

## Особенности оценки технического риска в условиях недетерминированных стохастических параметров

*В.А. Ваганов<sup>1</sup>, В.П. Димитров<sup>1</sup>, В.П. Максимов<sup>2</sup>, А.Д. Чистяков<sup>1</sup>,  
Л.М. Грошев<sup>1</sup>, И.А. Хозяев<sup>1</sup>, И.А. Зайцева<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> *Донской государственной технической университет, Ростов-на-Дону*

<sup>2</sup> *Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт Донской ГАУ*

**Аннотация:** Рассматриваются количественные методы оценки рисков технологических процессов производства и анализа уровня дефектности продукции в условиях недетерминированных стохастических параметров. Свойствами, определяющими надежность процесса, являются его управляемость, стабильность и воспроизводимость. Основным методическим аппаратом по оценке и анализу этих свойств являются положения стандартов по статистическим методам контроля качества. При анализе и оценке риска необходимо учитывать, что границы поля допуска параметров продукции и контрольные границы надежности технологических процессов ее производства всегда рассматриваются как приемлемые (допустимые) уровни риска. Преодоление этих уровней считается негативным последствием в виде повышения уровня дефектности продукции и снижения точности технологических процессов ее производства. Технические решения всегда связаны с риском, так как никогда нельзя заранее быть уверенным в конечном предполагаемом результате. Проконтролировать, был ли оправдан данный риск, удастся всегда только после реализации технического решения и наступления нежелательного события. Поэтому инженерно-техническая деятельность в принципе не может быть полностью свободна от всякого риска, а на необходимый и оправданный риск нужно всегда сознательно идти.

**Ключевые слова:** техническая система, технологический процесс, риск, неопределенность, менеджмент надежности, негативное событие, ущерб, недетерминированный стохастический параметр.

Технические системы и технологические процессы обладают многими различными свойствами и параметрами, которые при функционировании могут быть различно описаны и иметь негативные результаты с учетом риска появления отказов и неисправностей.

В настоящее время понятие «риск» трактуется как «сочетание вероятности нанесения ущерба и тяжести этого ущерба». Термин «риск» используется, когда имеется возможность негативных последствий и когда риск обусловлен возможностью отклонения от ожидаемого результата или события (ГОСТ Р 51897-2002). Последнее условие предопределяет необходимость использования понятия «риск» в менеджменте надежности

---

технических (технологических) систем.

Риск, являясь специфической характеристикой качества, всегда имеет место быть во всех объектах технического регулирования, не подлежит прямому измерению и непредсказуем в своем проявлении во времени и масштабах последствий [1]. Принципиальная невозможность прямого измерения риска относит его к вероятностным категориям при недостатке соответствующей информации в условиях многокритериальности и неопределенности практических ситуаций. Действительно, к основным причинам отсутствия необходимой информации следует отнести [2,3]:

- во-первых, многообразие вариантов практического проявления риска;
- во-вторых, продукция и технологические системы ее производства могут характеризоваться самыми различными состояниями параметров и свойств;
- в-третьих, столь же многогранно случайно могут проявляться опасные последствия, плохо оцениваемые или неподдающиеся учету.

Такой недостаток информации сравнивает оценку риска с принятием решений в условиях недетерминированных стохастических параметров.

Столь неприглядная характеристика послужила тому, что ранее вопросы принятия решений в условиях риска и неопределенности фундаментально не рассматривались. Это было весьма существенным обстоятельством при административно-командной системе управления, действующей в нашей стране на протяжении многих десятилетий. Как правило, ведомственные организации игнорировали риск и неопределенность при принятии решений и придавали им детерминированный, а не вероятностный характер. Основополагающим в принятии решений считались «важнейшие свойства руководства» – опыт, предвосхищение событий, интуиция и прогноз. Поэтому не случайно ранее был распространен тезис, что «принятие решений – это скорее искусство, чем наука» [4]. В настоящее время с реализацией

---

принципов менеджмента качества этот тезис потерял свою актуальность, так как в числе важнейших принципов менеджмента качества – принцип «принятие решений только на основе фактов».

Этот принцип занимает подобающее место в новой версии международного стандарта ISO 9001: 2015 (в отечественной редакции ГОСТ Р ИСО 9001-2015) совместно с введенной в стандарт принципиально новой концепции принятия решений на основе рисков» в системах менеджмента качества [5]. Введение в стандарт новой концепции подтверждает актуальность проблемы оценки риска при научном поиске вариантов принятия правильных решений.

Из определения понятия риска видно, что риск, связанный с негативной ситуацией появления некоторого последствия нежелательного события  $A(S)$  складывается из двух сочетаемых элементов: а) размера ущерба  $S$ ; и б) вероятности возникновения этого ущерба  $p(A)$ .

В понятии «сочетание» заключена логика отношений, разнокачественных составляющих риска, и, как следствие – неопределенность в выборе способов и методов оценки риска, исходя из многообразия практических ситуаций и наличия соответствующей информации [6].

Риск в многофакторной ситуации при оценке последствий можно выразить в векторной форме:

$$\bar{R} = \bar{A}(S) \forall p(A) \quad (1)$$

где  $\bar{A}$  - вектор многообразия последствий негативного события;

$p(A)$  - вероятность негативного события;

$S$  - «экономический эквивалент» угрозы, который соответствует затратам;

---

∨- логика отношений в условиях многокритериальности и неопределенности ситуаций.

Специфические особенности риска объективно послужили тому, что универсального рецепта, приема или метода анализа и оценки риска не существует.

В настоящее время в соответствии с ГОСТ Р 51897-2002 под оценкой риска понимается «общий процесс анализа риска и оценивания риска». При этом анализ риска – «систематическое использование информации для определения источников и количественной оценки риска».

Количественная оценка риска основывается на положения теории вероятностей [7]. Математическую модель множества  $A$  всех возможных неблагоприятных событий можно представить в виде

$$\bar{A} = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$$

Многие из этих событий в конкретной ситуации могут реализоваться. Обозначим « $K$ » отдельные сочетания этих событий. Отдельно рассматриваемое сочетание  $K$  является подмножеством неблагоприятных событий множества  $\bar{A}$ , т.е.  $K \subset \bar{A}$ .

$$\bar{K} = \{A_1 \vee A_2 \vee \dots \vee A_n\} \quad K_{12} = \{A_1 \vee A_2\}$$

$$K = \{A_{k1}, A_{k2}, \dots, A_{kn}\} \quad A_{kj} \in \bar{A}, \quad j=1,2,\dots,n$$

Предположим, что некоторое рискованное решение  $E_i$  связано с сочетанием неблагоприятных событий  $K_{i1}, K_{i2}, \dots, K_{iki}$ . А если принять через  $N_i$  отсутствие неблагоприятных событий для решения  $E_i$ , то  $K_i = \{K_{i1} \vee K_{i2} \vee \dots \vee K_{iki} N_i\}$  образуют полную систему событий для решения  $E_i$ . Если каждому сочетанию неблагоприятных событий  $K_{ij} (j=1,2,\dots,k_i)$

при реализации решения  $E_i \in E$  принять вероятности  $p_i(K_{ij})$ , а для события  $N_i$  также принять  $p_i(N_i)$ , то получим

$$0 \leq p_i(K_{ij}) \leq 1, \quad \sum_{j=1}^{k_i} p_i(K_{ij}) + p_i(N_i).$$

При этом, если каждому сочетанию  $K_{ij} (j = 1, 2, \dots, k_i)$  поставлено в соответствие количественно описываемое последствие  $A_{ij}$ , то величина сопутствующего решению  $E_i$  риска  $R_i$  определяется формулой

$$R_i = \sum_{j=1}^{k_i} A_{ij} p_j(K_{ij}). \quad (2)$$

Величина  $R_i$  - это средний ущерб при принятии решения  $E_i$ . Для технических систем в практических расчетах под риском часто понимают просто вероятность наступления конкретного неблагоприятного события, т.е.

$$R_i = p_i(A_i).$$

Это уравнение применимо при условиях, когда экономические соображения играют подчиненную роль, либо негативные технические последствия столь велики, что необходимо минимизировать возникший технический риск.

Количественные методы оценки (анализа) обладают широким спектром практического использования. Но в контексте рассматриваемой проблемы наибольший интерес представляют количественные методы оценки технического риска. Они позволяют рассчитать технический риск только в терминах вероятности причинения вреда  $R_i = p_i(A_i)$  в конкретной  $i$ -ой практической ситуации и, как правило, когда экономические соображения играют подчиненную роль или не поддаются количественной оценке. При

---

этом технический риск характеризуется вероятностью превышения допустимых (приемлемых) уровней риска [8].

При проектировании и эксплуатации технических систем приемлемыми параметрами границ технического риска представляются некоторые вероятности  $p_1(A)$  и  $p_2(A)$ , характеризующие граничные условия допустимого риска  $R_i = p_i(A_i)$ , т.е. в диапазоне  $p_1(A) \leq [R_i = p_i(A)] \leq p_2(A)$

При этом к анализу риска должны быть выполнены следующие основные требования:

- проблема риска подробно проанализирована;
- анализ проведен в определенном временном интервале;
- подтверждена стабильность данных при анализе и заключении о риске после наступления неблагоприятного события;
- анализ и результаты контроля подтверждают, что угроза не может быть уменьшена ценой оправданных затрат.

Эти требования необходимо соблюдать при принятии решений.

Принятую оценку допустимого риска и указанные условия необходимо рассматривать как первый шаг к количественному сравнению. При необходимости в дальнейшем с накоплением опыта, эта оценка может быть изменена. Эту величину не следует воспринимать как оправданный предел, она должна служить лишь основой относительной шкалы принимаемых решений [9].

В настоящее время количественные методы анализа (оценки) риска находят широкое применение при оценке надежности технологических систем производства (ТС) и анализе уровня дефектности продукции.

При этом основными отказами ТС принято считать:

- функциональный отказ, который проявляется в полном прекращении функционирования системы;

- параметрический отказ, который характеризуется выходом («дрейфом») параметров за установленные в нормативной документации пределы;

- отказ по параметрам продукции – это отказ, в результате которого отмечается несоответствие какого-либо параметра качества изготавливаемой продукции требованиям нормативной документации [10].

Основным условием безотказности технологической системы по  $j$ -му параметру за наработку  $T$  является выполнение неравенства:

$$LSL_{ij} \leq X_j(t) \leq USL_{sj} \text{ для всех } t \in (0, T),$$

где  $LSL, USL$  – соответственно нижнее и верхнее предельные отклонения для  $j$ -го параметра, установленные в нормативных документах;

$X_j(t)$  – значение  $j$ -го параметра в момент  $t$ .

Вероятность выполнения задания по обеспечению требуемой надежности  $P_{kj}(t)$  технологической системой по  $j$ -му параметру качества с учетом операций контроля определяется по формуле:

$$P_{kj} = 1 - [1 - P_j(t)]\beta_j(t) = 1 - q_j(t)\beta_j(t) \text{ для всех } t \in (0, T), \quad (3)$$

$$q_j(t) = 1 - P_j(t), \quad (4)$$

$$P_j(t) \geq P(LSL \leq \bar{X}_j \leq USL) = \frac{1}{2}[\Phi(t_2) - \Phi(t_1)], \quad (5)$$

$$t_1 = \frac{LSL - \bar{X}_j}{\sigma}; \quad t_2 = \frac{USL - \bar{X}_j}{\sigma},$$

где  $P_j(t) \geq P(LSL \leq \bar{X}_j \leq USL)$  – вероятность нахождения  $j$ -ого параметра в допуске;

$q_j = 1 - P_j(t)$  - уровень дефектности по  $j$ -ому параметру продукции;



$\beta_j(t)$  – риск потребителя.

$\Phi(t)$  - функция нормального распределения (по функции Лапласа);

$\bar{X}_j$  - среднее значение величины;

$\sigma$  - среднее квадратичное отклонение.

Свойствами, определяющими надежность процесса, являются его управляемость, стабильность и воспроизводимость. Основным методическим

аппаратом по оценке и анализу этих свойств являются положения стандартов по статистическим методам контроля качества.

При анализе и оценке риска необходимо учитывать, что границы поля допуска параметров продукции и контрольные границы надежности технологических процессов ее производства всегда рассматриваются как приемлемые (допустимые) уровни риска. Преодоление этих уровней считается негативным последствием в виде повышения уровня дефектности продукции и снижения точности технологических процессов ее производства.

Технические решения всегда связаны с риском, так как никогда нельзя заранее быть уверенным в конечном предполагаемом результате. Проконтролировать, был ли оправдан данный риск, удастся всегда только после реализации технического решения и наступления нежелательного события. Поэтому инженерно-техническая деятельность в принципе не может быть полностью свободна от всякого риска, а на необходимый и оправданный риск нужно всегда сознательно идти.

### Литература

1. Vaughan E.J. Risk management. N.Y. etc.: Wiley, 1997, 255 p.



2. Barton T., Shenkir W., Walker P. Making Enterprise Risk Management Pay Off: How Leading Companies Implement Risk Management. Publishing House "Williams", 2003. 208 p.

3. Баклушинский В.В. Теоретические аспекты принятия решений в условиях риска и неопределенности // Вестник Белгородского государственного технологического университета. 2016. № 9. С. 261-266.

4. Поспелов Г.С., Ириков В.А. Программно-целевое планирование и управление. М.: Сов. радио, 1976. 440 с.

5. Елисеева Т.А., Плахотникова Е.В., Соловьёв С.И. Анализ рисков принятия управленческих решений при использовании экспертных методов оценки надежности //Инженерный вестник Дона, 2016, №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2016/3681](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2016/3681)

6. Рубин М.А. Проблемы нормирования значений риска в требованиях безопасности. Стандарты и качество. 2005. № 9. С. 24-26.

7. Ваганов В.А., Хлебунов А.Ф. Менеджмент риска. Инженерные методы анализа и оценки риска технологических систем: учебное пособие. Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2012. 86 с.

8. Сеньков А.В. Способы многоаспектного управления комплексными рисками //Инженерный вестник Дона, 2017, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4519](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4519).

9. Moeller R.R. COSO Enterprise Risk Management: Establishing Effective Governance, Risk, and Compliance : Wiley, 2011, 386 p.

10. Ваганов, В. А. Менеджмент риска технических систем: от теории к практике: учебное пособие. Ростов-на-Дону: Издательский центр ДГТУ, 2016. -176 с.

## References

1. 1 Vaughan E.J. Risk management. N.Y. etc.: Wiley, 1997, 255 p.
2. Barton T., Shenkir W., Walker P. Making Enterprise Risk Management Pay Off: How Leading Companies Implement Risk Management. Publishing House "Williams", 2003. 208 p.
3. Baklushinsky V.V. Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. 2016. № 9. pp. 261-266.
4. Pospelov G.S., Irikov V.A. Programmno-celevoe planirovanie i upravlenie [Program and target scheduling and management]. M.: Sov. radio, 1976. 440 p.
5. Eliseeva T.A., Plahotnikova E.V., Solov'jov S.I. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2016, № 3. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n3y2016/3681](http://ivdon.ru/magazine/archive/n3y2016/3681)
6. Rubin M.A. Standarty i kachestvo. 2005, № 9. pp. 24-26.
7. Vaganov V.A., Hlebunov A.F. Menedzhment riska. Inzhenernye metody analiza i ocenki riska tekhnologicheskikh system [Management of risk. Engineering methods of the analysis and assessment of risk of technological systems]: ucheb. posobie. Rostov n/D: Izdatel'skij centr DGTU, 2012. 86 p.
8. Sen'kov A.V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2017, № 4 URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n4y2017/4519](http://ivdon.ru/magazine/archive/n4y2017/4519).
9. Moeller R.R. COSO Enterprise Risk Management: Establishing Effective Governance, Risk, and Compliance: Wiley, 2011, 386 p.
10. Vaganov V. A. Menedzhment riska tehniceskikh sistem: ot teorii k praktike [Risk management of technical systems: from theory to practice]: uchebnoe posobie. Rostov n/D: Izdatel'skij centr DGTU, 2016. 176 p.