное внимание. В статье предлагается новый подход описания объектов городской инфраструктуры для оценки уровня его пожарной безопасности на основе сводного индекса риска.

Ключевые слова: *риски, пожарная безопасность, надзор, критически важные элементы.*

Введение. Старение оборудования объектов городской инфраструктуры (ОГИ) является естественным процессом. Проблемы возникают, когда эти процессы становятся неуправляемыми. Решение задачи обеспечения эффективного и безопасного использования ОГИ является ответственностью их владельца. В эпоху социализма и плановой экономики государство создало и поддерживало сложную систему управления инфраструктурой, которая включала отраслевые научно-исследовательские

и проектные институты, органы надзора, учреждения высшего и среднего специального образования, технические службы на предприятиях.

Именно государство планировало и осуществляло безопасное использование и своевременное обновление основных фондов. В процессе перехода от социализма к капитализму значительная часть основных фондов сменила владельца. Теперь ответственность за безопасное и эффективное управление ложится на частного собственника. К сожалению, в процессе перехода экономики к новым товарно-рыночным отношениям была в значительной степени разрушена прежняя плановая структура управления, а новая, ориентированная на современные экономические реалии, буксует.

В условиях, когда средняя изношенность основных фондов достигает 80 % и продолжает нарастать, сложившаяся ситуация представляется исключительно опасной и требует безотлагательного вмешательства государства в вопросы управления инфраструктурой. В настоящее время износ достиг небывалой величины, для обновления нужны фантастические инвестиции, которые накопятся только со временем. Например, износ российских магистральных электрических сетей, по оценкам экспертов, составляет 41 %, распределительных электросетей — 70 %, износ муниципальных и

Рыбин Олег Александрович, д-р техн. наук, проф. кафедры высшей математики и системного моделирования сложных процессов, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России; Россия, г. Санкт-Петербург, e-mail: vmsmsp@mail.ru
Попов Василий Владимирович, канд. воен. наук, доц., начальник кафедры высшей математики и системного моделирования сложных процессов, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России; Россия, г. Санкт-Петербург, e-mail: vmsmsp@mail.ru
Нестругин Александр Николаевич, соискатель кафедры высшей математики и системного моделирования сложных процессов, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России; Россия, г. Санкт-Петербург, e-mail: vmsmsp@mail.ru

© Рыбин О. А., Попов В. В., Нестругин А. Н., 2013

сельских сетей в отдельных регионах превышает 90 %. В химической отрасли средний уровень износа порядка 60 %, а по отдельным видам оборудования — от 80 до 100 %. В металлургии в среднем износ превышает 60 %. Ресурсы, имеющиеся для технического перевооружения, технического обслуживания и ремонта, существенно ограничены. В этих условиях возникновение техногенных аварий (или даже катастроф) которыми также является и пожары, представляется лишь делом времени [8].

Выполнение требований пожарной безопасности на надзорных объектах нацелено лишь на снижение индивидуального и социального пожарного риска, без учёта динамики состояния объекта, его места в общей инфраструктуре региона, а также возможных «прочих» и «неустановленных» причин пожара. При этом, учитывая существующие ограничения, в которых работают надзорные органы по количеству и видам проверок надзорных объектов, кардинально изменить ситуацию в лучшую сторону не представляется возможным, не изменив подхода к обеспечению комплексной безопасности в целом.

Между тем в теории и практике менеджмента уже выработаны концепции, подходы и методы, ориентированные на минимизацию рисков в условиях ограниченности ресурсов и изношенности объектов инфраструктуры. Для иллюстрации приведем так называемую философию *Performance Focused Maintenance* (PFM), или техническое обслуживание, ориентированное на результативность деятельности и эффективность компании в целом. Этот подход возник на западе и достаточно активно там пропагандируется [9]. Чтобы сегодняшнее управляющее воздействие выработывалось исходя из его влияния на достижение перспективных, стратегических целей необходимо выделять ресурсы под те или иные работы технического обслуживания и ремонта, необходимо отслеживать их вклад в достижение целей, концентрировать ресурсы на тех работах, от которых ожидается наибольший вклад в безопасность, надежность, производительность и качество.

С целью совершенствования контроля за пожарной безопасностью ОГИ и введения новой формы работы — аудита безопасности задачами государственного пожарного надзора является оценка их безопасности на основе оценки рисков и консультирование по вопросам ее повышения. От того, на сколько качественно проведена оценка рисков зависит страховая сумма и уровень пожарной безопасности. Поэтому диагностика и прогнозирование уровня рисков пожарной опасности является и актуальной задачей для деятельности ГПН в обеспечении безопасности ОГИ.

Концепция описания объектов городской инфраструктуры для оценки уровня сводного индекса техногенного риска. Проведенный анализ существующих математических методов анализа рисков показал их недостатки, особенно при описании топологической структуры ОГИ [10]. Оценка

ППС ОГИ проводится на основании пожарных рисков, расчеты которых осуществляются с учетом множества факторов, влияющих на топологическую структуру объекта, и по которым нельзя сделать вывод о комплексной количественной оценке риска, а только об отдельных его элементах.

К применению предлагается концепция описания объектов городской инфраструктуры для оценки уровня сводного индекса техногенного риска, изложенная в [11]. Такое описание позволит ранжировать ОГИ по уровню сводного индекса техногенного риска и проводить превентивные мероприятия с целью предупреждения инцидентов, аварий и катастроф. На данный момент эта задача решается субъективно, фактически нет доступной методики числовой (количественной) оценки уровня техногенного риска объектов городской инфраструктуры.

Концепция предлагаемого описания основывается на стратификационном представлении и системном описании ОГИ [12-13] и заключается в том, что любой сложный ОГИ (например, производственное предприятие) может быть представлен состоящим из отдельных цехов, каждый цех — из установок, каждая установка — из отдельных узлов и элементов оборудования (рис.).

Каждый узел связан с другим узлом коммуникациями — трубопроводами, электрическими сетями и пр. Таким образом, можно каждую установку производственного объекта представить в виде цепочки последовательно и параллельно соединенных элементов оборудования. Каждому элементу оборудования можно назначить индекс риска (числовую величину). На основании этих числовых величин можно ранжировать элементы оборудования с точки зрения уровня опасности или риска. Получив эти значения, аналогичным образом можно ранжировать установки и цеха, как свертки индексов риска отдельных установок.

В свою очередь сам завод находится в некоем городском районе, со своей собственной инфраструктурой, домами, больницами, детскими садами и пр. В этом смысле завод является элементом городской инфраструктуры, который аналогичным образом, как и производственный объект, оказывает влияние на другие элементы (объекты) городской инфраструктуры. Например, бензозаправка является объектом повышенной опасности и неизбежно будет влиять на соседние объекты городской инфраструктуры.

Инфраструктура города аналогичным образом может быть представлена в виде отдельных элементов (объектов), каждый объект в виде отдельных узлов и элементов городской инфраструктуры. Каждый узел связан с другим узлом коммуникациями — трубопроводами, электрическими сетями, сетями водопровода и канализации, сетями связи, дорогами и пр. Такое представление может быть легко описано единой математической моделью, например, в виде связанного графа.

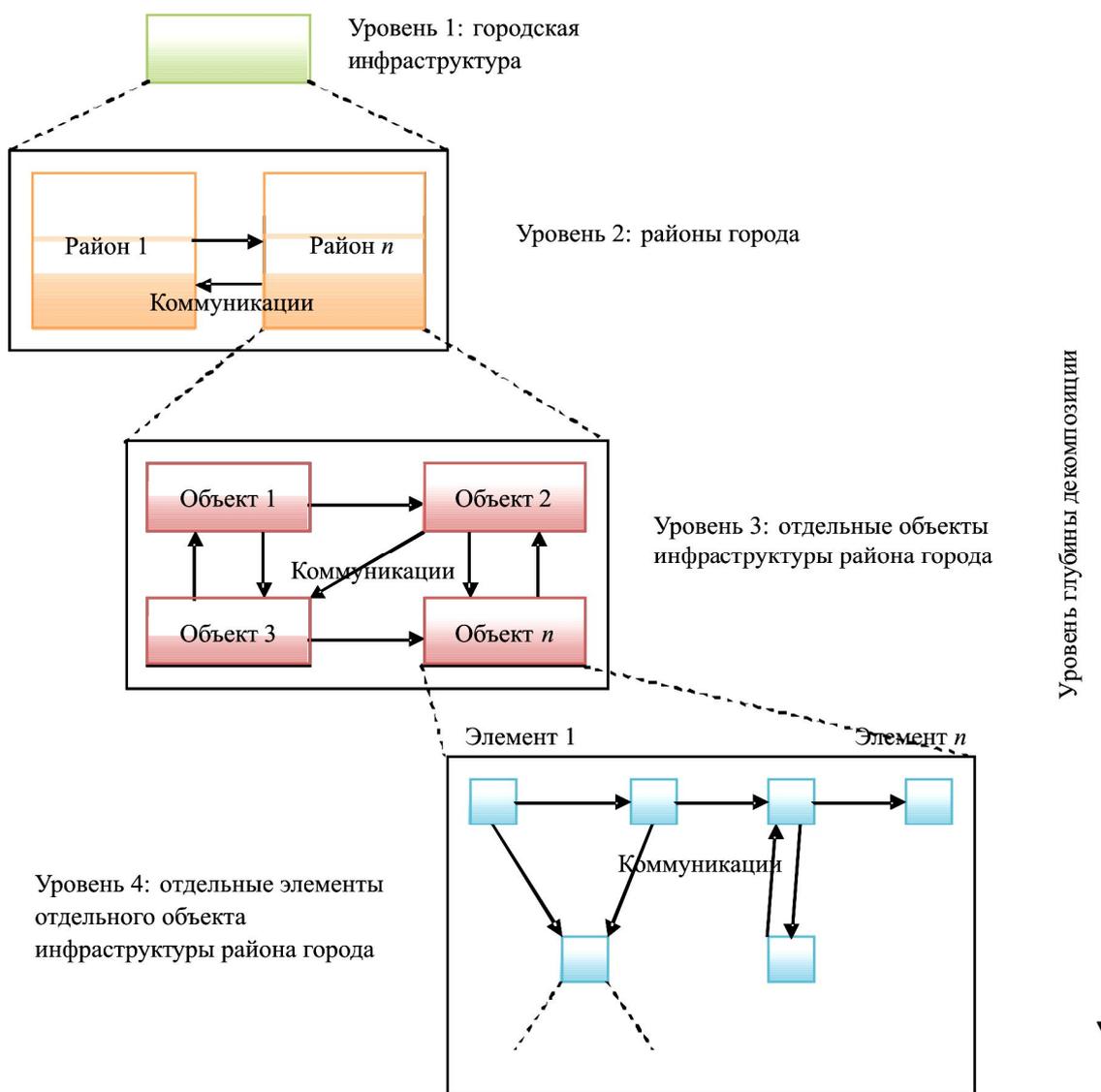


Рис. Многоуровневое стратификационное описание декомпозиции объектов городской инфраструктуры

Преимуществами такого описания ОГИ являются:

- 1) простой, наглядный и понятный способ описания и декомпозиции ОГИ;
- 2) единая универсальная модель описания и количественной оценки уровня техногенного риска на любом уровне иерархии ОГИ;
- 3) декомпозиция до необходимого уровня глубины.

До настоящего времени вопрос описание декомпозиции объектов городской инфраструктуры остается недостаточно изученным. Существующие нормативные методики учитывают не все физические факторы, явления и взаимосвязи, характерные для аварий на предприятиях различных отраслей. Не существует единой методики, позволяющей определять показатели риска с учетом вероятности возникновения крупных аварий. Открытыми остаются вопросы практического использования количественных оценок показателей риска.

Разработка методического аппарата количественной оценки опасностей и уровня риска для населения в результате крупных производственных аварий на различных производственных объектах является весьма актуальной задачей и имеет важное практическое значение для органов исполнительной власти различного уровня. С помощью этого инструмента можно в приемлемые сроки при сравнительно небольших затратах выделить те объекты, которые требуют повышенного внимания со стороны органов управления и контроля и установить очередность проведения комплекса мероприятий, направленных на повышение безопасности опасных предприятий и объектов города и повышение уровня защиты населения и окружающей среды [14—15].

Выводы. Представление ОГИ в ходе описания в виде иерархии страт позволяет:

- во-первых, выделить в структуре ОГИ элементы, функционирующие по единому поведен-

ческому алгоритму и осуществляющие информационное взаимодействие с элементами соседних иерархий;

- во-вторых, определить единую и универсальную математическую модель, посредством которой происходит описание и информационный обмен между элементами синтезируемой системы;
- в-третьих, обеспечить максимальную декомпозицию описания ОГИ до необходимого уровня;

Библиографический список

1. **Максименко, Б. П.** Политика предотвращения чрезвычайных ситуаций техногенного характера в странах Европейского Союза / Б. П. Максименко, М. Д. Сегаль, В. И. Степанчиков // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. — 2003. — Вып. 2. — С. 150—159.
2. **Guidance on the Preparation of a Safety Report to Meet the Requirements of Council Seveso Directive 96/82/EC (Seveso II).** Report EUR 17690 EN.
3. **Быков, А. А.** Безопасность с глобальной и региональной точек зрения: концепция экологического паритета: препринт № 37 / А. А. Быков, И. И. Кузьмин, А. Н. Проценко. — М.: ИБРАЭ РАН. — 75 с.
4. **Струнилин, П.** Управление надежностью энергоснабжения / П. Струнилин // Новатор. — 2005. — № 6. — С. 26—29.
5. **Крюков, И. Э.** Менеджмент инфраструктуры в системе менеджмента качества / И. Э. Крюков, А. Д. Шадрин // Стандарты и качество. — 2006. — № 3. — С. 70—73.
6. **Пасикун, В. Н.** Механизм страхования и оценка рисков опасных производственных объектов: дис. ... канд. экон. наук / Пасикун В. Н. — М., 2008. — 194 с.
7. **Рябченко, Н. Н.** Управление деятельностью государственного пожарного надзора МЧС России в области противопожарного страхования в субъекте Российской Федерации: дис. ... канд. тех. наук / Рябченко Н. Н. — СПб, 2005. — 201 с.
8. **Месарович, М.** Теория иерархических многоуровневых систем / М. Месарович, Д. Мако, И. Такаха-ра. — М.: Мир, 1973. — 332 с.
9. **Performance-Focused Maintenance for Distribution Substations: Survey Guide with KPIs Algorithms for Living Predictive Maintenance.** EPRI, Palo Alto, CA: 2006.
10. **Лейн, А. Ф.** Сравнительная оценка опасности и уровня риска для населения при авариях на химических, взрывопожароопасных и энергетических объектах: дис. ... канд. тех. наук / Лейн А. Ф. — М., 2005. — 161 с.
11. **Кузьмин, Б. И.** Методика оценки и управления техногенными рисками предприятий газового комплекса региона: дис. ... канд. экон. наук / Кузьмин Б. И. — Владимир, 2004. — 166 с.
12. **Runciman, W. G.** Towards a Theory of Social Stratification / W. G. Runciman // The Social Analysis of Class Structure / Ed. F. Parkin. — L: Tavistock Publications, 1974. — P. 55—68.
13. **Волкова, В. Н.** Основы теории систем и системного анализа / В. Н. Волкова, А. А. Денисов. — СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. — 510 с.
14. **Акимов, В. А.** О федеральной целевой программе «Снижение рисков и смягчение последствий чрез-

– в-четвертых, по результатам анализа данной модели можно выделить наиболее слабые звенья (надзорные объекты), которые и необходимо включать в план комплексных проверок, тем самым работая на упреждение возникновения чрезвычайных ситуаций.

References

1. **Maksimenko, B. P.** Politika predotvrashheniya chrezvychajnyx situacij texnogennoho xaraktera v stranax Evropejskogo Soyuza / B. P. Maksimenko, M. D. Segal', V. I. Stepanchikov // Problemy bezopasnosti i chrezvychajnyx situacij. — 2003. — Vyp. 2. — S. 150—159.
2. **Guidance on the Preparation of a Safety Report to Meet the Requirements of Council Seveso Directive 96/82/EC (Seveso II).** Report EUR 17690 EN.
3. **Bykov, A. A.** Bezopasnost' s global'noj i regional'noj toček zreniya: koncepciya e'kologicheskogo pariteta: preprint № 37 / A. A. Bykov, I. I. Kuz'min, A. N. Procenko. — M.: IBRAE' RAN. — 75 s.
4. **Strunilin, P.** Upravlenie nadezhnost'yu e'nergosnabzheniya / P. Strunilin // Novator. — 2005. — № 6. — S. 26—29.
5. **Kryukov, I. E'.** Menedzhment infrastruktury v sisteme menedzhmenta kachestva / I. E'. Kryukov, A. D. Shadrin // Standarty i kachestvo. — 2006. — № 3. — S. 70—73.
6. **Pasikun, V. N.** Mexanizm straxovaniya i ocenka riskov opasnyx proizvodstvennyx ob'ektov: dis. ... kand. e'kon. nauk / Pasikun V. N. — M., 2008. — 194 s.
7. **Ryabchenko, N. N.** Upravlenie deyatel'nost'yu gosudarstvennogo pozhnarnogo nadzora MChS Rossii v oblasti protivopozhnarnogo straxovaniya v sub'ekte Rossijskoj Federacii: dis. ... kand. tex. nauk / Ryabchenko N. N. — SPb, 2005. — 201 s.
8. **Mesarovich, M.** Teoriya ierarxicheskix mnogourovnevnyx sistem / M. Mesarovich, D. Mako, I. Takaxara. — M.: Mir, 1973. — 332 s.
9. **Performance-Focused Maintenance for Distribution Substations: Survey Guide with KPIs Algorithms for Living Predictive Maintenance.** EPRI, Palo Alto, CA: 2006.
10. **Lejn, A. F.** Sravnitel'naya ocenka opasnosti i urovnya riska dlya naseleniya pri avariayah na ximicheskix, vzryvopozharoопасnyx i e'nergeticheskix ob'ektax: dis. ... kand. tex. nauk / Lejn A. F. — M., 2005. — 161 s.
11. **Kuz'min, B. I.** Metodika ocenki i upravleniya texnogennymi riskami predpriyatij gazovogo kompleksa regiona: dis. ... kand. e'kon. nauk / Kuz'min B. I. — Vladimir, 2004. — 166 s.
12. **Runciman, W. G.** Towards a Theory of Social Stratification / W. G. Runciman // The Social Analysis of Class Structure / Ed. F. Parkin. — L: Tavistock Publications, 1974. — P. 55—68.
13. **Volkova, V. N.** Osnovy teorii sistem i sistemnogo analiza / V. N. Volkova, A. A. Denisov. — SPb.: Izd-vo SPbGTU, 1997. — 510 s.
14. **Akimov, V. A.** O federal'noj celevoj programme «Snizhenie riskov i smygchenie posledstvij chrezvy-

вычайных ситуаций природного и техногенного характера в Российской Федерации до 2005 года» / В. А. Акимов // Мир и безопасность. — 2000. — № 5. — (<http://www.secur.ru/vitjaz.htm>). — (06.07.2002).

16. **Воробьев, Ю. Л.** Основы формирования и реализации государственной политики в области снижения рисков чрезвычайных ситуаций / Ю. Л. Воробьев. — М. ФИД «Деловой экспресс», 2008. — 248 с.

chajnyx situacij prirodnogo i tehnogenno go xaraktera v Rossijskoj Federacii do 2005 goda» / V. A. Akimov // Mir i bezopasnost'. — 2000. — № 5. — (<http://www.secur.ru/vitjaz.htm>). — (06.07.2002).

15. **Vorob'ev, Yu. L.** Osnovy formirovaniya i realizacii gosudarstvennoj politiki v oblasti snizheniya riskov chrezvychajnyx situacij / Yu. L. Vorob'ev. — M. FID «Delovoj e'kspress», 2008. — 248 s.

CONCEPT STRATIFICATION REPRESENTATION AND DESCRIPTION OF URBAN INFRASTRUCTURE TO ASSESS THE LEVEL OF TECHNICAL RISK OF THE COMPOSITE INDEX

Rybin O. A.,

D. Sc. in Engineering, Prof.,
Saint-Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia,
Russia, Saint-Petersburg, e-mail: vmsmsp@mail.ru

Popov V. V.,

PhD in military Sciences, Assoc. Prof.,
Saint-Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia,
Russia, Saint-Petersburg, e-mail: vmsmsp@mail.ru

Nestruhin A. N.,

PhD student,
Saint-Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia,
Russia, Saint-Petersburg, e-mail: vmsmsp@mail.ru

Urban infrastructure are critical to the integrity and security of STI-life of society, and their physical deterioration is a serious risk factor. However, in practice, supervisors Russian Ministry of Emergency Situations methods of risk assessment and ranking of urban infrastructure in terms of the level of risk of the composite index is given, in our opinion, insufficient attention is. In this paper we propose a new approach descriptions of urban infrastructure to assess its level of fire safety on the basis of the composite index of risk.

Keywords: risk, fire safety, supervision, critical elements.

20 лет
ФГБОУ ВПО Воронежский институт
ГПС МЧС России!





ВЫСШАЯ МАТЕМАТИКА ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА

УДК 517.954

ОБОБЩЕННЫЕ РЕШЕНИЯ НАЧАЛЬНО-КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ УРАВНЕНИЯ ГИПЕРБОЛИЧЕСКОГО ТИПА НА ГЕОМЕТРИЧЕСКОМ ГРАФЕ

А. С. Волкова

Рассматриваются обобщенные решения начально-краевой задачи для гиперболического уравнения 2-го порядка на произвольном геометрическом графе. Такие решения определяются с помощью интегральных тождеств, заменяющих собой уравнения, начальные и граничные условия. При этом указываются пространства, в которых предполагается отыскание обобщенных решений, и приводятся условия однозначной разрешимости таких задач. Полученные результаты являются основополагающими при исследовании задач граничного управления колебаниями сетеподобных конструкций, состоящих из систем струн или стержней, а также при изучении метаболизма клеток.

Ключевые слова: обобщенные решения, начально-краевая задача, теорема единственности и существования.

Введение. В представленной работе изучается начально-краевая задача для уравнения 2-го порядка гиперболического типа с распределенными параметрами на геометрическом графе. Центральная идея, определившая все содержание настоящей статьи, состоит в применении используемых в [1] подходов к анализу таких задач и обобщении известных классических утверждений об однозначной разрешимости начально-краевых задач. Основная особенность исследования, привнесенная геометрической структурой графа, состоит в преодолении сложностей, естественным образом возникающих во внутренних узлах графа, где дифференциальное уравнение заменяется иными соотношениями, называемыми условиями согласования или трансмиссии [2], [3] (в [4] — условия сопряжения), а также [5, 6].

Волкова Анна Сергеевна, аспирант кафедры уравнений в частных производных и теории вероятностей, Воронежский государственный университет; Россия, г. Воронеж, тел.: 8-919-231-97-89, e-mail: volan100@mail.ru

При получении условий существования обобщенных решений начально-краевой задачи предпочтение отдается спектральному методу не только потому, что сравнительно легко преодолеваются сложности, порожденные геометрией графа. Во многом этому послужили результаты, приведенные в монографии [3], связанные прежде всего с возможностью разложения по обобщенным собственным функциям краевых задач, что предопределило применимость метода Галеркина в его классической форме при доказательстве теоремы существования обобщенных решений начально-краевой задачи — решение получается как предел галеркинских приближений. Доказательство теоремы единственности для уравнения гиперболического типа основано на априорной оценке обобщенных решений. Полученные результаты исследования являются основополагающими при анализе задач граничного управления колебаниями сетеподобных конструкций, состоящих из систем струн или стержней, а также при изучении метаболизма клеток биологических структур.

1. Основные понятия и обозначения. Здесь и ниже используются понятия и обозначения,

принятые в [2], [5] и [6]. Все рассмотрения используют произвольный связный ограниченный ориентированный граф Γ , допускающий наличие циклов.

Обозначим через V множество узлов ξ графа Γ : $\partial\Gamma$ — множество граничных, $J(\Gamma)$ — множество внутренних узлов ($V = \partial\Gamma \cup J(\Gamma)$); Γ_0 — объединение всех ребер (длина каждого ребра равна 1), не содержащих концевых точек ($\Gamma_0 = \Gamma \setminus V$); $\Gamma_T = \Gamma_0 \times (0, T)$ ($\Gamma_t = \Gamma_0 \times (0, t)$), $\partial\Gamma_T = \partial\Gamma \times (0, T)$.

Ориентацию и параметризацию ребер γ графа Γ введем следующим образом [2]. Предположим вначале, что Γ является деревом с корнем ξ_0 . Для любого узла $\xi \in V$ длина пути, соединяющего корень ξ_0 с ξ , является целым неотрицательным числом, обозначим его через $|\xi|$ и назовем порядком узла ξ ; пусть $V^{(v)} = \{\xi \in V : |\xi| = v\}$ — множество узлов порядка v . Если ребро соединяет два узла ξ' и ξ'' ($|\xi'| < |\xi''|$), то ξ' — начало, ξ'' — конец этого ребра: ребро выходит из узла ξ' и входит в узел ξ'' . Каждое ребро γ рассматривается как отрезок $[0, 1]$ и параметризуется параметром $x \in [0, 1]$, при этом $x = 0$ соответствует концу, а $x = 1$ — началу ребра, чем и определяется ориентация на γ . Пусть теперь Γ - произвольный граф, содержащий циклы. В каждом цикле фиксируется ребро и ему принадлежащий узел. Формальное разведение ребер графа по таким узлам, оставляющее граф связным, превращает его в «дерево», корень ξ_0 которого фиксируется из числа граничных узлов. Ориентация и параметризация, а также нумерация узлов и ребер полученного графа приведены выше.

Для каждого узла $\xi \in J(\Gamma)$ через $R(\xi)$ обозначим множество ребер, выходящих из ξ (ориентированных «к узлу ξ »), $r(\xi)$ — множество ребер, входящих в узел ξ (ориентированных «от узла ξ »). Сужение функции $f(x)$ ($f(x, t)$) на ребро γ будем обозначать через $f(x)_\gamma$ ($f(x, t)_\gamma$). Интеграл от функции $f(x)$ ($f(x, t)$) по области Γ (или Γ_T) понимается как сумма интегралов по всем ребрам:

$$\int_{\Gamma} f(x) dx = \sum_{\gamma} \int_{\gamma} f(x)_\gamma dx$$

или
$$\int_{\Gamma_T} f(x, t) dx dt = \sum_{\gamma} \int_{\gamma \times (0, T)} f(x, t)_\gamma dx dt ;$$

на протяжении всей работы рассматриваются измеримые функции и используется интеграл Лебега.

Введем необходимые пространства. Обозначим через $L_2(\Gamma)$ пространство функций, суммируемых с квадратом на Γ , через $W_2^1(\Gamma)$ — пространство функций из $L_2(\Gamma)$, имеющих обобщенную производную 1-го порядка также из $L_2(\Gamma)$. Аналогично вводятся пространства $L_2(\Gamma_T)$ и $W_2^1(\Gamma_T)$. Норма в пространстве $W_2^1(\Gamma)$ определяется скалярным произведением

$$(u, v)_{W_2^1(\Gamma)} \equiv \int_{\Gamma} \left(u(x, t)v(x, t) + \frac{du(x, t)}{dx} \frac{dv(x, t)}{dx} \right) dx,$$

в $W_2^1(\Gamma_T)$ — аналогичным скалярным произведением и имеет вид

$$\|u\|_{W_2^1(\Gamma_T)} \equiv \left(\int_{\Gamma_T} \left(u^2(x, t) + \left(\frac{\partial u(x, t)}{\partial t} \right)^2 + \left(\frac{\partial u(x, t)}{\partial x} \right)^2 \right) dx dt \right)^{1/2}. \quad (1)$$

Далее, через $W_2^{1,0}(\Gamma_T)$ обозначим пространство функций $u(x, t)$ из $L_2(\Gamma_T)$, имеющих обобщенную производную первого порядка по x , принадлежащую $L_2(\Gamma_T)$; норма в $W_2^{1,0}(\Gamma_T)$ определяется скалярным произведением

$$(u, v)_{W_2^{1,0}(\Gamma_T)} \equiv \int_{\Gamma_T} \left(u(x, t)v(x, t) + \frac{\partial u(x, t)}{\partial x} \frac{\partial v(x, t)}{\partial x} \right) dx dt.$$

Рассмотрим билинейную форму

$$L(u, \eta) = \int_{\Gamma} \left[a(x) \frac{du(x)}{dx} \frac{d\eta(x)}{dx} + b(x)u(x)\eta(x) \right] dx$$

при x , изменяющихся внутри каждого ребра γ графа Γ ($x \in \Gamma_0$); коэффициенты $a(x)$, $b(x)$ — фиксированные измеримые ограниченные на Γ функции, суммируемые с квадратом. Форме $L(u, \eta)$ соответствует дифференциальное выражение

$$(Lu)(x) \equiv -\frac{d}{dx} \left(a(x) \frac{du(x)}{dx} \right) + b(x)u(x),$$

если $a(x)$ имеет ограниченную обобщенную производную первого порядка, а $u(x)$ — обобщенные производные на Γ_0 до второго порядка включительно. Представление $L(u, \eta)$ формально получено однократным интегрированием по частям слагаемого $-\frac{d}{dx} \left(a(x) \frac{du(x)}{dx} \right)$ в интеграле

$$\int_{\Gamma} (Lu)(x)\eta(x) dx, \quad \eta(x) \in C_0^\infty(\Gamma_0),$$

$C_0^\infty(\Gamma_0)$ — пространство финитных бесконечно дифференцируемых на Γ_0 функций, $C_0^\infty(\Gamma_0)$ плотно в $L_2(\Gamma)$.

Сформулируем необходимые в дальнейшем утверждения, доказанные в работе [3].

Теорема 1. Если функция $u(x) \in W_2^1(\Gamma)$ такова, что для фиксированной функции $f(x) \in L_2(\Gamma)$ имеет место $L(u, \eta) - \int_\Gamma f \eta dx = 0$ при любой $\eta(x) \in C_0^\infty(\Gamma_0)$, тогда для каждого фиксированного ребра $\gamma \in \Gamma$ сужение $a(x)_\gamma \frac{du(x)_\gamma}{dx}$ непрерывно в конечных точках этого ребра.

Из теоремы следует, что в пространстве $W_2^1(\Gamma)$ есть множество Ω функции $u(x) \in C(\Gamma)$ ($C(\Gamma)$ — пространство непрерывных на Γ функций), удовлетворяющие соотношениям

$$\sum_{\gamma_j \in R(\xi)} a(1)_{\gamma_j} \frac{du(1)_{\gamma_j}}{dx} = \sum_{\gamma_j \in r(\xi)} a(0)_{\gamma_j} \frac{du(0)_{\gamma_j}}{dx} \quad (2)$$

во всех узлах $\xi \in J(\Gamma)$; замыкание в норме $W_2^1(\Gamma)$ множества функций из Ω , равных нулю во всех узлах $\xi \in \partial\Gamma$, обозначим через $W_{2,0}^1(a, \Gamma)$. Билинейной формой $L(u, \eta)$ определяются обобщенные собственные функции $\varphi_n(x)$ класса $W_2^1(\Gamma)$ как ненулевые элементы пространства $W_{2,0}^1(a, \Gamma)$, удовлетворяющие тождеству $L(u, \eta) = \lambda(u, \eta)$ при любой $\eta \in W_{2,0}^1(a, \Gamma)$ и некотором значении $\lambda = \lambda_n$ (λ_n — собственное значение).

Теорема 2. 1. Собственные значения $\{\lambda_n\}$ и собственные функции $\{\varphi_n(x)\}$, определяемые билинейной формой $L(u, \eta)$, вещественны. 2. Если коэффициент $a(x)$ в форме $L(u, \eta)$ существенно положителен на Γ , то собственные значения $\{\lambda_n\}$ за исключением конечного числа первых положительные и имеют конечную кратность. 3. Система собственных функций $\{\varphi_n(x)\}$ образует ортонормированный базис в пространствах $L_2(\Gamma)$ и $W_{2,0}^1(a, \Gamma)$ (в нормах $L_2(\Gamma)$ и $W_2^1(\Gamma)$).

Введем необходимое для анализа начально-краевой задачи подпространство пространства $W_2^1(\Gamma_T)$.

Обозначим через $\Omega_0(a, \Gamma_T)$ множество функций $u(x, t) \in W_2^1(\Gamma_T)$, чьи следы определены на каждом сечении Γ_T плоскостью $t = t_0$ ($t_0 \in [0, T]$) как элементы $L_2(\Gamma)$ и непрерывны по t в норме $L_2(\Gamma)$, при этом $u(x, t)$ равны нулю во всех узлах

$\xi \in \partial\Gamma$ и удовлетворяют аналогичным (2) соотношениям

$$\sum_{\gamma_j \in R(\xi)} a(1)_{\gamma_j} \frac{\partial u(1, t)_{\gamma_j}}{\partial x} = \sum_{\gamma_j \in r(\xi)} a(0)_{\gamma_j} \frac{\partial u(0, t)_{\gamma_j}}{\partial x} \quad (3)$$

для всех узлов $\xi \in J(\Gamma)$.

Замыкание множества $\hat{\Omega}_0(a, \Gamma_T)$ по норме (1), обозначим $W_{2,0}^1(a, \Gamma_T)$: $W_{2,0}^1(a, \Gamma_T) \subset W_2^1(\Gamma_T)$. По мере необходимости будут введены другие пространства и их подпространства с интересующими нас свойствами.

Специфика обобщенных решений, определяемых с помощью интегральных тождеств, заключается в изменении пространственной переменной x на графе Γ , что требует особого внимания в использовании соотношений (3) при интегрировании функций по частям на графе. Приведем учитывающее указанную особенность утверждение, которое будет использовано в получении априорных оценок различного типа начально-краевых задач.

Лемма 1. Пусть $u(x, t), v(x, t) \in W_{2,0}^{1,0}(a, \Gamma_T)$ (замыкание в норме $W_2^{1,0}(\Gamma_T)$ множества гладких функций, удовлетворяющих соотношениям (3) для всех узлов $\xi \in J(\Gamma)$ и для любого $t \in [0, T]$, а также равных нулю вблизи $\partial\Gamma \times [0, T]$) и выполнены следующие предположения: 1) существуют ограниченная обобщенная производная $\frac{da(x)}{dx}$, обобщенные производные $\frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial x^2}$ и $\frac{\partial^2 v(x, t)}{\partial t \partial x}$ из $L_2(\Gamma_T)$; 2) производная $\frac{\partial v(x, t)}{\partial t}$ для любого фиксированного $t \in [0, T]$ непрерывна во всех узлах $\xi \in J(\Gamma)$ и равна нулю во всех узлах $\xi \in \partial\Gamma$. Тогда справедливо равенство

$$\int_{\Gamma_T} \frac{\partial}{\partial x} \left(a(x) \frac{\partial u(x, t)}{\partial x} \right) \frac{\partial v(x, t)}{\partial t} dx dt = - \int_{\Gamma_T} a(x) \frac{\partial u(x, t)}{\partial x} \frac{\partial^2 v(x, t)}{\partial t \partial x} dx dt.$$

Доказательство. В соответствии с выбранной на графе Γ ориентацией занумеруем узлы следующим образом: $\partial\Gamma = \{\xi_0, \xi_1, \dots, \xi_p\}$, $\xi_{p+1} \in V^{(1)}$, а $\xi_j, j > p+1$, занумерованы в порядке возрастания $|\xi_j|$; $J(\Gamma) = \{\xi_{p+1}, \xi_{p+2}, \dots, \xi_m\}$. Аналогично занумеруем ребра: γ_k , $k = \overline{1, p+1}$ — граничные ребра ($\gamma_{p+1} = [\xi_0, \xi_{p+1}]$), $\gamma_k = [\xi_{k_j}, \xi_k]$, $k = \overline{p+2, m}$, $k_j < k$ — внутренние ребра.

Интегрирование по частям интеграла

$$\int_{\Gamma_T} \frac{\partial}{\partial x} \left(a(x) \frac{\partial u(x,t)}{\partial x} \right) \frac{\partial v(x,t)}{\partial t} dx dt$$

по переменной x приводит к соотношениям вида

$$\begin{aligned} & \int_{\Gamma_T} \frac{\partial}{\partial x} \left(a(x) \frac{\partial u(x,t)}{\partial x} \right) \frac{\partial v(x,t)}{\partial t} dx dt = \\ & = \int_0^T \sum_{k=1}^m a(x)_{\gamma_k} \frac{\partial u(x,t)_{\gamma_k}}{\partial x} \frac{\partial v(x,t)_{\gamma_k}}{\partial t} dt \Big|_0^1 - \\ & - \int_{\Gamma_T} a(x) \frac{\partial u(x,t)}{\partial x} \frac{\partial^2 v(x,t)}{\partial t \partial x} dx dt. \end{aligned}$$

Так как сужения функции $\frac{\partial v(x,t)}{\partial t}$ равны нулю во всех граничных узлах, то имеет место равенство:

$$\begin{aligned} & \int_0^T \sum_{k=1}^m a(x)_{\gamma_k} \frac{\partial u(x,t)_{\gamma_k}}{\partial x} \frac{\partial v(x,t)_{\gamma_k}}{\partial t} dt \Big|_0^1 = \\ & = \int_0^T \left(\sum_{k=1}^p a(1)_{\gamma_k} \frac{\partial u(1,t)_{\gamma_k}}{\partial x} \frac{\partial v(1,t)_{\gamma_k}}{\partial t} - \right. \\ & \left. - a(0)_{\gamma_{p+1}} \frac{\partial u(0,t)_{\gamma_{p+1}}}{\partial x} \frac{\partial v(0,t)_{\gamma_k}}{\partial t} \right) dt + \\ & + \int_0^T \sum_{k=p+2}^m a(x)_{\gamma_k} \frac{\partial u(x,t)_{\gamma_k}}{\partial x} \frac{\partial v(x,t)_{\gamma_k}}{\partial t} dt \Big|_0^1. \end{aligned}$$

Сумма интегралов в правой части равенства суть сумма интегралов от значений сужений слагаемых во всех внутренних узлах графа Γ , поэтому это выражение можно представить в виде суммы по всем $\xi \in J(\Gamma)$ и, учитывая непрерывность сужений функции $\frac{\partial v(x,t)}{\partial t}$ во всех внутренних узлах $\frac{\partial v(1,t)|_{\xi} = \frac{\partial v(0,t)|_{0 \in \xi}}{\partial t} = A_\xi(t)$ для любого узла $\xi \in J(\Gamma)$ и для любого $t \in [0, T]$, получить

$$\begin{aligned} & \int_0^T \sum_{k=1}^m a(x)_{\gamma_k} \frac{\partial u(x,t)_{\gamma_k}}{\partial x} \frac{\partial v(x,t)_{\gamma_k}}{\partial t} dt \Big|_0^1 = \\ & = \sum_{\xi \in J(\Gamma)_0} \int \left(\sum_{\gamma_j \in R(\xi)} a(1)_{\gamma_j} \frac{\partial u(1,t)_{\gamma_j}}{\partial x} - \right. \\ & \left. - \sum_{\gamma_j \in F(\xi)} a(0)_{\gamma_j} \frac{\partial u(0,t)_{\gamma_j}}{\partial x} \right) A_\xi(t) dt = 0; \end{aligned}$$

равенство нулю достигается в силу выполнения условий (4). Отсюда вытекает равенство нулю

интеграла $\int_0^T \sum_{k=1}^m a(x)_{\gamma_k} \frac{\partial u(x,t)_{\gamma_k}}{\partial x} \frac{\partial v(x,t)_{\gamma_k}}{\partial t} dt \Big|_0^1$, что и завершает доказательство.

2. Однозначная разрешимость начально-краевой задачи для уравнения гиперболического типа. Для уравнения

$$\frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial t^2} - \frac{\partial}{\partial x} \left(a(x) \frac{\partial u(x,t)}{\partial x} \right) + b(x)u(x,t) = f(x,t) \quad (4)$$

рассмотрим задачу нахождения решения $u(x,t)$ в области $\bar{\Gamma}_T$, удовлетворяющего соотношениям (3) во всех внутренних узлах графа Γ , начальным

$$u|_{t=0} = \varphi(x), \quad \frac{\partial u}{\partial t} \Big|_{t=0} = \psi(x), \quad x \in \Gamma \quad (5)$$

и краевому

$$u|_{\partial \Gamma} = 0, \quad 0 \leq t \leq T \quad (6)$$

условиям; здесь $\varphi(x) \in W_{2,0}^1(a, \Gamma)$, $\psi(x) \in L_2(\Gamma)$, $f(x,t) \in L_{2,1}(\Gamma_T)$ (пространство $L_{2,1}(\Gamma_T)$ состоит из всех элементов $L_1(\Gamma_T)$ с конечной нормой

$$\|f\|_{L_{2,1}(\Gamma_T)} = \int_0^T \left(\int_{\Gamma} f^2(x,t) dx \right) dt,$$

коэффициенты $a(x), b(x)$ — измеримые ограниченные функции на Γ , а именно:

$$0 < a_* \leq a(x) \leq a^*, \quad |b(x)| \leq \tilde{b}, \quad x \in \Gamma. \quad (7)$$

Определение. 1 Обобщенным решением класса $W_{2,0}^1(\Gamma_T)$ начально-краевой задачи (4)—(6) называется функция $u(x,t) \in W_{2,0}^1(a, \Gamma_T)$, равная $\varphi(x)$ при $t = 0$ и удовлетворяющая интегральному тождеству

$$\begin{aligned} & \int_{\Gamma_T} \left(- \frac{\partial u(x,t)}{\partial t} \frac{\partial \eta(x,t)}{\partial t} + \right. \\ & \left. + a(x) \frac{\partial u(x,t)}{\partial x} \frac{\partial \eta(x,t)}{\partial x} + b(x)u(x,t)\eta(x,t) \right) dx dt = \\ & = \int_{\Gamma} \psi(x)\eta(x,0) dx + \int_{\Gamma_T} f(x,t)\eta(x,t) dx dt \quad (8) \end{aligned}$$

для любых $\eta(x,t) \in \hat{W}_{2,0}^1(a, \Gamma_T)$ ($\hat{W}_{2,0}^1(a, \Gamma_T)$), состоит из элементов $W_{2,0}^1(a, \Gamma_T)$, равных нулю при $t = T$.

Лемма 2. Для решений $u \in W_{2,0}^2(a, \Gamma_T)$ (пространство функций $u(x,t)$ из $W_{2,0}^1(a, \Gamma_T)$, имеющих обобщенные производные $\frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial x^2}$, $\frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial t^2}$ из $L_2(\Gamma_T)$) задачи (4)—(6) при выполнении предположений (7) имеет место оценка

$$\begin{aligned} & \max_{\zeta \in (0,1)} \left(\int_{\Gamma} \left(u^2(x, \zeta) + \left(\frac{\partial u(x, \zeta)}{\partial \zeta} \right)^2 + \right. \right. \\ & \left. \left. + a(x) \left(\frac{\partial u(x, \zeta)}{\partial x} \right)^2 \right) dx \right)^{1/2} \leq \quad (9) \\ & \leq C_1(t) \sqrt{z(0)} + C_2(t) \|f\|_{L_{2,1}(\Gamma_t)}. \end{aligned}$$

Замечание. Для доказательства леммы 2 необходимо умножить равенство (4) на $\frac{\partial u(x, t)}{\partial t}$ и результат проинтегрировать по $x \in \Gamma$.

Теорема 3. Для любых $\varphi(x) \in W_{2,0}^1(a, \Gamma)$, $\psi(x) \in L_2(\Gamma)$ и $f(x, t) \in L_{2,1}(\Gamma_T)$ при выполнении предположений (7) начально-краевая задача (4)–(6) имеет обобщенное решение из $W_{2,0}^1(a, \Gamma_T)$.

Доказательство. Возьмем систему обобщенных собственных функций $\{\varphi_k(x)\}$ в $W_{2,0}^1(a, \Gamma)$, ортонормированную в $L_2(\Gamma)$ (утверждение 3 теоремы 2).

Приближенное решение $u^N(x, t)$ будем искать в виде $u^N(x, t) = \sum_{k=1}^N c_k^N(t) \varphi_k(x)$ из соотношений

$$\begin{aligned} & \int_{\Gamma} \left(\frac{\partial^2 u^N(x, t)}{\partial t^2} \varphi_l(x) + \right. \\ & \left. + (a(x) \frac{\partial u^N(x, t)}{\partial x} \frac{\partial \varphi_l(x)}{\partial x} + b(x) u^N(x, t) \varphi_l(x)) dx = \quad (10) \right. \\ & \left. = \int_{\Gamma} f(x, t) \varphi_l(x) dx \quad (l = \overline{1, N}), \right. \end{aligned}$$

$$c_k^N(0) = \varphi_k^N, \quad \frac{dc_k^N(t)}{dt} \Big|_{t=0} = \int_{\Gamma} \psi(x) \varphi_k(x) dx, \quad (11)$$

где φ_k^N суть коэффициенты сумм $\varphi^N(x) = \sum_{k=1}^N \varphi_k^N(x)$, аппроксимирующих при $N \rightarrow \infty$ функцию $\varphi(x)$ в норме $W_2^1(\Gamma)$. Равенства (10) являются системой линейных обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка для неизвестных $c_k^N(t)$ ($k = \overline{1, N}$), разрешенной относительно $\frac{d^2 c_k^N}{dt^2}$. Коэффициенты ее суть ограниченные функции, а правые части принадлежат $L_1(0, T)$. Система (10) однозначно разрешима при начальных данных (11), причем $\frac{d^2 c_k^N}{dt^2} \in L_1(0, T)$. Для u^N справедлива оценка (9). Действительно, умножая каждое из равенств (10) на свое $\frac{d}{dt} c_l^N(t)$ и суммируя по l от 0 до N , приходим к равенству

$$\begin{aligned} & \int_{\Gamma} \left(\frac{\partial^2 u^N(x, t)}{\partial t^2} \frac{\partial u^N(x, t)}{\partial t} + a(x) \frac{\partial u^N(x, t)}{\partial x} \frac{\partial^2 u^N(x, t)}{\partial t \partial x} + \right. \\ & \left. + b(x) u^N(x, t) \frac{\partial u^N(x, t)}{\partial t} \right) dx = \\ & = \int_{\Gamma} f(x, t) \frac{\partial u^N(x, t)}{\partial t} dx, \end{aligned}$$

из которого получено неравенство (9). Левая часть (10), учитывая первое предположение (7), оценивается снизу, правая часть — мажорируется постоянной, не зависящей от N :

$$\begin{aligned} & \int_{\Gamma} \left((u^N(x, t))^2 + \left(\frac{\partial u^N(x, t)}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial u^N(x, t)}{\partial t} \right)^2 \right) dx \leq \\ & \leq C(t) \left(\|\varphi\|_{W_{2,0}^1(\Gamma)} + \|\psi\|_{L_2(\Gamma)} + \|f\|_{L_{2,1}(\Gamma_t)} \right), \\ & \quad t \in [0, T] \end{aligned}$$

и при $t = T$

$$\|u^N\|_{W_2^1(\Gamma_T)} \leq C^*. \quad (12)$$

В силу (12) из последовательности $\{u^N\}$ можно выбрать подпоследовательность $\{u^{N_i}\}$, $i = 1, 2, \dots$, слабо сходящуюся в $W_2^1(\Gamma_T)$ и равномерно по t в норме $L_2(\Gamma)$ к некоторому элементу $u \in W_{2,0}^1(a, \Gamma_T)$. Покажем, что функция $u(x, t)$ есть обобщенное решение задачи (4)–(6). Начальное условие $u|_{t=0} = \varphi(x)$ будет выполнено в силу сходимости $u^{N_i}(x, t)$ к $u(x, t)$ в $L_2(\Gamma)$ и того, что $u^{N_i}(x, 0) \rightarrow \varphi(x)$ в $L_2(\Gamma)$. Для доказательства справедливости тождества (8) для $u(x, t)$, умножим каждое из соотношений (10) на свою функцию $g_l(t) \in W_2^1(0, T)$, $g_l(T) = 0$, полученные равенства просуммируем по всем l от 1 до N и проинтегрируем по t от 0 до T . После этого в первом члене левой части (10) проведем интегрирование по частям и приходим к тождеству

$$\begin{aligned} & \int_{\Gamma_T} \left(- \frac{\partial u^N(x, t)}{\partial t} \frac{\partial \eta^N(x, t)}{\partial t} + \right. \\ & \left. + a(x) \frac{\partial u^N(x, t)}{\partial x} \frac{\partial \eta^N(x, t)}{\partial x} + \right. \\ & \left. + b(x) u^N(x, t) \eta^N(x, t) \right) dx dt - \\ & - \int_{\Gamma} u^N(x, 0) \eta^N(x, 0) dx = \int_{\Gamma_T} f(x, t) \eta^N(x, t) dx dt, \end{aligned} \quad (13)$$

справедливому для любой функции

$$\eta^N(x, t) = \sum_{i=1}^N g_i(t) \phi_i(x).$$

Совокупность таких η^N обозначим через \mathfrak{M}_N . Перейдем в (13) к пределу по выбранной выше подпоследовательности $\{u^{N_i}(x, t)\}$ при фиксированной $\eta^N \in \mathfrak{M}_N$. Это приведет к тождеству (8) для предельной функции $u(x, t) \in W_{2,0}^1(a, \Gamma_T)$ при любой $\eta^N \in \mathfrak{M}_N$.

Так как $\bigcup_{N=1}^{\infty} \mathfrak{M}_N$ плотно в $\hat{W}_{2,0}^1(a, \Gamma_T)$, следовательно, (8) будет выполняться для при любой $\eta(x, t) \in \hat{W}_{2,0}^1(a, \Gamma_T)$, т. е. $u(x, t)$ есть обобщенное решение начально-краевой задачи (4)-(6). Для полученного решения $u(x, t)$ справедливо неравенство

$$\|u\|_{W_2^1(\Gamma_T)} \leq C(T) \times \left(\|\varphi\|_{W_{2,0}^1(\Gamma)} + \|\psi\|_{L_2(\Gamma)} + \|f\|_{L_{2,1}(\Gamma_T)} \right).$$

Покажем, что начально-краевая задача (4)–(6) не может иметь двух различных решений класса $W_{2,0}^1(a, \Gamma_T)$.

Теорема 4. *В предположениях теоремы 3 начально-краевая задача (4)–(6) имеет не более одного обобщенного решения из пространства $W_{2,0}^1(a, \Gamma_T)$.*

Доказательство. Пусть задача (4)–(6) имеет два обобщенных решения $u_1, u_2 \in W_{2,0}^1(a, \Gamma_T)$, тогда их разность $u = u_1 - u_2$ принадлежит $W_{2,0}^1(a, \Gamma_T)$ и удовлетворяет тождеству (8) с $f = \psi = 0$ и при $t = 0$ обращается в нуль. Возьмем в этом тождестве

$$\eta(x, t) = \begin{cases} 0, & \tau \leq t \leq T, \\ \int_{\tau}^t u(x, \zeta) d\zeta, & 0 \leq t \leq \tau \end{cases}$$

с произвольной фиксированной $\tau \in [0, T]$. Ясно, что $\eta(x, t) \in \hat{W}_{2,0}^1(a, \Gamma_T)$ и имеет обобщенные производные $\eta_x = u_x \in L_2(\Gamma_{\tau})$ и $\eta_x \in L_2(\Gamma_{\tau})$, кроме того, η, η_x и u являются элементами $L_2(\Gamma)$, непрерывно зависящими от $t \in [0, T]$.

Библиографический список

1. **Ладъженская, О. А.** Краевые задачи математической физики / О. А. Ладъженская. — М.: Наука, 1973. — 408 с.

Подставляя $\eta(x, t)$ в (8) ($f = \psi = 0$), получим

$$\int_{\Gamma_{\tau}} \left(\frac{\partial^2 \eta(x, t)}{\partial t^2} \frac{\partial \eta(x, t)}{\partial t} - a(x) \frac{\partial^2 \eta(x, t)}{\partial t \partial x} \frac{\partial \eta(x, t)}{\partial x} - b(x) \frac{\partial \eta(x, t)}{\partial t} \eta(x, t) \right) dx dt = 0$$

и после интегрирования первых двух слагаемых, учитывая $\eta_t(x, 0) = \eta_x(x, \tau) = u(x, 0) = 0$, а также в силу (7), получаем

$$\int_{\Gamma} \left(\left(\frac{\partial \eta(x, \tau)}{\partial t} \right)^2 + a(x) \left(\frac{\partial \eta(x, 0)}{\partial x} \right)^2 \right) dx \leq \tilde{b} \int_{\Gamma_{\tau}} \left(\left(\frac{\partial \eta(x, t)}{\partial t} \right)^2 + \eta^2(x, t) \right) dx dt. \tag{14}$$

Для почти всех $x \in \Gamma$ справедливо

$$\int_0^{\tau} \eta^2(x, t) dt = \int_0^{\tau} \left(\int_{\tau}^t u(x, \zeta) d\zeta \right)^2 dt \leq \int_0^{\tau} (\tau - t) \int_t^{\tau} u^2(x, \zeta) d\zeta dt \leq \tau^2 \int_0^{\tau} u^2(x, \zeta) d\zeta$$

и, учитывая $\frac{\partial \eta(x, \tau)}{\partial x} = u(x, \tau)$, неравенство (14)

преобразуется к виду

$$\int_{\Gamma} u^2(x, \tau) dx - \tilde{b} (1 + \tau^2) \int_{\Gamma_{\tau}} u^2(x, t) dx dt + \int_{\Gamma} a(x) \left(\frac{\partial \eta(x, 0)}{\partial x} \right)^2 dx \leq 0,$$

которое при умножении на $\exp\left(-\tilde{b} \int_0^{\tau} (1+t^2) dt\right)$ и последующего интегрирования от 0 до τ принимает вид

$$\exp\left(-\tilde{b} \int_0^{\tau} (1+t^2) dt\right) \int_{\Gamma_{\tau}} u^2(x, t) dx dt + \int_0^{\tau} \exp\left(-\tilde{b} \int_0^{\zeta} (1+t^2) dt\right) d\zeta \int_{\Gamma} a(x) \left(\frac{\partial \eta(x, 0)}{\partial x} \right)^2 dx \leq 0.$$

Отсюда следует равенство нулю на Γ_{τ} обоих слагаемых, т. е. $u^2(x, t) = 0$ и $\frac{\partial \eta(x, 0)}{\partial x} = 0$. Учитывая произвольность выбора $\tau \in [0, T]$, получаем $u(x, t) = 0$ почти всюду на Γ_T .

References

1. **Ladyzhenskaya, O. A.** Kraevye zadachi matematicheskoy fiziki / O. A. Ladyzhenskaya. — M.: Nauka, 1973. — 408 s.

2. Юрко, В. А. Введение в теорию обратных спектральных задач / В. А. Юрко. — М.: Физматлит, 2007. — 384 с.

3. Провоторов, В. В. Краевые задачи для уравнений с распределенными параметрами на графах / В. В. Провоторов, О. А. Махинова. — Воронеж : Научная книга, 2013. — 133 с.

4. Лионс, Ж.-Л. Оптимальное управление системами, описываемыми уравнениями с частными производными / Ж.-Л. Лионс. — М.: Мир, 1972. — 412 с.

5. Волкова, А. С. Фредгольмова разрешимость в классе W_2^2 задачи Дирихле для уравнения эллиптического типа на графе-звезде / А. С. Волкова // Математика и ее приложения. — 2011. — 1 (8). — С. 15—28.

6. Волкова, А. С. Задача граничного управления сложносочлененной упругой системой струн / А. С. Волкова // Системы управления и информационные технологии. — 2012. — № 4 (50). — С. 79—83.

2. Yurko, V. A. Vvedenie v teoriyu obratnykh spektral'nykh zadach / V. A. Yurko. — M.: Fizmatlit, 2007. — 384 s.

3. Provotorov, V. V. Kraevye zadachi dlya uravnenij s raspredelennymi parametrami na grafax / V. V. Provotorov, O. A. Maxinova. — Voronezh : Nauchnaya kniga, 2013. — 133 s.

4. Lions, Zh.-L. Optimal'noe upravlenie sistemami, opisyyvaemyimi uravneniyami s chastnymi proizvodnymi / Zh.-L. Lions. — M.: Mir, 1972. — 412 s.

5. Volkova, A. S. Fredgol'mova razreshimost' v klasse zadachi Dirixle dlya uravneniya e'llipticheskogo tipa na grafe-zvezd / A. S. Volkova // Matematika i ee prilozheniya. — 2011. — 1 (8). — S. 15—28.

6. Volkova, A. S. Zadacha granichnogo upravleniya slozhnosochlenennoj uprugoj sistemoy strun / A. S. Volkova // Sistemy upravleniya i informacionnye tekhnologii. — 2012. — № 4 (50). — S. 79—83.

GENERALIZED SOLUTIONS OF THE INITIAL-BOUNDARY PROBLEM FOR THE EQUATION OF HYPERBOLIC TYPE ON A GRAPH

Volkova A. S.,
PhD student,
Voronezh State University,
Russia, Voronezh, tel.: 8-919-231-97-89, e-mail: volan100@mail.ru

In this paper we consider the generalized solutions of initial-boundary value problem for hyperbolic problem second order on an arbitrary geometric graph. These solutions are defined by the integral identities, substituting the equations, initial and boundary conditions. In this case, specify the space in which it is supposed finding generalized solutions and provides conditions for the unique solvability of such problems. The obtained results are fundamental in the study of problems of boundary control of oscillations set of similar structures, consisting of systems of strings or rods, as well as in the study of the metabolism of the cells of biological structures.

Keywords. Generalized solutions, initial-boundary value problem, existence and uniqueness theorems.

**20 лет
ФГБОУ ВПО Воронежский институт
ГПС МЧС России!**





МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

УДК 519.25

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМ ОДНОВРЕМЕННЫХ УРАВНЕНИЙ В МОДЕЛЯХ ПОЖАРНОЙ СТАТИСТИКИ

А. В. Меньших, С. Н. Тростянский

Описана методика оценки коэффициентов структурной и приведённой моделей систем одновременных уравнений; приведены необходимые и достаточные условия определения типа моделей, описаны методы оценки коэффициентов моделей в зависимости от их типа. Приведен численный пример нахождения явного вида одновременных уравнений пожарной статистики.

Ключевые слова: *пожарная статистика, одновременные уравнения, структурная и приведённая модели, идентифицируемость, сверхидентифицируемость, неидентифицируемость, оценка коэффициентов, необходимое и достаточное условие.*

Введение. Большое значение для принятия управленческих решений в государственной противопожарной службе имеет анализ пожарной статистики [1, 2], который может быть использован как в интересах выявления факторов, влияющих на значения показателей пожарной статистики, так и в интересах прогноза будущих значений этих показателей. Очевидно, что показатели пожарной статистики в той или иной степени связаны между собой. Получение оценок связи этих показателей позволит повысить обоснованность принятия управленческих решений.

Меньших Анастасия Валерьевна, преп. кафедры прикладной математики и инженерной графики, Воронежский институт ГПС МЧС России; Россия, г. Воронеж, тел.: (473)2363-305, e-mail: asy90@yandex.ru

Тростянский Сергей Николаевич, д-р техн. наук, доц., проф. кафедры физики, Воронежский институт ГПС МЧС России; Россия, г. Воронеж, тел.: (473)2363-305, e-mail: trostyansky2012@yandex.ru

Пожарная статистика представляет собой совокупность временных рядов, содержащих информацию о значениях показателей за последовательные периоды времени. Разработка методов анализа временных рядов пожарной статистики осуществлялась в [3—8]. В [7], в частности, описаны результаты исследования взаимовлияния количества пожаров и количества противопожарных мероприятий на примере Воронежской области. При этом оказалось, что имеется трехлетний временной лаг влияния противопожарных мероприятий на количество пожаров и двухлетний временной лаг влияния количества пожаров на число противопожарных мероприятий. Это является свидетельством того, что для прогноза пожарной статистики следует характеризующие её показатели оценивать одновременно. Для этого могут быть использованы так называемые одновременные уравнения, где зависимые переменные одних уравнений могут выступать в качестве независимых в других [9].

В работе рассматриваются способы анализа одновременных уравнений.

1. Виды моделей в форме систем одновременных уравнений. Системы одновременных уравнений в общем виде имеют следующий вид, называемый структурной моделью:

$$\begin{cases} y_1 = a_{10} + b_{12}y_2 + \dots + b_{1n}y_n + a_{11}x_{11} + \dots + a_{1m}x_m + \varepsilon_1, \\ y_2 = a_{20} + b_{21}y_1 + \dots + b_{2n}y_n + a_{21}x_{11} + \dots + a_{2m}x_m + \varepsilon_2, \\ \dots \\ y_n = a_{n0} + b_{n1}y_1 + \dots + b_{n,n-1}y_{n-1} + a_{n1}x_{n1} + \dots + a_{nm}x_m + \varepsilon_n, \end{cases} \quad (1)$$

где y_1, y_2, \dots, y_n — эндогенные (зависимые) переменные, нахождение которых является целью моделирования; x_1, x_2, \dots, x_m — экзогенные (независимые) переменные; $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n$ — случайные остатки.

Использование традиционного метода наименьших квадратов (МНК) для оценки коэффициентов структурной модели даёт смещённые и несостоятельные оценки [9]. Поэтому модель (1) преобразуют в приведённую модель

$$\begin{cases} y_1 = \delta_{10} + \delta_{11}x_{11} + \dots + \delta_{1m}x_m + u_1, \\ y_2 = \delta_{20} + \delta_{21}x_{11} + \dots + \delta_{2m}x_m + u_2, \\ \dots \\ y_n = \delta_{n0} + \delta_{n1}x_{n1} + \dots + \delta_{nm}x_m + u_n, \end{cases} \quad (2)$$

где u_1, u_2, \dots, u_n — случайные остатки.

При рассмотрении этих моделей должна быть решена проблема идентифицируемости, позволяющая определить, каким образом соотносятся между собой коэффициенты структурной модели (1) и приведённой модели (2).

2. Условия идентифицируемости моделей.

Теоретически возможны три ситуации:

- модель является *идентифицируемой*, т. е. существует взаимно однозначное соответствие между коэффициентами структурной и приведённой моделей;

- модель является *сверхидентифицируемой*, т. е. по значениям коэффициентов приведённой модели может быть получено более одного значения коэффициентов структурной модели;

- модель является *неидентифицируемой*, т. е. по значениям коэффициентов приведённой модели не могут быть получены значения коэффициентов структурной модели.

Рассмотрим условия идентифицируемости моделей.

Существуют необходимое и достаточное условия для определения типа модели. При проверке этих условий проверяют идентифицируемость каждого уравнения структурной модели в отдельности и после этого делают вывод об идентифицируемости всей модели. Приведём описание этих условий в соответствии с [9].

Обозначим H — количество эндогенных переменных в уравнении, D — количество экзогенных переменных, содержащихся в системе, но не входящих в данное уравнение.

Тогда необходимое условие идентифицируемости уравнения имеет вид:

- если $D+1 = H$, уравнение идентифицируемо;
- $D+1 > H$, уравнение сверхидентифицируемо;

– $D+1 < H$, уравнение неидентифицируемо.

Для проверки достаточного условия идентифицируемости уравнения строится матрица U из коэффициентов, отсутствующих в уравнении переменных (как эндогенных, так и экзогенных). Уравнение идентифицируемо, если

$$\text{rank } U \geq H_{\text{сис}} - 1,$$

где $H_{\text{сис}}$ — количество эндогенных переменных во всей системе.

Система уравнений идентифицируема, если для всех уравнений выполняются необходимые и достаточные условия идентифицируемости. Система уравнений неидентифицируема, если хотя бы одно уравнение неидентифицируемо. В остальных случаях система сверхидентифицируема

3. Методы оценки коэффициентов. Если модель является идентифицируемой, для оценки коэффициентов следует использовать *косвенный МНК*, суть которого состоит в следующем:

Шаг 1. Выписывается общий вид приведённой модели и для каждого уравнения оцениваются коэффициенты δ_{ij} помощью традиционного МНК.

Шаг 2. Коэффициенты приведённой модели преобразуются в коэффициенты структурной модели (это можно сделать единственным образом в силу идентифицируемости модели).

Если модель является сверхидентифицируемой, для оценки коэффициентов следует использовать *двухшаговый МНК*, суть которого состоит в следующем:

Шаг 1. Выписывается общий вид приведённой модели и для каждого уравнения оцениваются коэффициенты δ_{ij} помощью традиционного МНК.

Шаг 2. С помощью приведённой модели находят теоретические значения эндогенных переменных, которые подставляются в правые части уравнений структурной модели вместо фактических значений этих переменных.

Шаг 3. Оцениваются коэффициенты a_{ij} и b_{ik} структурной модели с помощью традиционного МНК,

Если модель является неидентифицируемой, для оценки коэффициентов следует использовать *трёхшаговый МНК*, суть которого состоит в следующем:

Шаг 1. С помощью обобщённого МНК [9] исключается корреляция случайных остатков исходной модели.

Шаг 2. Применяется двухшаговый МНК.

4. Пример оценки коэффициентов одной из систем уравнений в пожарной статистике. В качестве примера рассмотрим систему одновременных уравнений, описывающую взаимное влияние количества пожаров E^Y и количество противопожарных мероприятий E^N . Наличие трёхлетнего временного лага влияния противопожарной пропаганды на количество пожаров и двухлетнего временного лага обратного влияния количества пожаров на противопожарные мероприятия, а также

присутствие общего временного тренда t [8] можно записать с помощью следующей системы одновременных уравнений:

$$\begin{cases} E_t^Y = a_1 + b_1 E_{t-3}^N + c_1 t + \varepsilon_1, \\ E_t^N = a_2 + b_2 E_{t-2}^Y + c_2 t + \varepsilon_1. \end{cases}$$

В этой системе две эндогенные (E_t^Y и E_t^N) и три экзогенные (E_{t-3}^N , E_{t-2}^Y , t) переменные.

Проверка необходимого условия идентифицируемости для каждого уравнения показала, что $D = H = 1$, следовательно, $D+1 > H$ и уравнение свержидентифицируемо.

Проверка достаточного условия, показала, что $\text{rank } U = 1$, т. е. $\text{rank } U \geq H_{\text{сист}} - 1$ для каждого уравнения, что не выявило неидентифицируемости системы. Поэтому система уравнений в целом является свержидентифицируемой и для оценки её

коэффициентов должен быть использован двухшаговый МНК.

С использованием статистического пакета *Excel* для данной системы осуществлена реализация двухшагового МНК для данных пожарной статистики по Воронежской области за 2000—2012 годы, которая позволила получить явный вид модели:

$$\begin{cases} E_t^Y = 3579,28 + 0,01 E_{t-3}^N - 64,52 t + \varepsilon_1, \\ E_t^N = -47545,80 + 11,49 E_{t-2}^Y + 2253,83 t + \varepsilon_1. \end{cases}$$

Заключение. Использование описанных выше методов позволяет учесть взаимосвязи между показателями пожарной статистики и тем самым значительно уточнить параметры моделей, повысить точность прогноза значений показателей, а следовательно и эффективность принятия управленческих решений.

Библиографический список

1. **Брушлинский, Н. Н.** Системный анализ деятельности Государственной противопожарной службы / Н. Н. Брушлинский. — М.: МИПБ МВД РФ; М.: Юникс, 1998. — 255 с.
2. **Акимов, В. А.** Введение в статистику экстремальных значений и ее приложения / В. А. Акимов, А. А. Быков, Е. Ю. Щетинин. — М.: ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2009. — 524 с.
3. **Белозеров, В. В.** Модель оптимизации социально-экономических потерь от пожаров / В. В. Белозеров, Е. И. Богуславский, Н. Г. Топольский // Проблемы информационной экономики. Вып. VI. Моделирование инновационных процессов и экономической динамики: сб. науч. тр. / под ред. Р. М. Нижегородова. — М.: Ленанд, 2006. — С. 226—246.
4. **Тростянский, С. Н.** Экономический подход к прогнозированию пожарных рисков на объектах различных форм собственности / С. Н. Тростянский, А. Н. Шуткин, Г. А. Бакаева // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. — 2011. — № 1 (1). — С. 27—28.
5. **Тростянский, С. Н.** Математическое моделирование вероятности возникновения пожаров на хозяйственных объектах / С. Н. Тростянский, Ю. Н. Зенин, Г. А. Бакаева // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы: сб. ст. по материалам всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, 20 сент. 2012 г.: в 2 ч. Ч. 1. — Воронеж, 2012. — С. 264—266.
6. **Богуславский, Е. И.** Прогнозирование, анализ и оценка пожарной безопасности: учеб. пособие / Е. И. Богуславский, В. В. Белозеров, Н. Е. Богуславский; под общ. ред. Е. И. Богуславского. — Ростов н/Д: РГСУ, 2004. — 126 с.
7. **Меньших, А. В.** Моделирование структуры временных рядов пожарной статистики / А. В. Меньших, С. Н. Тростянский // Вестник Воронежского института МВД России. — 2012. — № 4. — С. 97—103.
8. **Меньших, А. В.** Исследование взаимосвязи показателей пожарной статистики / А. В. Меньших, С. Н. Тростянский // Вестник Воронежского института МВД России. — 2013. — № 1. — С. 48—53.
9. **Эконометрика** / под ред. И. И. Елисевой. — М.: Проспект, 2011. — 288 с.

References

1. **Brushlinskij, N. N.** Sistemnyj analiz deyatel'nosti Gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby / N. N. Brushlinskij. — M.: MIPB MVD RF; M.: Yuniks, 1998. — 255 s.
2. **Akimov, V. A.** Vvedenie v statistiku e'kstre-mal'nyx znachenij i ee prilozheniya / V. A. Akimov, A. A. Bykov, E. Yu. Shhetinin. — M.: FGU VNII GOChS (FC), 2009. — 524 s.
3. **Belozerov, V. V.** Model' optimizacii social'no-e'konomicheskix poter' ot pozharov / V. V. Belozerov, E. I. Boguslavskij, N. G. Topol'skij // Problemy informacionnoj e'konomiki. Vyp. VI. Modelirovanie innovacionnyx processov i e'konomicheskoy dinamiki: sb. nauch. tr. / pod red. R. M. Nizhegorodova. — M.: Lenand, 2006. — S. 226—246.
4. **Trostyanskij, S. N.** E'konomicheskij podxod k prognozirovaniyu pozhar'nyx riskov na ob'ektax razlichnyx form sobstvennosti / S. N. Trostyanskij, A. N. Shutkin, G. A. Bakaeva // Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MChS Rossii. — 2011. — № 1 (1). — S. 27—28.
5. **Trostyanskij, S. N.** Matematicheskoe modelirovanie veroyatnosti vzniknoveniya pozharov na xozyajstvennyx ob'ektax / S. N. Trostyanskij, Yu. N. Zenin, G. A. Bakaeva // Pozharnaya bezopasnost': problemy i perspektivy: sb. st. po materialam vseros. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiem, 20 sent. 2012 g.: v 2 ch. Ch. 1. — Voronezh, 2012. — S. 264—266.
6. **Boguslavskij, E. I.** Prognozirovanie, analiz i ocenka pozharnoj bezopasnosti: ucheb. posobie / E. I. Boguslavskij, V. V. Belozerov, N. E. Boguslavskij; pod obshh. red. E. I. Boguslavskogo. — Rostov n/D: RGSU, 2004. — 126 s.
7. **Men'shix, A. V.** Modelirovanie struktury vremennyx ryadov pozharnoj statistiki / A. V. Men'shix, S. N. Trostyanskij // Vestnik Voronezhskogo instituta MVD Rossii. — 2012. — № 4. — S. 97—103.
8. **Men'shix, A. V.** Issledovanie vzaimosvyazi pokazatelej pozharnoj statistiki / A. V. Men'shix, S. N. Trostyanskij // Vestnik Voronezhskogo instituta MVD Rossii. — 2013. — № 1. — S. 48-53.
9. **E'konometrika** / pod red. I. I. Eliseevoj. — M.: Prospekt, 2011. — 288 s.

ESTIMATION OF PARAMETERS OF SYSTEMS OF SIMULTANEOUS EQUATIONS MODELS OF FIRE STATISTICS

Men'shix A. V.,

Lecturer,

Voronezh Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia;

Russia, Voronezh, tel.: (473)2363-305, e-mail: asy90@yandex.ru

Trostyanskij S. N.,

D. Sc. in Engineering, Assoc. Prof.,

Voronezh Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia;

Russia, Voronezh, tel.: (473)2363-305, e-mail: trostyansky2012@yandex.ru

A technique for estimating the coefficients of the structural model and the present system of simultaneous equations, are a necessary and sufficient condition for determining the types of models, the methods of estimating the coefficients of models depending on their type. A numerical example of finding the explicit form of simultaneous equations fire statistics.

Keywords: fire statistics, simultaneous equations, structural and reduced model, identifiability, reidentifiability, unidentifiable, estimation of coefficients, a necessary and sufficient condition.

**20 лет
ФГБОУ ВПО Воронежский институт
ГПС МЧС России!**



АЛГОРИТМЫ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ С ЭКОНОМИЧЕСКИМ ПОДХОДОМ К ВЕРОЯТНОСТИ ПОЖАРОВ НА ХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ (НА ПРИМЕРЕ ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ)

Ю. Н. Зенин, С. Н. Тростянский, Г. А. Бакаева

Используется математическая модель, описывающая вероятность возникновения пожаров на хозяйственных объектах в зависимости от экономических и административно-правовых факторов, определяющих долю нарушителей требований пожарной безопасности среди собственников объектов. Модель создана на базе гипотезы рационального правонарушителя. Представлены алгоритмы, позволяющие оценить долю нарушителей требований пожарной безопасности среди собственников хозяйственных объектов на определенной территории в определенный временной период, которым выгодно экономить на нарушениях требований пожарной безопасности при действующих экономических условиях, а также алгоритм оценки средней величины такой экономии. Показано применение алгоритма для определения указанных параметров на примере статистических данных, полученных в Воронежской области.

Ключевые слова: математическое моделирование, пожарная безопасность, вероятность возникновения пожаров, алгоритм оценки параметров модели, модель рационального правонарушителя.

Введение. Математическая модель, описывающая вероятность возникновения пожаров на хозяйственных объектах в зависимости от экономических и административно-правовых факторов, определяющих долю нарушителей требований пожарной безопасности среди собственников объектов, рассматривалась в работе [1]. В основу модели положена гипотеза рационального правонарушителя, предполагающая, что нарушение собственниками хозяйственных объектов требований пожарной безопасности происходит только в том случае, если ожидаемая прибыль, т. е. экономия на расходах по обеспечению требований пожарной безопасности объектов, превышает возможные в случае пожара и (или) штрафа убытки. В предложенной модели учитываются возможные потери собственников от пожаров на объектах и штрафных санкций, а также их возможные незаконные прибыли от экономии на несоблюдении этих требований.

Зенин Юрий Николаевич, начальник Воронежского института ГПС МЧС России; Россия, г. Воронеж, e-mail: vigps@mail.ru
Тростянский Сергей Николаевич, д-р техн. наук, доц., проф. кафедры физики, Воронежский институт ГПС МЧС России; Россия, г. Воронеж, тел.: (473)2363-305; e-mail: trostyansky2012@yandex.ru
Бакаева Галина Александровна, канд. техн. наук, доц. кафедры пожарной безопасности технологических процессов Воронежский институт ГПС МЧС России; Россия, г. Воронеж, e-mail: vigps@mail.ru

С началом действия Федерального закона «О внесении изменений в Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях по вопросам пожарной безопасности» от 03.06.2011 № 120-ФЗ существенно увеличились размеры административных штрафов, накладываемых на граждан, должностных лиц и юридических лиц за нарушение требований пожарной безопасности. Представляется интересным с использованием математической модели с экономическим подходом [1] и статистических данных по пожарам определить влияние исполнения этого Федерального закона на долю собственников хозяйственных объектов, нарушающих требования пожарной безопасности, а также провести оценки величин средней прибыли от экономии собственниками объектов на выполнении требований пожарной безопасности за различные годы. Расчеты указанных параметров рассмотрим на основе соответствующих разработанных алгоритмов с использованием статистических данных Государственной противопожарной службы по Воронежской области за период 2000—2012 гг.

Теоретические расчеты и результаты. Количество пожаров K , возникающих на хозяйственных объектах за единицу времени на определенной территории, представим в виде суммы количества K_p пожаров, возникающих по причинам нарушений требований пожарной безопасности, т. е. обусловленных профилактируемыми Государственной противопожарной службой (ГПС) факторами, и количества пожаров K_n , происходящих по причинам, связанным с факторами, не профилактируемыми ГПС, т. е.

$$K = K_n + K_p. \quad (1)$$

Причины пожаров, которые связаны с человеческим фактором и относятся к профилируемым ГПС, составляют, как показано в [2], более 70 % от общего количества пожаров, поэтому, предполагая линейную зависимость количества таких пожаров от общего количества хозяйственных объектов с нарушениями требований пожарной безопасности, выражение для вероятности возникновения пожаров на хозяйственных объектах в определенный интервал времени с учетом статистического определения частоты пожаров можно записать как

$$p = \frac{K}{N} = \frac{(K_n + K_p)}{N} = \frac{(K_n + k \cdot C \cdot N)}{N} = p_n + p_p = p_n + kC, \quad (2)$$

где k — региональный коэффициент пропорциональности между вероятностью пожаров, обусловленных профилируемыми факторами, и долей C среди хозяйственных объектов, собственники которых нарушают требования пожарной безопасности; N — общее количество хозяйственных объектов на данной территории; p_n, p_p — вероятности возникновения пожаров за счет соответственно не профилируемых и профилируемых ГПС факторов.

Расчет экономического множителя C , отражающего экономическое представление хозяйствующих субъектов о целесообразности нарушения требований пожарной безопасности и определяющего долю собственников объектов, которым выгодно экономить средства за счет несоблюдения названных требований, проведен на основе экономической модели рационального правонарушителя [1]. Рациональный правонарушитель в качестве ожидаемой прибыли b может рассматривать экономию на расходах по обеспечению пожарной безопасности объектов, а в качестве наказания может нести убытки u при возникновении пожаров с вероятностью p на объектах и убытки H от штрафных санкций за нарушения требований пожарной безопасности с ожидаемой их вероятностью таких санкций за единицу времени f . При этом считается, что потенциальный правонарушитель на основе своего либо чужого опыта может оценивать вероятности p и f .

Таким образом, рациональный правонарушитель пойдет на нарушение требований пожарной безопасности на объекте своей собственности лишь при условии

$$(1 - p)(b - fH) > pu. \quad (3)$$

Экономический множитель C определяется формулой [1]

$$C = \int_{fH}^{\infty} \int_0^{\frac{(1-p)(b-fH)}{p}} \rho_{\mu, \sigma_u}(u) \rho_{\eta, \sigma_b}(b) du db, \quad (4)$$

$$\rho_{\mu, \sigma_u}(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_u}u} \exp\left\{-\frac{[\ln(u) - \ln(\mu)]^2}{2\sigma_u^2}\right\},$$

$$\rho_{\eta, \sigma_b}(b) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_b}b} \exp\left\{-\frac{[\ln(b) - \ln(\eta)]^2}{2\sigma_b^2}\right\},$$

где $\rho_{\mu, \sigma_u}(u)$ — плотность логнормально распределенной случайной величины u потерь собственников объектов от одного пожара; μ — среднее значение для соответствующего распределения величины потерь от одного пожара; σ_u — дисперсия распределения величины потерь от пожаров; $\rho_{\eta, \sigma_b}(b)$ — плотность логнормально распределенной случайной величины b прибыли собственников объектов за год от экономии на несоблюдении требований пожарной безопасности, со средним значением η для соответствующего распределения и дисперсией σ_b .

На основе предложенной модели с экономическим подходом и статистических данных, регистрируемых ГПС МЧС России, представим алгоритмы расчета доли собственников C , нарушающих требования пожарной безопасности и расчета среднего выигрыша B собственников от экономии на несоблюдении требований пожарной безопасности. Расчет будем проводить на примере статистических данных ГПС МЧС по Воронежской области. В частности, найдем значения C и B по Воронежской области в 2010 и 2012 годах, то есть до и после введения в действие Федерального закона «О внесении изменений в Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях по вопросам пожарной безопасности» от 03.06.2011 г. № 120-ФЗ.

При изменении экономических и административно-правовых факторов и соответствующего этому изменению экономического множителя C на величину ΔC , согласно модели [1], динамика вероятности возникновения пожаров $p(t)$ на хозяйственных объектах определяется формулой

$$p(t) = p_n + p_p(t_0) \exp\left[-g \frac{\Delta C}{C}(t - t_0)\right], \quad (5)$$

где g — вероятность выполнения требований пожарной безопасности за единицу времени собственниками объектов, для которых выполнение требований пожарной безопасности при изменении экономического множителя C становится выгодным (если $C_0 > C_1$). При $\Delta C > 0$ эта формула аналогична формуле

$$p(t) = p_n + p_p(t_0) \exp[-\lambda(t - t_0)], \quad (6)$$

приведенной в [2], на основании обработки статистических данных по динамике количества пожаров на определенных территориях за различные промежутки времени.

Тогда параметры $p_n(t_0)$, $p_p(t_0)$ и λ для этого временного ряда находятся с применением статистического пакета SPSS как параметры нелинейной регрессии. В частности, на основе данных ГПС по Воронежской области за 2006—2012 гг. найдены следующие значения параметров временного ряда (6):

$$p_n(t_0) = 0,005; p_p(t_0) = 0,013; \lambda = 0,119.$$

Тогда динамика вероятности возникновения пожаров $p(t)$ на хозяйственных объектах Воронежской области в период 2006—2012 гг. описывается формулой

$$p(t) = p_n + p_p(t_0) \exp[-\lambda(t-t_0)] = 0,005 + 0,013 \exp[-0,119(t-t_0)], \quad (7)$$

где t измеряется в годах; $p_p(t_0)$ — вероятность возникновения пожаров за счет профилируемых ГПС факторов на хозяйственных объектах Воронежской области в 2006 г. При сравнении расчетных данных по формуле (7) с данными статистики ГПС по Воронежской области показатель квадрата корреляции $R^2 = 0,899$, что свидетельствует о корректности применения данной модели для прогнозных расчетов динамики вероятности возникновения пожаров на хозяйственных объектах.

Используем статистические данные, в соответствии с которыми вероятности возникновения пожаров на хозяйственных объектах Воронежской области в 2010 и 2012 годах составляют соответственно $p_{2010} = 0,014025$, $p_{2012} = 0,010236$. Из (7) следует, что $p_n = p_{n2010} = p_{n2012} = 0,005$. Полагая неизменными величины региональных коэффициентов пропорциональности k_{2010} и k_{2012} для периода времени с 2010 по 2012 гг., отношение вероятностей возникновения пожаров на хозяйственных объектах за счет профилируемых ГПС факторов с учетом (2) будет составлять

$$\frac{p_{2010} - p_n}{p_{2012} - p_n} = \frac{k_{2010} C_{2010}}{k_{2012} C_{2012}} = \frac{C_{2010}}{C_{2012}}. \quad (8)$$

Левая часть равенства (8) представляет экспериментальное значение, определяемое из статистических данных вероятности возникновения пожаров на хозяйственных объектах Воронежской области, и составляет 1,724.

Представим правую часть равенства (8) с учетом формулы (4), описывающей экономический множитель, тогда выражение (8) примет вид

$$\left(\int_{fH_{2010}}^{\infty} \left(0,5 + 0,5 \operatorname{erf} \left\{ \frac{1}{\sqrt{2}\sigma_{u2010}} \times \ln \left[\frac{(1-p_{2010})(b-fH_{2010})}{P_{2010}u_{2010}} \right] \right\} \right) \times \right. \quad (9)$$

$$\left. \times \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{b2010}b} \cdot \exp \left(- \left[\frac{\ln b - \ln B}{\sqrt{2}\sigma_{b2010}} \right]^2 \right) db \right) \times$$

$$\times \left(\int_{fH_{2012}}^{\infty} \left(0,5 + 0,5 \operatorname{erf} \left\{ \frac{1}{\sqrt{2}\sigma_{u2012}} \times \ln \left[\frac{(1-p_{2012})(b-fH_{2012})}{P_{2012}u_{2012}} \right] \right\} \right) \times \right. \quad (9)$$

$$\left. \times \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{b2012}b} \cdot \exp \left(- \left[\frac{\ln b - \ln B}{\sqrt{2}\sigma_{b2012}} \right]^2 \right) db \right)^{-1} =$$

$$= \frac{P_{2010} - p_n}{P_{2012} - p_n}.$$

В выражении (9) индекс «2010» относится к данным за 2010 год, а индекс «2012» — к данным за 2012 год. Полагаем, что при проверке инспектируемого объекта с нарушениями требований пожарной безопасности неизбежны штрафные санкции, тогда f — вероятность штрафных санкций для правонарушителей — определяется вероятностью инспекторской проверки объекта за год. На основании статистических данных с 2006 по 2012 год по Воронежской области средняя вероятность проверок плановых и внеплановых на объектах за год составляла: $f = 0,4770$. Тогда, значения $fH_{2010} = 0,792 \cdot 10^3$ руб. и $fH_{2012} = 3,787 \cdot 10^3$ руб., средние значения убытков от пожаров $u_{2010} = 114,69 \cdot 10^3$ руб., $u_{2012} = 237,3147 \cdot 10^3$ руб.

Дисперсия логнормального распределения величин убытков от пожаров, возникающих на хозяйственных объектах, вычислена методом квантиль-диаграмм [3]. Для оценки дисперсии использованы статистические данные по убыткам от пожаров на хозяйственных объектах в г. Воронеже за период 2007—2011 гг. Полученная оценка для значения дисперсии составляла $\sigma_u = 1,749$. Полагая, что дисперсия распределения величин убытков от пожаров в период с 2007 по 2012 гг. постоянно и равна дисперсии логнормального распределения величин прибыли от экономии на несоблюдении требований пожарной безопасности, т. е. $\sigma_{u2010} = \sigma_{u2012} = \sigma_u$, $\sigma_{b2010} = \sigma_{b2012} = \sigma_b$, причем $\sigma_u = \sigma_b = \sigma = 1,749$, а также, считая, что среднее значение B величины прибыли от экономии на несоблюдении требований пожарной безопасности собственниками объектов за указанные периоды неизменно, выражение (9) принимает вид

$$\left(\int_{fH_{2010}}^{\infty} \left(0,5 + 0,5 \operatorname{erf} \left\{ \frac{1}{\sqrt{2}\sigma} \times \ln \left[\frac{(1-p_{2010})(b-fH_{2010})}{P_{2010}u_{2010}} \right] \right\} \right) \times \right. \quad (10)$$

$$\left. \times \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma b} \cdot \exp \left(- \left[\frac{\ln b - \ln B}{\sqrt{2}\sigma} \right]^2 \right) db \right) \times$$

$$\times \left(\int_{fH_{2012}}^{\infty} \left(0,5 + 0,5 \operatorname{erf} \left\{ \frac{1}{\sqrt{2}\sigma} \times \right. \right. \right)$$

$$\begin{aligned} & \times \ln \left[\frac{(1-p_{2012})(b-fH_{2012})}{P_{2012}u_{2012}} \right] \Bigg\} \Bigg) \times \\ & \times \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma b}} \cdot \exp \left(- \left[\frac{\ln b - \ln B}{\sqrt{2}\sigma} \right]^2 \right) db = (10) \\ & = \frac{P_{2010} - P_n}{P_{2012} - P_n}. \end{aligned}$$

Из уравнения (10) определено значение величины средней прибыли от экономии на невыполнении требований пожарной безопасности собственниками объектов в Воронежской области в 2010 и 2012 гг., которая составляет $B = 2533$ рубля.

Тогда из выражения (4) для доли нарушителей требований пожарной безопасности среди собственников хозяйственных объектов на территории Воронежской области в 2010 и 2012 годах получены соответственно значения: $C_{2010} = 0,466$ и $C_{2012} = 0,271$.

Из формулы (2) определим значение регионального коэффициента пропорциональности k между вероятностью пожаров, обусловленных профилируемыми факторами и экономическим множителем C :

$$k = \frac{P_{2010} - P_n}{C_{2010}}. \quad (11)$$

Подставляя в формулу (11) соответствующие значения вероятностей и экономического множителя для Воронежской области в 2010 году, получим

$$k = \frac{P_{2010} - P_n}{C_{2010}} = \frac{0,014025 - 0,005}{0,466} \approx 0,019. \quad (12)$$

Определим величину средней прибыли от экономии на невыполнении требований пожарной безопасности собственниками объектов в Воронежской области за несколько лет до выхода Федерального закона «О внесении изменений в Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях по вопросам пожарной безопасности» от 03.06.2011 № 120-ФЗ, например в 2008 году.

Значение доли собственников хозяйственных объектов C_{2008} , сэкономивших на невыполнении требований пожарной безопасности в Воронежской области в 2008 году, можно определить из соотношения

$$C_{2008} = \frac{P_{2008} - P_n}{k}. \quad (13)$$

Учитывая, что вероятность возникновения пожаров на хозяйственных объектах Воронежской области в 2008 году составляет $p_{2008} = 0,016094$, и подставляя значения p_n и k получаем, что $C_{2008} = 0,584$. Из статистических данных значение $fH_{2008} = 0,818 \cdot 10^3$ руб., $u_{2008} = 87,783 \cdot 10^3$ руб. Тогда из уравнения

$$\begin{aligned} & \int_{fH_{2008}}^{\infty} \left(0,5 + 0,5 \operatorname{erf} \left\{ \frac{1}{\sqrt{2}\sigma} \times \right. \right. \\ & \times \ln \left[\frac{(1-p_{2008})(b-fH_{2008})}{P_{2008}u_{2008}} \right] \Bigg\} \Bigg) \times \\ & \times \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma b}} \cdot \exp \left(- \left[\frac{\ln b - \ln B}{\sqrt{2}\sigma} \right]^2 \right) db = C_{2008} \end{aligned} \quad (14)$$

получаем, что значение величины средней прибыли от экономии на невыполнении требований пожарной безопасности собственниками объектов в 2008 году составляет $B = 4388$ руб.

Выводы. Таким образом, на основании математической модели рационального правонарушителя требований пожарной безопасности разработаны алгоритмы нахождения величины C доли хозяйственных объектов с нарушениями требований пожарной безопасности и средней величины прибыли B от экономии на невыполнении требований пожарной безопасности.

С применением статистики пожаров, убытков и штрафов на хозяйственных объектах Воронежской области в период 2006—2012 гг. получены расчетные значения C и B в 2008, 2010 и 2012 годах.

Библиографический список

1. Оценка вероятности возникновения пожаров на основе математической модели, учитывающей факторы, определяющие долю нарушителей требований пожарной безопасности среди собственников объектов / С. Н. Тростянский [и др.] // Пожарная безопасность. — 2013. — № 2. — С. 86—91.
2. Белозеров, В. В. Модель оптимизации социально-экономических потерь от пожаров / В. В. Белозеров, Е. И. Богуславский, Н. Г. Топольский // Проблемы информационной экономики. Вып. VI. Моделирование инновационных процессов и экономической динамики: сб. науч. тр. / под ред. Р. М. Нижегородцева. — М.: ЛЕНАНД, 2006. — С. 226—247.

References

1. Ocenka veroyatnosti vozniknoveniya pozharov na osnove matematicheskoy modeli, uchityvayushhej faktory, opredelyayushhie dolyu narushitelej trebovanij požarnoj bezopasnosti sredi sobstvennikov ob'ektov / S. N. Trostyanskiy [i dr.] // Pozharnaya bezopasnost'. — 2013. — № 2. — S. 86—91.
2. Belozerov, V. V. Model' optimizacii social'no-e'konomicheskix poter' ot pozharov / V. V. Belozerov, E. I. Boguslavskij, N. G. Topol'skij // Problemy informacionnoj e'konomiki. Vyp. VI. Modelirovanie innovacionnyx processov i e'konomicheskoy dinamiki: sb. nauch. tr. / pod red. R. M. Nizhegorodceva. — M.: LENAND, 2006. — S. 226—247.

3. **Акимов, В. А.** Введение в статистику экстремальных значений и ее приложения / В. А. Акимов, А. А. Быков, Е. Ю. Щетинин. — М.: ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2009. — 524 с.

3. **Akimov, V. A.** Vvedenie v statistiku e'kstre-mal'nyx znachenij i ee prilozheniya / V. A. Akimov, A. A. Bykov, E. Yu. Shhetinin. — M.: FGU VNII GOChS (FC), 2009. — 524 s.

ESTIMATION ALGORITHMS OF MODEL PARAMETERS WITH ECONOMIC APPROACH TO THE PROBABILITY OF FIRES ON ECONOMIC FACILITIES USING VORONEZH REGION BY AN EXAMPLE

Zenin Yu. N.,

Voronezh Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia;
Russia, Voronezh, e-mail: vigps@mail.ru

Trostyanskij S. N.,

D. Sc. in Engineering, Assoc. Prof.,
Voronezh Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia;
Russia, Voronezh, tel.: (473)2363-305, e-mail: trostyansky2012@yandex.ru

Bakaeva G. A.,

PhD in Engineering, Assoc. Prof.,
Voronezh Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia;
Russia, Voronezh, e-mail: vigps@mail.ru

A mathematical model is used, describing the probability of fires on economic facilities, depending on economic and administrative factors that determine the share of fire safety requirements violators among the objects owners, created on the basis of the hypothesis of a rational offender. Algorithms are presented to estimate the share of fire safety requirements violators among the owners of economic objects at a particular place and time period who consider it profitable to violate fire safety requirements under the existing economic conditions, as well as the algorithm of an average amount of such savings. The algorithm application for the mentioned parameters definition is illustrated with the use of Voronezh region statistics of fires.

Keywords: mathematical modeling, fire safety, probability of fires, algorithm for model parameters estimation, rational offender model.





ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

УДК 614.8.084

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ В ПЕРИОД ПРОВЕДЕНИЯ XXVII ВСЕМИРНОЙ ЛЕТНЕЙ УНИВЕРСИАДЫ В Г. КАЗАНИ

С. В. Сергеев

Рассматриваются различные вопросы обеспечения комплексной безопасности во время проведения крупных международных мероприятий. Подробно описана работа по обеспечению безопасности во время подготовки и проведения летней универсиады в г. Казани, в том числе работа сотрудников МЧС, опыт межведомственного взаимодействия и привлечения к работе волонтеров.

Ключевые слова: МЧС России, межведомственное взаимодействие, предотвращение чрезвычайных ситуаций, помощь, универсиада, туристы, волонтеры, учения.

Введение. В прошедшей 6—17 июля 2013 года Всемирной летней универсиаде приняли участие более 10 000 спортсменов из 162 стран мира, более 4 000 представителей стран-участниц, 1 500 представителей средств массовой информации, 30 000 волонтеров и около 300 000 туристов и болельщиков. Мероприятия универсиады посетили более 1 млн человек. Для проведения универсиады было задействовано 50 спортивных сооружений, в том числе стадион «Казань-Арена» — место проведения церемоний открытия и закрытия — и жилой комплекс «Студенческая деревня» на 13 500 мест.

Ответственность за безопасность гостей и участников универсиады было возложена в том числе и на сотрудников МЧС России.

1. Регламентирующие документы. В основу выполнения задачи по обеспечению безопасности в период подготовки и проведения универсиады был заложен «План мероприятий МЧС России по обеспечению пожарной безопасности, вопросам

гражданской обороны и защиты населения от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера», а также разработанный на его основе план мероприятий Главного управления МЧС России по Республике Татарстан и МЧС Республики Татарстан. Для реализации планов между федеральными органами исполнительной власти Татарстана было заключено восьмистороннее соглашение о взаимодействии по обеспечению безопасности и создано 15 рабочих групп по направлениям деятельности. В четыре из них вошли представители ГУ МЧС России по Республике Татарстан:

- 1) рабочая группа по подготовке Деревни универсиады;
- 2) по подготовке системы управления спортивной программой;
- 3) по обеспечению размещения клиентских групп;
- 4) по обеспечению комплексной безопасности в период проведения универсиады.

Территориальным органом МЧС России было инициировано принятие Кабинетом Министров Республики Татарстан постановления № 361 от 14.05.2010 «Об обеспечении безопасности объектов XXVII Всемирной летней универсиады в период их строительства, реконструкции и эксплуатации», которое позволило в полной мере осуществить функции по надзору за соблюдением требований пожарной безопасности, не отступая от действующего за-

Сергеев Сергей Валентинович,
зам. начальника, Главное управление МЧС России
по Республике Татарстан, полковник внутренней службы,
Республика Татарстан, г. Казань,
e-mail: gu-rt@prvc.mchs.ru

© Сергеев С. В., 2013

конодательства. Так, в рамках реализации этого постановления к началу проведения универсиады собственниками объектов были разработаны и представлены на утверждение паспорта безопасности на 52 объекта универсиады, отдельным разделом в паспорте включена информация о соответствии объектов требованиям пожарной безопасности.

В целом наиболее значимые аспекты обеспечения безопасности универсиады были отражены в «Комплексном плане по обеспечению безопасности», утвержденном распоряжением Правительства РФ № 469 от 16.04.2012 г. (рис. 1—2).



Рис. 1. Регламентирующие документы федерального уровня

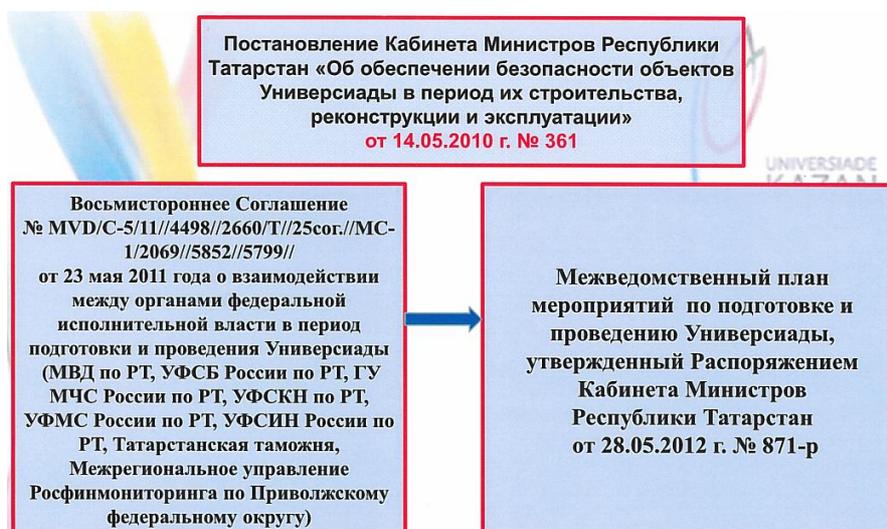


Рис. 2. Регламентирующие документы республиканского уровня

2. Материально-техническое обеспечение. Особое внимание в процессе подготовки уделялось разработке и реализации плана материально-технического обеспечения сил, задействованных в обеспечении безопасности в период универсиады.

Так, было построено пожарное депо в г. Казани в районе Деревни универсиады на 4 выезда, введено в эксплуатацию здание ФКУ «ЦУКС ГУ МЧС России по Республике Татарстан» (рис. 3—4).



Рис. 3. Центр управления в кризисных ситуациях Главного управления МЧС России по Республике Татарстан



Рис. 4. Пожарная часть № 10

На сумму более 614 млн рублей из федерального бюджета приобретены:

- 27 пожарных автоцистерн нового поколения с улучшенными тактико-техническими характеристиками,
- 3 автолестницы,
- 1 штабной автомобиль,
- 1 автомобиль газодымозащитной службы,
- 1 автомобиль дымоудаления,
- 3 мобильных комплекса радиационно-химического мониторинга окружающей среды,
- 13 служебных легковых автомобилей,
- 137 дыхательных аппаратов,
- 3 компрессора высокого давления,
- пожарный катер КС-110,
- многофункциональный пожарно-спасательный катер «Лидер»,
- 2 мотолодки.
- 12 комплектов гидравлического инструмента и др. (рис. 5).



АЦ – 1,5 ISUZU.



**АЦ-3,2-4 (КамАЗ 43253)
«Розенбауэр»**



Рис. 5. Образцы современной пожарной техники, поступившей на вооружение Казанского гарнизона пожарной охраны



АЦ-5,5 (Урал 5557)



Пожарный катер КС-110-39



**Многоцелевой
пожарно-спасательный
катер «Лидер-12 ПМ»**



**Мотолодка
КС-701**

Рис. 5 (окончание). Образцы современной пожарной техники, поступившей на вооружение Казанского гарнизона пожарной охраны

Также для укрепления материально-технической базы Деревни универсиады были закуплены и переданы в добровольную пожарную команду Деревни пожарно-спасательный автомобиль быстрого реагирования и мотовездеход «Полярис», укомплектованный мобильными средствами пожаротушения (рис. 6).



Рис. 6. Техника добровольной пожарной команды «Деревня универсиады»

3. Подготовка к проведению универсиады.

Общую координацию работы по реализации плана мероприятий осуществлял штаб Главного управления, на заседаниях которого, помимо вопросов планомерной подготовки, решались проблемы налаживания взаимодействия МЧС с министерствами и ведомствами республики, вопросы разработки принципиальной схемы организации управления и связи МЧС и др. (рис. 7).



Рис. 7. Заседание штаба Главного управления

Начиная с 2011 года планами профессиональной подготовки было предусмотрено изучение оперативно-тактических характеристик объектов универсиады в системе служебной подготовки. Были организованы занятия по тактике тушения пожаров и проведению аварийно-спасательных работ на спортивных объектах, объектах проживания и транспортной инфраструктуры, пожарно-строевой подготовке и т.д. Также в рамках подготовки личного состава было проведено 12 тренировочных, 2 показательных пожарно-тактических учения и 82 пожарно-тактических занятия (рис. 8—9).



Рис. 8. Дополнительные занятия с личным составом



Рис. 9. Пожарно-тактические учения

Главным мероприятием по подготовке стало межведомственное комплексное учение с органами управления территориальной подсистемы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций Республики Татарстан на стадионе «Казань-Арена». В ходе учения отработаны действия при

обрушении кровли западной трибуны футбольного стадиона с последующим возгоранием кабелей в кабельном тоннеле, а также кромки поликарбонатной конструкции покрытия стадиона, вследствие чего большое количество людей погибли или получили травмы (рис. 10).



Рис. 10. Учения

Был отработан целый комплекс практических задач:

- проверка применения систем автоматической противопожарной защиты стадиона;
- оцепление места ЧС;
- тушение пожара;
- использование при эвакуации людей установок для искусственного создания избыточного давления воздуха на путях эвакуации, в том числе использование дымососов;
- поиск пострадавших с использованием кинологовических расчетов;
- обеспечение беспрепятственного передвижения техники по территории объекта;
- создание сортировочных пунктов для отправки пострадавших;
- оказание пострадавшим психолого-психиатрической помощи;
- организация работы группы дознания;
- организация питания участников ликвидации ЧС;
- обеспечение транспортировки тел погибших в судебно-экспертные учреждения города;
- осуществление радиационной, химической и биологической разведки при вводной и воз-

можном поражении личного состава вследствие применения боевых отравляющих веществ;

- применение вертолета для тушения условного пожара с использованием водосливного устройства;
- экстренная доставка пострадавших в лечебные учреждения, в том числе с использованием вертолета авиационно-спасательного центра МЧС России.

В последующем эти навыки были применены в дни универсиады, когда сотрудникам МЧС пришлось проводить операцию по доставке двух пострадавших в ДТП граждан Китая с помощью вертолета МИ-8 МЧС России из больницы г. Маматдыш в Республиканскую клиническую больницу.

Завершающим этапом учения стала тренировка по отработке действий при эвакуации зрителей. Проведенная работа позволила убедиться в эффективности принятых инженерно-технических решений на стадии разработки специальных технических условий и дальнейшего проектирования в части правильного выбора распределения людских потоков, протяженности путей эвакуации и необходимого количества эвакуационных выходов, а также собственно конструктивного исполнения выходов.

Так, по требованию FISU (фр. Fédération Internationale du Sport Universitaire) — Международной федерации студенческого спорта — максимальное время эвакуации из сооружений подобного типа не должно превышать восьми минут, в нашем случае время эвакуации составило 6 минут 15 секунд, что позволяет сделать вывод о том, что расчетная величина индивидуального пожарного риска оправдана и соответствует требованиям «Технического регламента о требованиях пожарной безопасности».

В целях координации деятельности всех сил МЧС и организации взаимодействия с другими ведомствами были назначены ответственные должностные лица из числа руководителей управлений и отделов Главного управления и подразделений Казанского гарнизона. Каждый ответственный вел контрольно-наблюдательное дело на закрепленный объект, содержащее пожарно-техническую характеристику объекта, паспорт безопасности, планы расстановки сил и средств, схему организации радиосвязи на объекте, прогноз возможных рисков и алгоритмы действий при них, контактную информацию о дежурных в коммунальных службах, обслуживающих объект, и т.д.

В рамках исполнения комплексного плана подготовки к универсиаде были определены 10 приоритетных направлений деятельности:

- 1) организация и осуществление государственного пожарного надзора на объектах универсиады, а также объектах инфраструктуры;
- 2) организация управления и взаимодействия органов управления территориальной подсистемы РСЧС Республики Татарстан, организация связи;
- 3) управление силами и средствами с расстановкой по объектам с учетом календаря соревнований;

- 4) обеспечение безопасности на воде;
- 5) организация питания и проживания привлекаемых сил;
- 6) транспортное обеспечение привлекаемых сил;
- 7) подготовка и проведение тестовых соревнований;
- 8) информирование населения о соблюдении мер безопасности через общероссийскую комплексную систему информирования и оповещения населения (ОКСИОН);
- 9) оповещение населения о возникновении ЧС в Республике Татарстан, развитие системы «Глонасс+112», подготовка диспетчерской службы для работы в центре обеспечения вызовов «112»;
- 10) медицинское обеспечение сотрудников МЧС.

В ходе работы по обеспечению безопасности в период проведения универсиады приходилось решать и незапланированные задачи. Например, 20 декабря 2012 года председателем оргкомитета по подготовке к универсиаде И.И. Шуваловым было принято решение о переносе чаши огня универсиады с территории, прилегающей к футбольному стадиону, непосредственно на стадион «Казань-Арена». В связи с этим возникла проблема изменения проектного решения. Ввиду отсутствия норм и требований пожарной безопасности к подобным сооружениям президент Республики Татарстан обратился с просьбой подключить специалистов ВНИИПО МЧС России к разработке специальных технических условий установки и размещения чаши. Сотрудники ВНИИПО успешно справились с этой задачей; в последующем разработанные требования пошли установленную законодательством процедуру согласования и были направлены проектной и подрядной организациям для работы при проектировании и строительстве (рис. 11—12).

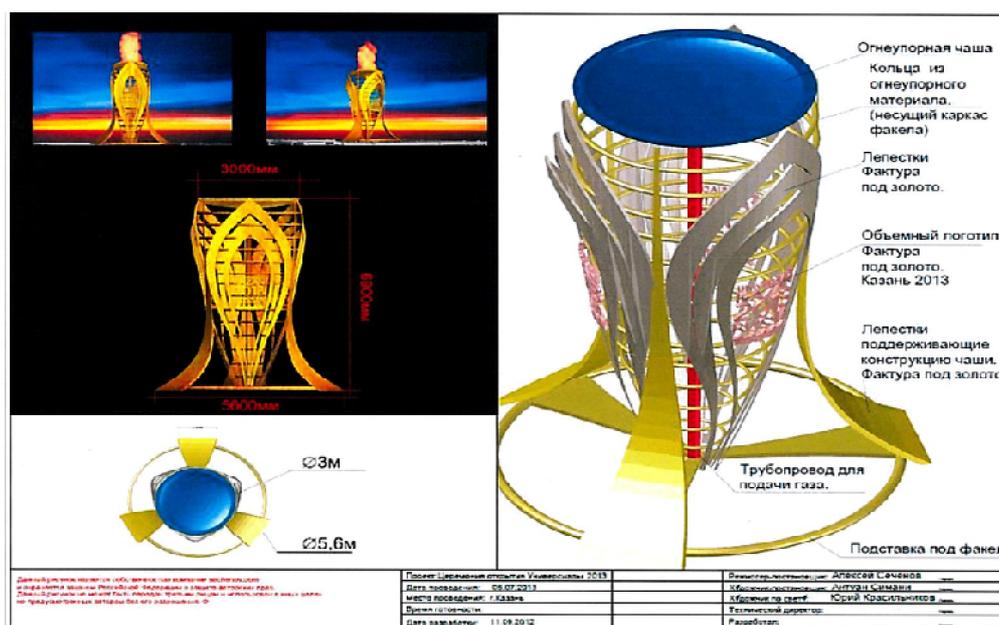


Рис. 11. Проект конструкции чаши огня универсиады

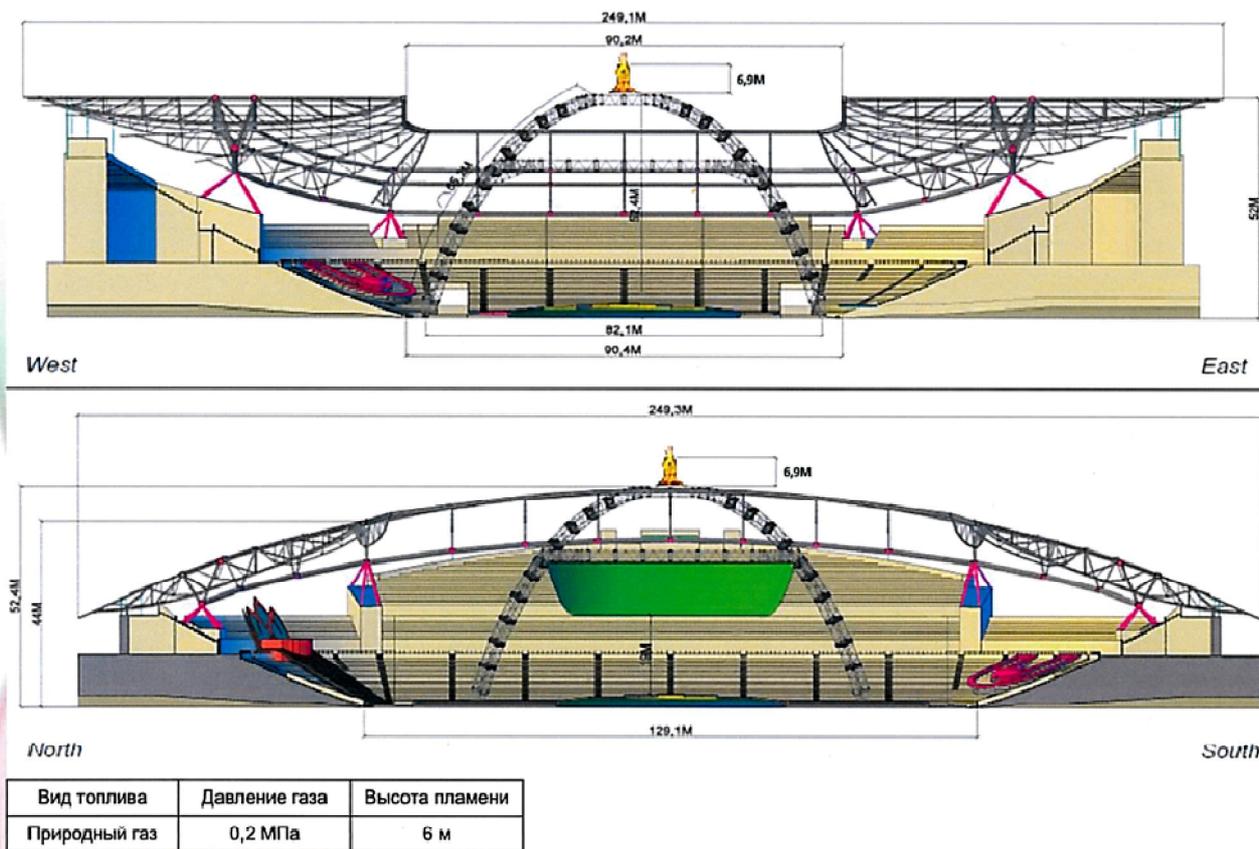


Рис. 12. Проект стадиона «Казань-Арена» с чашей огня

В целом же в ходе организации и проведения надзорных мероприятий был проведен огромный комплекс мероприятий. В работе универсиады было задействовано 52 спортивных объекта (из них 36 объектов нового строительства), 116 объектов проживания и размещения клиентских групп универсиады, 18 объектов транспортной инфраструктуры, 194 объекта питания, 19 объектов жизнедеятельности. В связи с тем, что ряд объектов являются уникальными, для них отсутствовали нормативные требования пожарной безопасности, поэтому для 6 объектов универсиады были разработаны специальные технические условия.

Для всех объектов спланированы и проведены надзорные мероприятия; так, в рамках Федерального закона № 294-ФЗ от 26.12.2008 осуществлено 253 мероприятия, в ходе работы Антитеррористической комиссии — 45 обследований, работы Межведомственной рабочей группы — 101. В результате сотрудниками Государственного пожарного надзора было предложено к исполнению 4709 противопожарных мероприятий. Информация о выявленных нарушениях направлялась в Кабинет Министров и прокуратуру республики, на основании этого вынесено 31 предупреждение, возбуждено 18 административных дел, также к административной ответственности привлечено 44 юридических и 350 должностных лиц, по решению суда приостановлена деятельность трех спортивных

объектов. В целом проведенная работа позволила добиться стопроцентного выполнения требований пожарной безопасности.

На всех спортивных объектах смонтирован программно-аппаратный комплекс «Стрелец-Мониторинг», позволяющий передавать сигнал от системы автоматической противопожарной службы о пожаре или неисправности в ближайшее подразделение пожарной охраны по выделенному радиоканалу без участия персонала объекта.

В процессе подготовки к универсиаде Главным управлением была развернута кампания по обучению пожарно-техническому минимуму руководителей объектов, проведению инструктажей с обслуживающим персоналом объектов, представителей дирекции универсиады, сотрудников частных охранных организаций и обучение мерам пожарной безопасности волонтеров. Всего с 2011 года было проведено более 3 000 инструктажей с охватом более 40 000 человек (рис. 13).

Большой объем работ проведен и по аккредитации личного состава и автотранспорта. В течение трех месяцев анкетные данные каждого сотрудника вручную вводились в специальную автоматизированную информационную систему, разработанную специалистами ФСБ России. В результате собраны сведения на 2859 сотрудников МЧС России, аккредитовано 433 транспортных средства (рис. 14).



Рис. 13. Подготовка волонтеров и сотрудников объектов универсиады

Для этих целей было предусмотрено круглосуточное дежурство в акватории речного порта боевого расчета на пожарном корабле «Вьюн-8». Учитывая тот факт, что основные объекты универсиады располагаются на набережной реки Казанка и озер Нижний, Средний и Верхний Кабан, было инициировано принятие постановления Кабинета Министров Республики Татарстан об ограничении движения маломерных судов на период универсиады (рис. 15—17).



Рис. 15



Рис. 14. Внешний вид аккредитационного бейджа



Рис. 16

Ввиду того, что соревнования проводились в летний период, не менее актуальным являлся вопрос обеспечения безопасности на воде. Помимо дежурства на озере Кабан, где проходили соревнования по гребным видам спорта, сотрудниками Государственной инспекции по маломерным судам исходя из расположения мест массового пребывания людей на воде осуществлялось патрулирование по 9 маршрутам, для чего были сформированы сводные группы в составе 1 государственного инспектора, 1 сотрудника МВД и 1 спасателя сводного отряда МЧС России.

В процессе подготовки к универсиаде дополнительно возник вопрос об обеспечении безопасности «плавучих гостиниц», в качестве которых использовались 9 туристических теплоходов, на которых проживало около 2 000 сотрудников МВД, судей и гостей универсиады.

Еще одним серьезным вопросом стала организация транспортного обеспечения личного состава. Была проделана кропотливая работа, которая позволила органично вписать план транспортного обеспечения Главного управления в принципиальную схему транспортной логистики города, строившуюся на основе внедренной в городе автоматизированной системы управления дорожным движением. Планом предусматривалось 14 маршрутов доставки личного состава и 7 маршрутов доставки продуктов питания, разработанных с учетом размещения личного состава на девяти рассредоточенных по городу объектах вблизи спортивных сооружений универсиады.

Не оставлен без внимания и вопрос информирования и оповещения населения: в период подготовки к универсиаде было построено

28 объектов ОКСИОН, это региональный информационный центр, 8 терминальных комплексов пунктов уличного информирования и оповещения населения на основе светодиодного экрана (ПУОН)

и 19 терминальных комплексов пунктов информирования и оповещения населения в зданиях с массовым пребыванием людей (ПИОН).



Рис. 17

Для взаимодействия с гостями и участниками универсиады из зарубежных стран был разработан краткий русско-английский и англо-русский словарь-разговорник специальной лексики. Кроме того, 317 сотрудников, непосредственно дежуривших на объектах проведения соревнований, прошли обучение английскому языку по интенсивной программе. Обучение проводили волонтеры из числа преподавателей английского языка учебных заведений республики. Также в соответствии с требованиями FISU силами дежурно-диспетчерской службы «112» был организован прием вызовов иностранных граждан на английском, немецком и испанском языках. Дополнительно в состав службы «112» были включены 13 волонтеров-переводчиков, владеющих в совокупности пятью иностранными языками. При необходимости диспетчер имел техническую возможность организовать аудиоконференцию с привлечением переводчика.

Вообще необходимо отдельно отметить огромную помощь волонтеров, сопровождавших

иностранцев участников универсиады на всех этапах их пребывания в городе.

Например, только за медицинской помощью обратилось 1837 граждан, и благодаря действиям волонтеров был преодолен языковой барьер между гостями универсиады и медицинским персоналом. Также волонтеры (более 400 человек) были привлечены к дежурству на всех спортивных объектах, в их обязанности входил осмотр помещений, выявление нарушений пожарной безопасности, а в случае возникновения ЧС, в том числе пожаров, оказание содействия по эвакуации людей.

Эффективность работы волонтеров была доказана еще в ходе комплексного межведомственного учения, когда волонтеры успешно справились с задачей распределения и направления людских потоков на территории стадиона «Казань-Арена» с целью минимизации помех для вводимой в случае чрезвычайной ситуации группировки сил и средств (рис. 18).



Рис. 18. Распределение и направление людских потоков волонтерами при эвакуации

Большая работа была проведена в части мониторинга и прогнозирования ЧС на объектах универсиады. Так, были созданы трехмерные модели более чем 1 200 зданий на территории Казани (в том числе 50 спортивных сооружений и 2 объектов особого статуса).

На созданной комплексной трехмерной модели г. Казани (рис. 19) отработаны типовые сценарии ЧС на социально значимых, потенциально опасных объектах и объектах транспортной инфраструктуры. Таким образом было выявлено распределение наиболее опасных и вероятных рисков для каждого объекта по разным показателям. Результатом этой работы стали мероприятия по усилению и техническому дооснащению служб объектов, а также переработка планирующей и распорядительной документации.

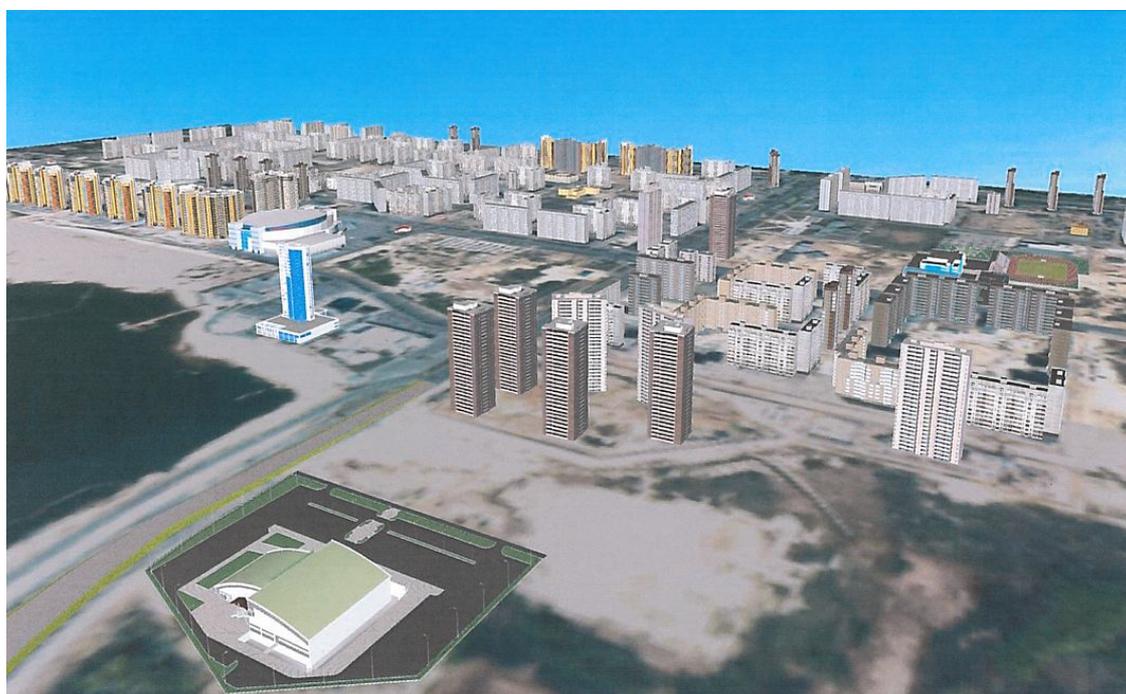


Рис. 19. Трехмерные модели зданий г. Казани

На рис. 20—21 представлены фрагменты 3D-модели развития ЧС при выборе аварийно-химически опасных веществ в случае аварии на предприятии «Казаньоргсинтез», расположенном в непосредственной близости (500 метров) от спортивного объекта «Форвард», а также ЧС на стадионе «Мирас», связанной с обрушением навеса из поликарбоната вследствие увеличения ветровой нагрузки.

В результате анализа риска ЧС на объектах универсиады наиболее вероятными и опасными для большинства объектов признаны риски возникновения пожара и теракта. Поэтому проводились расчеты по определению последствий этих рисков, что позволило подтвердить необходимость создания временных постов на объектах и определить необходимое количество сил

и средств для дежурства. Рассчитанная численность сил и средств МЧС составила 2 245 человек и 285 единиц техники. Группировка, в свою очередь, была распределена на 2 эшелона и резерв. Силами 1-го эшелона являлись личный состав и техника, обеспечивающие безопасность непосредственно на объектах, реагирование сил 2-го эшелона в случае ЧС предполагалось из мест постоянной дислокации.

В течение 2012—2013 года на объектах универсиады было проведено 37 тестовых соревнований по 15 видам спорта, в ходе которых отработывался механизм применения сил и средств Главного управления и МЧС Республики Татарстан. Опыт проведения тестовых соревнований помог выявить ряд проблем, которые были учтены в дальнейшей работе.

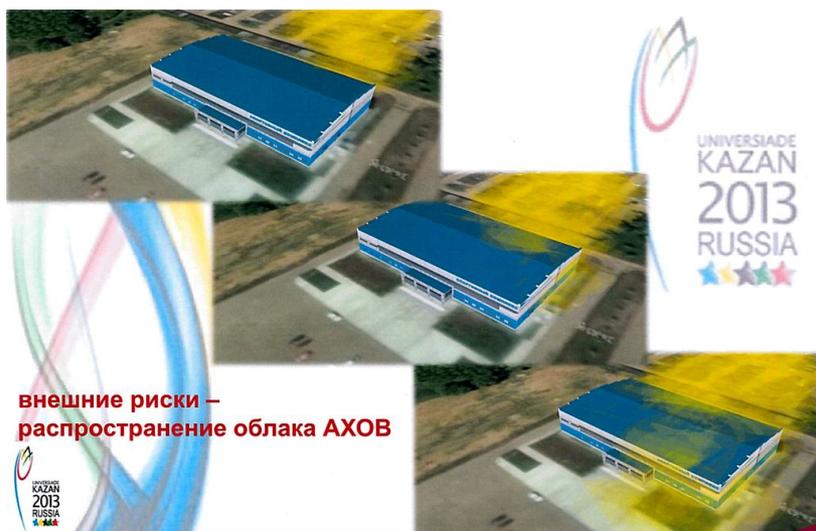


Рис. 20. Трехмерная модель спортивного комплекса «Форвард»

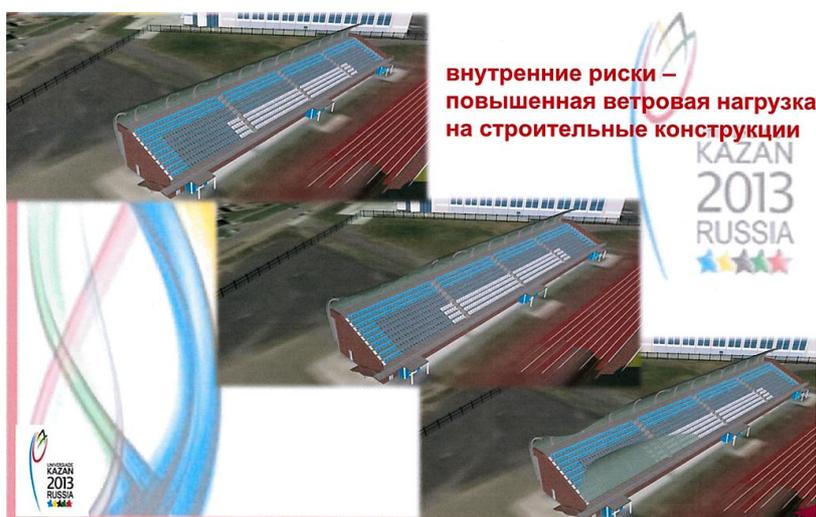


Рис. 21. Трехмерная модель стадиона «Мирас»

Оперативный штаб МЧС (рис. 22—23) осуществлял свою деятельность в общей системе управления летней универсиадой в соответствии с утвержденной концепцией системы безопасности. Общее руководство играми осуществлял Генеральный штаб управления играми, структура которого показана на рис. 24. Для обеспечения

безопасности непосредственно на местах проведения спортивных мероприятий были созданы объединенные пункты безопасности в составе представителей различных министерств и ведомств (ФСБ, МВД, МЧС, ФСКН, Минздрав, функциональные менеджеры).



Рис. 22. Оперативный штаб ГУ МЧС России по Республике Татарстан



Рис. 23. Оперативно-дежурная смена ЦУКС ГУ МЧС России по Республике Татарстан

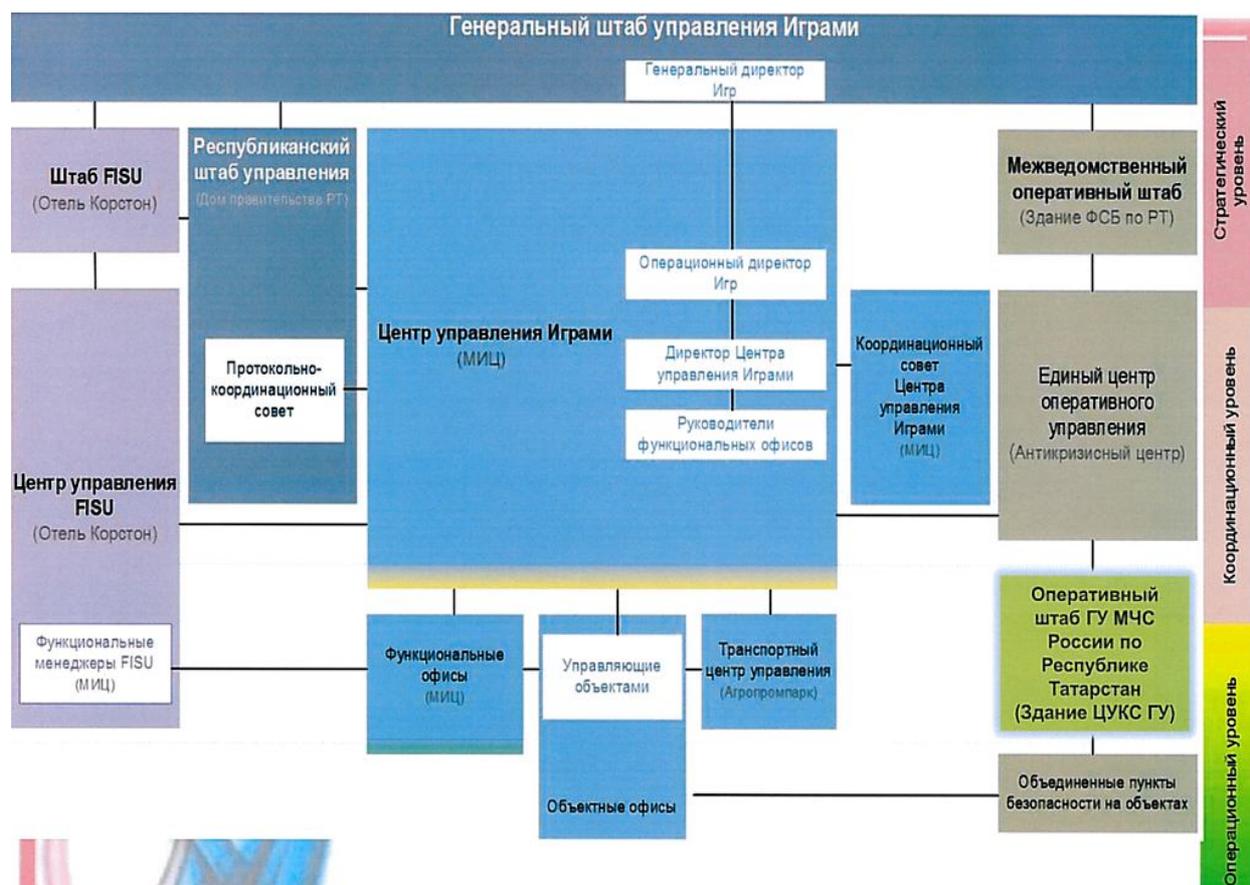


Рис. 23. Структура Генерального штаба универсиады

Основу системы связи и управления силами и средствами МЧС России во время универсиады составила сеть цифровой транкинговой радиосвязи стандарта «Тетра». Для работы в сетях «Тетра» были разработаны позывные и радиоданные, сформированы справочники ведомственной связи по сети «Тетра» и межведомственного взаимодействия. Это позволило обеспечить устойчивое и непрерывное управление силами и средствами МЧС. Также для организации межведомственного взаимодействия на базе ЦУКС был развернут стационарный узел закрытого канала

связи, работу которого обеспечивал Центр специальной связи и информации ФСО России в Республике Татарстан.

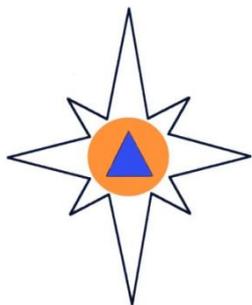
Заключение. Проведенный комплекс мероприятий и выработанная структура и модель оперативного управления позволили успешно выполнить задачу по обеспечению безопасности гостей и участников универсиады. Полученный опыт будет использован при подготовке и проведении Олимпиады в г. Сочи в 2014 году.

ENSURING SAFETY IN THE PERIOD OF THE XXVII WORLD SUMMER UNIVERSIADE IN KAZAN

Sergeev S. V.,
Deputy head,
Main Department of EMERCOM of Russia on Republic Tatarstan,
The Republic of Tatarstan, Kazan,
e-mail: gu-rt@prvc.mchs.ru

Addresses various aspects of the complex security during major international events. Detail the work to ensure safety during preparation and holding summer Universiade in Kazan, including the work of the staff of the Ministry, the experience of interdepartmental interaction and engagement of volunteers.

Keywords: EMERCOM of Russia, interagency cooperation, prevention of emergency situations, assistance, Universiade, tourists, volunteers, teaching



УДК 378.1

ПРАВОВЫЕ И ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОЛИСУБЪЕКТНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОДГОТОВКОЙ СПЕЦИАЛИСТОВ В ВУЗАХ МЧС РОССИИ

И. С. Панферкина

Определены правовые и педагогические аспекты управления подготовкой специалистов в ведомственных вузах и возможности повышения его эффективности посредством перехода к полисубъектному управлению.

Ключевые слова: ведомственный вуз, полисубъектное управление, подготовка специалистов, повышение эффективности.

Введение. Анализ социальных процессов, происходящих в нашей стране, и их научное осмысление, отражения этих процессов в современных научных исследованиях красноречиво свидетельствуют о том, что в настоящее время на первый план выдвигаются проблемы субъектного становления и развития человека в единстве с проблемами межсубъектного взаимодействия и организации совместной деятельности людей в самых разных сферах. Одной из таких сфер является ведомственное образование.

Обобщение научных исследований в области управления современными образовательными системами позволяет с уверенностью утверждать, что для подготовки специалистов силовых ведомств, в том числе и МЧС России, которые способны к эффективному исполнению своих профессиональных обязанностей в условиях демократизации общественных отношений, характерных для современного этапа общественного развития в нашей стране, необходимо изменить характер отношений между

субъектами образовательного процесса в ведомственном вузе посредством демократизации прежде всего внутривузовского управления.

Полисубъектное управление образовательным процессом в вузе приобретает в последние годы все больше сторонников. Мы разделяем позицию исследователя управления развитием образовательной системы вуза МВД России В. И. Коваленко, который утверждает, что полисубъектное управление «представляет собой процесс полилогического взаимодействия индивидуальных и групповых субъектов управления, направленный на совместную разработку и реализацию стратегической программы ее развития... на основе мобилизации творческого потенциала педагогического коллектива и гармонизации индивидуальных, групповых и общеузовских целей и интересов» [1, с. 8]. Такое управление, по нашему мнению, в вузе МЧС наиболее полно соответствует закономерностям развития современных систем управления педагогическими системами.

1. Система нормативного регулирования управлением ведомственными вузами. Переход от доминирующего в настоящее время моносубъектного к перспективному полисубъектному управлению требует внесения определенных изменений в систему нормативного регулирования управления ведомственными вузами. Заметим, что на законодательном уровне в последние годы наблюдается

Панферкина Ирина Сергеевна, канд. пед. наук, ст. науч. сотрудник организационно-научного и редакционно-издательского отдела, Воронежский институт ГПС МЧС России; Россия, г. Воронеж, e-mail: formaneforma@yandex.ru

нормативное оформление такого перехода. Напомним, что ст. 35 Закона Российской Федерации «Об образовании» от 10 июля 1992 г. № 3266-1 [2] был закреплен принцип единоначалия и самоуправления, а п. 2 ст. 26 действующего в настоящее время Федерального закона «Об образовании в Российской Федерации» от 29.12.2012 г. № 273-ФЗ вместо него устанавливается принцип единоначалия и коллегиальности в управлении [3]. Действительно, именно коллегиальность, т. е. форма принятия решений, при которой учитывается коллективное мнение и при этом каждый из участников обсуждения и принятия управленческого решения несет персональную ответственность за результаты его реализации, в сочетании с единоначалием позволяет использовать в ведомственном вузе преимущества полисубъектного управления.

Кроме того, введенным в действие с 01.09.2013 г. Федеральным законом «Об образовании в Российской Федерации» (ст. 81) предусмотрены и «особенности реализации профессиональных образовательных программ и деятельности образовательных организаций федеральных государственных органов, осуществляющих подготовку кадров в интересах обороны и безопасности государства, обеспечения законности и правопорядка». Изучая п. 5 ст. 81 указанного Федерального закона, находим следующее: «Управление федеральной государственной образовательной организацией, находящейся в ведении федеральных государственных органов, ... осуществляется в соответствии с федеральными законами, общевоинскими уставами Вооруженных Сил Российской Федерации и нормативными правовыми актами федерального государственного органа, в ведении которого находится соответствующая образовательная организация» [3]. Этой нормой, закрепленной в законе, ведомствам представляется возможность разработки нормативных актов, которыми регламентируется организация эффективного управления вузами МЧС России с учетом специфики подготовки специалистов для ведомства и особенностей осуществления образовательной деятельности в вузе. Однако такие нормативные документы должны разрабатываться с учетом системного единства и взаимодействия централизованного регулирования (надзора) со стороны министерств (образования, МЧС России) и децентрализованного управления, которое на принципах полисубъектности разрабатывается и осуществляется конкретным вузом МЧС России.

Практическая реализация этого утверждения должна найти продолжение в разработке типового положения об организации управления вузом МЧС России, в котором необходимо закрепить организационную структуру управления вузом, коллегиальные органы управления из числа предлагаемых в п. 4 ст. 26 Федерального закона «Об образовании в Российской Федерации», а также обозначить права

вуза в создании «других органов, предусмотренных уставом образовательной организации». В типовом положении могут найти отражение и правовые основы самоуправления в вузе МЧС России, ведь получившие широкое распространение и доказавшие свою эффективность в гражданских вузах органы студенческого самоуправления не действуют в ведомственных.

Мы считаем, что разработка типового положения об организации управления вузом МЧС России, на базе которого каждый вуз будет разрабатывать в соответствии с уставом структуру управления, положения об органах коллегиального управления образовательным процессом и органах самоуправления курсантов (слушателей), позволит обеспечить:

1) расширение автономии вузов МЧС России при одновременном повышении ответственности их руководителей за результаты образовательной деятельности;

2) повышение роли коллегиальных органов управления и органов самоуправления в обеспечении эффективного управления подготовкой специалистов для МЧС России;

3) привлечение к управлению вузами МЧС России практических работников ведомства и усиление практико-ориентированного характера обучения, воспитания, личностного развития будущих специалистов;

4) обеспечение открытости в управлении вузом МЧС России в тех пределах, в которых это не противоречит особенностям организации ведомственного образования, а также повышение роли родителей в результативности учебной и познавательной деятельности курсантов и их воспитании.

2. Организационно-педагогические принципы подготовки. Применительно к управлению в вузах МЧС России и с учетом особенностей профессиональной подготовки будущих специалистов для силового ведомства мы считаем необходимым опору на определенные организационно-педагогические принципы, которые вытекают из закономерностей управления и находят отражение в современных исследованиях (И. Ф. Исаева, В. И. Коваленко, В. А. Слостенина, П. И. Третьякова, Т. И. Шамовой, Е. Н. Шиянова и др.).

В качестве первого мы определяем *принцип обеспечения системности и целостности в управлении вузом МЧС России*. Безусловно, подготовка специалистов для силовых ведомств — это сложная и многопрофильная деятельность, в которой в зависимости от установленных критериев можно выделить различные направления. Система управления в вузе МЧС России — это сложное системное образование, многоуровневая и многокомпонентная система взаимодействующих и взаимосвязанных элементов. В вузе МЧС России в качестве направлений подготовки специалистов важно рассматривать не только общие (обучение, воспитание, лич-

ностное развитие курсантов), но и специфические направления, которые определяются спецификой подготовки и предстоящей профессиональной деятельности (служебная подготовка, морально-психологическая подготовка, физическая подготовка, подготовка к деятельности в экстремальных ситуациях и др.).

Каждый из элементов системы управления в вузе МЧС России характеризуется свойствами, отличающими его от других элементов. В то же время все элементы системы управления взаимодействуют, и в этом взаимодействии формируется новое свойство системы, которое является интегративным и отличается от свойств отдельных ее элементов. Устойчивость этого сформированного интегративного свойства системы управления вузом МЧС России в конечном итоге определяется целостностью системы, которая во многом обеспечивается рациональностью управленческой деятельности субъектов;

Вторым становится *принцип единства единоначалия и коллегиальности в управлении*. Общеизвестно, что в основу организации и управления исполнением должностных обязанностей сотрудниками силовых ведомств, в том числе и вузов, осуществляющих подготовку специалистов для них, в силу объективных причин должен быть положен принцип единоначалия. Однако обеспечить эффективность управления профессиональной подготовкой специалистов в вузе МЧС России в условиях современной демократизации общественной жизни, частью которой является и образование, только посредством единоначалия невозможно. Его необходимо рационально дополнить коллегиальностью в управлении.

Реализация принципа единства единоначалия и коллегиальности в управлении позволяет преодолеть субъективность и авторитаризм в управлении целостным педагогическим процессом в вузе МЧС России. Единоначалие в такой ситуации способно обеспечить дисциплину и порядок, четкое разграничение и соблюдение полномочий всеми субъектами управленческой деятельности, а также оперативность принятия и исполнения управленческих решений. Коллегиальность позволяет вырабатывать и принимать управленческие решения с опорой на опыт и знания сотрудников вуза МЧС России и привлекаемых к обсуждению практических работников ведомства, организовывать обсуждение решений посредством сопоставления различные точек зрения и поиска оптимальных вариантов принятия управленческих решений.

На практике принцип единства единоначалия и коллегиальности в управлении вузом МЧС России реализуется посредством организации деятельности различного рода советов и комиссий. Это могут быть ученый совет вуза, советы факультетов, учебно-методический совет, совет по НИР и др. Они действуют на общественных началах и форми-

руются либо посредством проведения выборов, либо посредством включения в их состав руководителей, преподавателей, командиров в соответствии с занимаемыми ими должностями. При этом стратегические для вуза МЧС России управленческие решения могут приниматься коллегиально по результатам работы конференций, семинаров, круглых столов, в работе которых принимают участие не только сотрудники вуза, но и специалисты-практики. В ходе таких мероприятий осуществляется коллективный поиск оптимальных вариантов принятия управленческих решений. Одновременно особенно важно предусмотреть персональную ответственность за принятые решения.

В качестве третьего мы рассматриваем *принцип полисубъектной направленности управления и творческой самореализации субъектов в процессе принятия управленческих решений*. В содержании этого принципа находят отражение и развитие оба выше представленные принципа. Действительно, реализация этого принципа требует обеспечения системности и целостности в управлении практико-ориентированной подготовкой специалистов для МЧС России, единства единоначалия и коллегиальности в управлении ведомственным вузом.

Полисубъектная направленность управления образуется тремя составляющими: во-первых, это умение руководителя видеть в каждом подчиненном личность со свойственными ей потребностями и интересами, которые необходимо уважать и содействовать их развитию; во-вторых, это способность руководителя рационально делегировать свои полномочия подчиненным, привлекая их к принятию и реализации управленческих решений по осуществлению подготовки специалистов для МЧС России; в-третьих, это готовность руководителя к принятию компромиссных управленческих решений, которые основываются на проявлении подчиненными инициативы и самостоятельности, на нетрадиционных подходах, вариативности взглядов, мнений, точек зрения. Важно, чтобы такие решения способствовали достижению целей эффективного управления.

Выводы. Являясь организационно-педагогическим принципом организации эффективного управления в вузе МЧС России, полисубъектная направленность управления способствует и одновременно требует творческой самореализации субъектов в процессе принятия управленческих решений.

Творческая самореализация находит проявление в их активном стремлении найти оптимальное научно обоснованное управленческое решение, которым обеспечивается не только повышение эффективности подготовки специалистов для МЧС России, но и достижение собственных целей, реализация своих творческих планов и замыслов посредством активного участия в принятии управленческих решений.

Библиографический список

References

1. **Коваленко, В. И.** Полисубъектное управление развитием образовательной системы вуза (на материале вузов МВД России): автореф. дис. ... д-ра пед. наук / Коваленко В. И. — Белгород, 2005. — 8 с.
2. **Об образовании:** Закон Российской Федерации от 10 июля 1992 г. № 3266-1 с последующими изменениями и дополнениями // Гарант: инфор.-правовой портал. — (<http://base.garant.ru/10164235>). — (10.10.2013).
3. **Об образовании в Российской Федерации:** Федеральный закон от 29.12.2012 г. № 273-ФЗ // Собрание законодательства Российской Федерации. — 2012. — № 53 (ч. 1), ст. 7598. // Гарант: инфор.-правовой портал. — (<http://base.garant.ru/70291362>). — (10.10.2013).

1. **Kovalenko, V. I.** Polisub'ektnoe upravlenie razvitiem obrazovatel'noj sistemy vuza (na materiale vuzov MVD Rossii): avtoref. dis. ... d-ra ped. nauk / Kovalenko V. I. — Belgorod, 2005. — 8 s.
2. **Ob obrazovanii:** Zakon Rossijskoj Federacii ot 10 iyulya 1992 g. № 3266-1 s posleduyushhimi izmeneniyami i dopolneniyami // Garant: infor.-pravovoj portal. — (<http://base.garant.ru/10164235>). — (10.10.2013).
3. **Ob obrazovanii v Rossijskoj Federacii:** Federal'nyj zakon ot 29.12.2012 g. № 273-FZ // Sobranie zakonodatel'stva Rossijskoj Federacii. — 2012. — № 53 (ch. 1), st. 7598. // Garant: infor.-pravovoj portal. — (<http://base.garant.ru/70291362>). — (10.10.2013).

LEGAL AND PEDAGOGICAL ASPECTS POLYSUBJECT MANAGEMENT OF SPECIALISTS' TRAINING AT THE UNIVERSITIES OF EMERCOM OF RUSSIA

Panferkina I. S.

PhD in Pedagogical, Senior research fellow,
Voronezh Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia;
Russia, Voronezh, e-mail: formaneforma@yandex.ru

To identify the legal and pedagogical aspects of training specialists in the departmental universities and possibilities to increase the efficiency by moving to a полисубъектному management.

Keywords: departmental university, polysubject management, training, improving efficiency.

20 лет
ФГБОУ ВПО Воронежский институт
ГПС МЧС России!

