

БЕЗОПАСНОСТЬ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

УДК 699.81

ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ ИГР ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

О. М. Шикунская, И. С. Ватунский

Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, г. Астрахань, Россия

На основе анализа проектной документации двухэтажного спортивного комплекса установлено наличие опасности задержки полной эвакуации людей из помещения спортзала в случае пожара, несмотря на соответствие проекта нормативам в области пожарной безопасности. С целью обеспечения пожарной безопасности рассмотрены несколько вариантов объемно-планировочных решений. Обосновано применение теории игр (игры с природой в условиях неопределенности) для выбора оптимальной альтернативы объемно-планировочных решений. В работе рассмотрены три возможных сценария возникновения и развития пожара и четыре альтернативных объемно-планировочных решения. Для всех сценариев развития пожара определено время достижения критических значений опасных факторов пожара, составлены все необходимые схемы эвакуации и выполнены расчеты, построена платежная матрица, элементы которой определены как количество успевших эвакуироваться людей до достижения критических значений опасными факторами пожара. На основании расчета платежной матрицы по ряду критериев выбран оптимальный вариант объемно-планировочных решений. Результаты исследования показали целесообразность и эффективность применения теории игр в области пожарной безопасности в строительстве.

Ключевые слова: *объемно-планировочное решение, пожар, опасные факторы пожара, игра, платежная матрица.*

APPLICATION OF MATHEMATICAL GAME THEORY FOR FIRE SAFETY ENSURING OF BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS AT THE DESIGN STAGE

O. M. Shikulskaya, I. S. Vatunsky

Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering, Astrakhan, Russia

On the basis of the analysis of the project documentation of a two-storeyed sports complex existence of danger of a delay of full people evacuation from the gym room in case of fire, despite compliance of the project to standards in the field of fire safety is established. For the purpose of ensuring fire safety several versions of space-planning decisions are considered. Application of theory game (games with the nature in the conditions of uncertainty) or the choice of an optimum alternative of space-planning decisions is proved. In work three possible scenarios of emergence and development of the fire and four alternative space-planning decisions are considered. For all scenarios of development of the fire time of achievement of critical values of the dangerous fire factors is defined, all necessary evacuation schemes are made and calculations are executed, the payoff matrix which elements are determined as the number of the people who were in time to be evacuated before achievement of critical values by the dangerous fire factors is constructed. On the basis of calculation of a payoff matrix for a number of criteria the optimal variant of space-planning decisions is chosen. Results of a research showed expediency and efficiency of application of game theory in the field of fire safety in construction.

Keywords: *space-planning decision, fire, dangerous fire factors, game, payoff matrix.*

Для спасения людей во время пожара важна их своевременная эвакуация, успешность которой зависит не только от согласованных и грамотных действий пожарных. На время эвакуации людей $t_{\text{эвак}}$ влияет множество факторов: количество эвакуируемых человек; планировка помещения; количество и ширина дверных проемов; начальное местоположение людей и т.д.

С момента начала пожара проходит определенное время, по истечении которого в помещении возникают опасные факторы пожара (ОФП): высокая температура окружающей среды, дым, токсичные продукты горения и т.д., и с этого момента в помещении появляется угроза жизни и здоровью людей. Поэтому время эвакуации должно быть меньше времени наступления опасных факторов пожара $t_{\text{ОФП}}$, т.е. должно соблюдаться условие:

$$t_{\text{эвак}} \leq t_{\text{ОФП}} \quad (1)$$

Время эвакуации рассчитывают по методике [1, прил. 2], а расчет времени наступления опасных факторов пожара – согласно [2].

При анализе проектной документации двухэтажного спортивного комплекса на основе

указанных методик авторы установили, что, несмотря на соответствие проекта нормативам по пожарной безопасности, существует вероятность невыполнения условия (1) в случае возникновения пожара.

В соответствии с проектной документацией в помещении спортзала (рис. 1) находится 200 человек (зрители, игроки на поле, судьи и т.д.). В случае пожарной тревоги все люди должны быть эвакуированы до наступления ОФП.

Начальное условие определено на основании схемы спортзала (рис. 1).

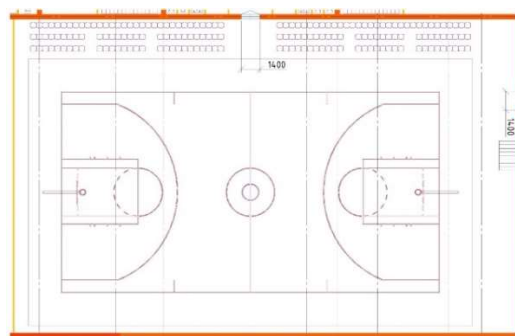


Рис. 1. Схема спортзала (начальное условие)

Возможны различные объемно-планировочного решения поставленной задачи. Выбор лучшего из них не всегда очевиден. Возникновение и развитие пожара происходит в условиях неопределенности. Ошибки при выборе путей решения проблемы могут привести к катастрофическим последствиям.

Для решения задач выбора оптимальных решений широко используется математический аппарат [3-5].

В решении проблемы обеспечения пожарной безопасности используются различные математические методы: для моделирования систем и процессов [6-9], в процессе мониторинга требований пожарной безопасности [10], по обеспечению пожарной безопасности на промышленных предприятиях [11].

Одним из эффективных методов выбора оптимальных решений из множества альтернатив является применение теории игр. Для оптимизации выбора решений в области пожарной тактики с учетом фактора неопределенности найдена теория игр [12-13]. Применение теории игр в условиях неопределенности в указанных областях дало хорошие результаты. Исходя из этого, был сделан вывод о целесообразности ее использования для выбора оптимальных объемно-планировочных решений здания с целью обеспечения его пожарной безопасности.

Методы

Авторами был использован раздел теории игр – игры с природой, принятие решений в условиях неопределенности. Выбор обусловлен отсутствием достоверной информации о вероятности возникновения рассматриваемых ситуаций. Под природой понимается обобщенное понятие противника, не преследующего собственных целей. Природа может принимать одно из своих возможных состояний.

На основании теории игр (игры с природой, принятие решений в условиях неопределенности) строится матрица доходности (рис. 2), строками которой являются стратегии первого игрока, элементами – выигрыши (profits) игрока А, которые не являются проигрышами (payoff) природы В.

- A_i – стратегия (strategy) игрока 1
- B_i – поведение игрока 2 (природы).

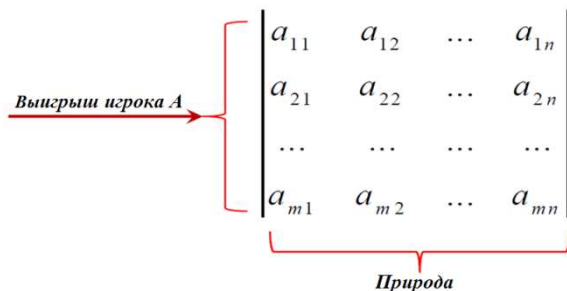


Рис. 2. Платежная матрица

Для отбора вариантов стратегии применяют критерии оптимальности (альтернативные критерии оптимальности): Вальда (2), оптимизма (3), пессимизма (4), Сэвиджа (5), Гурвица (6).

$$W = \max_i \min_j a_{ij}, \tag{2}$$

$$M = \max_i \max_j a_{ij}, \tag{3}$$

$$P = \min_i \min_j a_{ij}, \tag{4}$$

$$S = \min_i \max_j r_{ij}, \tag{5}$$

$$H = \max_i \lambda \cdot \max_j a_{ij} + \min_i (1 - \lambda) \cdot \min_j a_{ij}, \tag{6}$$

где a_{ij} – элемент матрицы доходности, $i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m$.

r_{ij} – элемент матрицы рисков (табл. 1),

λ – коэффициент оптимизма, $\lambda \in [0, 1]$.

Таблица 1

Матрица рисков

	B ₁	B ₂	...	B _m
A ₁	r ₁₁	r ₁₂	...	r _{1m}
A ₂	r ₂₁	r ₂₂	...	r _{2m}
A ₃	r ₃₁	r ₃₂	...	r _{3m}
...
A _n	r _{n1}	r _{n2}	...	r _{nm}

Элементы матрицы рисков определяются по (8), (9).

$$r_{ij} = a_{\max j} - a_{ij} \tag{8}$$

$$a_{\max j} = \max(a_{ij}) \tag{9}$$

Оптимальной является стратегия, выбираемая по наибольшему числу критериев.

Результаты

В нашем случае стратегии первого игрока (строки) – это объемно-планировочные решения проектировщика А, игрок природа – пожар, состояния природы В (столбцы) – определяются местами возгорания и степенью разрушения конструкций, выигрыши игрока А, которые не являются проигрышами природы В – элементы матрицы.

A_i – стратегия игрока № 1

B_i – поведение игрока № 2 (природы).

Стратегии игрока А:

1. А₁ – проект не изменяется: три дверных проема шириной по 0,8 м;
2. А₂ – увеличение ширины каждого из уже существующих проемов на 0,4 м;
3. А₃ – добавляется четвертый проем без изменения ширины проемов;
4. А₄ – увеличение ширины каждого из уже существующих проемов на 0,4 м. и добавление проема шириной 1,8 м.

Состояния природы П:

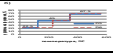
5. В₁ – возгорание на трибуне. Время наступления ОФП равно 1,6 мин.;


6. В2 – возгорание под лестничной клеткой без ее разрушения. Время наступления ОФП равно 3 мин.;

7. В3 – возгорание под лестничной клеткой. Обрушение лестничной клетки и перекрытие одного проема. Время наступления ОФП равно 3 мин.

Время эвакуации $t_{\text{evacuation}}$ рассчитывается по методике [1, прил. 2], а расчет времени достижения критических значений опасных факторов пожара t_{DFF} рассчитывается согласно [2]. Результаты вычислений сведены в таблицу 2.

Таблица 2
Параметры для payoff matrix

Стратегия	Параметры	Состояние природы		
		B_1	B_2	B_3
	t_{DFF} (мин)	1.6	3	3
A_1 $\delta = 1,4\text{m}$, $N=3$	Схема эвакуации  (мин)	1, fig. 2	1, fig. 2	2, fig. 3
	$t_{\text{evacuation}}$ (мин)	2	2	2
A_2 $\delta = 1,8\text{m}$, $N=3$	Схема эвакуации $t_{\text{evacuation}}$ (мин)	1, fig. 2	1, fig. 2	2, fig. 3
	$t_{\text{evacuation}}$ (мин)	1.8	1.8	1.8
A_3 $\delta = 1,4\text{m}$, $N=4$	Схема эвакуации $t_{\text{evacuation}}$ (мин)	3, fig. 4	3, fig. 4	4, fig. 5
	$t_{\text{evacuation}}$ (мин)	1.7	1.7	1.7
A_4 $\delta = 1,8\text{m}$, $N=4$	Схема эвакуации $t_{\text{evacuation}}$ (мин)	3, fig. 4	3, fig. 4	4, fig. 5
	$t_{\text{evacuation}}$ (мин)	1.57	1.57	1.57

Варианты схем эвакуации приведены на рис. 2–5.  – ширина дверных проемов.

В качестве выигрыша первого игрока a_{ij} решено использовать количество эвакуированных людей до достижения критических значений опасных факторов пожара. Рассчитаем значения элементов платежной матрицы по формуле (10).

$$a_{ij} = \begin{cases} K_{\text{evacuation}} = (K \cdot t_{\text{DFF}}) / t_{\text{evacuation}}, & \text{if } t_{\text{evacuation}} > t_{\text{DFF}} \\ K, & \text{if } t_{\text{evacuation}} \leq t_{\text{DFF}} \end{cases} \quad (10)$$

где $K_{\text{evacuation}}$ – количество человек, успешших эвакуироваться,

$K = 200$ – количество эвакуируемых человек,

t_{DFF} – время наступления критических значений ОФП,

$t_{\text{evacuation}}$ – время эвакуации.

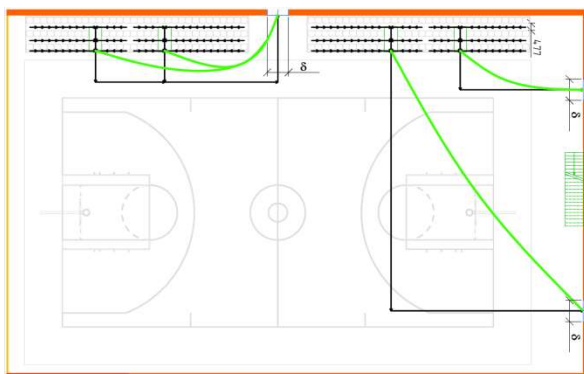


Рис. 2. Схема эвакуации 1

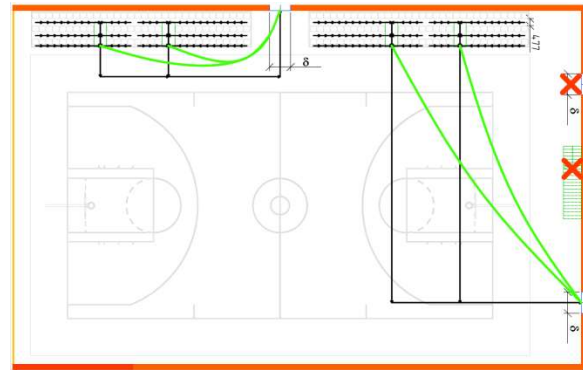


Рис. 3. Схема эвакуации 2

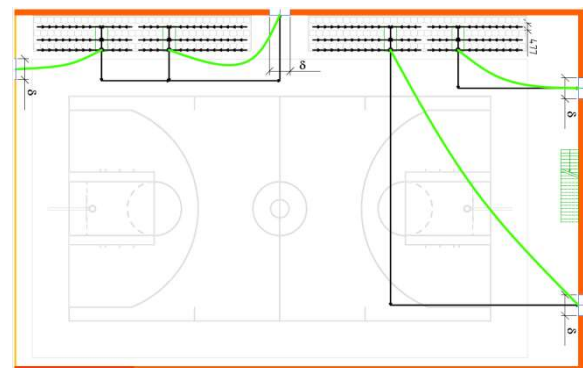


Рис. 4. Схема эвакуации 3

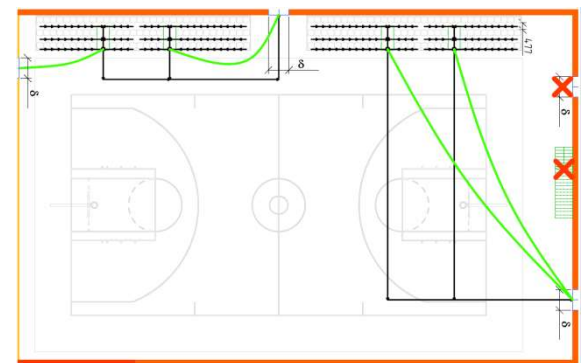


Рис. 5. Схема эвакуации 4

Заполняем платежную матрицу результатами расчетов (табл. 3).

Таблица 3

Платежная матрица

	B_1	B_2	B_3
A_1	160	200	200
A_2	178	200	200
A_3	188	200	200
A_4	200	200	200

По результатам расчетов по (2)–(9) оптимальной является стратегия A_4 .

3. Обсуждение

При анализе проектной документации двухэтажного спортивного комплекса было установлено, что, несмотря на соблюдение нормативов, существует опасность задержки эвакуации в случае пожара, что может повлечь гибель людей. С целью обеспечения пожарной безопасности

были рассмотрены несколько вариантов объемно-планировочных решений. Анализ научной литературы показал эффективность использования теории игр в области пожарной безопасности, однако в области пожарной безопасности в строительстве она еще не применялась. Было обосновано применение теории игр (игры с природой в условиях неопределенности) для решения выявленной проблемы.

Были рассмотрены три возможных сценария возникновения и развития пожара и четыре альтернативных объемно-планировочных решения. Для всех сценариев развития пожара было определено время достижения критических значений опасных факторов пожара. Составлены все необходимые схемы эвакуации и выполнены расчеты. На основании рассчитанных параметров была построена платежная матрица, элементы которой были определены

как количество успевших эвакуироваться людей до достижения опасными факторами пожара критических значений. На основании расчета матрицы надежности по критериям Вальда, оптимизма, пессимизма, Сэвиджа, Гурвица был выбран оптимальный вариант объемно-планировочных решений. Результаты исследования показали целесообразность и эффективность применения теории игр в области пожарной безопасности в строительстве.

Заключение

Таким образом, в работе было показано:

- не всегда соответствие нормативным требованиям может обеспечить необходимый уровень пожарной безопасности,
- возможность и эффективность применения теории игр для выбора оптимального варианта решения проблемы.

Список литературы

- Приказ МЧС РФ от 30.06.2009 №382 (ред. от 02.12.2015), Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях.
- Пузач С.В., Андреев В.В., Методы расчета ОФП. Методы прогнозирования динамики опасных факторов пожара, Москва: Академия Государственной противопожарной службы МЧС России.
- Jonathan Barzilai. Preference Function Modelling: The Mathematical Foundations of Decision Theory, Trends in Multiple Criteria Decision Analysis, pre-print of Chapter 3, pp. 57—86, Springer, 2010.
- Zimmerman H.J., Zysno P. Decisions and evaluations by hierarchical aggregation of information. Fuzzy Sets and Systems, Vol. 10, №3, 1983. - p. 243-260.
- Saaty T.L. Exploring the interface between hierarchical structures. Fuzzy Sets and Systems. Vol. 1, № 1, 1978. - p. 57-68
- Sardquist Stefan. An Engineering Approach to Fire-Fighting Tactic // Report 1014, Dept of Fire Safety Engineering, Land Institute of Technology, ISSN 1102-8246, ISRN LUTVDG / TVBB-1014-SE. - 1996. - 83 p.
- Alekhin E.M., Brushlinsky N.N., Sokolov S.V., Wagner P. Russian simulation for strategic planning. "Fire International", 11/1996. - p. 32-33.
- Brushlinsky N., Nitzschke M., Sokolov S., Wagner P., Feuerwehren in Mil- lionenstaedten. Organisation, Probleme und Loesungen. Stuttgart, Berlin. Koeln, - p. 308-310, (1995)
- Buchanan B.G., Bobrow D., Davis R., Mc Dermott J., Shorlife E.M. Knowledge-based system // Annu. Rep. Computer Science. № 4, 1990. - p. 395-416.
- Вечтомов Д.А. Информационно-аналитическая система поддержки принятия управленческих решений в процессе мониторинга требований пожарной безопасности, Thesis for: PhD degree in 05.13.10, М, (2014)
- Тупиков Д.В. Модели и алгоритмы поддержки принятия решений по обеспечению пожарной безопасности на промышленных предприятиях, Thesis for: PhD degree in 05.13.01, Саратов, (2015)
- I.M. Teterin, N.G. Topolskiy, V.M. Klimovtsov, Yu.V. Prus, Application of mathematical theory of games in system of support of decision-making. М.: ВИПТШ МВД РФ, 2005.-21 с.
- Топольский Н.Г., Домбровский М.Б. Основы применения теории игр в автоматизации систем пожарной безопасности. М.: ВИПТШ МВД РФ, 1996.-117 с.

© О. М. Шикунская, И. С. Ватунский

Ссылка для цитирования:

О. М. Шикунская, И. С. Ватунский. Применение математической теории игр для обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений на стадии проектирования // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2019. № 4 (30). С. 146-149.

УДК 69.07:69.059

ВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ КАК ЭЛЕМЕНТ КАЧЕСТВА КОНСТРУКЦИЙ

О. Г. Земцова¹, К. А. Кондратьев¹, Д. П. Береговой²

¹Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, г. Пенза, Россия

²ООО ЦНЭПБ «Промтэк», г. Пенза, Россия

В статье рассматривается необходимость учета фактора взрывобезопасности здания в качестве элемента качества конструкций на примере обследования действующего деревянного элеватора в г. Пензе, срок эксплуатации которого превышает 100 лет. Целью обследования являлось определение фактического технического состояния и остаточного ресурса несущих и ограждающих строительных конструкций здания элеватора, оценка соответствия объекта предъявляемым к нему требованиям нормативной документации. Установлено, что конструкции здания Пензенского элеватора с точки зре-