

Метод оценки рисков системы из разнотипных элементов

Валентин А. Гапанович, ОАО «Российские железные дороги», Москва, Россия
Игорь Б. Шубинский, ЗАО «ИБТранс», Москва, Россия, e-mail: igor-shubinsky@yandex.ru
Алексей М. Замышляев, ОАО «НИИАС», Москва, Россия, e-mail: A.Zamyshlaev@vniias.ru



Валентин А.
Гапанович



Игорь Б.
Шубинский



Алексей М.
Замышляев

Резюме. Мерой безопасности объекта системы может служить величина его риска, который основывается на рисках составных факторов (элементов) объекта. Определение интегрального риска объекта и системы в целом является центральной задачей данной статьи. Она заключается в следующем. Суммирование рисков всех элементов не приемлемо, поскольку, например, они могут иметь разное измерение (количество смертельных исходов в течение определенного времени – социальный риск или стоимость потерь – экономический риск). Нужен другой методический инструмент, который способен преобразовать различные меры безопасности объектов (элементов) к некоторой единой интегральной мере риска системы. Подобные задачи возникают в медицине, пищевой промышленности, на транспорте и т.д. В статье предложен метод определения интегрального риска системы, основанный на обработке общего поля результатов принятия решений об уровне рисков составных компонентов системы. Результаты принятия решения основываются на принципе ALARP. Каждый из этих результатов представляет собой одно из нескольких следующих возможных решений, например, четырех: недопустимый уровень риска, нежелательный уровень, допустимый, не принимаемый в расчет уровень риска. Оцифровка этих решений составных элементов с учетом нелинейного роста опасности приближения риска к недопустимому уровню производится с помощью степенной функции. Это позволяет определить численное значение эквивалентное эквивалентное уровню риска результирующее численное значение и решить обратную задачу определения интегрального риска системы. В статье приведен пример использования предложенного метода при решении задачи установления приоритетности выделения инвестиций для проведения работ по техническому содержанию железнодорожного пути. Эта задача сводится к ранжированию перечня участков пути по приоритету их включения в титул капитального ремонта в зависимости от уровня рисков следующих факторов: количество острodefектных и дефектных рельсов на 1 км. пути; количество дефектных скреплений на 1 км. пути; количество шпал с выплесками на 1 км. пути; количество негодных деревянных шпал на 1 км. пути; приведенное количество мест временного восстановления; дефектность земляного полотна; частота отказов. На основании построенных матриц рисков относительно каждого из перечисленных факторов по предложенному методу формируется интегральная матрица рисков для перечня участков и на основании интегральной оценки каждому участку присваивается приоритет для его включения в титул капитального ремонта пути. Приведенный пример свидетельствует об эффективности и практичности предложенного метода.

Ключевые слова: безопасность, риск, оценивание риска, матрица рисков, цвет риска, оцифровка цвета риска, вес цвета, элемент, система, интегральная оценка риска системы.

Формат цитирования: Гапанович В.А., Шубинский И.Б., Замышляев А.М. Метод оценки рисков системы из разнотипных элементов // Надежность. 2016, №2, С. 49-53. DOI: 10.21683/1729-2640-2016-16-2-49-53

Введение

При управлении активами во многих отраслях промышленности и транспорта стремятся в соответствии со стандартами ISO серии 55000 [1] установить баланс между затратами, возможностями, рисками и требуемой производительностью активов. Например, на железнодорожном транспорте в рамках реализации проекта УРРАН [2, 3] предусмотрено последовательное применение критериев обеспечения безопасности, технической и экономической целесообразности при

принятии решений о замене (проведении ремонта) или продлении срока службы системы. Реализация такого алгоритма управления техническим содержанием железнодорожного транспорта осуществляется в два этапа. На первом этапе на основе обработки текущих фактических данных производится анализ возможностей, безопасности, надежности и производительности системы и принимается решение о целесообразности (или нецелесообразности) инвестирования работ по техническому содержанию. В случае решения о целесообразности выполняется второй этап управления,

который состоит в определении наиболее проблемных с позиций безопасности объектов системы, требующих первоочередного инвестирования.

Мерой безопасности объекта системы может служить величина связанного с ним риска, который основывается на рисках составных факторов (элементов) объекта. Определение интегрального риска для объекта и системы в целом является центральной задачей данной статьи. Она заключается в следующем. Суммирование рисков всех элементов не приемлемо, поскольку, например, они могут иметь разное измерение (количество смертельных исходов в течение определенного времени – социальный риск или стоимость потерь – экономический риск). Нужен другой методический инструмент, который способен преобразовать различные меры безопасности объектов (элементов) к некоторой единой интегральной мере системы. Подобные задачи возникают в медицине, пищевой промышленности, на транспорте и т.д.

Постановка задачи

Пусть система A состоит в общем случае из конечного множества разнотипных элементов $A = \{a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_j, \dots, a_k\}$. При этом не исключается возможность эквивалентности между собой отдельных составных элементов $a_i \Leftrightarrow a_j$. Безопасная работа каждого элемента системы оценивается определенной величиной риска $a_i \rightarrow R_i$. Под риском понимается сочетание частоты (вероятности) опасного события и ущерба от него $R = F \cdot C$ [4]. Для наглядности представления метода ограничимся частным случаем определения риска в виде $R = F \cdot C$. Риски формализованы с помощью инструмента матрицы рисков. Математические основы построения матрицы рисков приведены в работах [5, 6]. В общем случае матрица

рисков содержит m строк и n столбцов. Каждая строка соответствует определенной частоте возникновения опасного события f_1, f_2, \dots, f_m . Столбцы соответствуют возможным ущербам c_1, c_2, \dots, c_n . Мера ущерба зависит от объекта исследования. Это может быть цена (относительно экономических, технических или техногенных рисков), летальный исход применительно к социальным рискам, количество негативных последствий или негативных проявлений опасного события (относительно моральных рисков) и др.

Предполагается, что частоты возникновения опасных событий и ущербы от них оценены по апостериорным данным. Это позволяет на пересечении соответствующих строк и столбцов определять риски нарушения безопасности всех элементов системы. Риски для разнотипных элементов между собой не равны, например $R_1 \neq R_i$ (у эквивалентных элементов риски равны $R_i = R_j$). Оценивание риска производится на основе принципа ALARP (Риск настолько низок, насколько это практически разумно) [4]. Этот принцип предполагает четыре уровня оценивания (рисунок 1): два однозначных и два промежуточных.

К однозначным относятся уровни оценивания *недопустимого риска* (выше красной полосы на рисунке 1) и *пренебрежимо малого риска* (ниже зеленой полосы на рисунке 1). Области этих рисков принято закрашивать красным и зеленым цветами соответственно. К промежуточным относятся уровни оценивания, расположенные в области ALARP. Выше прерывистой линии расположен уровень *нежелательного риска*. Область этого риска принято закрашивать оранжевым цветом. Ниже прерывистой линии расположен уровень *допустимого риска*. Область этого риска принято закрашивать желтым цветом.

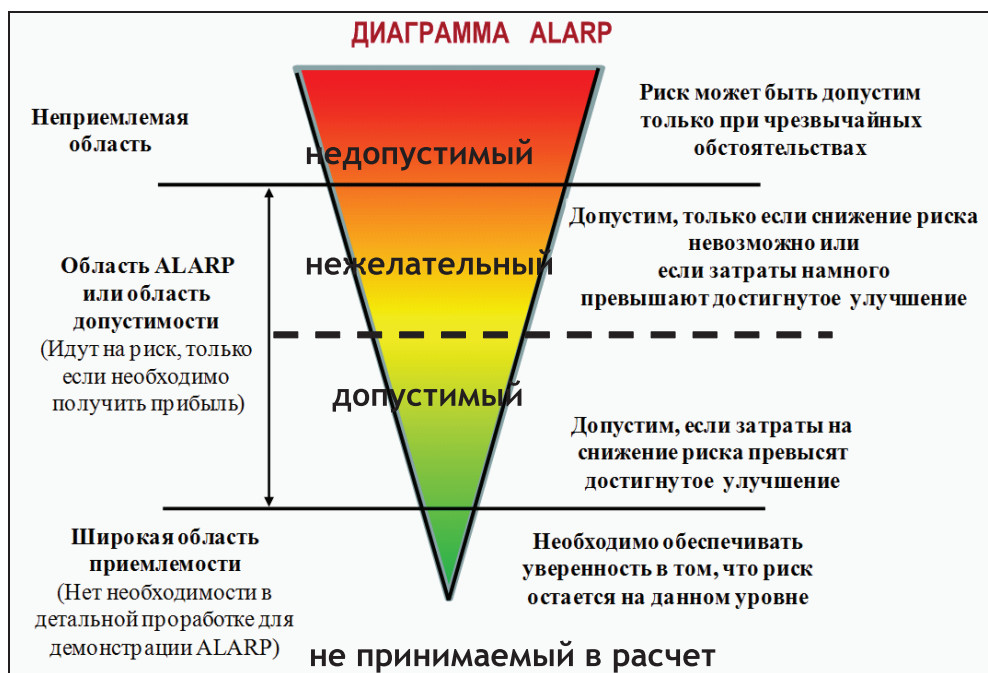


Рис. 1. Оценивание риска на основе принципа ALARP

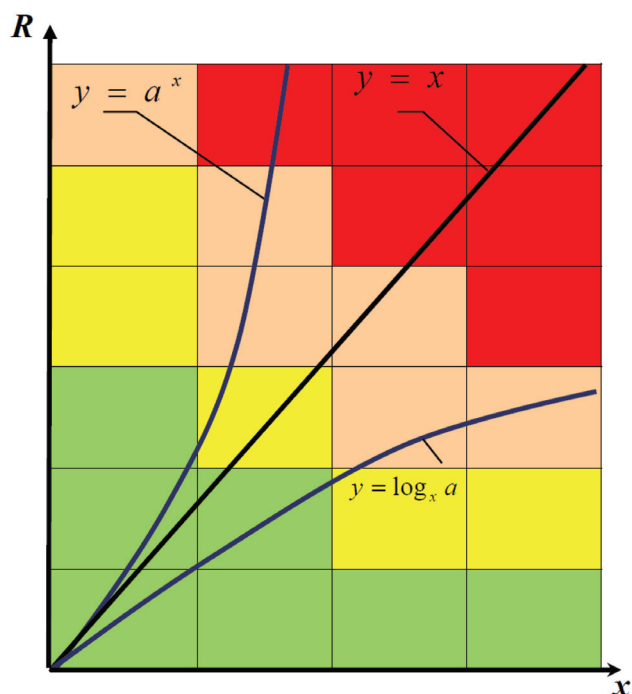


Рис. 2. Функции значимости решений об уровне риска (концептуальное представление)

Задача заключается в оценке уровня риска системы по результатам оценки рисков составных разнотипных элементов. Предполагается, что риски элементов системы взаимно независимы.

Оценка рисков системы

Во многих случаях исследуемая система состоит из разнотипных объектов, которые различаются шкалами ущербов и видами рисков (например, технологический или социальный). Теперь нельзя суммировать риски составных объектов так же, как и нельзя формировать общую шкалу ущерба. Чтобы оценить риск системы по совокупности рисков составных разнотипных элементов необходимо иметь хотя бы одну общую меру для всех рисков. Если рассматривать риски относительно шкал измерений f и c , то эта общая мера отсутствует. Мера ущерба может быть различной. Это также относится и к частотам возникновения опасных событий, которые у элементов a_i и a_j могут многократно различаться. Однако при внимательном рассмотрении построенных матриц рисков элементов системы обнаруживаем общую меру оценки рисков, которая содержится в уровнях принятия решений.

В соответствие с принципом ALARP всего имеется четыре уровня опасности рисков. Общим полем для объединения результатов являются цвета решений (уровни рисков) по каждому из объектов. В порядке повышения их значимости эти уровни отображаются зеленым, желтым, оранжевым и, наконец, красным цветом. Зеленый цвет решения означает, что риск настолько незначителен, что может не приниматься в рас-

чет. Функция значимости в зеленых клетках матрицы должна иметь малые значения (от нуля до некоторой незначительной величины). Вместе с тем оранжевый, особенно красный цвет означают высшую степень опасности и функция значимости в этих клетках матрицы должна иметь максимально высокие значения. Возможны три стратегии построения функций значимости решения об уровне риска в соответствии с принятыми цветами: 1 – линейная; 2 – степенная; 3 – логарифмическая. На рисунке 2 функции значимости представлены концептуально.

Стратегия 1 характеризует безразличное отношение к изменению значимости цвета решения.

Ответственному отношению к изменению значимости цвета решения соответствует стратегия 2.

Стратегию 3 построения функции значимости следует рассматривать как безответственное отношение к принятому решению об уровне риска объекта, поскольку в этом случае функция значимости нивелирует степень опасности красного цвета, который отражает недопустимый уровень риска.

Таким образом, для оцифровки результатов оценки рисков объектов, выраженных одним из четырех указанных цветов, целесообразно применять степенную функцию (рисунок 2). Вместе с тем, степень функции значимости, соответствующей одному из четырех цветов, принимает только целочисленные значения. Поэтому и сама степенная функция значимости должна иметь ступенчатый характер с основанием $a > 1$ (например, $a = 1, 1; 1, 5; 2; 3; \dots$).

На рисунке 3 показаны ступенчатые функции значимости с указанными выше основаниями при четырех целочисленных значениях степени функции ($n = 0, 1, 2, 3$).

Ступенчатые функции с основанием $1 \leq a < 2$ не обеспечивают высокой чувствительности к изменению значимости цвета решения (рисунок 4), особенно в области высоких уровней риска. Вместе с тем, при основании $a > 2$ имеет место неоправданно высокая чувствительность к нежелательному и особенно к недопустимому уровню риска и практически пренебрежение значимостью допустимого уровня риска (рисунок 3). Компромиссное решение состоит в выборе основания 2 ступенчатой функции значимости цветов решений об уровне риска.

Вес цвета в общем случае определяется по формуле (1)

$$w_n = \frac{m_n}{\sum_{n=0}^3 m_n} \quad (1)$$

где оцифрованное значение цвета уровня риска, например *не принимаемого в расчет* (показан на рисунке 3 зеленым цветом), с функцией значимости $m_n = 2^n$ равно: $m_0 = 2^0 = 1$.

Интегральная оценка риска системы может быть вычислена по формуле (2)

$$R = \frac{\sum_{n=0}^3 k_n m_n w_n}{\sum_{n=0}^3 k_n m_n}, \quad (2)$$

где k_n – количество элементов системы с уровнем риска n -й цветности;

m_n – функция значимости цветности риска;

w_n – вес цвета риска.

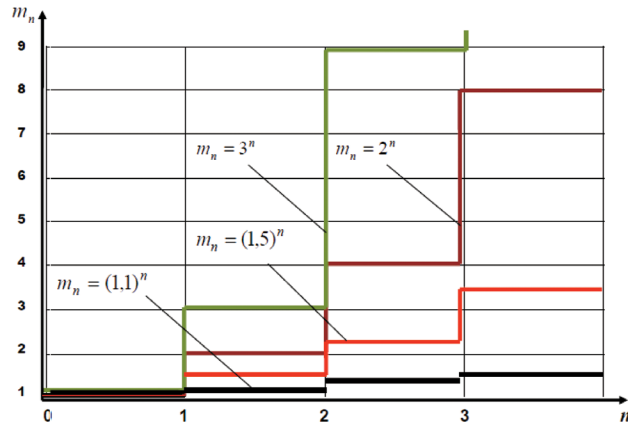


Рис.3. Ступенчатые функции значимости цветов решений об уровне риска

Веса цветов типовых ячеек матрицы рисков, а также значения оценки решений об интегральном риске сведены в таблицу 1.

Таблица 1

	Индекс, n	Оцифрованное значение, m_n	Вес цвета, w_n	Значения оценки решения об интегральном риске
	0	1	0,067	$w_0=R$
	1	2	0,133	$w_1 \leq R < w_2$
	2	4	0,266	$w_2 \leq R < w_3$
	3	8	0,533	$W_3=R$

В рамках каждого из второго и третьего уровней риска ранжирование интегральных рисков производится по линейному закону в порядке их возрастания.

Пример

Рассмотрим назначение работ по техническому содержанию железнодорожного пути. Алгоритм назначения работ условно можно разделить на два блока.

В первом блоке с помощью логических неравенств производится сравнение фактических и контрольных значений следующих показателей: скорость движения пассажирских поездов; скорость движения грузовых поездов; прямые расходы на текущее содержание 1 км пути; пропущенный тоннаж, млн. т. брутто; остаточный ресурс железнодорожного пути.

Таким образом, в первом блоке анализируются такие параметры, как группа пути, категория пути, класс пути, пропущенный тоннаж после капитального ремонта, оценка остаточного ресурса железнодорожного пути. Для различных групп в зависимости от типа подрельсового основания, фактического состояния верхнего строения пути и искусственных сооружений устанавливаются скорости движения для грузовых и пассажирских поездов. Проводится проверка на инфраструктурные ограничения. Анализируются фактические прямые расходы на текущее содержание 1 км пути с учетом стоимости устранения отказов на 1 км пути, стоимости задержки поезда по причине отказа, данных о заработной плате монтеров пути, стоимости материалов и стоимости работы машин. Прочие затраты были признаны условно-постоянными или несущественными и не принимаются в расчет.

В результате анализа устанавливаются причины ограничений по скоростям движения грузовых и пассажирских поездов вследствие неудовлетворительного состояния искусственных сооружений, земляного полотна и другим элементам пути, требующим капитального ремонта. При принятии решения о невозможности пересмотра проектных скоростей в сторону снижения формируется заявка на инвестиции и осуществляется переход ко второму блоку алгоритма.

В случае положительного выполнения всех логических неравенств происходит завершение алгоритма, назначается текущее техническое содержание, переход ко второму блоку не осуществляется.

Второй блок алгоритма представляет собой семейство матриц рисков для ранжирования перечня участков пути по приоритету их включения в титул капитального ремонта в зависимости от уровня рисков следующих факторов:

- 1 – количество острodefектных и дефектных рельсов на 1 км пути;
- 2 – количество дефектных скреплений на 1 км пути;
- 3 – количество шпал с выплесками на 1 км пути;
- 4 – количество негодных деревянных шпал на 1 км пути;
- 5 – приведенное количество мест временного восстановления;
- 6 – частота отказов;
- 7 – дефектность земляного полотна.

На основании построенных матриц рисков по изложенному выше методу формируется интегральная матрица рисков (рисунок 4) для перечня участков и на основании интегральной оценки каждому участку

присваивается приоритет для его включения в титул капитального ремонта пути.

Условный номер фактора	Участок 1	Участок 2	Участок 3	Участок 4
1	0,13	0,53	0,13	0,07
2	0,53	0,13	0,13	0,07
3	0,07	0,27	0,07	0,13
4	0,13	0,27	0,27	0,07
5	0,27	0,53	0,13	0,07
6	0,27	0,13	0,07	0,07
7	0,07	0,53	0,13	0,07
Среднее значение по участку	0,32	0,43	0,14	0,09
Приоритет	2	1	3	4

Рис.4. Интегральная матрица рисков

В данном примере оценка интегральных рисков произведена для четырех участков пути. Несмотря на сравнительно низкий риск нарушения движения поездов из-за отказов пути (фактор 6), остаются проблемными для участка 2 пути риски, связанные с острodefектными и дефектными рельсами (фактор 1), дефектность земляного полотна (фактор 7) и приведенное количество мест временного восстановления (фактор 5) и для участка 1 проблемным является фактор 1 (риск, связанный с дефектными скреплениями). Оценка интегральных рисков показала, что для первых трех участков они имеют нежелательный уровень, а интегральный риск четвертого участка близок к уровню, который может не приниматься в расчет. Ранжирование рисков первых трех участков показывает, что приоритет инвестирования следует отдать второму участку, затем первому и только после этого может быть следует инвестировать работы по техническому содержанию третьего участка, если такая возможность будет, поскольку интегральный риск третьего участка близок к допустимому уровню.

Заключение

Безопасность технических систем целесообразно и удобно оценивать с помощью рисков. На практике широко применяется принцип ALARP, который позволяет оценить разумность и достаточность экономических затрат на снижение рисков нарушения безопасности системы. Удобным инструментом для реализации этого

принципа и для поддержки принятия решения является матрица рисков. Матрица рисков строится для каждого элемента системы. В системе, как правило, элементы разнотипны – частота негативных событий может иметь различные шкалы, а последствия могут определяться разными физическими величинами. Это не позволяет аддитивным путем объединять риски элементов для определения интегрального риска системы. В статье предложен метод определения интегрального риска системы, основанный на обработке общего поля рисков элементов системы – поля результатов принятых решений по рискам, выраженных цветами. Оцифровка цветов рисков составных элементов с учетом нелинейного роста опасности приближения риска к недопустимому уровню позволяет определить их значимость и затем уровень интегрального риска системы. Приведенный пример свидетельствует об эффективности и простоте применения предложенного метода.

Метод может найти применение в других приложениях, например, в медицине, при оценках интегральных рисков в пищевой промышленности, при оценках комплексной эффективности сложных технических систем и т.д.

Библиографический список

- ГОСТ Р 55.0.00-2014. Управление активами [Текст].-Введ.2015-04-01. – М.: Стандартинформ, 2015. – 230 с.
- Гапанович В.А., Шубинский И.Б., Замышляев А.М. Построение и использование матриц рисков в системе управления рисками на железнодорожном транспорте // Надежность, – 2011. – №4. – с. 56-68.
- Гапанович В.А., Замышляев А.М., Шубинский И.Б. Некоторые вопросы управления ресурсами и рисками на железнодорожном транспорте на основе состояния эксплуатационной надежности и безопасности объектов и процессов (проект УРРАН) // Надежность, – 2011. – №1. – с. 2-8.
- ГОСТ Р 54505-2011. Безопасность функциональная. Управление рисками на железнодорожном транспорте [Текст]/- Введ.2012-08-01. – М.: Стандартинформ, 2012.-40с
- Новожилов Е.О. Принципы построения матрицы рисков // Надежность, – 2015, – №3. – с. 73-79.

Сведения об авторах

Валентин А. Гапанович – кандидат технических наук, старший вице – президент ОАО «РЖД», главный инженер, Москва, Россия, тел. +7 (495) 262-16-43.

Игорь Б. Шубинский – доктор технических наук, профессор, директор ЗАО «ИБ Транс», Москва, Россия, тел. (495) 786-68-57, e-mail: igor-shubinsky@yandex.ru

Алексей М. Замышляев – доктор технических наук, заместитель Генерального директора ОАО «НИИАС», Москва, Россия, тел. +7 (495) 967-77-02, e-mail: A.Zamyshlaev@vniias.ru