

УДК 614.8.084:517.8

Анализ эффективности методов снижения экологического риска

Серета С.Н.

Целью работы является анализ эффективности стратегий обеспечения требуемого уровня безопасности и снижения риска возникновения происшествий. Эколого-экономическое обоснование предлагаемых проектных решений, направленных на повышение уровня безопасности техносферных систем, основано на оценке как экологических показателей, характеризующих уровень безопасности, вероятности возникновения происшествий, надежности, величине ущерба, так и экономических показателей управления безопасностью, а именно, затрат на проведение природоохранных мероприятий и защиту рабочего персонала. Вводятся критерии оценки эффективности, совместно учитывающие экологические и экономические показатели. Приводятся результаты анализа типовых решений, широко применяемых на практике, как-то, резервирование элементов системы, внедрение систем контроля и защиты от опасностей, автоматизация процессов управления, организационные мероприятия по снижению тяжести работ и улучшению условий труда.

Ключевые слова: модель происшествий, вероятность происшествия, экологический риск.

Analysis of efficiency of the ecological risk reduction methods

Sereta S.N.

The aim of work is the system analysis of the efficiency of strategies to provide the required level of the system safety and the reduction of the ecological risk. Environmental and economic feasibility of the proposed solutions, which increase the level of the system safety, are based on the estimation such factors as a probability of accidents, a reliability, a value of damage, the cost of the environmental protection measures and the life safety of workers. The criteria of evaluation of the effectiveness, which take into account both an environmental and an economic indicators, is introduced. The results of the analysis of the typical solutions, which are widely used in practice, are given, such as, the reservation of the system elements, the implementation of the control and protection systems from hazards, the automation of the control processes, the organizational measures on the improvement of the working conditions.

Keywords: model of accident, probability of accident, environmental risk.

Введение

Обеспечение безопасности систем на всех этапах жизненного цикла является одной из важных задач любой хозяйственной деятельности с целью снижения антропогенного воздействия на окружающую среду и обеспечения нормальных условий среды обитания человека [1,2]. Исследование вопросов и идентификация системных проблем проводится методами системного анализа, где на заключительном этапе проводится принятие решений и выработка стратегий действий, направленных на достижение поставленной системной цели.

Методологической основой моделирования происшествий в техносфере является вероятностный анализ безопасности, позволяющий дать априорную оценку показателей безопасности исследуемой системы или процесса, в рамках которого строится некоторая модель возникновения происшествия, например, дерево происшествий, отображающая причинно-следственные связи между головным событием (аварией, несчастным случаем, катастрофой) и исходными предпосылками его возникновения [5].

Применение методов системного анализа при оценке уровня безопасности позволяет

учесть особенности технологии, надежность оборудования, условия среды и человеческий фактор, модели которых в основном имеют вероятностное или нечеткое описание [7,8]. Обеспечение требуемого уровня безопасности связано с проведением комплекса мероприятий, как-то резервирование элементов системы (процесса), повышение квалификации персонала, отработка действий в аварийных ситуациях, рациональная организация режима работы с учетом психофизиологических особенностей человека-оператора, улучшение эргономики рабочего места и параметров микроклимата, реинжиниринг технологических процессов, внедрение систем контроля и защиты от неблагоприятного воздействия опасностей и т.д. [4].

В ходе системного анализа безопасности одной из актуальных задач является задача выбора оптимальных стратегий обеспечения требуемого уровня безопасности и снижения риска возникновения происшествий, что определяет процедуру эколого-экономического обоснования [3]. В качестве экологических показателей, характеризующих уровень безопасности, используют вероятности возникновения происшествий, показатели надежности, прогнозируемый ущерб. Экономическим показателем управления безопасностью являются затраты на проведение природоохранных мероприятий и защиту рабочего персонала.

1. Постановка задачи системного анализа стратегий повышения безопасности

В работе [6] были рассмотрены некоторые оптимизационные задачи, направленные на повышение безопасности и снижение технологического риска технологических процессов и систем, моделируемых с помощью деревьев происшествий. На этапе анализа модельных результатов и принятия решения на основе численных критериев сформулированы эвристики, определяющие выбор стратегии по-

вышения безопасности, заключающейся в снижении вероятности значимых и критичных предпосылок в модели дерева происшествий в задаче многопараметрической оптимизации. Решение указанных задач дает эколого-экономическую оценку эффективности проведения защитных мероприятий на основе соотношений «затраты-эффект», то есть соотношения вложенных средств C к степени снижения риска возникновения происшествия Q .

Для учета влияния экономического фактора затрат в задачах оптимизации используется вектор показателей влияния V (импакт-фактор), элементы которого v_i определяются как отношение нормированных значений критерия Бирнбаума [1] λ_i^B к нормированным удельным затратам C_i снижения вероятностей предпосылок на величину dp_i , выраженную в процентах

$$v_i = \frac{\lambda_i^B}{\max \lambda_i^B} \cdot \frac{\max C_i}{C_i} \cdot dp_i \cdot 100\% \quad (1)$$

Импакт-фактор учитывает одновременно степень влияния предпосылок на вероятность головного события и затраты на их снижение. Следовательно, процедуру оптимизации необходимо применять последовательно в отношении предпосылок в порядке убывания значений импакт-фактора, что гарантирует достижение оптимального результата.

При известных удельных затратах C_i проводимых мероприятий должно обеспечиваться снижение вероятностей предпосылок на некоторую величину dp_i . В этом случае можно рассматривать задачу оптимизации как дискретную задачу оптимального распределения ресурсов C_0 на проведение мероприятий по повышению безопасности в отношении каждой значимой и/или критичной предпосылки [3]. Однако, следует признать, что выполнение подобной оценки на практике сталкивается с объективными трудностями сопоставления затрат на проведение мероприятий, направленных на повышение уровня

безопасности, и степени снижения вероятностей предпосылок. Таким образом, целью работы является исследование степени влияния затрат на характер изменения вероятности возникновения происшествий и оценка эффективности стратегий снижения экологического риска.

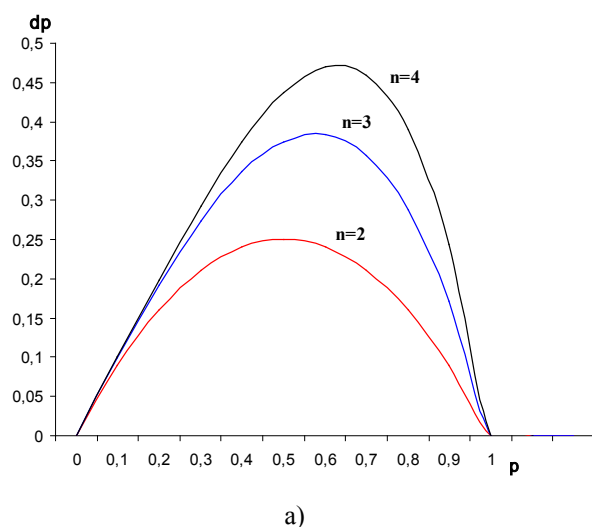
2. Оценка снижения экологического риска

2.1 Резервирование элементов системы (процесса) позволяет повысить надежность и тем самым снизить риск возникновения аварийных ситуаций [4]. При этом резервированию подлежат наиболее критичные компоненты системы, а также элементы с низкой надежностью. В этом случае вероятность аварии системы P_a с учетом резервирования будет определяться

$$P_a = p \cdot p_R = p^n = p^n, \text{ при } p = p_R \quad (2)$$

где P_a – вероятность аварии системы с учетом резервирования; p – вероятность отказа системы; p_R – вероятность отказа резервного элемента; n – коэффициент резервирования, соответствующий числу резервных элементов.

Эффективность снижения риска аварии при резервировании можно оценить как в абсолютных величинах dP (рис.1.а), так и относительным показателем степени снижения вероятности аварии E (рис.1.б).



$$E = 10 \cdot \log_a \left(\frac{1}{p} \right)^n \quad (3)$$

где a – масштабный коэффициент.

2.2 Установка системы защиты позволяет снизить степень негативного воздействия извне на компоненты техносферной системы (защита на входе) или на окружающую среду побочных продуктов технологического процесса, отходов и загрязнений (защита на выходе). Тогда вероятность аварии системы P_a из-за нерасчетных внешних воздействий, или вероятность возникновения чрезвычайной ситуации с причинением ущерба окружающей среде из-за аварии системы будут целиком определяться показателями надежности систем защиты.

$$P_a = p \cdot p_{z1} = p \cdot p_{z2}, \quad (4)$$

где p_{z1} , p_{z2} – вероятности отказа систем защиты на входе/выходе.

2.3 Автоматизация управления системой (процессом) связана с созданием контура управления с обратной связью, который реализует функцию оперативного управления при возникновении опасных ситуаций и предотвращение аварии. Поток происшествий на выходе замкнутой системы $w_{вых}$ определяется как результат преобразования входного потока заявок $w_{вх}$, при выполнении которых возникают предаварийные ситуации.

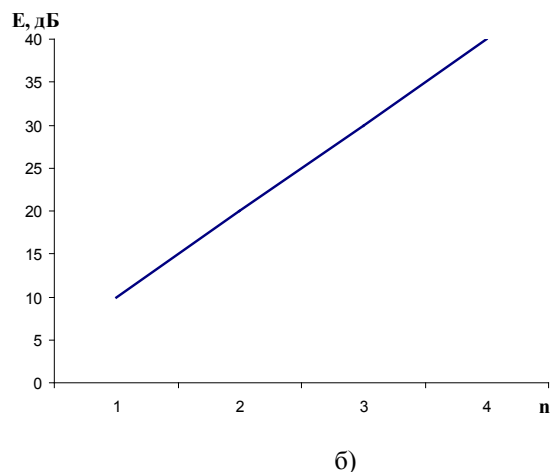


Рис. 1. Графики снижения риска аварии при резервировании.

$$w_{\text{блх}} = K_n \cdot w_{\text{ex}} = \left(1 - \frac{p}{1 \pm p \cdot q_y}\right) \cdot w_{\text{ex}} \quad (5)$$

где K_n – коэффициент передачи замкнутой цепи; p – вероятность возникновения предаварийной ситуации при выполнении заявки; q_y – вероятность успешного предотвращения аварии, характеризующая оценку работы системы управления и рабочего персонала по устранению опасных, предаварийных ситуаций.

Анализ зависимости $K_n(p)$ (рис.2) показывает, что обратная связь плавно регулирует вероятность перерастания опасной ситуации в происшествие, максимально снижая ее в 2 раза.

$$P_a = 1 - e^{-n}, \quad \text{где } n = c_p \cdot \lambda_p \cdot t_{\text{он}} / K_{\text{зв}} \quad (6)$$

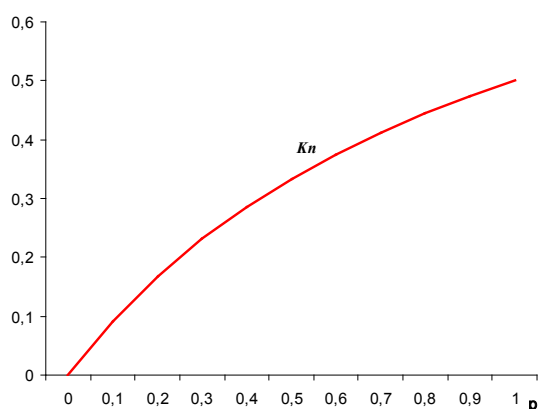


Рис. 2 График коэффициента передачи системы управления.

2.4 Организационные мероприятия, направленные на снижение интенсивности работ λ_p , трудоемкости операций $t_{\text{он}}$, сложности работ c_p , также позволяют снизить вероятность возникновения происшествий с учетом принятых гипотез о законах распределения случайных величин [1]. При этом для аварий технических компонентов человеко-машинной системы P_a используют показательный закон распределения (6), а для описания ошибок действия персонала P_o – гамма – распределение (7).

Коэффициент $K_{\text{зв}}$ характеризует экстремальные или дискомфортные условия труда [1].

$$P_o = \frac{1}{\Gamma(\lambda)} \cdot e^{\frac{-t c_p}{K_{\text{зв}}}} \cdot t^{\lambda-1} \quad (7)$$

Приведенные на рис.3 и рис.4 зависимости показывают, что можно добиться уменьшения риска происшествий снижением любого из управляемых параметров модели. Параметр m показывает, во сколько раз можно снизить интенсивность работ λ_p , что приводит к уменьшению риска возникновения происшествия в K раз.

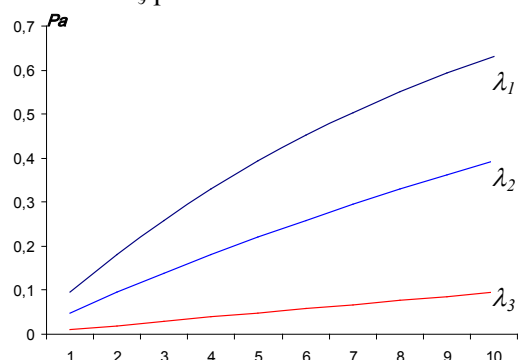


Рис.3. Графики зависимости $P_a(\lambda, t)$, $\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3$.

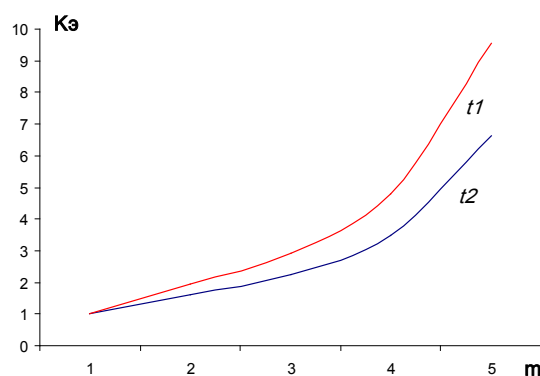


Рис.4. Графики зависимости $K_{\text{э}}(m)$, $t_1 < t_2$.

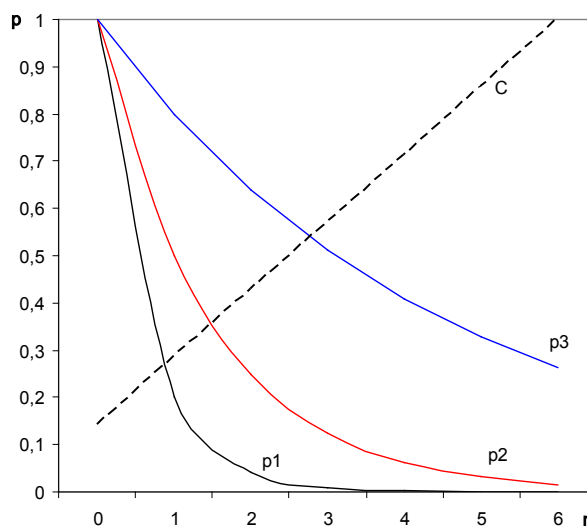


Рис.5 Соотношение затрат $C(n)$ и вероятности происшествия P , $p_1 < p_2 < p_3$.

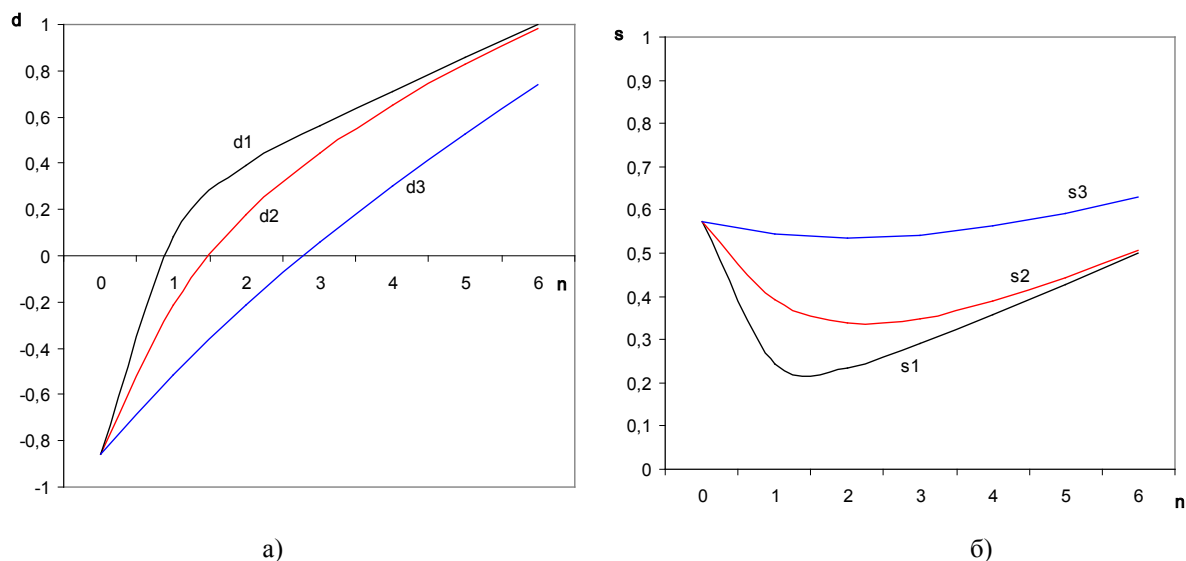


Рис. 6. Графики оценки эффективности снижения риска происшествий

а) функция разности d

б) функция среднего s .

3. Эколого-экономическая оценка эффективности

Оценку эффективности реализации методов повышения безопасности можно перенести в экономическую плоскость, рассмотрев косвенное влияние объема денежных вложений C на изменение вероятностей предпосылок p . Очевидно, что функция затрат является линейной и кратной числу единичных вложений (или количеству типовых мер) n , например, приобретению n – огнетушителей, как средств защиты. А вероятность возникновения происшествия (отказа сразу всех огнетушителей в случае возникновения пожара) определяется нелинейной функцией $P=p^n$, где p – вероятность отказа одного огнетушителя. На рис.5 показаны нормированные кривые, приведенные к максимуму затрат и начальному значению вероятности. При этом кривая p_2 характеризует уменьшение вероятности в два раза на каждое единичное вложение. Тогда с экономической точки зрения оптимальное число огнетушителей $n_{\text{опт}}$, позволяющее достичь требуемого уровня безопасности, определяется точкой пересечения графиков затрат и вероятности происшествия. Опреде-

лить значение $n_{\text{опт}}$ можно по функции разности $d_k = c_k - p_k$ (рис. 6,а), где кривые пересекают ось абсцисс, или по минимуму функции среднего $s_k = (c_k + p_k)/2$ (рис. 6,б), используя соответствующие численные методы.

Заключение

Представленные в работе результаты отражают важную сторону системного анализа безопасности процессов и систем, определяющую стратегию принятия эффективных решений, имеющих эколого-экономическое обоснование. Дана оценка степени снижения экологического риска для ряда мероприятий, применяемых на практике, а также некоторые рекомендации по математическому моделированию и анализу эффективности стратегий повышения безопасности процессов и систем.

Литература

1. Белов П.Г. Системный анализ и моделирование опасных процессов в техносфере. – М.: Академия, 2003. – 512 с.
2. Белов С.В. Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды (техносферная безопасность). – М.: ИД Юрайт, 2011. – 680 с.

3. *Красс М.С.* Моделирование эколого-экономических систем. – М.: Инфра-М, 2010. – 272 с.
4. *Переездчиков И.В.* Анализ опасностей промышленных систем человек-машина-среда и основы защиты. – М.: КНОРУС, 2011. – 784 с.
5. РД 03-418-01. Методические рекомендации по проведению анализа риска опасных производственных объектов. Документы межотраслевого применения по вопросам промышленной безопасности, охраны недр. Госгортехнадзор России, 2001. – 20 с.
6. *Серёда С.Н.* Оптимизация показателей безопасности технологических процессов // *Машиностроение и безопасность жизнедеятельности*, 2011, № 2. – С. 26-30.
7. *Серёда С.Н.* Оценка экологического риска с помощью нечетких моделей // *Машиностроение и безопасность жизнедеятельности*, 2011, № 3. – С. 15-20.
8. *Шубин Р.А.* Надежность технических систем и техногенный риск. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. – 80 с.

References

1. *Belov P.G.* System analysis and modeling of the dangerous processes in techosphere. – Moscow: Academia, 2003. – 512 p.
2. *Belov S.V.* Life safety and Environmental protection (techno sphere safety). – Moscow: Uratis, 2011. – 680 p.
3. *Krass M.S.* Modeling of ecologo-economics systems. – Moscow: Infra-M, 2010. – 272 p.
4. *Pereezdchikov I.V.* The Analysis of the dangerous of industrial systems Men-machine-environment and the defense base. – Moscow: CNORUS, 2011. – 784 p.
5. RD 03-418-01. Methodical recommendations to the risk analysis of the dangerous industrial objects. Documents of interfiled application on the application of the safety engineering. Gostekhnadzor of Russia, 2001. – 20 p.
6. *Sereda S.N.* Optimization of the technological processes safety indicators // *Engineering industry and life safety*, 2011, № 2. – P. 26-30.
7. *Sereda S.N.* Estimation of the ecological risk with fuzzy models // *Engineering industry and life safety*, 2013, № 3. – P. 15-20.
8. *Shubin R.A.* Reliability of technical systems and technogenic risk. – Tambov: FGBOU VPO «TG TU», 2012. – 80 p.

Статья поступила в редакцию 15 ноября 2013 г.

Серёда Сергей Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Техносферная безопасность» Муромского института (филиала) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Муром, Россия. E-mail: sereda-2010@mail.ru

Sereda Sergey Nikolaevich – Ph.D., Murom Institute of Vladimir State University, Murom, Russia. E-mail: sereda-2010@mail.ru