

Радоцкий В.Ю., канд. техн. наук, доц.,
Ковалева Е.Г., канд. техн. наук, ст. преп.,
Кеменов С.А., доц.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ РИСКА В ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЯХ*

zchs@intbel.ru

Проведен аналитический обзор по проблеме анализа и количественной оценки величины рисков природного, техногенного, экологического и террористического характера в системе высшего профессионального образования.

Ключевые слова: риск, оценка, анализ, методика, население, идентификация, прогнозирование.

Введение. После идентификации опасностей, т.е. выявления принципиально-возможных рисков, необходимо оценить их возможность (вероятность), уровень и последствия. Основным методом анализа рисков является вероятностный метод. На его основе в зависимости от имеющейся исходной информации могут применяться следующие методики оценки рисков [1]:

- статистическая, когда в качестве вероятностей неблагоприятных событий используются их относительные частоты, определяемые по имеющимся статистическим данным;
- теоретико-вероятностная, используемая для оценки рисков от редких событий, по которым статистика практически отсутствует;
- эвристическая, основанная на методе экспертных оценок и применяемая при оценке комплексных рисков, когда отсутствуют не только статистические данные, ни и математические модели.

Методы прогнозирования чрезвычайных ситуаций наиболее развиты применительно к опасным природным явлениям, благодаря функционированию общегосударственной системы мониторинга за предвестниками стихийных бедствий и катастроф. В настоящее время получили развитие следующие подходы к прогнозированию чрезвычайных ситуаций [2]:

1. Вероятностно-статистический подход, основанный на представлении опасных природных явлений при аварии техногенного характера как пуассоновского потока случайных событий;

2. Вероятностно-детерминированный подход основан на выявлении закономерностей развития природных явлений, в частности, их цикличности, что позволяет использовать подход для целей средне- и долгосрочного прогнозирования;

3. Для краткосрочного прогнозирования неблагоприятных природных явлений или аварий на технических объектах используется детерминировано-вероятностный подход (с учетом предвестников и оперативной информации о

развитии природного явления или состоянии технического объекта).

Комплексное применение этих подходов позволяет получить более объективную и точную оценку рисков, что является необходимой предпосылкой принятия обоснованных решений в области безопасности [3].

Количественные методы оценки и прогнозирования рисков впервые были разработаны в области финансов и страхования в связи со стремлением к снижению степени риска и возможных финансовых потерь. В связи с этим под риском чаще всего понимается возможная опасность потерь (прежде всего человеческих, а уже затем материальных), связанных с явлениями природы или спецификой человеческой деятельности. При этом опасность рассматривается как объективно существующая возможность негативного воздействия на общество, личность, окружающую среду, в результате которого им может быть причинен ущерб – человеческий, социальный, экономический, экологический. При оценке размеров ущерба различают прямой, косвенный и полный ущерб [4].

Основная часть. Опасность характеризуется не только вероятностью (относительной частотой) наступления кризисной или чрезвычайной ситуации, но и тяжестью ее последствий. Поэтому простейшая количественная характеристика риска R может быть представлена в виде произведения вероятности P наступления неблагоприятного события на величину ожидаемого ущерба Y [5]:

$$R = P \cdot Y \quad (1)$$

Количественная мера риска (1) согласуется с интуитивным представлением о нем и позволяет разделить процедуру оценки риска на два независимых этапа [6]:

- определение вероятностей неблагоприятных исходов;
- определение сопровождающих эти исходы ущербов.

Более детальная количественная характеристика риска учитывает сложную структуру воз-

действий опасных объектов и различный характер возникающих при этом ущербов в течение заданного времени, например, года:

$$R(t) = \sum_{i,j} P_{ij}^M Y_{ij}^M + \sum_{i,j} P_{ij}^q Y_{ij}^q \quad (2)$$

где P_{ij}^M – вероятность возникновения в течение года j -го имущественного (материального) ущерба Y_{ij}^M (руб./год) в результате воздействия i -го фактора, возникающего во время штатного функционирования опасного объекта или в результате аварий или катастроф; P_{ij}^q , Y_{ij}^q – те же параметры, но относящиеся к человеку, т.е. к потерям здоровья, включая и смертельные случаи.

Если существует опасность наступления n неблагоприятных событий, то расчет риска предлагается вести по формуле:

$$R = \sum_{i=1}^n P_i Y_i \quad (3)$$

где P_i – вероятность наступления i -го события; Y_i – связанный с ним ущерб.

Формулы (2) и (3) просты и удобны для практического использования, но с формальной теоретико-вероятностной точки зрения применимы лишь в случае несовместных поражающих факторов или несовместных неблагоприятных событий. Поскольку в реальных условиях это требование, как правило, не выполняется, рассмотрим алгоритм расчета риска для совместных факторов (событий). Ограничимся рассмотрением трех совместных неблагоприятных исходов с вероятностями p_1 , p_2 и p_3 . Чрезвычайная ситуация может возникнуть в результате наступления одного из исходов при простой их совокупности. При рассмотрении совместного наступления неблагоприятных исходов их вероятности следует умножать, а соответствующие ущербы – складывать.

Таким образом, для R можно получить следующие выражения:

$$R = p_1 q_2 q_3 Y_1 + p_2 q_1 q_3 Y_2 + p_3 q_1 q_2 Y_3 + p_1 p_2 q_3 (Y_1 + Y_2) + p_1 p_3 q_2 (Y_1 + Y_3) + p_2 p_3 q_1 (Y_2 + Y_3) + p_1 p_2 p_3 (Y_1 + Y_2 + Y_3) \quad (4)$$

где $q_i = 1 - p_i$.

Выражение (4) легко обобщается на произвольное число неблагоприятных факторов (исходов).

Необходимой предпосылкой математического описания рисков, возникающих производственной деятельностью, является их общая характеристика и, в частности, классификация.

По причинам, порождающим риски, их можно разделить на террористические, природные (землетрясения, наводнения, подтопления, смерчи, бури и т.д.), техногенные, экологические, социально-экономические и медико-биологические.

С точки зрения анализа рисков и управления безопасностью образовательных учреждений важными являются следующие понятия [7]: индивидуальный риск; потенциальный территориальный риск; социальный риск; коллективный риск, характеризующийся числом погибших и пострадавших в результате возможных чрезвычайных ситуаций; приемлемый риск – уровень риска, с которым общество в целом готово примириться ради получения определенных благ или выгод; неприемлемый риск; пренебрежимый риск – уровень индивидуального риска, не вызывающий беспокойство людей и не приводящий к ухудшению качества жизни населения.

Первичным из рассмотренных выше понятий является понятие индивидуального риска – вероятности (относительной частоты) поражение отдельного индивидуума в результате воздействия определенных факторов опасности:

$$R = P(A) \quad (5)$$

Индивидуальный риск измеряется вероятностью гибели одного человека в течение года. Величина наиболее часто встречающихся рисков составляет $\sim 10^{-4}$ чел./год. Оценки индивидуального риска сильно зависят от исходных данных. Уровень приемлемого индивидуального риска законодательно закреплен лишь в некоторых странах (например, в Голландии – 10^{-6} чел./год).

Коллективный риск, определяющий масштаб возможных последствий чрезвычайных ситуаций, вычисляется по формуле:

$$R = P(A) \cdot N \quad (6)$$

где N – общее количество людей, подвергающихся опасному воздействию.

Если учебное заведение находится вблизи опасного промышленного объекта или в зоне повышенного техногенного загрязнения окружающей среды, то необходимо рассматривать потенциальный территориальный риск, который выражается в виде полей рисков смерти или рисков заболеваний:

$$R = P(x, y) \quad (7)$$

где x, y – декартовы координаты.

Потенциальный территориальный риск представляет собой индивидуальный риск в каждой точке некоторой территории (местности).

Социальный риск представляет собой количественную зависимость вероятности (относительной частоты) чрезвычайных событий от числа смертельно травмированных или пострадавших людей ($F-N$ зависимость или кривая). Социальный риск позволяет оценить опасность природных, техногенных и других чрезвычайных ситуаций для населения данной территории.

Особенностью экологического риска является его неравномерное распределение по территории, подвергшейся воздействию вредных факторов. Кроме того, загрязнение окружающей среды может зависеть от времени. Рассмотрим две крайние возможности этой зависимости: кратковременное воздействие сильнодействующего фактора и длительное многолетнее воздействие вредных факторов малой интенсивности [8].

При залповом выбросе вредного вещества риск поражения населения зависит не только от мощности выброса, но и от метеорологического состояния атмосферы, рельефа местности, структуры и плотности застройки.

При количественной оценке величины переносимых выше рисков следует отдельно рассматривать различные группы населения, выделяя их по половозрастному, профессиональному и другим признакам.

Сбор и обработка необходимых для этого больших массивов статистических данных должны проводиться с использованием специальных информационных технологий на базе современной вычислительной техники.

Общая схема количественного анализа риска включает в себя следующие пункты [9]: обоснование необходимости анализа данного риска; идентификация потенциальных опасностей и классификация нежелательных и чрезвычайных событий; определение вероятности (относительной частоты) чрезвычайных событий; определение параметров возможных выбросов вредных веществ и выделений энергии: интенсивность, продолжительности, общих количеств и т.д.; определение признаков и количественных критериев поражения, назначение допустимых уровней разовых и продолжительных (систематических) воздействий на человека и окружающую среду; обоснование физико-математических моделей и разработка на их основе методик расчета переноса, распространения и рассеивания исходных факторов опасности с учетом метеорологической обстановки, рельефа местности и других особенностей; расчет и построение полей потенциальных рисков для всех выделенных источников опасности; исследование влияния различных факторов на уровень и пространственно-временное распре-

деление риска вокруг потенциальных источников опасности; расчет прямых и косвенных последствий (ущербов) всех источников опасности на различные субъекты и группы риска; разработка и оптимизация проведения организационно-технических мероприятий по снижению риска до приемлемого уровня.

Важнейшим элементом анализа риска является оценка вероятностей и повторяемости неблагоприятных событий. В основе таких оценок лежит подтверждаемое практикой предположение о пуассоновском характере потока неблагоприятных событий: вероятность $P(k,t)$ наступления k неблагоприятных событий за время t определяется законом Пуассона:

$$P(k,t) = \frac{(It)^k \exp(-It)}{k!} \quad (8)$$

где I – интенсивность потока неблагоприятных событий, т.е. среднее число событий, происходящих за единицу времени, в которых измеряется время t .

В частности, функция риска, равная вероятности наступления хотя бы одного неблагоприятного события за время t , определяется так:

$$H(t) = 1 - P(0,t) = 1 - \exp(-It) \quad (9)$$

Вывод. На основе изложенных соображений научно-методические подходы к оценке риска, по мнению авторов, должны получить дальнейшее развитие и совершенствование. Основные направления этого развития и совершенствования прежде всего видятся в разработке расчетных процедур с использованием современных информационных технологий.

**Работа выполнена в рамках Программы стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова на 2012–2016 годы.*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Елохин А.Н. Анализ и управление риском: Теория и практика. М.: Лукойл, 2000. 185 с.
2. Оценка и управление природными рисками // Материалы общероссийской конференции «Риск 2000». М.: Анкил, 2000. 478 с.
3. Шаптала В.Г., Ковалева Е.Г., Ветрова Ю.В. Анализ риска в системе управления безопасностью образовательных учреждений // Сборник «Наука и современность. Международная научно-практическая конференция. 2015. С 8–12.
4. Егоров Д.Е., Радоуцкий В.Ю., Шаптала В.Г. Оптимизация распределения средств на предупреждение чрезвычайных ситуаций в

высших учебных заведениях // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. №3. С. 91–93

5. Шаптала В.Г., Радоуцкий В.Ю., Ветрова Ю.В. Системы управления рисками чрезвычайных ситуаций. Монография. Белгород, 2010. 164 с.

6. Павленко А. В., Ковалева Е.Г., Радоуцкий В.Ю. Анализ подходов к оценке риска // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2015. №3. С. 106–109.

7. Владимиров В.А., Измалков А.В. Оценка риска и управление техногенной безопасностью. М.: «Деловой экспресс», 2002. 183с.

8. Быков А.А. Оценка и сравнительный анализ риска для здоровья населения от загрязнения окружающей среды в городах России // Вопросы анализа риска. Т. 1. 1999. № 2–4. С. 28–79.

9. Акимов В.А. Основы анализа и управления риском в природной и техногенных сферах. Уч. пос. для ВУЗов МЧС России. М.: ФИД «Деловой экспресс», 2004. 352 с.

Radoutsky V.Yu., Kovaleva E.G., Kemenov S.A.

THE MATHEMATICAL DESCRIPTION OF RISK IN HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS

The analytical summary on the question of analysis and quantitative evaluation of the natural, technology-related, environmental and terrorist risks level in higher professional education system has been carried out.

Key words: *risk, assessment, analysis, methodology, population, identification, forecasting*

Радоуцкий Владимир Юрьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры защиты в чрезвычайных ситуациях.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: zchs@intbel.ru

Ковалева Екатерина Геннадьевна, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры защиты в чрезвычайных ситуациях.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: zchs@intbel.ru

Кеменов Сергей Анатольевич, доцент кафедры защиты в чрезвычайных ситуациях.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: zchs@intbel.ru