

УДК 614.8.01:51-7

chistanal@rambler.ru

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ЗАЩИТЫ НА ОСНОВЕ МАТРИЧНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ПОЖАРНЫХ РИСКОВ

### RESEARCH ON THE EFFECTIVENESS OF FIRE PROTECTION SYSTEMS BASED ON A MATRIX REPRESENTATION OF FIRE RISKS

*Прус Ю. В., доктор физико-математических наук,  
РГУ нефти и газа (НИУ) им. И. М. Губкина, Москва,  
Чистякова А. А., ВНИИПО МЧС России, Балашиха,  
Прус М. Ю., РГУ нефти и газа (НИУ) им. И. М. Губкина, Москва*

*Prus Yu. V., RSU of Oil and Gas (NRU) I. M. Gubkin, Moscow,  
Chistyakova A. A., All-Russian Research Institute  
for Fire Protection of EMERCOM of Russia, Balashikha,  
Prus M. Yu., RSU of Oil and Gas (NRU) I. M. Gubkin, Moscow*

Обсуждены проблемы адаптации общей модели матричного представления рисков к построению систем безопасности и управлению пожарными рисками в жилом секторе. На основе матричного представления пожарных рисков строится модель, позволяющая проводить оценку эффективности внедрения систем противопожарной защиты.

*Ключевые слова:* техногенный риск, природный риск, пожарный риск, социотехническая система, риск-ориентированный подход, система обеспечения безопасности.

The problems of adaptation of the model to construction of security systems and risk management in sociotechnical systems are discussed. The article substantiates expediency of transition to the matrix form of presentation of technogenic, natural and fire risks. Forms of matrix components are proposed which represent the probabilistic parameters and characteristics of possible consequences of adverse events, allowing to consider the effectiveness of measures to prevent threats and protect against dangerous factors.

*Keywords:* technological risk, natural risk, fire risk, sociotechnical system, risk-based approach, security system.

Обеспечение необходимого уровня пожарной безопасности в жилом секторе требует проведения ряда мероприятий по предупреждению и предотвращению пожаров, внедрения современных систем противопожарной защиты, обучения населения мерам безопасности и действиям при пожаре, подразделений противопожарной службы, что сопряжено со значительными затратами финансовых, материальных и трудовых ресурсов на протяжении длительного периода времени. В связи с этим крайне актуальной становится

проблема поиска и обоснования наиболее эффективных вариантов вложения финансовых средств, выделяемых на обеспечение пожарной безопасности жилого сектора, позволяющих добиться скорейших и значимых результатов по снижению социально-экономических потерь от пожаров.

Наиболее перспективными представляются подходы к выбору вариантов выбора мероприятий по предупреждению и предотвращению угроз, внедрению технических средств предупреждения и защиты от последствий опасных событий,

на основанные на применении различных методов имитационного моделирования рисков в социотехнических системах. Современные программно-аппаратные средства моделирования позволяют добиться значительной детализации как объектов защиты по подверженности воздействию опасным факторам и степени уязвимости, так и совокупности возможных последствий опасных событий по видам ущерба. Однако крайне примитивный математический аппарат, используемый до настоящего времени в теории рисков, препятствует реализации потенциальных возможностей современных методов имитационного моделирования.

Существенный прогресс в построении систем имитационного моделирования, позволяющих детализировать, выявлять причины возникновения рисков и исследовать различные процессы, влияющие

$$R_3 = R_1 \cdot R_2, [R_3] = \frac{1}{10^5 \cdot \text{год}}, [R_1] = \frac{\text{пожаров}}{10^5 \text{чел} \cdot \text{год}}, [R_2] = \frac{\text{чел}}{\text{пожар}}, \quad (1)$$

где индивидуальный риск гибели  $R_3$  связан с риском для человека оказаться в условиях пожара  $R_1$  и условным риском  $R_2$  гибели на пожаре. В примере (1) выделяются две компоненты риска: первая представляет собой статистическую оценку вероятности подвергнуться опасным факторам пожара (ОФП), а вторая – статистическую оценку условной вероятности гибели на пожаре. Для информационно-аналитической поддержки управления в территориальных системах обеспечения пожарной безопасности успешно построены модели рисков, основанные на разделении компонент риска на две группы, одна из которых связана с частотой возникновения пожаров, а другая – с ожидаемыми социально-экономическими потерями.

Возможности дальнейшей детализации структуры рисков обусловлены преодолением принципиальных ограничений, обусловленных скалярной формой представления рисков. Векторно-матричное представление рисков [3, 4] значительно

на динамику рисков, обусловлен применением представления риска в виде мультипликатора двух групп факторов. Одна из групп обусловлена факторами, определяющими возможности возникновения опасного явления, а другая связана с факторами, влияющими на уязвимость подвергающихся опасности объектов. В математической модели рисков первая группа факторов представляется, как вероятность подвергнуться опасности, а вторая – как условная вероятность наступления определенного вида последствий.

Результаты исследований мировой и отечественной пожарной статистики на протяжении ряда лет [1, 2] показали достаточно высокую информативность представления индивидуальных и интегральных пожарных рисков единой совокупностью статистических показателей вида:

усложняет и расширяет возможности математического аппарата, позволяя оперировать как с событийным рядом, обуславливающим возникновение факторов риска для различных объектов, так и с результатами их воздействия. При этом осуществляется стратификация объектов защиты по степени уязвимости и подверженности воздействию опасных факторов, а также возможных последствий опасных событий по тяжести ущерба.

Дальнейшая модификация модели позволяет проводить сравнение результатов, направленных на снижение рисков воздействий, например, при реализации мероприятий по предупреждению и предотвращению угроз, построению элементов системы безопасности и защиты.

Адаптируем основные положения модели векторно-матричного представления рисков [3] и введем ряд дополнительных элементов, позволяющих исследовать аспекты пожарных рисков, связанные с изменением вероятностных параметров неблагоприятных событий и характери-

стик возможных последствий (ущерба) вследствие направленных на снижение рисков воздействий.

При исследовании пожарных рисков в жилом секторе необходимо провести стратификацию множества «население территории» по принадлежности подмножеств к определенным группам риска на основе установления корреляционных связей между социальными, психофизиологическими и иными признаками с одной стороны, и с другой – характеристиками уязвимости и подверженности воздействию ОФП.

Совокупность «население территории» представляется вектором с компонентами, равными или пропорциональными соответствующему распределению населения по кластерам – группам риска. Кластеризацию необходимо проводить с учетом возрастной классификации, трудоспособности, а также различий по половым признакам, месту проживания, физическим параметрам [4]. В качестве критериев распределения населения по группам риска предлагается использовать классификацию [5], в соответствии с которой следует выделить следующие четыре кластера:  $c_1$  – дети и подростки до 18 лет;  $c_2$  – трудоспособное население (мужчины 16–64 лет, женщины 16–59 года);  $c_3$  – лица старше трудоспособного возраста (мужчины 65 лет и старше, жен-

щины 60 лет и старше);  $c_4$  – инвалиды и лица с ограниченными возможностями. Тогда вектор распределения по группам риска представляется как:

$$\vec{C} = (c_1, c_2, c_3, c_4). \quad (2)$$

В расположенных на территории жилых зданиях  $z^k, k = \{1 \dots K\}$ , различающихся по техническому оснащению системами противопожарной защиты, по свойствам и характеристикам пожароопасности, а также ряду внешних факторов, влияющим на пожарную опасность, находятся представители указанных групп населения.

Первая составляющая событийного ряда, определяющая, в соответствии с положениями общей модели векторно-матричного представления рисков, вероятностные характеристики рассматриваемых групп населения подвергнуться воздействию ОФП, согласно [4] определяется элементами диагональной матрицы  $V$  (от лат. *victima* – жертва). Воздействию ОФП подвергаются одновременно все находящиеся в здании, поэтому элементы матрицы  $V$  пропорциональны общему множителю, представляющему численную оценку вероятности пожара в здании, а также относительному времени  $\tau_1^k$  пребывания представителей отдельных групп:

$$\mathbf{V}^k = \begin{pmatrix} v_1^k & 0 & 0 & 0 \\ 0 & v_2^k & 0 & 0 \\ 0 & 0 & v_3^k & 0 \\ 0 & 0 & 0 & v_4^k \end{pmatrix} = p^k \begin{pmatrix} \tau_1^k & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \tau_2^k & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \tau_3^k & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \tau_4^k \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Эффект от реализации конкретного набора мероприятий по предупреждению и предотвращению пожаров учитывается введением некоторых понижающих коэффициентов  $w^k \leq 1$  для элементов  $\mathbf{V}^k$ . Можно предложить простейшую модель, описывающую влияние пожарной профилактики на вероятность пожара в течение определенного временного периода  $T$ .

Возникновение пожаров связано с некоторыми иницирующими событиями, обусловленными совокупностью ряда техногенных и антропогенных факторов от двух принципиально различных типов источников, генерирующих единый поток. Интенсивности первой группы потоков  $\lambda_f^k, f = \{1 \dots F\}$  определяются техническим состоянием соответствующих систем

(электрообеспечение, газопровод и пр.) либо иными инженерно-техническими параметрами здания. Интенсивности второй группы потоков  $\lambda_i^k, i = \{1 \dots I\}$  определяются возможностью возникновения пожара вследствие нарушения правил пожарной безопасности со стороны представи-

$$p^k = \left( \sum_{f=1}^F (\lambda_{f^0}^k (1 - \alpha_f^k) + \alpha_f^k \lambda_{f^*}^k) + \sum_{i=1}^I (\lambda_{i^0}^k (1 - \alpha_i^k) + \alpha_i^k \lambda_{i^*}^k) \right) T, \quad (4)$$

где  $\lambda_{f^0}^k, \lambda_{i^0}^k$  потоки инициирующих событий до и  $\lambda_{f^*}^k, \lambda_{i^*}^k$  – после проведения мероприятий по предупреждению и предотвращению угроз, а коэффициенты  $\alpha_f^k$  и  $\alpha_i^k$  характеризует относительный охват соответствующих источников и представителей. Как следует из (4), при учете эффекта от реализации профилактических мероприятий по предупреждению и предотвращению пожаров необходимо разделить каждый из потоков на подпотоки, а группы источников и представителей на соответствующие подгруппы.

Частота возникновения пожара в здании в течение года определяется согласно

$$\begin{aligned} \vec{C}^k &= (c_1^k, c_2^k, c_3^k, c_4^k) = \vec{C}_0^k + \vec{C}_*^k = \vec{C}^k A^k + \vec{C}^k (E - A)^k = \\ &= (c_1^k, c_2^k, c_3^k, c_4^k) \begin{pmatrix} \alpha_1^k & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \alpha_2^k & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \alpha_3^k & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \alpha_4^k \end{pmatrix} + \\ &+ (c_1^k, c_2^k, c_3^k, c_4^k) \begin{pmatrix} 1 - \alpha_1^k & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 - \alpha_2^k & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 - \alpha_3^k & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 - \alpha_4^k \end{pmatrix} = \\ &= ((1 - \alpha_1^k)c_1^k, (1 - \alpha_2^k)c_2^k, (1 - \alpha_3^k)c_3^k, (1 - \alpha_4^k)c_4^k) + (\alpha_1^k c_1^k, \alpha_2^k c_2^k, \alpha_3^k c_3^k, \alpha_4^k c_4^k), \quad (5) \end{aligned}$$

где нижние индексы  $i^*$  и  $i^0$  отличают представителей групп, с которыми проводились или не проводились профилактические мероприятия,  $\alpha_i^k$  – показатели относительного охвата отдельных групп мероприятиями противопожарной профи-

телей каждой из групп населения. Вероятность возникновения пожара в здании с учетом эффекта от реализации конкретного набора мероприятий по предупреждению и предотвращению пожаров определим как:

[6] в домах жилых многоквартирных –  $2,6 \cdot 10^{-2}$ ; в домах жилых одноквартирных –  $1,9 \cdot 10^{-3}$ . Однако для более точной оценки определения вероятности пожара в жилом здании необходимо создание соответствующей статистически обоснованной либо экспертной методики.

Для обеспечения возможности дальнейшего определения эффекта от реализации профилактических мероприятий по обучению населения мерам безопасности и действиям при пожаре целесообразно разделить группы риска на подгруппы, а вектор (2) – на два вектора распределения:

лактики, определяющие размеры подгрупп  $c_{i^0}^k$  и  $c_{i^*}^k$ .

Локальные частотные характеристики подверженности воздействию ОФП для совместно находящихся в отдельных зданиях представителей определенных групп населения представляются векторами:

$$\begin{aligned} \vec{F}^k &= (f_1^k, f_2^k, f_3^k, f_4^k) = \vec{C}^k \mathbf{V}^k = \vec{C}_0^k \mathbf{V}^k + \vec{C}_*^k \mathbf{V}^k = \vec{F}_0^k + \vec{F}_*^k = \\ &= (f_{1^0}^k, f_{2^0}^k, f_{3^0}^k, f_{4^0}^k) + (f_{1^*}^k, f_{2^*}^k, f_{3^*}^k, f_{4^*}^k) = p^k (c_{1^0}^k \tau_1^k, c_{2^0}^k \tau_2^k, c_{3^0}^k \tau_3^k, c_{4^0}^k \tau_4^k) + \\ &+ p^k (c_{1^*}^k \tau_1^k, c_{2^*}^k \tau_2^k, c_{3^*}^k \tau_3^k, c_{4^*}^k \tau_4^k). \end{aligned} \quad (6)$$

Под причиненным здоровью человека вредом согласно [7] понимается нарушение анатомической целостности и физиологической функции органов и тканей человека в результате воздействия физических, химических, биологических и психических факторов. В соответствии с квалифицирующими признаками тяжести вреда, причиненного здоровью человека, выделяются следующие четыре вида последствий:  $d_1$  – гибель;  $d_2$  – тяжелые травмы;  $d_3$  – травмы средней тяжести;  $d_4$  – легкие травмы.

Вторая составляющая событийного ряда, определяющая условные вероятности наступления различного вида последствий от воздействия ОФП, согласно общей модели векторно-матричного представления рисков, представляется прямоугольной матрицей  $\mathbf{S}$  (от англ. sensitivity – чувствительность), элементы которой характеризуют различные виды уязвимости для представителей всех групп риска. С учетом эффекта от реализации профилактических мероприятий по обучению представителей групп населения мерам безопасности и действиям при пожаре единая матрица  $\mathbf{S}$  распадается на две подматрицы:

$$\mathbf{S}_0 = \begin{pmatrix} S_{1^0 1} & S_{1^0 2} & S_{1^0 3} & S_{1^0 4} \\ S_{2^0 1} & S_{2^0 2} & S_{2^0 3} & S_{2^0 4} \\ S_{3^0 1} & S_{3^0 2} & S_{3^0 3} & S_{3^0 4} \\ S_{4^0 1} & S_{4^0 2} & S_{4^0 3} & S_{4^0 4} \end{pmatrix}, \quad \mathbf{S}_* = \begin{pmatrix} S_{1^* 1} & S_{1^* 2} & S_{1^* 3} & S_{1^* 4} \\ S_{2^* 1} & S_{2^* 2} & S_{2^* 3} & S_{2^* 4} \\ S_{3^* 1} & S_{3^* 2} & S_{3^* 3} & S_{3^* 4} \\ S_{4^* 1} & S_{4^* 2} & S_{4^* 3} & S_{4^* 4} \end{pmatrix}, \quad (7)$$

где нижние индексы  $i^*$  и  $i^0$  отличают подгруппы, состоящие из представителей групп, профилактические мероприятия с которыми соответственно проводились или не проводились.

Введем для определенного задания  $z^k$  матрицы  $\mathbf{S}_0^k$  и  $\mathbf{S}_*^k$  элементами которых являются соответствующие локальные условные вероятности наступления вышеуказанных последствий воздействия ОФП, обусловленные результатом выполнения основных функций противопожарной защиты (вторая матрица введена для возможности учета эффекта от проведенных профилактических мероприятий).

Согласно положениям общей модели векторно-матричного представления рисков, компоненты «вектора ожидаемых потерь» отражают негативные последствия жизни и здоровью человека. Для учета эффекта от реализации профилактических мероприятий по обучению населения мерам безопасности и действиям при пожаре потери каждого вида разделим на две составляющих  $d_{j^0}^k, d_{j^*}^k (j = \{1 \dots J\})$  потерь для охваченного и неохваченного мероприятиями противопожарной профилактики населения. Тогда локальный «вектор ожидаемых потерь» можно представить следующим образом:

$$\begin{aligned} \vec{D}^k &= (d_1^k, d_2^k, d_3^k, d_4^k) = (d_{1^0}^k, d_{2^0}^k, d_{3^0}^k, d_{4^0}^k) + (d_{1^*}^k, d_{2^*}^k, d_{3^*}^k, d_{4^*}^k) = \\ &= \vec{D}_0^k + \vec{D}_*^k = \vec{F}_0^k \mathbf{S}_0^k + \vec{F}_*^k \mathbf{S}_*^k = \vec{C}_0^k \mathbf{V}^k \mathbf{S}_0^k + \vec{C}_*^k \mathbf{V}^k \mathbf{S}_*^k. \end{aligned} \quad (8)$$

Основные факторы, влияющие на количественные характеристики и структуру ожидаемых потерь в случае

возникновения пожара, определяются совокупностью сил и средств обеспечения функций противопожарной защиты. К

значимым факторам относятся также проведение мероприятий по обучению населения мерам безопасности и действиям при пожаре, обеспечением индивидуальными средствами защиты от ОФП и ряд других мер.

При проведении анализа влияния отдельных факторов необходимо отличать друг от друга два обстоятельства, связанные с наличием определенной совокупности сил, средств и систем, с одной стороны и, с другой стороны – фактическим выполнением ими функций противопожарной защиты или результатами их срабатывания в случае возникновения пожара. Введем для каждой из рассматриваемых ниже  $L$  функций противопожарной защиты показатели, обозначающие наличие/отсутствие возможности выполнения и фактическое

выполнение/невыполнение, соответствующими булевыми переменными  $R_l^k = [1,0]$ ,  $E_l^k = [1,0]$ , ( $l = \{1 \dots L\}$ ).

Показатели  $R_l^k$  возможности выполнения/невыполнения основных функций противопожарной защиты в случае пожара в здании являются детерминированными величинами, поскольку однозначно определяются установкой систем противопожарной защиты, а также наличием сил и средств обеспечения пожарной безопасности и иных значимых факторов.

Показатели  $E_l^k$  фактического выполнения/невыполнения основных функций противопожарной защиты представляют собой случайные величины, вероятности которых:

$$\begin{cases} 0 \leq P(E_l^k = 1) \leq 1 \text{ при } R_l^k = 1 \\ P(E_l^k = 1) = 0 \text{ (} P(E_l^k = 0) = 1 \text{) при } R_l^k = 0 \end{cases} \quad (9)$$

Согласно (9) событие «выполнение функции  $[F_l]$  противопожарной защиты» является возможным только при условии наличия возможности его выполнения, при этом его вероятность равна вероятности фактического выполнения. В случае отсутствия возможности выполнения рассматриваемой функции указанное событие является невозможным и его вероятность равна нулю.

Для обозначения событий, заключающихся в выполнении или

$$(R_1^k \cdot E_1^k) \dots (R_l^k \cdot E_l^k) \dots (R_L^k \cdot E_L^k), \quad l = \{1 \dots L\}. \quad (10)$$

В зависимости от технических характеристики показателей срабатывания установленных в здании систем противопожарной защиты, а также совокупности иных сил и средств

невыполнения функций противопожарной защиты, введем булевы индексы, представляющие собой произведения соответствующих пар  $(R_l^k \cdot E_l^k)$ . Любой из возможных вариантов фактически действующей в случае возникновения пожара совокупности функций противопожарной защиты обозначается упорядоченным набором булевых индексов:

обеспечения пожарной безопасности, каждому из возможных вариантов выполнения совокупности функций противопожарной защиты соответствует некоторая вероятность:

$$P[(R_1^k \cdot E_1^k) \dots (R_l^k \cdot E_l^k) \dots (R_L^k \cdot E_L^k)]. \quad (11)$$

Основными параметрами модели, позволяющими производить численную оценку ожидаемых потерь, являются относящиеся к заданному варианту выполнения совокупности функций противопожарной защиты частные локальные условные вероятности наступления последствий воздействия ОФП для подгрупп  $c_{i^0}^k$  и  $c_{i^*}^k$ :

$$S_{i^0 j}^{(R_1^k \cdot E_1^k) \dots (R_l^k \cdot E_l^k) \dots (R_L^k \cdot E_L^k)}, \quad S_{i^* j}^{(R_1^k \cdot E_1^k) \dots (R_l^k \cdot E_l^k) \dots (R_L^k \cdot E_L^k)} \quad (12)$$

Значения условных вероятностей ожидаемых потерь при определенном наборе функций защиты возможно оценить в процессе исследования статистических данных о потерях от пожаров либо на основе экспертных методов. В настоящее время подобные методики не применяются, поэтому на первоначальном этапе можно предложить использование полученной методами парных сравнений оценочной шкалы рисков для подгрупп  $c_{i^0}^k$  и  $c_{i^*}^k$  при определенных вариантах выполнения

совокупности функций противопожарной защиты.

Локальные условные вероятности наступления последствий воздействия ОФП для подгрупп  $c_{i^0}^k$  и  $c_{i^*}^k$  определяются как математические ожидания величин  $S_{i^0 j}^k$  и  $S_{i^* j}^k$ , т. е. представляют собой суммы попарных произведений частных локальных условных вероятностей (12) на соответствующие вероятности возможных вариантов выполнения совокупности функций противопожарной защиты (11):

$$\langle S_{i^0 j}^k \rangle = \sum_{E_1 \dots E_L} S_{i^0 j}^{(R_1^k \cdot E_1^k) \dots (R_l^k \cdot E_l^k) \dots (R_L^k \cdot E_L^k)} P[(R_1^k \cdot E_1^k) \dots (R_l^k \cdot E_l^k) \dots (R_L^k \cdot E_L^k)]$$

$$\langle S_{i^* j}^k \rangle = \sum_{E_1 \dots E_L} S_{i^* j}^{(R_1^k \cdot E_1^k) \dots (R_l^k \cdot E_l^k) \dots (R_L^k \cdot E_L^k)} P[(R_1^k \cdot E_1^k) \dots (R_l^k \cdot E_l^k) \dots (R_L^k \cdot E_L^k)]. \quad (13)$$

Локальный «вектор ожидаемых потерь», компоненты которого характеризуют составляющие ожидаемого ущерба по видам последствий для проживающего

в здании населения пожара и воздействий ОФП выразим, используя в (8) результаты (13), следующим образом:

$$\begin{aligned} \vec{D}^k &= \vec{D}_0^k + \vec{D}_*^k = \vec{F}_0^k \mathbf{S}_0^k + \vec{F}_*^k \mathbf{S}_*^k = \vec{C}_0^k \mathbf{V}^k \mathbf{S}_0^k + \vec{C}_*^k \mathbf{V}^k \mathbf{S}_*^k \\ &= (d_{1^0}^k, d_{2^0}^k, d_{3^0}^k, d_{4^0}^k) + (d_{1^*}^k, d_{2^*}^k, d_{3^*}^k, d_{4^*}^k) = \\ &= p^k (c_{1^0}^k \tau_1^k, c_{2^0}^k \tau_2^k, c_{3^0}^k \tau_3^k, c_{4^0}^k \tau_4^k) \begin{pmatrix} \langle S_{1^0 1}^k \rangle & \langle S_{1^0 2}^k \rangle & \langle S_{1^0 3}^k \rangle & \langle S_{1^0 4}^k \rangle \\ \langle S_{2^0 1}^k \rangle & \langle S_{2^0 2}^k \rangle & \langle S_{2^0 3}^k \rangle & \langle S_{2^0 4}^k \rangle \\ \langle S_{3^0 1}^k \rangle & \langle S_{3^0 2}^k \rangle & \langle S_{3^0 3}^k \rangle & \langle S_{3^0 4}^k \rangle \\ \langle S_{4^0 1}^k \rangle & \langle S_{4^0 2}^k \rangle & \langle S_{4^0 3}^k \rangle & \langle S_{4^0 4}^k \rangle \end{pmatrix} + \\ &+ p^k (c_{1^*}^k \tau_1^k, c_{2^*}^k \tau_2^k, c_{3^*}^k \tau_3^k, c_{4^*}^k \tau_4^k) \begin{pmatrix} \langle S_{1^* 1}^k \rangle & \langle S_{1^* 2}^k \rangle & \langle S_{1^* 3}^k \rangle & \langle S_{1^* 4}^k \rangle \\ \langle S_{2^* 1}^k \rangle & \langle S_{2^* 2}^k \rangle & \langle S_{2^* 3}^k \rangle & \langle S_{2^* 4}^k \rangle \\ \langle S_{3^* 1}^k \rangle & \langle S_{3^* 2}^k \rangle & \langle S_{3^* 3}^k \rangle & \langle S_{3^* 4}^k \rangle \\ \langle S_{4^* 1}^k \rangle & \langle S_{4^* 2}^k \rangle & \langle S_{4^* 3}^k \rangle & \langle S_{4^* 4}^k \rangle \end{pmatrix}. \quad (14) \end{aligned}$$

Интегральный «вектор ожидаемых потерь», компоненты которого характеризуют составляющие ожидаемого ущерба по видам последствий от пожара и воздей-

ствий ОФП для всего проживающего на территории населения и представляют вычисляемые в соответствии с (14) аддитивные величины:

$$\vec{D} = \sum_{k=1}^K \vec{D}^k = \sum_{k=1}^K (\vec{D}_0^k + \vec{D}_*^k) = \sum_{k=1}^K \vec{D}_0^k + \sum_{k=1}^K \vec{D}_*^k =$$

$$= \left( \sum_{k=1}^K d_1^k, \sum_{k=1}^K d_2^k, \sum_{k=1}^K d_3^k, \sum_{k=1}^K d_4^k \right). \quad (15)$$

Приведем общую методику определения ожидаемых потерь от пожаров и воздействий ОФП для проживающего на заданной территории населения.

В случае возникновения пожара в жилых зданиях возможные последствия обусловленные непосредственным выполнением основных функций противопожарной защиты, которые, согласно [8], отразим табл. 1.

Таблица 1  
Основных функций противопожарной защиты

$\Phi_i$	ОСНОВНЫЕ ФУНКЦИИ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ЗАЩИТЫ	$R_i$	$E_i$	ОБЕСПЕЧЕНИЕ	ВЗАИМОСВЯЗЬ С ОСТАЛЬНЫМИ $\Phi_i$	
$\Phi_1$	обеспечение управления эвакуацией (ОУЭ)	$R_1$	$E_1$	установка систем защиты от ОФП (с САП и без САП)	$R_3=1$ ----- $R_3=0$	$[\Phi_1 \ \Phi_2 \ \Phi_3]$ ----- $[\Phi_1 \ \Phi_2]$
$\Phi_2$	обеспечение противодымной защиты (ПДЗ)	$R_2$	$E_2$			
$\Phi_3$	обеспечение автоматического пожаротушения (АП)	$R_3$	$E_3$			
$\Phi_4$	обеспечение своевременного прибытия подразделений ПО	$R_4$	$E_4$	дислокация ПО	автономны	$[\Phi_4]$
$\Phi_5$	обеспечение доступа к обычным путям эвакуации	$R_5$	$E_5$	эвакуационные пути		$[\Phi_5]$
$\Phi_6$	обеспечение возможности дополнительной аварийной эвакуации	$R_6$	$E_6$	аварийные выходы		$[\Phi_6]$

Для обозначения возможности или невозможности выполнения каждой из шести основных функций

противопожарной защиты введем соответствующие идентификаторы, представленные булевыми переменными



$\{R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6\}$ . Введем также идентификаторы, обозначающие фактическое выполнение/невыполнение каждой из шести основных функций противопожарной защиты, представленные булевыми переменными  $\{E_1, E_2, E_3, E_4, E_5, E_6\}$ , изменяющимися в зависимости от срабатывания отдельных средств защиты от ОФП.

Функции  $\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3$  (либо функции  $\Phi_1, \Phi_2$  без  $\Phi_3$ ) связаны между собой и обусловлены конкретной конфигурацией оснащения жилых зданий системами защиты от ОФП. В жилых зданиях, не оборудованных системами автоматического пожаротушения (САП), возможность выполнения совокупности двух функций  $[\Phi_1 \Phi_2]$  определяется наличием систем обнаружения пожара (СОП), систем обеспечения управления эвакуацией (СОУЭ) и систем

противодымной защиты (СПДЗ), а также соответствие имеющихся систем требованиям нормативных документов по пожарной безопасности (табл. 2).

В оборудованных системами автоматического пожаротушения (САП) жилых зданиях на возможность выполнения совокупности трех функций  $[\Phi_1 \Phi_2 \Phi_3]$  влияет наличие систем обеспечения управления эвакуацией (СОУЭ) и систем противодымной защиты (СПДЗ), а также соответствие имеющихся систем требованиям нормативных документов по пожарной безопасности (табл. 3). Наличие систем защиты от ОФП и их соответствие требованиям нормативных документов по пожарной безопасности указано в строках таблиц для объектов, не оборудованных (табл. 2) и оборудованных системами АП (табл. 3).

Таблица 2  
Наличие систем защиты от ОФП необорудованных системами АП

Система ОП			Система ОУЭ			Система ПДЗ			Идентификаторы возможности выполнения функций			Идентификаторы выполнения $[\Phi_1 \Phi_2 \Phi_3](R_1 E_1)(R_2 E_2)$ и вероятности $P((R_1 E_1)(R_2 E_2)(R_3 E_3))$			
н	с	$K_{обп}$	н	с	$K_{соуэ}$	н	с	$K_{пдз}$	$\Phi_1$	$\Phi_2$	$\Phi_3$	110	100	010	000
1	1	0,8	1	1	0,8	1	1	0,8	1	1	0	0,51 2	0,128	0,128	0,232
1	1	0,8	1	1	0,8	1	0	0	1	0	0	0	0,64	0	0,36
1	1	0,8	1	1	0,8	0	0	0	1	0	0	0	0,64	0	0,36
1	1	0,8	1	0	0	1	1	0,8	0	1	0	0	0	0,64	0,36
1	1	0,8	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1	1	0,8	0	0	0	1	1	0,8	0	1	0	0	0	0,64	0,36
1	1	0,8	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1	0	0	1	1	0,8	1	1	0,8	0	0	0	0	0	0	1
1	0	0	1	1	0,8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1	0	0	1	1	0,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1	0	0	1	0	0	1	1	0,8	0	0	0	0	0	0	1
1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1	0	0	0	0	0	1	1	0,8	0	0	0	0	0	0	1
1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

н – наличие, с – соответствие

Таблица 3  
Наличие систем защиты от ОФП оборудованных системами АП

Система АП			Система ОУЭ			Система ПДЗ			Идентификаторы возможности выполнения функций			Идентификаторы выполнения $[\Phi_1 \Phi_2 \Phi_3]$ $(R_1E_1)(R_2E_2)(R_3E_3)$ и вероятности $P((R_1E_1)(R_2E_2)(R_3E_3))$							
н	с	$K_{ап}$	н	с	$K_{соуэ}$	н	с	$K_{плз}$	$\Phi_1$	$\Phi_2$	$\Phi_3$	$R_1$	$R_2$	$R_3$	111	101	011	001	000
1	1	0,9	1	1	0,8	1	1	0,8	1	1	1	0,576	0,144	0,144	0,036	0,1			
1	1	0,9	1	1	0,8	1	0	0	1	0	1	0	0,72	0	0,18	0,1			
1	1	0,9	1	1	0,8	0	0	0	1	0	1	0	0,72	0	0,18	0,1			
1	1	0,9	1	0	0	1	1	0,8	0	1	1	0	0	0,72	0,18	0,1			
1	1	0,9	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0,9	0,1			
1	1	0,9	0	0	0	1	1	0,8	0	1	1	0	0	0,72	0,18	0,1			
1	1	0,9	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0,9	0,1			
1	1	0,9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0,9	0,1			
1	0	0	1	1	0,8	1	1	0,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1	0	0	1	1	0,8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1	0	0	1	1	0,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1	0	0	1	0	0	1	1	0,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1	0	0	0	0	0	1	1	0,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

н – наличие, с – соответствие

Каждый из вариантов выполнения совокупности функций  $[\Phi_1 \Phi_2 \Phi_3]$  противопожарной защиты (либо совокупности  $[\Phi_1 \Phi_2]$ ) представляет сложное событие, состоящее из определенной последовательности взаимосвязанных простых событий, отражающих различные возможные варианты срабатывания систем защиты от ОФП. Соответствующие деревья событий (рис. 1,2), представляют графическую интерпретацию потенциально возможных событий и их последовательности (сценариев развития), исходящих от основного (иницирующего) события-пожара. В зависимости от конкретной конфигурации оснащения жилых зданий системами защиты от ОФП определяются возможности и вероятности реализации различных вариантов выполнения совокупности функций  $[\Phi_1 \Phi_2]$  (либо  $[\Phi_1 \Phi_2 \Phi_3]$  ). При расчете вероятностей осуществления вариантов выполнения функций  $[\Phi_1 \Phi_2]$  (либо

$[\Phi_1 \Phi_2 \Phi_3]$ ) в соответствии с табл. 2 и 3 проводился с учетом определенных коэффициентов, позволяющих оценить вероятности срабатывания рассматриваемых систем защиты от ОФП.

Событие «выполнение совокупности функций  $[\Phi_1 \Phi_2]$  (либо  $[\Phi_1 \Phi_2 \Phi_3]$ )» является сложным и представляет композицию взаимосвязанных между собой событий, представляющую определенную последовательность взаимосвязанных простых событий, отражающую различные возможные варианты срабатывания систем защиты от ОФП. Возможности и вероятности отдельных простых событий (срабатывания систем защиты от ОФП) определяются в зависимости от конкретной конфигурации – наличия систем защиты от ОФП и их соответствия нормативным требованиям.

Как следует из рассмотренных выше сценариев развития событий (табл. 2, 3 и рис. 1, 2), вероятности возможных вариантов выполнения совокупности функций

$[\Phi_1 \Phi_2]$  (либо  $[\Phi_1 \Phi_2 \Phi_3]$ ) определяются при заданной конфигурации значениями элементов табл. 2, 3 с соответствующими идентификаторами  $P[(R_1^k \cdot E_1^k)(R_2^k \cdot E_2^k)(R_3^k \cdot E_3^k)]$  (либо  $P[(R_1^k \cdot E_1^k)(R_2^k \cdot E_2^k)]$ ). Оценка вероятности срабатывания рассматриваемых систем защиты от ОФП проведена на основе определения понижающих коэффициентов в соответствии с [6].

Функции  $\Phi_4, \Phi_5, \Phi_6$  независимы друг от друга и определяются иными влияющими на спасение людей факторами, зависящими от ряда обстоятельств, отраженных в табл. 4, 5, 6.

Возможности выполнения функций  $[\Phi_4], [\Phi_5], [\Phi_6]$  определяются по данным табл. 4–6, в зависимости от дислокации подразделений пожарной охраны (ПО) на территории поселений и городских округов, обеспечения требований пожарной безопасности к путям эвакуации, аварийным и эвакуационным выходам (в зависимости от класса функциональной пожарной опасности здания). Эти данные также использованы для оценки вероятности выполнения  $[\Phi_4], [\Phi_5], [\Phi_6]$  на основе определения понижающих коэффициентов согласно [3].

ОБН		ОУЭ		ПДЗ	
Н	с	Н	с	Н	с
1	1	1	1	1	1

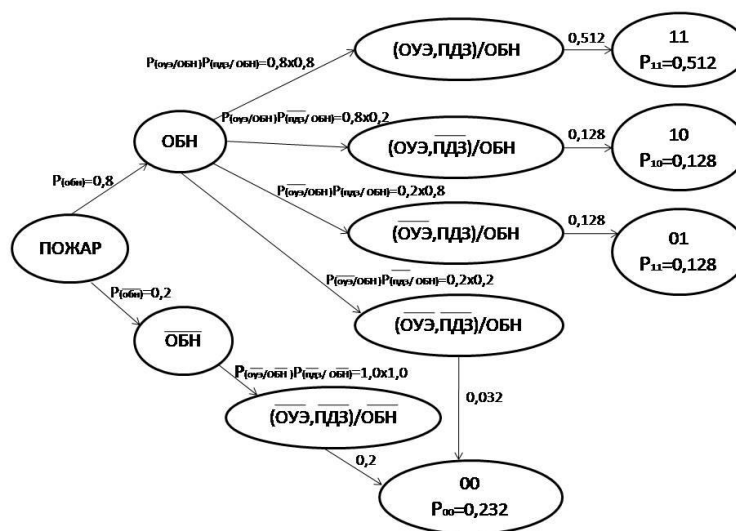


Рисунок 1. Дерево событий, обуславливающих возможные варианты выполнения ( невыполнения) функций  $\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3$  для конфигурации 1 из табл. 2

АП		ОУЭ		ПДЗ	
Н	с	Н	с	Н	с
1	1	1	1	1	1

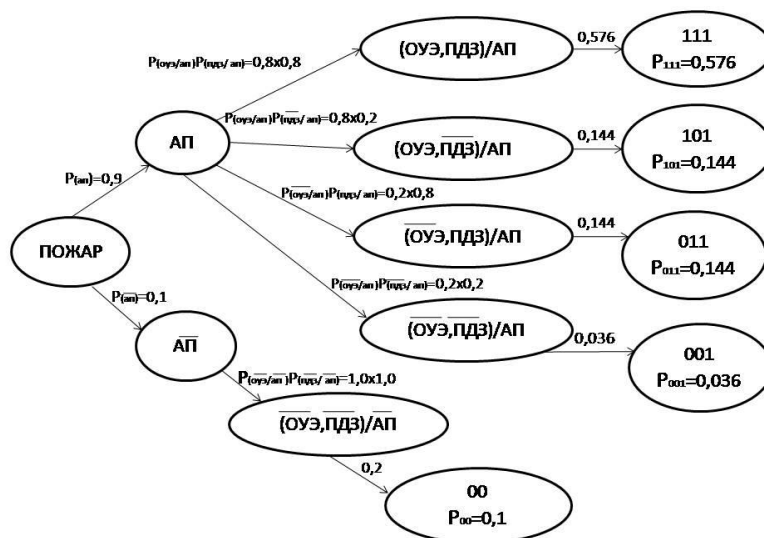


Рисунок 2. Дерево событий, обуславливающих возможные варианты выполнения ( невыполнения) функций  $\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3$  для конфигурации 1 из табл. 3

Таблица 4  
Дополнительные факторы, влияющие на спасение людей

Для зданий $\Phi 1.3$ и $\Phi 1.4$	Дислокация ПО		$\Phi_4$	
	с	$K_{по}$	возм. выполнения/ $R_4$	$P_4 = P(E_4=1)$
	1	0,95	1	0,95
0	0	0	0	0

Таблица 5  
Дополнительные факторы, влияющие на спасение людей

Для зданий $\Phi 1.3$ и $\Phi 1.4$	пути эвакуации		$\Phi_5$	
	с	$K_{эв}$	возм. выполнения / $R_5$	$P_5 = P(E_5=1)$
	1	0,8	1	0,8
0	0	0	0	0

Таблица 6  
Дополнительные факторы, влияющие на спасение людей

Для зданий $\Phi 1.3$ и $\Phi 1.4$	Аварийные выходы			$\Phi_6$	
	н	с	$K_{ф}$	возм. выполне- ния/ $R_6$	$P_6 = P(E_6=1)$
	1	1	0,75	1	0,75
1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
$\Phi 1.4.$	1	1	0,75	1	0,75

События «выполнение функций  $[\Phi_4], [\Phi_5], [\Phi_6]$  независимы друг от друга и от рассмотренного выше сложного события. Вероятности возможных

вариантов выполнения каждой из функций  $[\Phi_4], [\Phi_5], [\Phi_6]$  определяются при заданной конфигурации значениями элементов табл. 4–6 с соответствующими

идентификаторами  $P[(R_4^k \cdot E_4^k)]$ ,  $P[(R_5^k \cdot E_5^k)]$ ,  $P[(R_6^k \cdot E_6^k)]$ .

Введем комплексные идентификаторы возможности или невозможности выполнения всей совокупности функций противопожарной защиты  $[R_1 R_2 R_3 R_4 R_5 R_6]$ , представленные упорядоченными наборами из шести соответствующих булевых переменных.

Охарактеризуем находящиеся на определенной территории жилые здания  $z^k$  с точки зрения возможности или невозможности выполнения всей совокупности функций противопожарной защиты, отображая данные в табл. 7. Значения комплексных идентификаторов возможности выполнения определенной совокупности основных функций противопожарной защиты  $[R_1 R_2 R_3 R_4 R_5 R_6]$  для каждого здания определяем по соответствующим столбцам табл. 2–6 с идентификаторами возможности выполнения или невыполнения функций противопожарной защиты. С учетом конфигурации оснащения жилого здания системами от ОФП (табл. 7) значение идентификатора  $[R_1 R_2 R_3]$  определяется по табл. 2, 3. Факторы, влияющие на

спасение находящихся в жилом здании людей (табл. 7) учитываются при определении значений каждого из идентификаторов  $[R_4]$ ,  $[R_5]$ ,  $[R_6]$  в соответствии с табл. 4–6.

Совокупность жилых зданий  $z^k$  может быть разбита на подгруппы с одинаковыми  $[R_1 R_2 R_3 R_4 R_5 R_6]$  в соответствии с конкретными конфигурациями оснащения жилых зданий системами защиты от ОФП и иных влияющих на спасение людей факторов.

Все возможные варианты выполнения совокупности шести основных функций противопожарной защиты составляют полную группу событий, каждое из которых представляет собой композицию четырех независимых событий: сложного события «выполнение совокупности функций  $[\Phi_1 \Phi_2]$  (либо  $[\Phi_1 \Phi_2 \Phi_3]$ ) а также трех событий «выполнение функций  $[\Phi_4]$ ,  $[\Phi_5]$ ,  $[\Phi_6]$ ». Вероятность выполнения совокупности шести основных функций противопожарной защиты можно представить в виде произведения вероятностей четырех независимых событий:

$$P[(R_1^k \cdot E_1^k)(R_2^k \cdot E_2^k)(R_3^k \cdot E_3^k)(R_4^k \cdot E_4^k)(R_5^k \cdot E_5^k)(R_6^k \cdot E_6^k)] = P[(R_1^k \cdot E_1^k)(R_2^k \cdot E_2^k)(R_3^k \cdot E_3^k)]P[(R_4^k \cdot E_4^k)]P[(R_5^k \cdot E_5^k)]P[(R_6^k \cdot E_6^k)]. \quad (16)$$

Локальные условные вероятности наступления последствий воздействия ОФП для подгрупп  $c_{i^0}^k$  и  $c_{i^*}^k$  в соответствии с (13) определяются как математические

ожидания величин с учетом вероятностей возможных вариантов выполнения совокупности функций противопожарной защиты:

$$\langle S_{i^0 j}^k \rangle = \sum_{E_1 E_2 E_3 E_4 E_5 E_6} S_{i^0 j}^{(R_1^k \cdot E_1^k)(R_2^k \cdot E_2^k)(R_3^k \cdot E_3^k)(R_4^k \cdot E_4^k)(R_5^k \cdot E_5^k)(R_6^k \cdot E_6^k)} \times P[(R_1^k \cdot E_1^k)(R_2^k \cdot E_2^k)(R_3^k \cdot E_3^k)]P[(R_4^k \cdot E_4^k)]P[(R_5^k \cdot E_5^k)]P[(R_6^k \cdot E_6^k)],$$

$$\langle S_{i^* j}^k \rangle = \sum_{E_1 E_2 E_3 E_4 E_5 E_6} S_{i^* j}^{(R_1^k \cdot E_1^k)(R_2^k \cdot E_2^k)(R_3^k \cdot E_3^k)(R_4^k \cdot E_4^k)(R_5^k \cdot E_5^k)(R_6^k \cdot E_6^k)} \times P[(R_1^k \cdot E_1^k)(R_2^k \cdot E_2^k)(R_3^k \cdot E_3^k)]P[(R_4^k \cdot E_4^k)]P[(R_5^k \cdot E_5^k)]P[(R_6^k \cdot E_6^k)]. \quad (17)$$

При известных значениях всех параметров модели (12), для определенного значения шестизначного идентификатора

локальные усредненные условные вероятности наступления последствий воздействия ОФП могут быть вычислены в соот-

ветствии с (17), с определением численных значений вероятностей возможных

вариантов выполнения функций противопожарной защиты из табл. 4–6.

Таблица 7

*Оснащения жилого здания системами от ОФП и возможности или невозможности выполнения всей совокупности функций противопожарной защиты*

k	p <sup>k</sup> 10 <sup>-2</sup>	Группы c <sub>i</sub> относительное время τ <sub>i</sub> подгруппы c <sub>i0</sub> <sup>k</sup> / c <sub>i</sub> <sup>k</sup> *				Оснащение жилых зданий системами защиты от ОФП								Факторы, влияющие на спасение людей				Идентификаторы текущий и достижимый, затраты		
		c <sub>1</sub> τ <sub>1</sub> = 0,6	c <sub>2</sub> τ <sub>2</sub> = 0,5	c <sub>3</sub> τ <sub>2</sub> = 0,7	c <sub>4</sub> τ <sub>2</sub> = 0,9	САП		СОП		СОУЭ		СПДЗ		Дислокация ПО	Пути эвакуации	Аварийные выходы		[R <sub>L</sub> <sup>k</sup> ] <sub>L</sub> <sup>0</sup>	[R <sub>L</sub> <sup>k</sup> ] <sub>L</sub> <sup>*</sup>	w <sup>k</sup> → 10 <sup>6</sup> руб
		н	с	н	с	н	с	н	с	н	с	н	с	с	с	н	с			
1	2,6	40/5 3	37/9	18/1 1	1/0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	001 111	111 111	2,1
2	2,6	6/6	11/9	8/8	3/5	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	100 111	110 111	0,15
3	2,6	7/8	2/6	3/4	5/5	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	010 111	111 111	0,15
4	2,6	9/7	2/8	1/3	2	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	100 111	110 111	1,2

В качестве примера приведем расчет для здания с максимально возможным обеспечением средствами защиты и наиболее благоприятными факторами, влияющими на спасение людей. При подстановке в выражение (17) идентификато-

ра [111111], соответствующего данному варианту конфигурации средств защиты от ОФП и факторов, влияющих на спасение людей, получим:

$$\begin{aligned}
 \langle s_{i^0j}^k \rangle = & s_{i^0j}^{111111} P_{123}(111)P_4(1)P_5(1)P_6(1) \\
 & + s_{i^0j}^{111110} P_{123}(111)P_4(1)P_5(1)P_6(0) + s_{i^0j}^{111101} P_{123}(111)P_4(1)P_5(0)P_6(1) \\
 & + s_{i^0j}^{111011} P_{123}(111)P_4(0)P_5(1)P_6(1) + s_{i^0j}^{111100} P_{123}(111)P_4(1)P_5(0)P_6(0) \\
 & + s_{i^0j}^{111010} P_{123}(111)P_4(0)P_5(1)P_6(0) + s_{i^0j}^{111001} P_{123}(111)P_4(0)P_5(0)P_6(1) \\
 & + s_{i^0j}^{111000} P_{123}(111)P_4(0)P_5(0)P_6(0) + s_{i^0j}^{101111} P_{123}(101)P_4(1)P_5(1)P_6(1) \\
 & + s_{i^0j}^{101110} P_{123}(101)P_4(1)P_5(1)P_6(0) + s_{i^0j}^{101101} P_{123}(101)P_4(1)P_5(0)P_6(1) \\
 & + s_{i^0j}^{101011} P_{123}(101)P_4(0)P_5(1)P_6(1) + s_{i^0j}^{101100} P_{123}(101)P_4(1)P_5(0)P_6(0) \\
 & + s_{i^0j}^{101010} P_{123}(101)P_4(0)P_5(1)P_6(0) +
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + s_{i^0j}^{101001} P_{123}(101)P_4(0)P_5(0)P_6(1) + s_{i^0j}^{101000} P_{123}(101)P_4(0)P_5(0)P_6(0) \\
& + s_{i^0j}^{011111} P_{123}(011)P_4(1)P_5(1)P_6(1) + s_{i^0j}^{011110} P_{123}(011)P_4(1)P_5(1)P_6(0) \\
& + s_{i^0j}^{011101} P_{123}(011)P_4(1)P_5(0)P_6(1) \\
& + s_{i^0j}^{011011} P_{123}(011)P_4(0)P_5(1)P_6(1) + s_{i^0j}^{011100} P_{123}(011)P_4(1)P_5(0)P_6(0) \\
& + s_{i^0j}^{011010} P_{123}(011)P_4(0)P_5(1)P_6(0) + s_{i^0j}^{011001} P_{123}(011)P_4(0)P_5(0)P_6(1) \\
& + s_{i^0j}^{011000} P_{123}(011)P_4(0)P_5(0)P_6(0) + s_{i^0j}^{001111} P_{123}(001)P_4(1)P_5(1)P_6(1) \\
& + s_{i^0j}^{001110} P_{123}(001)P_4(1)P_5(1)P_6(0) + s_{i^0j}^{001101} P_{123}(001)P_4(1)P_5(0)P_6(1) \\
& + s_{i^0j}^{001011} P_{123}(001)P_4(0)P_5(1)P_6(1) + s_{i^0j}^{001100} P_{123}(001)P_4(1)P_5(0)P_6(0) \\
& + s_{i^0j}^{001010} P_{123}(001)P_4(0)P_5(1)P_6(0) + s_{i^0j}^{001001} P_{123}(001)P_4(0)P_5(0)P_6(1) \\
& + s_{i^0j}^{001000} P_{123}(001)P_4(0)P_5(0)P_6(0) + s_{i^0j}^{000111} P_{123}(000)P_4(1)P_5(1)P_6(1) \\
& + s_{i^0j}^{000110} P_{123}(000)P_4(1)P_5(1)P_6(0) + s_{i^0j}^{000101} P_{123}(000)P_4(1)P_5(0)P_6(1) \\
& + s_{i^0j}^{000011} P_{123}(000)P_4(0)P_5(1)P_6(1) + s_{i^0j}^{000010} P_{123}(000)P_4(1)P_5(0)P_6(0) \\
& + s_{i^0j}^{000010} P_{123}(000)P_4(0)P_5(1)P_6(0) + s_{i^0j}^{000001} P_{123}(000)P_4(0)P_5(0)P_6(1) \\
& + s_{i^0j}^{000000} P_{123}(000)P_4(0)P_5(0)P_6(0) ,
\end{aligned}$$

(18)

$$\begin{aligned}
\langle s_{i^*j}^k \rangle & = s_{i^*j}^{111111} P_{123}(111)P_4(1)P_5(1)P_6(1) \\
& + s_{i^*j}^{111110} P_{123}(111)P_4(1)P_5(1)P_6(0) + s_{i^*j}^{111101} P_{123}(111)P_4(1)P_5(0)P_6(1) \\
& + s_{i^*j}^{111011} P_{123}(111)P_4(0)P_5(1)P_6(1) + s_{i^*j}^{111100} P_{123}(111)P_4(1)P_5(0)P_6(0) \\
& + s_{i^*j}^{111010} P_{123}(111)P_4(0)P_5(1)P_6(0) + s_{i^*j}^{111001} P_{123}(111)P_4(0)P_5(0)P_6(1) \\
& + s_{i^*j}^{111000} P_{123}(111)P_4(0)P_5(0)P_6(0) + s_{i^*j}^{101111} P_{123}(101)P_4(1)P_5(1)P_6(1) \\
& + s_{i^*j}^{101110} P_{123}(101)P_4(1)P_5(1)P_6(0) + s_{i^*j}^{101101} P_{123}(101)P_4(1)P_5(0)P_6(1) \\
& + s_{i^*j}^{101011} P_{123}(101)P_4(0)P_5(1)P_6(1) + s_{i^*j}^{101100} P_{123}(101)P_4(1)P_5(0)P_6(0) \\
& + s_{i^*j}^{101010} P_{123}(101)P_4(0)P_5(1)P_6(0) + \\
& + s_{i^*j}^{101001} P_{123}(101)P_4(0)P_5(0)P_6(1) + s_{i^*j}^{101000} P_{123}(101)P_4(0)P_5(0)P_6(0) \\
& + s_{i^*j}^{011111} P_{123}(011)P_4(1)P_5(1)P_6(1) + s_{i^*j}^{011110} P_{123}(011)P_4(1)P_5(1)P_6(0) \\
& + s_{i^*j}^{011101} P_{123}(011)P_4(1)P_5(0)P_6(1) \\
& + s_{i^*j}^{011011} P_{123}(011)P_4(0)P_5(1)P_6(1) + s_{i^*j}^{011100} P_{123}(011)P_4(1)P_5(0)P_6(0) \\
& + s_{i^*j}^{011010} P_{123}(011)P_4(0)P_5(1)P_6(0) + s_{i^*j}^{011001} P_{123}(011)P_4(0)P_5(0)P_6(1) \\
& + s_{i^*j}^{011000} P_{123}(011)P_4(0)P_5(0)P_6(0) + s_{i^*j}^{001111} P_{123}(001)P_4(1)P_5(1)P_6(1) \\
& + s_{i^*j}^{001110} P_{123}(001)P_4(1)P_5(1)P_6(0) + s_{i^*j}^{001101} P_{123}(001)P_4(1)P_5(0)P_6(1) \\
& + s_{i^*j}^{001011} P_{123}(001)P_4(0)P_5(1)P_6(1) + s_{i^*j}^{001100} P_{123}(001)P_4(1)P_5(0)P_6(0) \\
& + s_{i^*j}^{001010} P_{123}(001)P_4(0)P_5(1)P_6(0) + s_{i^*j}^{001001} P_{123}(001)P_4(0)P_5(0)P_6(1) \\
& + s_{i^*j}^{001000} P_{123}(001)P_4(0)P_5(0)P_6(0) + s_{i^*j}^{000111} P_{123}(000)P_4(1)P_5(1)P_6(1) \\
& + s_{i^*j}^{000110} P_{123}(000)P_4(1)P_5(1)P_6(0) + s_{i^*j}^{000101} P_{123}(000)P_4(1)P_5(0)P_6(1) \\
& + s_{i^*j}^{000011} P_{123}(000)P_4(0)P_5(1)P_6(1) + s_{i^*j}^{000010} P_{123}(000)P_4(1)P_5(0)P_6(0) \\
& + s_{i^*j}^{000010} P_{123}(000)P_4(0)P_5(1)P_6(0) + s_{i^*j}^{000001} P_{123}(000)P_4(0)P_5(0)P_6(1) \\
& + s_{i^*j}^{000000} P_{123}(000)P_4(0)P_5(0)P_6(0) .
\end{aligned}$$

Далее, с учетом численных значений вероятностей выполнения функций противопожарной защиты из табл. 4–6 получим окончательное выражение для

усредненных условных вероятностей ОФП в здании с идентификатором:  
наступления последствий воздействия

$$\begin{aligned}
 \langle s_{i^0j}^k \rangle = & s_{i^0j}^{111111} 0,576 \cdot 0,95 \cdot 0,8 \cdot 0,75 + s_{i^0j}^{111110} 0,576 \cdot 0,95 \cdot 0,8 \cdot 0,25 + s_{i^*j}^{111101} 0,576 \cdot \\
 & 0,95 \cdot 0,2 \cdot 0,75 + s_{i^0j}^{111011} 0,576 \cdot 0,05 \cdot 0,8 \cdot 0,75 + s_{i^0j}^{111100} 0,576 \cdot 0,95 \cdot 0,2 \cdot 0,25 + \\
 & s_{i^0j}^{111010} 0,576 \cdot 0,05 \cdot 0,8 \cdot 0,25 + s_{i^0j}^{111001} 0,576 \cdot 0,05 \cdot 0,2 \cdot 0,75 + s_{i^0j}^{111000} 0,576 \cdot 0,05 \cdot 0,2 \cdot \\
 & 0,25 + s_{i^0j}^{101111} 0,144 \cdot 0,95 \cdot 0,8 \cdot 0,75 + s_{i^0j}^{101110} 0,144 \cdot 0,95 \cdot 0,8 \cdot 0,25 + s_{i^0j}^{101101} 0,144 \cdot \\
 & 0,95 \cdot 0,2 \cdot 0,75 + s_{i^*j}^{101011} 0,144 \cdot 0,05 \cdot 0,8 \cdot 0,75 + s_{i^0j}^{101100} 0,144 \cdot 0,95 \cdot 0,2 \cdot 0,25 + \\
 & s_{i^0j}^{101010} 0,144 \cdot 0,05 \cdot 0,8 \cdot 0,25 + s_{i^0j}^{101001} 0,144 \cdot 0,05 \cdot 0,2 \cdot 0,75 + s_{i^0j}^{101000} 0,144 \cdot 0,05 \cdot 0,2 \cdot \\
 & 0,25 + s_{i^0j}^{011111} 0,144 \cdot 0,95 \cdot 0,8 \cdot 0,75 + s_{i^0j}^{011110} 0,144 \cdot 0,95 \cdot 0,8 \cdot 0,25 + s_{i^0j}^{011101} 0,144 \cdot \\
 & 0,95 \cdot 0,2 \cdot 0,75 + s_{i^0j}^{011011} 0,144 \cdot 0,05 \cdot 0,8 \cdot 0,75 + s_{i^0j}^{011100} 0,144 \cdot 0,95 \cdot 0,2 \cdot 0,25 + \\
 & s_{i^0j}^{011010} 0,144 \cdot 0,05 \cdot 0,8 \cdot 0,25 + s_{i^0j}^{011001} 0,144 \cdot 0,05 \cdot 0,2 \cdot 0,75 + s_{i^0j}^{011000} 0,144 \cdot 0,05 \cdot 0,2 \cdot \\
 & 0,25 + s_{i^0j}^{001111} 0,036 \cdot 0,95 \cdot 0,8 \cdot 0,75 + s_{i^0j}^{001110} 0,036 \cdot 0,95 \cdot 0,8 \cdot 0,25 + s_{i^0j}^{001101} 0,144 \cdot 0,95 \cdot \\
 & 0,2 \cdot 0,75 + s_{i^0j}^{001011} 0,036 \cdot 0,05 \cdot 0,8 \cdot 0,75 + s_{i^0j}^{001100} 0,036 \cdot 0,95 \cdot 0,2 \cdot 0,25 + s_{i^0j}^{001010} 0,036 \cdot \\
 & 0,05 \cdot 0,8 \cdot 0,25 + s_{i^0j}^{001001} 0,036 \cdot 0,05 \cdot 0,2 \cdot 0,75 + s_{i^0j}^{001000} 0,036 \cdot 0,05 \cdot 0,2 \cdot 0,25 + \\
 & s_{i^0j}^{000111} 0,1 \cdot 0,95 \cdot 0,8 \cdot 0,75 + s_{i^0j}^{000110} 0,1 \cdot 0,95 \cdot 0,8 \cdot 0,25 + s_{i^0j}^{000101} 0,1 \cdot 0,95 \cdot 0,2 \cdot 0,75 + \\
 & s_{i^0j}^{000011} 0,1 \cdot 0,05 \cdot 0,8 \cdot 0,75 + s_{i^0j}^{000100} 0,1 \cdot 0,95 \cdot 0,2 \cdot 0,25 + s_{i^0j}^{000010} 0,1 \cdot 0,05 \cdot 0,8 \cdot 0,75 + \\
 & s_{i^0j}^{000001} 0,1 \cdot 0,05 \cdot 0,2 \cdot 0,75 + s_{i^0j}^{000000} 0,1 \cdot 0,05 \cdot 0,2 \cdot 0,75, \quad (19)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \langle s_{i^*j}^k \rangle = & s_{i^*j}^{111111} 0,576 \cdot 0,95 \cdot 0,8 \cdot 0,75 \\
 & + s_{i^*j}^{111110} 0,576 \cdot 0,95 \cdot 0,8 \cdot 0,25 + s_{i^*j}^{111101} 0,576 \cdot 0,95 \cdot 0,2 \cdot 0,75 \\
 & + s_{i^*j}^{111011} 0,576 \cdot 0,05 \cdot 0,8 \cdot 0,75 + s_{i^*j}^{111100} 0,576 \cdot 0,95 \cdot 0,2 \cdot 0,25 \\
 & + s_{i^*j}^{111010} 0,576 \cdot 0,05 \cdot 0,8 \cdot 0,25 + s_{i^*j}^{111001} 0,576 \cdot 0,05 \cdot 0,2 \cdot 0,75 \\
 & + s_{i^*j}^{111000} 0,576 \cdot 0,05 \cdot 0,2 \cdot 0,25 + s_{i^*j}^{101111} 0,144 \cdot 0,95 \cdot 0,8 \cdot 0,75 \\
 & + s_{i^*j}^{101110} 0,144 \cdot 0,95 \cdot 0,8 \cdot 0,25 + s_{i^*j}^{101101} 0,144 \cdot 0,95 \cdot 0,2 \cdot 0,75 \\
 & + s_{i^*j}^{101011} 0,144 \cdot 0,05 \cdot 0,8 \cdot 0,75 + s_{i^*j}^{101100} 0,144 \cdot 0,95 \cdot 0,2 \cdot 0,25 \\
 & + s_{i^*j}^{101010} 0,144 \cdot 0,05 \cdot 0,8 \cdot 0,25 + s_{i^*j}^{101001} 0,144 \cdot 0,05 \cdot 0,2 \cdot 0,75 \\
 & + s_{i^*j}^{101000} 0,144 \cdot 0,05 \cdot 0,2 \cdot 0,25 + s_{i^*j}^{011111} 0,144 \cdot 0,95 \cdot 0,8 \cdot 0,75 \\
 & + s_{i^*j}^{011110} 0,144 \cdot 0,95 \cdot 0,8 \cdot 0,25 + s_{i^*j}^{011101} 0,144 \cdot 0,95 \cdot 0,2 \cdot 0,75 \\
 & + s_{i^*j}^{011011} 0,144 \cdot 0,05 \cdot 0,8 \cdot 0,75 + s_{i^*j}^{011100} 0,144 \cdot 0,95 \cdot 0,2 \cdot 0,25 \\
 & + s_{i^*j}^{011010} 0,144 \cdot 0,05 \cdot 0,8 \cdot 0,25 + s_{i^*j}^{011001} 0,144 \cdot 0,05 \cdot 0,2 \cdot 0,75 \\
 & + s_{i^*j}^{011000} 0,144 \cdot 0,05 \cdot 0,2 \cdot 0,25 + s_{i^*j}^{001111} 0,036 \cdot 0,95 \cdot 0,8 \\
 & \cdot 0,75 + s_{i^*j}^{001110} 0,036 \cdot 0,95 \cdot 0,8 \cdot 0,25 + s_{i^*j}^{001101} 0,144 \cdot 0,95 \cdot 0,2 \\
 & \cdot 0,75 + s_{i^*j}^{001011} 0,036 \cdot 0,05 \cdot 0,8 \cdot 0,75 + s_{i^*j}^{001100} 0,036 \cdot 0,95 \cdot 0,2 \\
 & \cdot 0,25 + s_{i^*j}^{001010} 0,036 \cdot 0,05 \cdot 0,8 \cdot 0,25 + s_{i^*j}^{001001} 0,036 \cdot 0,05 \cdot 0,2 \\
 & \cdot 0,75 + s_{i^*j}^{001000} 0,036 \cdot 0,05 \cdot 0,2 \cdot 0,25 + s_{i^*j}^{000111} 0,1 \cdot 0,95 \cdot 0,8 \cdot 0,75 \\
 & + s_{i^*j}^{000110} 0,1 \cdot 0,95 \cdot 0,8 \cdot 0,25 + s_{i^*j}^{000101} 0,1 \cdot 0,95 \cdot 0,2 \cdot 0,75 + s_{i^*j}^{000011} 0,1 \\
 & \cdot 0,05 \cdot 0,8 \cdot 0,75 + s_{i^*j}^{000100} 0,1 \cdot 0,95 \cdot 0,2 \cdot 0,25 + s_{i^*j}^{000010} 0,1 \cdot 0,05 \cdot 0,8 \cdot 0,75 \\
 & + s_{i^*j}^{000001} 0,1 \cdot 0,05 \cdot 0,2 \cdot 0,75 + s_{i^*j}^{000000} 0,1 \cdot 0,05 \cdot 0,2 \cdot 0,75.
 \end{aligned}$$



Используя параметры (11) и данные табл. 7, в соответствии с (17) проводится оценка всех элементов (13) матриц локальных условных вероятностей наступления последствий воздействия ОФП. Далее находим в соответствии с

(14) компоненты локального «вектора ожидаемых потерь», характеризующие значения составляющих ожидаемого ущерба по видам последствий для проживающего в выбранном здании населения от пожара и воздействий ОФП:

$$\begin{aligned} d_1^k &= p^k \left( (c_{1^0}^k \langle s_{1^0 1} \rangle + c_{1^*}^k \langle s_{1^* 1} \rangle) \tau_1^k + (c_{2^0}^k \langle s_{2^0 1} \rangle + c_{2^*}^k \langle s_{2^* 1} \rangle) \tau_2^k + (c_{3^0}^k \langle s_{3^0 1} \rangle + c_{3^*}^k \langle s_{3^* 1} \rangle) \tau_3^k + (c_{4^0}^k \langle s_{4^0 1} \rangle + c_{4^*}^k \langle s_{4^* 1} \rangle) \tau_4^k \right), \\ d_2^k &= p^k \left( (c_{1^0}^k \langle s_{1^0 2} \rangle + c_{1^*}^k \langle s_{1^* 2} \rangle) \tau_1^k + (c_{2^0}^k \langle s_{2^0 2} \rangle + c_{2^*}^k \langle s_{2^* 2} \rangle) \tau_2^k + (c_{3^0}^k \langle s_{3^0 2} \rangle + c_{3^*}^k \langle s_{3^* 2} \rangle) \tau_3^k + (c_{4^0}^k \langle s_{4^0 2} \rangle + c_{4^*}^k \langle s_{4^* 2} \rangle) \tau_4^k \right), \\ d_3^k &= p^k \left( (c_{1^0}^k \langle s_{1^0 3} \rangle + c_{1^*}^k \langle s_{1^* 3} \rangle) \tau_1^k + (c_{2^0}^k \langle s_{2^0 3} \rangle + c_{2^*}^k \langle s_{2^* 3} \rangle) \tau_2^k + (c_{3^0}^k \langle s_{3^0 3} \rangle + c_{3^*}^k \langle s_{3^* 3} \rangle) \tau_3^k + (c_{4^0}^k \langle s_{4^0 3} \rangle + c_{4^*}^k \langle s_{4^* 3} \rangle) \tau_4^k \right), \\ d_4^k &= p^k \left( (c_{1^0}^k \langle s_{1^0 4} \rangle + c_{1^*}^k \langle s_{1^* 4} \rangle) \tau_1^k + (c_{2^0}^k \langle s_{2^0 4} \rangle + c_{2^*}^k \langle s_{2^* 4} \rangle) \tau_2^k + (c_{3^0}^k \langle s_{3^0 4} \rangle + c_{3^*}^k \langle s_{3^* 4} \rangle) \tau_3^k + (c_{4^0}^k \langle s_{4^0 4} \rangle + c_{4^*}^k \langle s_{4^* 4} \rangle) \tau_4^k \right). \end{aligned} \quad (20)$$

Компоненты интегрального «вектора ожидаемых потерь», характеризующие значения составляющих ожидаемого

ущерба по видам последствий от пожара и воздействий ОФП для всего проживающего на территории населения:

$$\begin{aligned} d_1 &= \sum_{k=1}^K p^k \left( (c_{1^0}^k \langle s_{1^0 1} \rangle + c_{1^*}^k \langle s_{1^* 1} \rangle) \tau_1^k + (c_{2^0}^k \langle s_{2^0 1} \rangle + c_{2^*}^k \langle s_{2^* 1} \rangle) \tau_2^k + (c_{3^0}^k \langle s_{3^0 1} \rangle + c_{3^*}^k \langle s_{3^* 1} \rangle) \tau_3^k + (c_{4^0}^k \langle s_{4^0 1} \rangle + c_{4^*}^k \langle s_{4^* 1} \rangle) \tau_4^k \right), \\ d_2 &= \sum_{k=1}^K p^k \left( (c_{1^0}^k \langle s_{1^0 2} \rangle + c_{1^*}^k \langle s_{1^* 2} \rangle) \tau_1^k + (c_{2^0}^k \langle s_{2^0 2} \rangle + c_{2^*}^k \langle s_{2^* 2} \rangle) \tau_2^k + (c_{3^0}^k \langle s_{3^0 2} \rangle + c_{3^*}^k \langle s_{3^* 2} \rangle) \tau_3^k + (c_{4^0}^k \langle s_{4^0 2} \rangle + c_{4^*}^k \langle s_{4^* 2} \rangle) \tau_4^k \right), \\ d_3 &= \sum_{k=1}^K p^k \left( (c_{1^0}^k \langle s_{1^0 3} \rangle + c_{1^*}^k \langle s_{1^* 3} \rangle) \tau_1^k + (c_{2^0}^k \langle s_{2^0 3} \rangle + c_{2^*}^k \langle s_{2^* 3} \rangle) \tau_2^k + (c_{3^0}^k \langle s_{3^0 3} \rangle + c_{3^*}^k \langle s_{3^* 3} \rangle) \tau_3^k + (c_{4^0}^k \langle s_{4^0 3} \rangle + c_{4^*}^k \langle s_{4^* 3} \rangle) \tau_4^k \right), \\ d_4 &= \sum_{k=1}^K p^k \left( (c_{1^0}^k \langle s_{1^0 4} \rangle + c_{1^*}^k \langle s_{1^* 4} \rangle) \tau_1^k + (c_{2^0}^k \langle s_{2^0 4} \rangle + c_{2^*}^k \langle s_{2^* 4} \rangle) \tau_2^k + (c_{3^0}^k \langle s_{3^0 4} \rangle + c_{3^*}^k \langle s_{3^* 4} \rangle) \tau_3^k + (c_{4^0}^k \langle s_{4^0 4} \rangle + c_{4^*}^k \langle s_{4^* 4} \rangle) \tau_4^k \right). \end{aligned} \quad (21)$$

Для оценки эффективности различных вариантов вложения финансовых средств, выделяемых на оборудования отдельных жилых зданий современными системами защиты от ОФП, необходимо производить оценку компонент интегрального «вектора ожидаемых потерь» при соответствующем изменении вариантов конфигурации средств защиты от ОФП и факторов, влияющих на спасение людей и отражаю-

щихся в табл. 7 как переход к новым идентификаторам.

Расширение табл. 7 для каждого здания показывает возможность перехода к одному или нескольким новым состояниям противопожарной защищенности (характеризуемыми новыми комплексными идентификаторами) и соответствующие этим переходам финансовые затраты:

$$[R_1^k R_2^k R_3^k R_4^k R_5^k R_6^k]^0 \xrightarrow{w^k} [R_1^k R_2^k R_3^k R_4^k R_5^k R_6^k]^*, \quad (22)$$

где  $w^k$  – затраты на оборудование здания  $z^k$  системами защиты от ОФП.

Сокращение компонент соответствующих локальных «векторов ожидаемых по-

терь», а также сокращение компонент интегрального «вектора ожидаемых потерь» определяется с учетом соответствующих изменений идентификаторов:

$$\Delta d_j^k = d_j^{k^0} - d_j^{k^*} = d_j^k \left( [R_1^k R_2^k R_3^k R_4^k R_5^k R_6^k]^0 \right) - d_j^k \left( [R_1^k R_2^k R_3^k R_4^k R_5^k R_6^k]^* \right). \quad (23)$$

Выбор распределения финансовых средств и иных ресурсов является оптимальным при условии достижения минимально возможного уровня потерь от пожаров и воздействий ОФП при общих расхо-

дах, не превышающих допустимый общий объем затрат и локальных расходах, не превышающих допустимые локальные объемы затрат.

$$\begin{aligned} \max_{[R_1^k R_2^k R_3^k R_4^k R_5^k R_6^k]^*} [\Delta d_j^k] = \max_{[R_1^k R_2^k R_3^k R_4^k R_5^k R_6^k]^*} \left[ \sum_{k=1}^K \Delta d_j^k \right] \\ \text{при} \\ \sum_{k=1}^K w^k \leq W_{max}, \quad w^k \ll w_{max}^k . \end{aligned} \quad (24)$$

Таким образом, приведенная выше модификация и последовательная адаптация основных элементов модели векторно-матричного представления рисков [3] к описанию пожарных рисков в жилом секторе позволяет создать инструментарий сравнительного анализа эффективности мероприятий, направленных на обеспечение пожарной безопасности, на основе оценки, в соответствии с (23), ожидаемого сокра-

щения потерь. Не менее важным результатом является возможность постановки задачи многокритериальной оптимизации (24) при обосновании эффективности планируемых затрат на оборудование жилых зданий системами противопожарной защиты на основе определения наилучшего по количественным и качественным параметрам достижимого варианта сокращения потерь от пожаров.

#### Литература

1. Брушлинский Н. Н., Соколов С. В., Григорьева М. П. Анализ основных пожарных рисков в странах мира и в России // Пожаробезопасность. 2017. Т. 26, № 2. С. 72–80. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.02.72-80.
2. Brushlinsky N. N., Ahrens M., Sokolov S. V. et al. World Fire Statistics. Moscow, 2017. 68 p. URL: [http://www.ctif.org/sites/default/files/2019-06/CTIF\\_Report24\\_Persian\\_190530%20%281%29.pdf](http://www.ctif.org/sites/default/files/2019-06/CTIF_Report24_Persian_190530%20%281%29.pdf).
3. Прус Ю. В., Колесникова А. Р., Клепко Е. А. и др. Моделирование структуры и динамики техногенных и пожарных рисков в социотехнических системах // Технологии техносферной безопасности. 2014. № 4 (56). С. 16.
4. Прус Ю. В., Чистякова А. А., Россинская К. Г. Управление профилактической деятельностью на основе матричного представления рисков // Техносферная безопасность. 2019. № 4 (25). С. 43–50.
5. Рынок труда / под ред. проф. Н. А. Буланова, проф. Н. А. Волгина. 2-е изд., перераб. и доп. М., 2003. 480 с.
6. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях и сооружениях различных классов функциональной пожарной опасности: приложение к приказу МЧС России от 31 июня 2009 г. № 382.
7. Постановление Правительства РФ от 17 августа 2007 г. № 522 «Об утверждении Правил определения степени тяжести вреда, причиненного здоровью человека».
8. Федеральный закон «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22.07.2008 № 123-ФЗ (последняя редакция).

#### References

1. Brushlinsky N. N., Sokolov S. V., Grigorieva M. P. Analysis of the main fire risks in the world and in Russia // Fire safety. 2017. Vol. 26, No 2. P. 72–80. DOI: 10.18322/PVB. 2017. 26. 02.72-80.
2. Brushlinsky N. N., Ahrens M., Sokolov S. V. et al. World Fire Statistics. Moscow, 2017. 68 p. URL: [http://www.ctif.org/sites/default/files/2019-06/CTIF\\_Report24\\_Persian\\_190530%20%281%29.pdf](http://www.ctif.org/sites/default/files/2019-06/CTIF_Report24_Persian_190530%20%281%29.pdf).
3. Prus Yu. V., Kolesnikova A. R., Klepko E. A. et al. Modeling of structure and dynamics of technogenic and fire risks in sociotechnical systems // Technosphere safety Technologies. 2014. № 4 (56). P. 16.
4. Prus Yu. V., Chistyakova A. A., Rossinskaya K. G. Management of preventive activities based on matrix representation of risks // Technosphere security. 2019. № 4 (25). Pp. 43–50.

5. The labor Market / edited by prof. N. A. Bulanov and prof. N. A. Volgin. 2nd ed., reprint. and add. M., 2003. 480 p.
6. The method of determining the calculated values fire risk in buildings and structures of various classes of functional fire hazard (Annex to the order of EMERCOM of Russia from 31 June 2009, No 382).
7. Resolution of the Government of the Russian Federation from August, 17th, 2007 No 522 "On approval of Rules of determination of severity of harm caused to human health".
8. Federal law "Technical regulations on fire safety requirements" of 22.07.2008 No 123-FZ (latest version).