

УДК 355.58:519.816

## ОЦЕНКА ВЫБОРА РЕШЕНИЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРА

Л.П. ПИЛИНЕВИЧ, Е.В. ГОНЧАРИК

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
П. Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь*

*Поступила в редакцию 12 декабря 2013*

Данная работа посвящена разработке метода оценки устойчивости системы управления в условиях чрезвычайных ситуаций, позволяющей прогнозировать опасности и величину их воздействия на человека и материальные ценности. Рассмотрен учет основных факторов на примере оценки устойчивости системы управления при чрезвычайных ситуациях техногенного характера. Проанализированы оценочные функции и соответствующие им исходные позиции, такие как: оптимистическая, пессимистическая, позиция нейтралитета и позиция относительного пессимизма.

*Ключевые слова:* чрезвычайная ситуация, опасные факторы, оценка, система управления, устойчивость работы.

### Введение

На современном этапе развития цивилизации наблюдается рост количества чрезвычайных ситуаций (ЧС), в которых погибает все большее число людей, наносится ущерб их здоровью и имуществу [1]. Поэтому проблема предупреждения ЧС и минимизации ущерба от них является актуальной и своевременной. Опыт высокоразвитых стран показал, что предупреждение ЧС позволяет сократить в 10–15 раз затраты на ее ликвидацию [2]. Одним из основных путей предупреждения ЧС является оценка устойчивости системы управления при ЧС (оценка риска, уязвимости, ущерба, ресурсов и потенциала для предупреждения и ликвидации ЧС). В связи с этим целью данной работы является разработка метода оценки устойчивости системы управления в условиях ЧС, позволяющего прогнозировать опасности и величину их воздействия на человека и материальные ценности.

### Теоретический анализ

Основные особенности, которые заложены в данной работе, заключаются в следующем:

- техногенная опасность считается основной;
- опасности по своей природе вероятностны;
- все источники техногенных опасностей, приводящих к ЧС, разделены по природе возникновения на три класса: 1) человеческий фактор; 2) технический (технологический) фактор; 3) фактор окружающей природной среды;
- мерой опасности является риск, одновременно учитывающий возможность возникновения ЧС и оценку, в той или иной форме, величины риска;
- устойчивость системы управления интерпретируется свойством системы выполнять заданные функции не только в нормальных условиях, но и в ЧС.

Оценка устойчивости объекта в условиях техногенных ЧС является комплексной величиной и основана на оценке технического состояния оборудования, техники, технологии, человеческого фактора и внешних опасных и вредных условий. В соответствии с поставленной целью в данной работе рассмотрим эти факторы на примере оценки устойчивости системы

управления при ЧС техногенного характера. Устойчивость системы управления в ЧС можно условно разбить на две составляющие: принятие решения о переходе в режим управления работой промышленного объекта в ЧС и управление объектом с помощью систем оповещения. В настоящее время все чаще возникает потребность в принятии сложных решений. В связи с этим целесообразно рассмотреть некоторые условия, которые формализуют этот процесс и придают решениям большую надежность. Критерием оценки устойчивости системы управления при ЧС будем считать величину риска  $R$ .

Поскольку в технике существенную роль играют количественные оценки событий (например, что произойдет событие  $A$  (ЧС)), то определение риска должно учитывать, как оценку (в той или иной форме) риска, так и оценку вероятности его наступления  $P$ .

$$R = P(A), \quad (1)$$

где  $A$  – множество событий, включающее события  $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ , при которых может возникнуть ЧС.

Тогда  $P(A) = P(A_1) \cdot P(A_2) \cdot P(A_3) \cdot \dots \cdot P(A_n)$ . Риск в общем случае подразделяется на две большие группы: 1) риск для материальных ценностей; 2) риск для жизни или здоровья. Структурная схема оценки риска при принятии решения представлена на рис. 1. Каждой группе присуще свое представление риска. При угрозе материальным ценностям последствия (значения оценки) риска часто представляют в денежном выражении.



Рис. 1 Структурная схема оценки риска при принятии решения

При угрозе материальным ценностям и невозможности количественно выразить возможный ущерб, можно этот ущерб оценить приблизительно и продолжать рассмотрение проблемы на основе недостаточной информации.

Поскольку целесообразно идти на сколь угодно большие затраты, чтобы устранить риск полностью, нужно в первую очередь оценивать угрозу людям [2]. Однако субъективные оценки тех или иных нежелательных событий сильно различаются. Например, значения риска привлекательной деятельности обычно занижаются [3]. Риск события, на которое трудно или невозможно оказать влияние, наоборот, обычно переоценивается. Риск события катастрофического характера, как правило, тоже получает более высокую оценку. Поэтому субъективные оценки не могут быть положены в основу решений в системе управления при ЧС. Сравнение данной рискованной ситуации с возникавшими в прошлом аналогичными ситуациями дает для оценки риска более надежные исходные предпосылки. Однако проблема оценки этим не решается. В некоторых случаях можно довольствоваться требованием, чтобы допустимый риск был заведомо ниже имевшего место в аналогичных ситуациях ранее. Но

тогда в других случаях, особенно при очень высоком уровне затрат, проблема остается нерешенной.

В нашем случае любой математический алгоритм оценки риска должен исходить из того, что установлен экономический эквивалент угрозы. Этот эквивалент может быть обоснован в том смысле, что он соответствует затратам, которые общество при данных условиях может себе позволить, чтобы предотвратить или уменьшить угрозу. Необходимо воспрепятствовать тому, чтобы, с одной стороны, ценой больших затрат был уменьшен и без того незначительный риск, а с другой – чтобы оставался большой риск, который можно было устранить при небольших затратах. Но установление экономического эквивалента еще не означает достижения успеха. Чаще всего эквивалент такого типа не удается получить без влияния субъективных факторов. Тем не менее эти эквиваленты делают более ясным риск при принятии решения и помогают лучше определить ответственность за сделанную оценку.

В общем, процедура принятия решения с риском подразделяется на последовательную реализацию трех вариантов решений: с уменьшением риска; с минимизацией риска; с оптимизацией риска.

Границы оправданного риска при решении расчетных или эксплуатационных технических задач трудно рационально обосновать. В этих случаях стараются использовать сравнение с риском в аналогичных ситуациях. При этом следует принимать в расчет наиболее неблагоприятный случай.

Риск летального исхода в народном хозяйстве существует на уровне  $10^{-6}$  и ниже на человека в год [3]. Таким образом, при проектировании эксплуатации технических устройств риск на уровне  $10^{-6}$  на человека в год может быть принят допустимым при выполнении следующих требований к анализу риска:

- проблема риска проанализирована, т.е. оценена вероятность наступления неблагоприятного события, вероятность его перерастания в ЧС, рассмотрены все поражающие факторы ЧС и т.д.;

- анализ проведен до принятия решения и подтвержден имеющимися данными в определенном временном интервале;

- после наступления неблагоприятного события анализ и заключение о риске, полученные на основании имевшихся данных, не меняются;

- анализ показывает, и результаты контроля все время подтверждают, что угроза не может быть уменьшена ценой оправданных затрат.

Однако это значение не следует рассматривать как оправданный предел – оно должно служить лишь основой относительной шкалы принимаемых решений. Из сказанного также следует, что нецелесообразно задавать детерминированную границу риска. Таким образом, более приемлемыми параметрами являются вероятность  $P_v$ , отделяющая оправданный риск летального исхода от условно оправданного, и вероятность  $P_u$ , отделяющая условно оправданный риск, т.е. соответствующий определенным условиям, от неоправданного риска. Условия, при которых вероятность риска летального исхода  $P_i$  находится в диапазоне  $P_v < P_i \leq P_u$ , обеспечиваются указанными выше четырьмя требованиями к анализу риска. Принимающий решения должен соблюдать эти требования, соотнося изменяющийся риск, например, с повышением максимально достижимой эффективности, исключением неблагоприятных ситуаций и т.п. Для риска летального исхода значение вероятности оправданного риска  $P_v$  принимают равным  $10^{-8}$ , а значение неоправданного риска  $P_u$  – равным  $10^{-5}$ . Таким образом, если речь идет исключительно о риске материальных потерь, метод сравнения при оценке риска не вызывает сомнений. В этом случае можно принимать решения, оценивая лишь экономический эффект.

Вместе с тем ситуация принятия (выбора) решения содержит элементы, влияющие как на саму процедуру, так и на качество решения. Факторы, влияющие на принятие решения, занимают диапазон от крайне субъективных, определяемых осведомленностью лица, принимающего решение, и проявляющихся в ускоренном выборе или затягивании решения, до таких объективных условий как технические данные, характеристики, модели, всевозможные вспомогательные средства. Наблюдения показывают, что при принятии технико-экономических решений часто исходят из интуиции и жизненного опыта [4].

По используемым для принятия решения способам оптимизации решения можно разбить на три группы: 1) эмпирические; 2) опирающиеся на некоторые количественные сравнительные оценки; 3) принятые на основании построенной с исчерпывающей полнотой модели.

Значение возможной ошибки находится в обратной зависимости от степени точности описания задачи и затраченным на выбор решения усилиям и является наибольшим при эмпирических решениях.

Процесс принятия решения, как правило, имеет следующие последовательные этапы: 1) появление проблемы; 2) описание проблемы; 3) анализ ситуации, постановка задачи; 4) анализ имеющейся информации; 5) дискретизация и комбинирование внешних условий; 6) выработка альтернатив (и тем самым управление риском); 7) расчет и оценка последствий; 8) выбор рациональных альтернатив; 9) проверка результатов; 10) оформление решения.

Ситуации принятия решения могут характеризоваться единственной или множественными целями. К ориентированным на единственную цель относятся решения, последствия которых могут быть описаны единственной, например финансовой, категорией параметров, таких как цена, затраты, прибыль или ущерб. При многоцелевых решениях оценить и сравнить отдельные цели в единых универсальных единицах нельзя.

Для оценки устойчивости системы управления в ЧС следует учитывать, что существуют такие факторы как недостаток времени и недостаток информации для принятия рационального решения. Поэтому приходится считаться с возможностью различных результатов для одного и того же решения, т. е. принятие решения не является чисто рациональным процессом.

Для ситуации выбора решений часто характерна неопределенность имеющейся информации, которая может быть следствием погрешности в определении параметра.

Принятие решения представляет собой выбор одного решения  $E_i$  из некоторого множества рассматриваемых вариантов, т.е.  $E_i \in E$ . Наиболее часто встречается случай, характеризующийся конечным числом вариантов (причем обычно не слишком большим)  $E_1, E_2, E_3 \dots E_i, E_m$ . Предполагается, что каждым вариантом  $E_i$  однозначно определяется некоторый результат  $e_i$ . Эти результаты должны допускать количественную оценку. Для простоты оценки будем отождествлять с соответствующими результатами, обозначая их тем же символом  $e_i$ . Как правило, задача состоит в поиске наилучшего варианта с наибольшим значением результата, т. е. целью выбора является нахождение  $\max e_i$ . При этом предполагается, что оценки  $e_i$  характеризуют такие, например, величины, как полезность, надежность, выигрыш (преимущество) и др. Оценку затрат или потерь можно исследовать путем минимизации этих потерь, как это делается чаще, рассматривая отрицательные значения полезности, надежности и др.

Тогда выбор оптимального варианта решения согласно работе [4] будем производить с помощью критерия  $E_0$ :

$$E_0 = \{E_{i0} \mid E_{i0} \in E \wedge e_{i0} = \max_i e_i\}. \quad (2)$$

Множество  $E_0$  оптимальных вариантов состоит из тех вариантов  $E_{i0}$ , которые принадлежат множеству  $E$  всех вариантов и оценка  $e_{i0}$  которых максимальна среди всех оценок  $e_i$ . Выбор оптимального варианта в соответствии с критерием (2) не является однозначным, поскольку максимальный результат  $e_i$  может достигаться многократно. Необходимость выбирать одно из нескольких одинаково приемлемых решений на практике обычно не создает дополнительных трудностей.

Рассмотренный случай принятия решений, при котором каждому варианту решения соответствует единственное состояние системы (и тем самым однозначно определяется единственный результат) и который может быть назван случаем детерминированных решений, с точки зрения его практических применений является простейшим, хотя и весьма частым. Детерминированные решения, несмотря на некоторую элементарность, могут лежать в основании реальных процедур принятия более сложных решений. В этих случаях каждому допустимому варианту решения  $E_i$  вследствие различных внешних условий могут соответствовать различные внешние состояния (условия)  $F_j$  и результаты  $e_{ij}$  решений, которые представлены в табл. 1. Семейство решений описывается матрицей [4].

Таблица 1. Семейство принятия сложных решений

Допустимый вариант решения $E_i$	Различные внешние состояния (условия) $F_j$ и результаты $e_{ij}$ решений						
	$F_1$	$F_2$	$F_3$	...	$F_j$	...	$F_n$
$E_1$	$e_{11}$	$e_{12}$	$e_{13}$	...	$e_{1j}$	...	$e_{1n}$
$E_2$	$e_{21}$	$e_{22}$	$e_{23}$	...	$e_{2j}$	...	$e_{2n}$
...	...	...	...	...	...	...	...
$E_i$	$e_{i1}$	$e_{i2}$	$e_{i3}$	...	$e_{ij}$	...	$e_{in}$
...	...	...	...	...	...	...	...
$E_m$	$e_{m1}$	$e_{m2}$	$e_{m3}$	...	$e_{mj}$	...	$e_{mn}$

Чтобы прийти к однозначному и по возможности наивыгоднейшему варианту решения даже в том случае, когда каким-то вариантам решений  $E_i$  могут соответствовать различные условия  $F_j$ , вводят подходящие оценочные (целевые) функции. При этом матрица решений  $\|e_{ij}\|$  сводится к одному столбцу. Каждому варианту  $E_i$  приписывается, таким образом, некоторый результат  $e_{ir}$ , характеризующий в целом все последствия этого решения. Результат в дальнейшем обозначается тем же символом  $e_{ir}$ . Процедура выбора можно теперь представить по аналогии с применением критерия (2). Однако возникает вопрос о смысле результата  $e_{ir}$ . Если, например, последствия каждого из альтернативных решений характеризовать комбинацией из его наибольшего и наименьшего результатов, то

$$e_{ir} = \min_i e_{ij} + \max_j e_{ij}. \quad (3)$$

Наилучший в этом смысле вариант имеет вид:  $\max_i e_{ir} = \max_i (\min_j e_{ij} + \max_j e_{ij})$ . (4)

Теперь решение можно вновь искать в соответствии с критерием (2). Формируя таким образом желаемый результат, можно исходить из компромисса между оптимистическим и пессимистическим подходами. Рассмотрим некоторые оценочные функции и соответствующие им исходные позиции.

*Оптимистическая позиция* представляется следующим образом:

$$\max_i = \max_i (\max_j e_{ir}). \quad (5)$$

Из матрицы результатов решений  $e_{ij}$  табл. 1 выбирается вариант (строка), содержащий в качестве возможного следствия наилучший из всех возможных результатов.

*Позиция нейтралитета* имеет несколько отличный вид:

$$\max_i e_{ir} = \max_i \left( \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n e_{ij} \right). \quad (6)$$

Здесь мы исходим из того, что все встречающиеся отклонения результата решения от среднего случая допустимы, и с учетом этого выбирает оптимальные варианты (в этом случае риск минимален).

*Пессимистическая позиция* представляется выражением

$$\max_i e_{ir} = \max_i (\min_j e_{ij}). \quad (7)$$

В этом случае исходим из того, что необходимо ориентироваться на наименее благоприятный случай и приписываем каждому из альтернативных вариантов наихудший из возможных результатов (риск получения «ошибочного» результата максимален). После этого выбираем самый выгодный вариант, т.е. ожидаем наилучшего варианта в наихудшем случае. Для каждого иного внешнего состояния результат может быть только равным этому или лучшим.

*Позиция относительного пессимизма:*

$$\min_i e_{ir} = \min_i \max_j (\max_i e_{ij} - e_{ij}). \quad (8)$$

### Результаты и их обсуждение

Для каждого варианта решения оцениваем потери, сравнивая результат с определенным по каждому варианту наилучшим результатом, а затем из совокупности наихудших результатов

выбирает наилучший согласно соответствующей оценочной функции. В табл. 2 представлена оценка решения и оценочные функции принятия решения для всех позиций.

Таблица 2. Оценка решения и оценочные функции принятия решения для всех позиций

№ п/п	Оценочная функция	Оценка решения
1	$\max_i \min_j e_{ij}$	$A = k S_{\max}$
2	$\max_i \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n e_{ij}$	$A = k \sqrt{\frac{1}{3}(S_{\max}^2 + S_{\max} S_{\min}) + S_{\min}^2}$
3	$\min_j \max_i (\max_i e_{ij} - e_{ij})$	$A = k \sqrt{S_{\max} S_{\min}}$
4	$\max_i \min_j e_{ij}$	$A = k S_{\min}$

Полученные результаты принятия решения по оптимистической позиции и позициям нейтральной, пессимистической и относительного пессимизма сведены в табл. 2. Здесь показан пример выбора параметра  $A$  при неизвестной величине  $S$  с использованием всех четырех оценочных функций. Получаемые результаты зависят только от максимального  $S_{\max}$  и минимального  $S_{\min}$  значений;  $k$  – коэффициент пропорциональности.

Предложенный ряд таких оценочных функций может быть продолжен. Некоторые из них получили достаточно широкое практическое применение. Так, если условия эксплуатации заранее неизвестны, ориентируются обычно на наименее благоприятную ситуацию. Это соответствует оценочной функции (7). Однако нередко используются также функции (6) и (8). Оценочная функция (3) до настоящего времени в приложениях применялась крайне редко.

Структура таблицы соответствует упорядочению по росту влияния величины  $S_{\min}$  (это влияние нарастает от строки к строке). При этом выбор определяется исключительно позицией руководителя, т.е. на основе его личной профессиональной подготовленности, производственного опыта и интуиции.

### Заключение

Рассмотрев оценочные функции и оценки решения можно сделать вывод, что при оценке принятия решения управлением работой промышленного объекта в ЧС при недостатке информации о последствиях воздействия поражающих факторов источников ЧС и недостатке времени для принятия решения следует ориентироваться на наименее благоприятную ситуацию, т.е. на позицию пессимизма (№ 1 табл. 2). Такой подход позволит минимизировать последствия ЧС для экономики и здоровья людей, а также для окружающей среды.

## EVALUATION OF THE DECISION MAKING OF THE CONTROL SYSTEM DURING EMERGENCIES OF MAN-INDUCED NATURE

L.P. PILINEVICH, A.V. HANCHARYK

### Abstract

This work is devoted to the development of the evaluation method of the control system sustainability during the emergencies that will allow to predict the hazards and their affect scope on human and tangible assets. The account of the principal factors has been considered on the basis of the control system sustainability evaluation during the emergencies of man-induced nature. The evaluation functions have been analysed as well as the corresponding starting positions such as optimistic, pessimistic, neutral and relatively pessimistic.

### Список литературы

1. Дорошко С.В., Ролевич И.В., Пустовит В.Т. Защита населения и объектов в чрезвычайных ситуациях. Радиационная безопасность. Часть 1. Чрезвычайные ситуации и их предупреждение. Минск, 2010.
2. Левкевич В.Е. Экологический риск – закономерности развития, прогноз и мониторинг. Минск, 2004.
3. Инженерная экология / Под ред. В.Т. Медведева. М., 2002.
4. Беляев Л.С. Решение сложных оптимизационных задач в условиях неопределенности. Новосибирск, 1978.