

Рак Я., д.т.н., завідувач кафедри охорони середовища Жешувського політехнічного університету, м. Жешув, Польща

Тхужевська-Цесляк Б., к.т.н., доцент кафедри охорони середовища Жешувського політехнічного університету, м. Жешув, Польща

Калда Г., д.т.н., професор кафедри охорони середовища Жешувського політехнічного університету, м. Жешув, Польща

РИСК КАК МЕРА БЕЗОПАСНОСТИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Проведен анализ методов определения риска. Рассмотрены категории риска, уровни риска. Рассчитаны трех-, четырех- и пятипараметрные матрицы при оценке риска.

Paper represents analysis of methods for risk assessment. Risk categories and rates are studied. Risk assessment involved calculation by three-, four- and five parametric matrixes.

Введение

С начала 90-х годов прошлого столетия, после прошедшего в г. Колонии (ФРГ) I Конгресса Науки о Безопасности Окружающей Среды, в значительной мере возрос интерес этой тематики в теории инженерии окружающей среды. В Польше были изданы монографии, связанные с безопасностью и риском систем качества снабжения воды (SZW) [5, 6]. Появились такие новые понятия, связанные с теорией риска в инженерии окружающей среды, как:

- азарт – понятие ситуации, которая может спровоцировать потерю здоровья и даже может быть смертельной для человека;
- риск – понятие, которое может служить мерой угрозы, выражающей степень вреда азарта и вероятность его происшествия;
- интегральность защиты – понятие, которое объясняет вероятность правильного решения функций, связанных с безопасностью перед элементом, за который несет ответственность.

Согласно “Справочника польского языка” риск можно объяснить как “понятие о неизвестных или проблемных причинах опасностей, о возможности негативных причин, вероятности того, что что-то не получится”. Близкими понятиями риска могут быть понятия опасности и угрозы.

Осмысление риска человеком идет с давних

времен. Ранее понятие риска было связано с использованием транспорта и торговлей. На Ближнем Востоке в XIX веке функционировали условия между перевозчиками товаров, которые обязывали покрывать потери, связанные с утратой животных или товара при переходе караваном пустыни. В то время люди уже искали различные способы обеспечения своей безопасности. За организацию охраны и уменьшение степени риска торговцы должны были отдавать часть своего товара охранявшим их людям. Целью таких операций была минимализация потерь товаров при их перевозке.

Директива Совета Европейского Союза 98/83/ЕС от 3 ноября 1998 г. “О качестве потребляемой людьми воды” постановляет, что необходимо принимать всевозможные меры для уменьшения риска химического и микробиологического загрязнения потребляемой воды [1, 2, 4]. В шестом пункте Директивы утверждается, что необходимо уменьшить степень риска загрязнения потребляемой людьми воды, а в восьмом пункте говорится об обязательном анализе риска для здоровья людей в случае несоответствия параметров качества воды.

Результаты анализа риска

Существует два способа определения риска. Первый способ заключается в определении

ожидаемого риска. В случае использования второго способа определения риска рассчитывается изменение возможных причин проявления риска. По второму способу определяется вероятность образования потерь. Далее определяется величина риска с расчетом возможных потерь. В конечном итоге определяется риск как произведение вероятности происшедшего нежелательного случая и количества спровоцированных этим потерь [3].

При анализе риска должно быть использовано историческое видение эксплуатации данной системы, а также аналитические методы и опыт. В большинстве случаев часть анализа риска является анализом человеческого фактора. Следует помнить, что ни в одном случае невозможно полностью исключить вероятность риска, можно только довести его до минимальной

Что плохое может произойти? → Как часто может случиться угроза? → Какие могут быть негативные последствия? → Оценка риска? → Какова экономическая сторона риска? → Как можно ограничить риск?

Рис. 1. Сущность риска

Расчет уровня риска может быть проведен по отношению к нескольким порогам. Следует далее определить риск надежности функционирования $r(ZF)$ или риск надежности безопасности $r(ZB)$. Обязательным при этом должно быть условие, что:

$$r \leq r_{dop}, \tag{1}$$

где r_{dop} – допустимый уровень риска.

Методы оценки безопасности и риска

Ненадежность функционирования (NF) системы снабжения водой определяется как вероятность выполнения требований к качеству воды в любой момент времени. Тогда необходимо использовать коэффициент готовности K . При определенном временном моменте необходимо оперировать функцией надежности $R(t)$ при данных условиях эксплуатации [6].

Надежность безопасности (NB) функционирования SZW является вероятностью, которую можно записать следующей формулой:

$$NB = NF + ZF/(C=0). \tag{2}$$

Потери безопасности ZB определяются формулой:

$$ZB = 1 - NB, \tag{3}$$

где $ZF/(C=0)$ – вероятность ненадежности функционирования происшествия при условии, что нет большого экономического ущерба или угрозы жизни и здоровью людей; ZB – ненадежность

безопасности, идентифицированная с вероятностью, связанной с риском потери безопасности; ZF – ненадежность функционирования, идентифицированная с вероятностью, связанной с риском ненадежности:

$$ZF = 1 - NF. \tag{4}$$

Методика науки о безопасности делится на две аналитические группы [5]:

1. Инструменты качественного анализа риска (JAR). К этой методике относится анализ видов и последствий повреждений, стадии подвержения риску, анализ последствий повреждений и ошибок или анализ структуры безопасности. Примером может быть так называемый метод экспертов оценки риска. Оценка риска определяет направление к цели группы экспертов из разных специальностей науки. Такой метод является субъективным, и он опирается на исторические факты, практические результаты, опыт и интуицию. В большинстве случаев этот метод очень эффективен и ценен, в особенности в совокупности с другими методами оценки риска.

2. Инструменты количественного анализа риска (IAR). К данной методике относится анализ ошибок и повреждений, а также такие методы, как, например, метод Монте-Карло.

Можно также утверждать, что существует связь между мерой риска и мерой надежности и угрозы [5]:

$$(мера риска) = (мера надежности) \times (мера угрозы). \tag{5}$$

Различаются два основных метода анализа риска [3, 6, 7, 8]:

а) Детерминистический метод. Этот метод

связан с оценкой негативных последствий возможных аварийных ситуаций. Характер оценки в данном случае детерминистический и основан на анализе аварийного сценария. Проводят мониторинг возможной аварии и изучают все варианты по устранению как самой аварии, так и последствий произошедшей аварии. Например, в случае выброса токсических веществ оценивается расстояние, на которое распространяется смертельная для человека концентрация этих веществ. Анализируются возможные места, где смертность может составить 1% от общего количества населения. При использовании этого метода оценки используется понятие “первая смертельная жертва”.

б) Свойственный метод. Данный метод заключается в классическом определении риска и базируется на количестве негативных последствий или вероятности их происшествия. Подразделяется на две подгруппы:

- свойственная оценка риска;
- свойственная оценка безопасности.

В случае оценки вероятности различных сценариев серьезной аварии можно использовать анализ дерева происшествия. Появление чрезвычайного случая определяет уровень угрозы, которому подчинен определенный потенциал опасности. Данная опасность приводит к аварии и экономическим потерям, связанным с этой аварией, а также к угрозе здоровью и даже смерти людей. Описание допустимого уровня риска основано на внедрении соответственных категорий риска или описанию им соответственных критериев. Наиболее часто встречается трехуровневая шкала риска, для которой каждый уровень в зависимости от индивидуальных свойств имеет свои критерии:

- риск допустимый;
- риск контролируемый;
- риск нежелательный.

С математической точки зрения обязательно наступает следующий критерий риска:

$$r = P \cdot C, \quad (6)$$

где P – мера надежности функционирования системы, которая отвечает категории частота – вероятность; C – мера последствий, которая

отвечает категории причин и меры ущерба и определяется финансово.

Наиболее совершенной формой оценки риска является трехпараметровая матрица риска. Параметрами являются частота возможности угрозы (P), последствия угрозы (C) и экспозиция угрозы (E). Экспозицию угрозы следует в данном случае связывать с частотой использования водопровода как источника воды для потребления населением. Количественная оценка риска в таком случае может быть описана следующим образом:

$$r = P \cdot C \cdot E. \quad (7)$$

Можно принять следующую шкалу и соотношения рассматриваемых параметров:

- шкала частоты угрозы “ P ”:
 - случай абсолютно невозможный (1 раз на 100 лет); соотношение 0,1;
 - случай единично возможный (1 раз на 20 лет); соотношение 1,0;
 - случай маловероятный (1 раз на 10 лет); соотношение 2,0;
 - случай вполне вероятный (1 раз на год); соотношение 5,0;
 - случай абсолютно возможный (10 раз на год); соотношение 10,0;
- шкала последствий угрозы “ C ”:
 - малые потери до 5×10^3 Евро; соотношение 1,0;
 - средние потери от 5×10^3 до 5×10^4 Евро; соотношение 3,0;
 - большие потери от 5×10^4 до 10^5 Евро; соотношение 7,0;
 - очень большие потери от 10^5 до 10^6 Евро; соотношение 15,0;
 - серьезная катастрофа, потери выше 10^6 Евро; соотношение 50,0.
- шкала экспозиции опасности “ E ”:
 - опасность незначительная, 1 раз в год или реже; соотношение 0,5;
 - минимальная опасность; несколько раз в год; соотношение 1,0;
 - случайная опасность; несколько раз в месяц; соотношение 2,0;
 - частая опасность; несколько раз в неделю; соотношение 5,0;
 - опасность постоянная, соотношение 10,0.

Таблица 1

Категории риска

Класс	Шкала описания	Количественная оценка	Уровень риска
1	очень малая	$0,05 < r \leq 5$	Допустимый
2	малая	$5 < r \leq 50$	Контролируемый
3	средняя	$50 < r \leq 200$	
4	большая	$200 < r \leq 400$	Нежелательный
5	очень большая	$400 < r \leq 5000$	

Определенная таким способом количественная оценка риска находится в границах от $0,05$ до 5×10^3 . В таблице 1 показаны уровни риска по пятибальной шкале.

Каждая новая техническая система должна быть создана из различных видов систем обеспечения и мониторинга, что увеличивает надежность функционирования и безопасности данной системы. Поэтому предложено внедрение в матрицу четвертого параметра, который определяет величину такой охраны.

Нами предложена четырехпараметричная матрица при оценке риска, которую можно записать следующим образом:

$$r = P \cdot C \cdot N \cdot O \quad (8)$$

где P – соотношение, связанное с вероятностью возможности нежелательного случая; C – соотношение, связанное с количеством потерь; N – соотношение, связанное с количеством жителей, подверженных угрозе; O – соотношение, связанное с охраной перед возможной чрезвычайной угрозой.

Параметр “ O ” является обратно пропорциональным к величине риска. Аналогично, как и в случае 2- и 3-параметричной функции, для каждого параметра P , C , N и O определяется уровень величины риска по следующей шкале: низкий – $L = 1$, средний – $M = 2$, высокий – $H = 3$. Таким способом получаем шкалу меры риска в пределах $0,33 \dots 27$.

Описание параметров составляющих риска.

Категория численности жителей, подвергающихся угрозе – N :

- низкая – подвержены угрозе до 5000 жителей – $N = 1$,
- средняя – подвержены угрозе от 5001 до 50000 жителей – $N = 2$,
- высокая – подвержены угрозе свыше 50001 жителей – $N = 3$.

Категория вероятности происшествия

аварийного случая – P :

- низкая – маловероятная – 1 раз на $10 \dots 50$ лет – $P = 1$,
- средняя – достаточно вероятная – 1 раз на $1 \dots 10$ лет – $P = 2$,
- высокая – вполне вероятная – $1 \dots 10$ раз или больше на год – $P = 3$.

Категория причин – C :

- малая – потери финансовые до 5×10^3 Евро – $C = 1$,
- средняя – потери финансовые до 10^5 Евро – $C = 2$,
- высокая – потери финансовые выше 10^5 Евро – $C = 3$.

Категория охраны – O :

- высокая степень охраны – $O = 3$,
- средняя степень охраны – $O = 2$,
- низкая степень охраны – $O = 1$.

В таблице 2 представлены категории риска и соответствующие им шкалы для четырехпараметричных матриц.

Для сильно развитых систем можно использовать пятипараметричную матрицу определения риска:

$$r = P \cdot C \cdot N \cdot O \cdot E \quad (9)$$

где P – соотношение изменения вероятности представленного нежелательного случая; C – соотношение, связанное с величиной потерь; N – соотношение, связанное с количеством жителей, подверженных угрозе; O – соотношение, связанное с охраной перед чрезвычайными угрозами; E – соотношение, связанное с эксплуатацией угрозы.

Для параметров P , C , N , O и E приписывается количественный уровень, как в методе четырехпараметричном. Аналогично матрица риска находится в пределах $[0,33 \dots 81]$. Описание параметров составляющих риска N , P , C и O , как в методе четырехпараметричном, и экспозиции на угрозу E предлагается принимать следующим

Таблица 2

Категории риска

Категории риска	Шкала
Допустимая	$0,33 \leq r \leq 3,0$
Контролируемая	$4,0 \leq r \leq 8,0$
Нежелательная	$9,0 \leq r \leq 27$

Таблица 3

Категории риска

Категории риска	Шкала
Допустимая	$0,33 \leq r \leq 6,0$
Контролируемая	$8,0 \leq r \leq 18,0$
Нежелательная	$24 \leq r \leq 81$

Выводы

Методология исследования риска окружающей среды постоянно развивается, а перед исследователями открывается перспектива понимания возможных последствий риска. В настоящее время существует необходимость трактования исследований риска, прогнозирования

тех или иных угроз. При правильном прогнозировании риска можно сократить до минимума количество материальных потерь, а главное, сохранить жизни и здоровье людей. В случае наших исследований можно приступить к формулировке возможного риска. Технический расчет должен быть оптимизированный с позиции ожидаемых эффектов и заинтересованных

Література

1. Hipel K.W., Kilgour D.M., Zhao N.Z. Risk analysis of the walkerton drinking water crisis. Canadian water resources journal, vol. 28, no 3, s. 395-397, 2003.
2. Lubowiecka T., Wiczysty A. Ryzyko w systemach zaopatrzenia w wodę. Monografia Komitetu Gospodarki Wodnej PAN „Ryzyko w gospodarce wodnej”, z. 17. Oficyna Wydawnicza PW, Warszawa, 2000, s. 113-141.
3. Łozowska-Stupnicka T.: Ocena ryzyka i zagrożeń w złożonych systemach człowiek – obiekt techniczny – środowisko. Seria Inżynieria Sanitarna i Wodna. Monografia 270. Wydawnictwo PK, Kraków, 2000.
4. Mays L.W. The role of risk analysis in water resources engineering. Department of civil and environmental engineering. Arizona State University. www.public.asu.edu/lwmays, 2005, s. 8-12.
5. Rak J. Podstawy bezpieczeństwa systemów zaopatrzenia w wodę. Wydawnictwo PAN – Komitet Inżynierii Środowiska, t. 28, s. 1-215, 2005.
6. Rak J., Tchórzewska-Cieślak B. Metody analizy i oceny ryzyka w systemie zaopatrzenia w wodę. OFICyna WYDAWNICZA POLITECHNIKI RZESZOWSKIE, s. 1-178, 2005.
7. PN-EN-1050. Zasady oceny ryzyka, 1999.
8. PN-IEC 60300-3-9. Analiza ryzyka w systemach technicznych, 1999.