

ПРОБЛЕМЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Выпуск 15

(350-летие Харькова)



Харьков - 2004

<i>В.П. Ольшанский</i> К построению области орошения пожарной гидравлической струи	153	<i>Ю.Н. Сенчихин, О.Е. Безуглов, И.Ф. Дадашев</i> Оценка индивидуального риска при аварии, связанной с пожарами и взрывами на крупном промышленном предприятии.....	201
<i>В.П. Ольшанский</i> О теории линейно-ортотропного сопротивления движению гидравлической пожарной струи	160	<i>В.Л. Сидоренко, С.І. Азаров</i> Оцінка викиду відпрацьованих газів від пожежного автомобіля	205
<i>О.А. Петухова</i> Аналіз часу виявлення пожежі в сценічній частині культурно - видовищних закладів	165	<i>В.М. Стрелец, П.Ю. Бородич</i> Многофакторная оценка пожарно – спасательных работ на станциях метрополитена	208
<i>М.О.Писарський, А.Я. Шаршанов</i> Особливості моделювання швидкості вигорання	168	<i>В.В. Тригуб, С.В. Кулаков</i> Температурное поле гнездового очага переменных параметров	215
<i>В.С. Плоськін, В. А. Андронов, І.А. Антіпов</i> Шляхи розв'язання проблеми отримання кварцового піску як фільтрующего матеріалу для водоочисних станцій	172	<i>В.Ф. Чіжов, Р.Е. Черепаха</i> Надзвичайні ситуації терористичного походження	221
<i>А.В. Підгайний</i> Теоретичні дослідження взаємодії системи "полум'я - вогнегасна речовина"	177	<i>И.А. Чуб, Е.В. Морц</i> Моделирование размещения пожароопасных объектов с учетом опасных факторов возможного пожара	224
<i>В.О. Пономарьов, О.В. Кулаков</i> Недеструктивний підхід до розрахунку імовірності виникнення пожежі від кабельно-провідникової продукції	182	<i>Г.Н.Шабанова, Н.П. Хлапова, С.М. Логвинков, В.А. Свидерский, Н.П. Одейчук</i> Оценка эксплуатационной надежности бетонов на основе специальных барийсодержащих радиационностойких цементов	228
<i>Э.Е. Прохач, Л.Л. Михальская</i> Оперативно-тактические мероприятия, обеспечивающие безопасность работ при ликвидации пожаров на станциях нейтрализации	186	<i>А.И. Шепелева, Д.Г. Трегубов, Е.В. Тарахно, К.В. Жерноклев</i> Оценка параметров пожаровзрывоопасности кетонов и альдегидов алифатического ряда .	237
<i>В.Г. Рева, Л.М. Куценко</i> Опис та класифікація профілів деталей ротаційних гідравлічних машин	194		

*В.М. Стрелец, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., доцент, АГЗУ,
П.Ю. Бородич, адъюнкт, АГЗУ*

МНОГОФАКТОРНАЯ ОЦЕНКА ПОЖАРНО - СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ НА СТАНЦИЯХ МЕТРОПОЛИТЕНА

(представлено д-ром техн. наук Н.И. Ивановым)

Показана целесообразность оценки процесса пожарно-спасательных работ на станциях метрополитена с помощью многофакторного имитационного моделирования. Приведены оценка ошибок расчета коэффициентов регрессии, оценка значимости факторов и связи между ними при различных уровнях риска, ранжирование факторов по степени их влияния на выходные данные.

Постановка проблемы. Для разработки и предложения рекомендаций, которые повысят эффективность действий пожарно-спасательных подразделений, персонала метрополитена при проведении пожарно-спасательных работ на станциях метрополитена необходима объективная оценка боевой работы, осуществляемой спасателями. Учитывая сложный характер рассматриваемого процесса, который включает большое количество взаимосвязанных операций, сделать это можно путем имитационного моделирования на ЭВМ [1]. Однако проблема состоит в необходимости рассмотрения того, что и в какой мере будет влиять на успешное выполнение боевой работы по спасанию людей и тушению пожара на станциях метрополитена. А одним из путей получения таких оценок является обоснование и анализ регрессионных моделей, которые устанавливают количественную связь между временем процесса и выбранными факторами.

Анализ последних исследований и публикаций. В [2] показана имитационная модель боевых действий по тушению пожаров на электроподстанциях метрополитена, основанная на использовании аппарата сетей Петри. В ней рассчитывались времена выполнения отдельных операций. Однако в этой работе не рассматривался учет влияния факторов и взаимодействия между ними.

В [3] приведены результаты многофакторного имитационного моделирования деятельности звена газодымозащитной службы в ходе выполнения боевой работы в помещениях, которые имеют сложные конструктивно-планировочные решения. Однако там был проведен лишь эргономический анализ групповой взаимосвязанной деятельности личного состава как функционирование системы «пожарный – средства пожаротушения и обеспечения бое-

вых действий». Факторы, исследуемые в той работе, носили психофизиологический характер. В то же время, в [4] на эффективность пожарно-спасательных работ влияют качество подготовки личного состава пожарно-спасательной службы, персонала метрополитена, оснащённость подразделений соответствующими техническими средствами, уровень профилактических мероприятий и другие.

Постановка задачи и ее решение. Исходя из этого, были сформулированы следующие цели:

- запланировать и провести многофакторный эксперимент для оценки эффективности проведения пожарно-спасательных работ на станциях метрополитена, используя имитационную модель [1];
- построить квадратичные модели боевой работы при проведении пожарно-спасательных работ на станциях метрополитена и оценить значимость факторов и связи между ними.

Используя литературу по тушению пожаров на объектах метрополитена [4], в качестве основных факторов, влияющих на время выполнения пожарно-спасательных работ на станциях метрополитена, были выбраны:

- x_1 – подготовленность личного состава пожарно-спасательной службы;
- x_2 – подготовленность персонала метрополитена;
- x_3 – степень реализации существующих нормативно-технических требований.

Эксперимент был спланирован таким образом, чтобы оценить вес каждого из трех факторов, а также характер взаимодействия между ними. Для этого был выбран план $3 \times 3 \times 3$, позволяющий исследовать три фактора на трех уровнях, при прочих равных условиях. Такой план обладает хорошими статистическими характеристиками и лучшими по точности оценками всех коэффициентов регрессии $\{k_s\}$ [5]. Используя имитационную модель было проведено 27 экспериментов по 100 итераций каждый и получено множество коэффициентов регрессии $\{k_s\}$. Полученные результаты имитационного эксперимента позволили построить набор трехфакторных квадратичных моделей, которые устанавливают количественную связь между временами (в кодированных переменных [5]) и рассматриваемыми факторами.

Первая модель характеризует время спасения пострадавшего первым звеном газодымозащитной службы (ГЗДС):

$$\begin{aligned} y_1 = & 0.3897 - 0.1987x_1 + 0.0232x_1^2 + 0.0161x_1x_2 + 0.0171x_1x_3 - \\ & - 0.1548x_2 + 0.0102x_2^2 + 0.0215x_2x_3 - \\ & - 0.1465x_3 + 0.00222x_3^2 \end{aligned} \quad (1)$$

Вторая модель характеризует время успешного тушения пожара на начальном этапе пожарно-спасательных работ (ПСР):

$$y_2 = 0.3672 - 0.0052 x_1 + 0.0042 x_1^2 + 0.0029 x_1 x_2 + 0.0031 x_1 x_3 - \\ - 0.3623 x_2 + 0.0563 x_2^2 + 0.0351 x_2 x_3 - \\ - 0.1325 x_3 + 0.0312 x_3^2 \quad (2)$$

Третья модель характеризует время боевого развертывания сил и средств пожарно-спасательной службы (ПСС):

$$y_2 = 0.3757 - 0.3867 x_1 + 0.0942 x_1^2 + 0.0054 x_1 x_2 + 0.0131 x_1 x_3 - \\ - 0.1026 x_2 + 0.0038 x_2^2 + 0.0029 x_2 x_3 - \\ - 0.0107 x_3 + 0.0049 x_3^2 \quad (3)$$

Интерпретация моделей проводилась при нарастающей степени риска отвергнуть правильную гипотезу [5]. Значимость коэффициентов регрессии проверялась многократно от уровня значимости $\alpha = 0,001$ до $\alpha = 0,5$. Для оценки ошибок расчета коэффициентов регрессии была рассчитана средняя дисперсия измерений. Для этого вначале была проверена гипотеза однородности ряда дисперсий по критерию Кохрена:

$$Kh = \frac{(G_n^2)_{\max}}{\sum_{n=1}^{27} G_n^2} \quad (4)$$

где $(G_n^2)_{\max}$ - максимальная дисперсия в рассматриваемом ряду; $n=27$ - количество точек выбранного плана.

Рассчитав критерии Кохрена и сравнив их с табличными значениями [5], оказалось, что рассчитанные значения меньше табличных. Это позволило принять рассматриваемую гипотезу как правдоподобную. В результате средняя дисперсия проведенных имитационных экспериментов рассчитывались как:

$$G^2_{\text{э}} = \frac{1}{27} \cdot \sum_{n=1}^{27} G_n^2, \quad (5)$$

что позволило для расчета ошибок коэффициентов регрессии использовать следующие выражения [5]:

$$G(b_0) = 0.5022 \cdot G_{\text{э}} \quad (6)$$

$$G(b_i) = 0.3333 \cdot G_{\text{э}} \quad (7)$$

$$G(b_{ij}) = 0.2887 \cdot G_{\text{э}} \quad (8)$$

$$G(b_{ii}) = 0.4082 \cdot G_{\text{э}} \quad (9)$$

которые использовали для вычисления соответствующих критических значений:

$$b_{\text{кр}} = t \cdot G(b) , \quad (10)$$

где t , берется по таблицам [5] при выбранном уровне значимости α и числе степеней свободы $f = 27$.

При каждом уровне риска α были построены графы связи между факторами. На рисунках 1,2,3 показаны такие графы при возрастающем риске для моделей (1) – (3). Зачерненный круг обозначает значимые линейные эффекты, петля – значимый квадратичный эффект, ребра графа – значимыми являются эффекты взаимодействия.

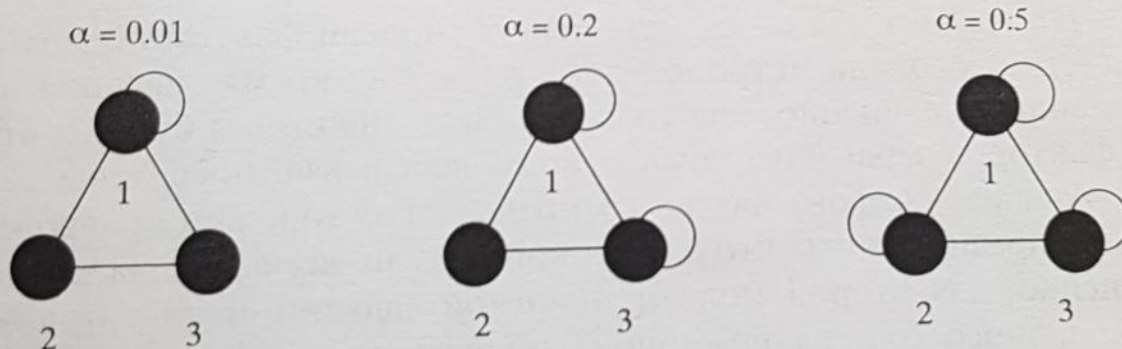


Рисунок 1 – Изменение графов связи между факторами при различном уровне значимости для модели спасения пострадавшего первым звеном ГЗДС

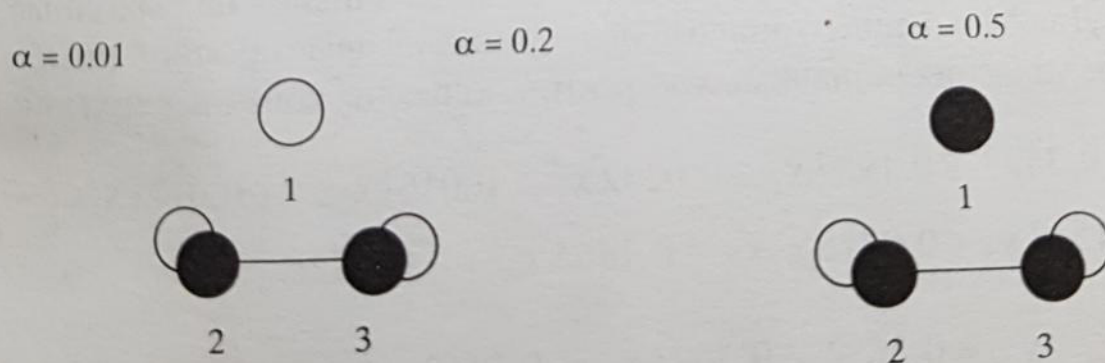


Рисунок 2 – Изменение графов связи между факторами при различных уровнях значимости для модели успешного тушения пожара на начальном этапе ПСР

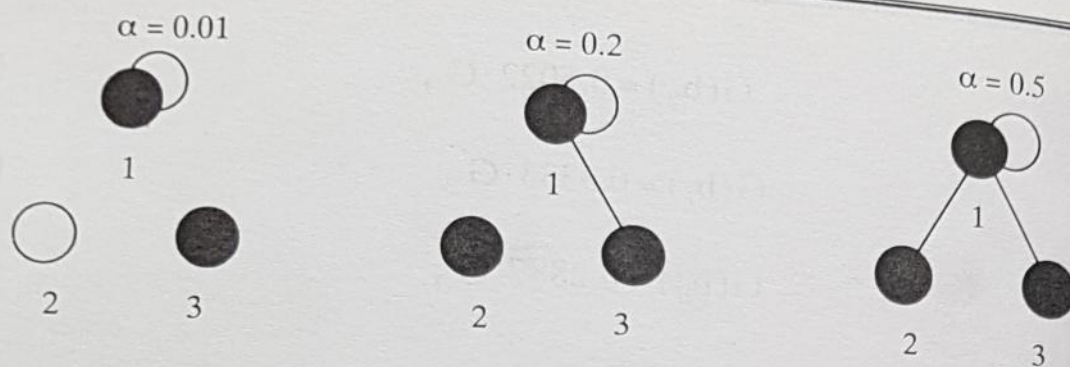


Рисунок 3 – Изменение связи между факторами при различном уровне значимости для модели боевого развертывания сил и средств ПСС

Наиболее достоверными являются выводы по первым графам:
 - для модели «Спасание пострадавшего первым звеном ГЗДС» все выбранные факторы являются значимыми и взаимосвязанными, а фактор подготовленность личного состава пожарно-спасательной службы влияет нелинейно;

- для второй модели «Тушение пожара на начальном этапе ПСР» значимыми и взаимосвязанными являются лишь подготовленность персонала метрополитена и соответствие нормативно-техническим требованиям, кроме этого эти факторы влияют нелинейно;

- для третьей модели «Боевое развертывание сил и средств ПСС» значимыми будут первый и третий факторы, из них первый фактор влияет нелинейно.

По графам для $\alpha=0,2$: для первой модели фактор подготовленности персонала метрополитена влияет на время спасания пострадавших нелинейно; для третьей модели значимым будет и второй фактор, а первый и третий в свою очередь взаимосвязаны.

Анализ графов для $\alpha=0,5$ позволяет осторожно «равновозможно» предположить, что для первой модели все факторы влияют нелинейно; для второй модели значимой является и подготовленность личного состава пожарно-спасательной службы; для третьей модели взаимосвязанными будут первый и второй факторы.

В процессе интерпретации полиномиальной модели было выполнено ранжирование факторов по степени их влияния на выходные данные. Для дальнейшего анализа был принят [5] двусторонний риск $\alpha=0,2$. После удаления незначимых эффектов получены конечные модели:

$$y_1 = 0.3897 - 0.1987 x_1 + 0.0232 x_1^2 + 0.0161 x_1 x_2 + 0.0171 x_1 x_3 - 0.1548 x_2 + 0.0215 x_2 x_3 - 0.1465 x_3 + 0.00222 x_3^2; \quad (11)$$

$$y_2 = 0.3672 - 0.3623 x_2 + 0.0563 x_2^2 + 0.0351 x_2 x_3 - 0.1325 x_3 + 0.0312 x_3^2 \quad (12)$$

$$y_3 = 0,3757 - 0,3867 x_1 + 0,0942 x_1^2 + 0,0131 x_1 x_3 - 0,1026 x_2 - 0,0107 x_3 \quad (13)$$

Ранжирование проводилось по максимальному перепаду Δu в однофакторных моделях $y = f_i(x_i)$ (табл.1,2,3), получаемых при стабилизации остальных x_i на уровнях, соответствующих координатам экстремумов u_{\min} и u_{\max} , а также в центре факторного пространства.

Таблица 1 – Однофакторные модели $y = f_i(x_i)$ при различных условиях стабилизации для модели спасения пострадавшего первым звеном ГЗДС

x	В зоне максимума	В центре факторного пространства	В зоне минимума
x ₁	$0,7347 - 0,2319 x_1 + 0,0232 x_1^2$	$0,3897 - 0,1987 x_1 + 0,0232 x_1^2$	$0,1321 - 0,1655 x_1 + 0,0232 x_1^2$
x ₂	$0,7974 - 0,1924 x_2$	$0,3897 - 0,1548 x_2$	$0,0616 - 0,1172 x_2$
x ₃	$0,7825 - 0,1851 x_3 + 0,0222 x_3^2$	$0,3897 - 0,1465 x_3 + 0,0222 x_3^2$	$0,0755 - 0,1079 x_3 + 0,0222 x_3^2$

Таблица 2 – Однофакторные модели $y = f_i(x_i)$ при различных условиях стабилизации для модели успешного тушения пожара на начальном этапе ПСР

x	В зоне максимума	В центре факторного пространства	В зоне минимума
x ₁	-	-	-
x ₂	$0,5309 - 0,3974 x_2 + 0,0563 x_2^2$	$0,3672 - 0,3623 x_2 + 0,0563 x_2^2$	$0,2659 - 0,3272 x_2 + 0,0563 x_2^2$
x ₃	$0,7858 - 0,1676 x_3 + 0,0312 x_3^2$	$0,3672 - 0,1325 x_3 + 0,0312 x_3^2$	$0,0612 - 0,0974 x_3 + 0,0312 x_3^2$

Анализ полученных результатов показал, что наиболее ощутимо из рассматриваемых факторов влияет на время спасения пострадавшего первым звеном подготовленность личного состава пожарно-спасательной службы. На время успешного тушения пожара на начальном этапе пожарно-спасательных работ влияет подготовленность персонала метрополитена, а на время боевого развертывания сил и средств пожарно-спасательной службы - подготовленность личного состава пожарно-спасательной службы.

Таблица 3 – Однофакторные модели $y = f_i(x_i)$ при различных условиях стабилизации для модели боевого развертывания сил и средств ПСС

x	В зоне максимума	В центре факторного пространства	В зоне минимума
x ₁	$0,489 - 0,3998 x_1 + 0,0942 x_1^2$	$0,3757 - 0,3867 x_1 + 0,0942 x_1^2$	$0,2624 - 0,3626 x_1 + 0,0942 x_1^2$
x ₂	$0,8804 - 0,1026 x_2$	$0,3757 - 0,1026 x_2$	$0,0856 - 0,1026 x_2$
x ₃	$0,9723 - 0,0107 x_3$	$0,3757 - 0,0107 x_3$	$-0,0063 - 0,0107 x_3$

Выводы: - показана возможность количественной оценки как веса отдельных факторов влияющих на эффективность пожарно-спасательных работ в метрополитене, так и веса их взаимного влияния;
 - отмечено, что вопросы спасания пострадавших и боевого развертывания сил и средств должны отрабатываться в ходе совместных учений подразделений МЧС и персонала метрополитена;
 - существующий уровень нормативно-технических требований влияет меньше других факторов на все рассмотренные процессы, поэтому необходимо развивать и совершенствовать технические средства, которые смогли бы еще до прибытия пожарно-спасательных подразделений обеспечить безопасную эвакуацию пассажиров, а также значительно облегчить работу спасателей во время тушения пожара.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 В.М.Стрелец, П.Ю.Бородич Имитационное моделирование начального этапа пожаротушения на станциях метрополитена // Проблемы пожарной безопасности. Сб. науч. тр. Вып.13. - Харьков: АПБУ, 2003. - С.60 - 80.
- 2 В.Ф.Бондарев, В.В.Семенов. Имитационное моделирование боевых действий по тушению пожаров на электроподстанциях метрополитена // Пожарная безопасность метрополитенов: Сб. науч. тр. - М.: ВНИИПО, 1989. - С. 44-59.
- 3 В.М.Стрелец, В.П.Мамон, Н.В.Ермаков, С.Д.Дьяченко Эргономический анализ групповой деятельности звена ГДЗС // Проблемы пожарной безопасности. Сб. науч. тр. - Вып.7. - Харьков: ХИПБ, 1997. - С.190 - 194.
- 4 В.П. Беляцкий Пожарная опасность метрополитенов. - М.: Транспорт. 1994. - 102 с.
- 5 В.А.Вознесенский Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. - М.: Финансы и статистика, 1981. - 263 с.

Статья поступила в редакцию 17.02.2004 г.