

Прус М.Ю.

## **Матричное представление техногенных, природных и пожарных рисков**

**Аннотация:** Обосновывается целесообразность перехода к матричной форме представления техногенных, природных и пожарных рисков. Предлагаются формы матричных компонент, представляющих вероятностные параметры и характеристики возможных последствий неблагоприятных событий, позволяющие учитывать эффективность мероприятий по предупреждению, предотвращению угроз и средств защиты от опасных факторов. Обсуждены проблемы адаптации модели к построению систем безопасности и управлению рисками в социотехнических системах.

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

Управление техногенными, природными и пожарными рисками в социотехнических системах требует поиска эффективных способов мониторинга и моделирования, позволяющих с необходимой полнотой выявить совокупность факторов, определяющих, с одной стороны, вероятностные параметры неблагоприятных событий и характеристики возможных последствий (ущерба), с другой.

Разбиение совокупности факторов риска на две группы, одна из которых связана с возникновением опасного явления и подверженностью его неблагоприятному воздействию, а другая – с уязвимостью подвергающихся опасности объектов, предложено авторами [1,2]. Представление риска мультипликатором групп факторов, обусловленных вероятностью реализации опасности, а также условной вероятностью наступления определенного вида последствий позволяет детально исследовать процессы и выявлять причины, связанные с возникновением рисков.

Дальнейшая детализация структуры рисков требует преодоления ограничений, связанных со скалярным представлением риска. Применение более сложного

математического аппарата, предложенного авторами [3] позволяет оперировать не только с последовательностью событий, обуславливающих возникновение факторов риска, но и с результатами их воздействия. На основе векторно-матричного представления рисков возможна детализация как объектов защиты по подверженности воздействию опасным факторам и степени уязвимости, так и совокупности возможных последствий опасных событий по видам ущерба.

Актуализируем основные положения и введем ряд дополнительных элементов модели [3], позволяющих исследовать аспекты рисков, связанные с изменением вероятностных параметров неблагоприятных событий и характеристик возможных последствий (ущерба). Такие изменения обусловлены воздействиями на объект защиты с целью снижения рисков, например, при построении элементов системы безопасности, реализации мероприятий по предупреждению и предотвращению угроз, а также защиты от последствий опасных событий.

Совокупность объектов защиты представляется в виде вектора распределения объектов защиты по кластерам, представляющим подмножества, относящиеся к определенным группам риска:

$$\vec{C} = (c_1, \dots, c_i, \dots, c_n), \quad (1)$$

при этом компоненты вектора  $c_i$  распределения объектов определяются количеством представителей в соответствующем кластере. В случае нормировки компонентов:

$$c_i / \sum_{i=1}^n c_i \quad (2)$$

данный вектор является аналогом вектора состояния системы.

Представим вероятностную составляющую риска, связанную с подверженностью объектов защиты опасному воздействию, диагональной матрицей  $\mathbf{V}$  (от лат. *victima* – жертва), компоненты которой  $v_i$  соответствуют отдельным кластерам  $c_i$  и определяются вероятностными характеристиками подвергнуться опасностям определенного вида:

$$\mathbf{V} = \begin{pmatrix} v_1 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \vdots & v_i & \vdots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & 0 & \dots & v_n \end{pmatrix}. \quad (3)$$

С учетом эффекта от реализации мероприятий по предупреждению и предотвращению угроз компоненты матрицы  $\mathbf{V}$  принимают вид:

$$v_i = (1 - \alpha_i)v_i^0 + \alpha_i v_i^* \quad (4)$$

где  $v_i^0$  и  $v_i^*$  представляют собой, соответственно, вероятности подвергнутся опасностям определенного вида до и после проведения мероприятий по предупреждению и предотвращению угроз, а коэффициент  $\alpha_i$  характеризует степень охвата объектов защиты.

Тогда распределение опасных событий по отдельным кластерам можно представить вектором  $\vec{F}$  (от англ. frequency – частота), компонентами которого являются частотные характеристики соответствующих групп объектов:

$$\begin{aligned} \vec{F} &= (f_1, \dots, f_i, \dots, f_n) = \\ &= \vec{C}\mathbf{V} = (c_1, \dots, c_i, \dots, c_n) \begin{pmatrix} v_1 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \vdots & v_i & \vdots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & 0 & \dots & v_n \end{pmatrix}, \end{aligned} \quad (5)$$

Составляющую риска, отражающую уязвимость объектов защиты, представим прямоугольной матрицей  $\mathbf{S}$  (от англ. sensitivity - чувствительность), компоненты которой характеризуют уязвимости отдельных представителей кластеров  $c_i$  и определяются условными вероятностями  $s_{ij}$  наступления последствий вида  $j$  для объектов защиты из  $c_i$ .

$$\mathbf{S} = \begin{pmatrix} s_{11} & \dots & s_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \dots & \dots & \dots \\ s_{n1} & \dots & s_{nn} \end{pmatrix}, \quad (6)$$

Компоненты уязвимости в значительной степени зависят от наличия совокупности  $L$  средств защиты от опасных факторов и их срабатывания при возникновении опасного события. Обозначим вероятности срабатывания  $K_l$  и отказа  $1 - K_l$  отдельных средств защиты  $l = \{1 \dots L\}$ . Для учета эффективности применения средств защиты в субкомпонентах  $s_{ij}$  введем дополнительно верхние индексы  $E_l$  - булевы переменные, изменяющиеся в зависимости от срабатывания отдельных средств защиты и

представляющие наборы  $\{1, 0\}$  длиной  $L$ . Тогда, при наличии совокупности  $L$  средств защиты компоненты матрицы (6) выражаются как:

$$s_{ij} = \sum_{E_1, \dots, E_L} \left[ s_{ij}^{E_1, \dots, E_L} \prod_{l=1}^L K_l^{E_l} (1 - K_l)^{1-E_l} \right] \quad (7)$$

При неполном охвате объектов средствами защиты введем булевы переменные  $R_i^l$ , изменяющиеся в зависимости от наличия отдельных средств защиты. Тогда, с учетом степени охвата  $\beta_i^l$  объектов отдельными средствами защиты компоненты (7) преобразуются в:

$$s_{ij} = \sum_{E_1, \dots, E_L} \left[ s_{ij}^{E_1, \dots, E_L} \prod_{l=1}^L R_i^l E_l (\beta_i^l)^{R_i^l} (1 - \beta_i^l)^{1-R_i^l} (1 - K_l)^{(1-E_l)R_i^l} K_l^{R_i^l E_l} \right] \quad (8)$$

В соответствии с [3] введем «вектор ожидаемых потерь», компоненты которого характеризуют составляющие ожидаемого ущерба по видам последствий для совокупности объектов защиты:

$$\begin{aligned} \vec{D} &= (d_1 \dots d_m) = \vec{C} \mathbf{V} \mathbf{S} = \vec{F} \mathbf{S} = \\ &= (f_1, \dots, f_i, \dots, f_n) \begin{pmatrix} s_{11} & \dots & s_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \dots & \dots & \dots \\ s_{n1} & \dots & s_{nn} \end{pmatrix}. \end{aligned} \quad (9)$$

Отдельные составляющие ожидаемого ущерба (9) обусловлены композицией наступления отдельных негативных для совокупности объектов защиты из кластера  $c_i$  событий: первое - «объект подвергается опасным факторам», имеющее вероятность  $v_i$ , второе - «возможность наступления негативного последствия  $d_j$  для объекта вследствие наступления опасных факторов» с условной вероятностью  $s_{ij}$ .

Каждая компонента вектора ожидаемых потерь представляет собой сумму ожидаемых потерь вида  $j$  по всем кластерам:

$$d_j = \sum_{i=1}^n c_i v_i s_{ij}. \quad (10)$$

Индивидуальный риск последствий вида  $j$ , усредненный по всем кластерам, определяется отношением соответствующей

компоненты вектора ожидаемых потерь к мощности множества (совокупности) объектов

$$R^j = d_j = \frac{d_j}{\sum_{i=1}^n c_i} = \frac{\sum_{i=1}^n c_i v_i s_{ij}}{\sum_{i=1}^n c_i}. \quad (11)$$

Индивидуальный риск последствий вида  $j$  для представителя выбранного кластера определяется отношением вклада всех представителей кластера в  $d_j$  к его мощности  $\{c_i\}$ :

$$R_i^j = v_i s_{ij} \quad (12)$$

Объединяя вышеуказанные риски, в соответствии с подходом [3], определим вектор индивидуального риска по кластерам

$$\vec{R}_i = (R_i^1, \dots, R_i^j, \dots, R_i^m), \quad (13)$$

а также общего для всей совокупности объектов индивидуального риска:

$$\vec{R} = (R^1, \dots, R^j, \dots, R^m) \quad (14)$$

Рассмотренное выше матричное представление рисков основано на интерпретации компонент матриц  $\mathbf{V}$  и  $\mathbf{S}$ , входящих в основное выражение (9), в соответствии с (4) и (8). Оценка эффективности мероприятий по предупреждению и предотвращению угроз, а также по построению систем защиты от последствий опасных событий складывается из предварительной оценки, в соответствии с (4) и (8), возможного снижения соответствующих компонент матриц  $\mathbf{V}$  и  $\mathbf{S}$ , и дальнейшего определения изменения показателей риска (10)-(14).

Выбор оптимальных решений при обеспечении защиты основан на изучении возможности изменения степеней уязвимости, характеризуемыми соответствующими значениями компонент (8) матрицы  $\mathbf{S}$ , с учетом текущего состояния объектов защиты.

Предлагаемое представление матричных компонент позволяет адаптировать матричные модели техногенных, природных и пожарных рисков к реализации риск-ориентированных подходов управления профилактической деятельностью по обеспечению безопасности населения и иных объектов защиты, а также при проектировании и построении систем обеспечения различных видов безопасности.

Литература:

1. *Брушлинский Н.Н., Соколов С.В.* О статистике пожаров и о пожарных рисках // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2011. — Т. 20. — № 4. — С. 40 — 48.
2. *Брушлинский Н.Н., Соколов С.В., Клепко Е.А., Попков С.Ю., Белов В.А.* Триада «опасность - риск - безопасность» // *Проблемы анализа риска*. — 2013. — Т. 10. — № 4. — С. 42— 49.
3. *Прус Ю.В., Колесникова А.Р., Клепко Е.А., Шаповалов В.М.* Моделирование структуры и динамики техногенных и пожарных рисков в социотехнических системах // *Технологии техносферной безопасности*. — 2014. — № 4 (56). — С. 16.