

## Анализ рисков принятия управленческих решений при использовании экспертных методов оценки надежности

*Т.А. Елисеева, Е.В. Плахотникова, С.И. Соловьёв*

*Тульский государственный университет*

**Аннотация:** В статье представлен подход к определению оценки риска производителей принять неверное управленческое решение на основе результатов оценки критичности, полученных при экспертных методах анализа надежности системы на этапе ее проектирования.

**Ключевые слова:** критичность отказа, надежность, риск производителей, управленческое решение, экспертный метод.

Одними из важных показателей, определяющих качество продукции, являются показатели надежности. Оценка надежности проводится на разных этапах жизненного цикла изделия, но особую значимость она имеет на этапе проектирования, когда задаются количественные параметры, качественные характеристики разрабатываемого продукта и производится проверка эффективности управленческих решений, направленных на доработку конструкции, технологии изготовления, системы технического обслуживания и т.д.

Принятие управленческих решений на этапе проектирования всегда происходит в условиях риска, когда одно действие может иметь несколько вариантов последствий. Границы риска каждый производитель должен устанавливать самостоятельно, исходя из избранной стратегии управления, следовательно, в данном случае информация о степени указанного риска имеет для производителей существенное значение. Проблема оценки риска не остается без внимания как в зарубежных (например, [1, 2] и т.д.), так и в отечественных публикациях (например, [3-5] и т.д.).

На стадии проектирования для оценки надежности широкое распространение получили экспертные методы оценки, например, такие как:

АВПКО — «Анализ видов, последствий и критичности отказов», FMEA — «Анализ видов и последствий потенциальных дефектов». Цель методов заключается в обосновании, проверке достаточности и оценке эффективности решений, направленных на совершенствование конструкции и достижение требуемых характеристик надежности (согласно ГОСТ 27.310-95). Применение метода АВПКО к техническим системам отражено в ряде работ автора [6,7].

Суть указанных методов состоит в оценке надежности объекта путем расчета критичности его возможных отказов и последующего сравнения полученной величины с пороговым значением ( $C_{кр}$ ), установленным до проведения анализа.

Критичность отказа ( $C_i$ ) в соответствии с приведенными методами определяется как произведение 3-х показателей, выраженных в баллах от 1 до 10: балльной оценки вероятности возникновения  $i$ -го отказа за время эксплуатации ( $B_{1i}$ ) системы, балльной оценки тяжести его последствий ( $B_{2i}$ ) и балльной оценки вероятности обнаружения  $i$ -го отказа до поставки изделия потребителю ( $B_{3i}$ ):

$$C_i = B_{1i} \cdot B_{2i} \cdot B_{3i} \quad (1)$$

При превышении числа критичности ( $C_i$ ) установленного порогового значения ( $C_{кр}$ ) перед производителями возникает проблема принять решения, направленные на доработку конструкции, технологии изготовления, системы технического обслуживания и методов контроля. Очевидно, что в данном случае правильность принятых решений будет зависеть от точности и достоверности [8] полученных результатов, но, к сожалению, точечная оценка, получаемая при использовании вышеприведенной зависимости (см. формулу 1), не несет в себе подобной информации.

Учитывая, что рекомендуемое для эффективной реализации рассматриваемых методов число экспертов составляет от 4 до 8 человек [9],

---

согласованность мнений которых определяется с помощью коэффициента конкордации, результат работы экспертной группы можно по аналогии с многократными измерениями представить в интервальной форме, с учетом погрешности, обусловленной субъективностью экспертов:

$$P[\bar{C}_i - t \cdot S_{\bar{C}_i} \leq C_i \leq \bar{C}_i + t \cdot S_{\bar{C}_i}] = \dots, \quad (2)$$

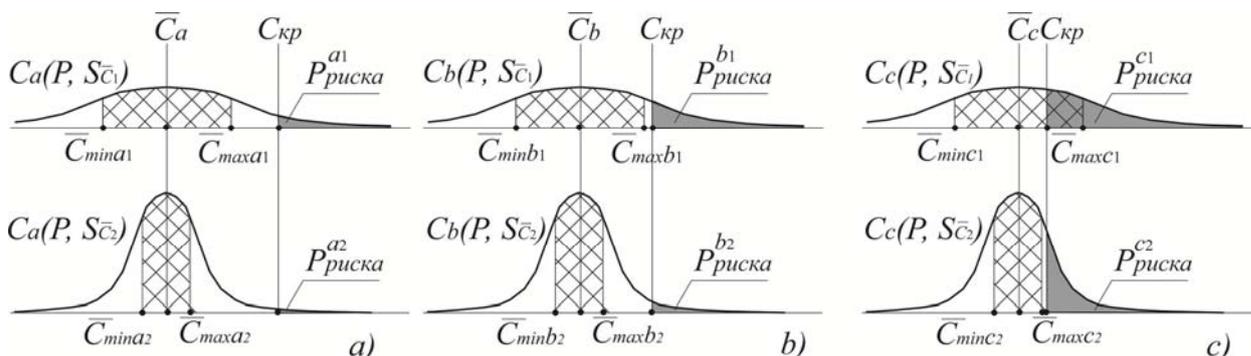
где  $P$  — принятая доверительная вероятность;  $\bar{C}_i$  — оценка критичности, определяемая средним арифметическим значением величины критичности, предоставляемой экспертами для рассматриваемого  $i$ -го отказа;

$S_{\bar{C}_i}$  — оценка среднего квадратического отклонения (СКО) величины критичности;  $t$  — относительная ширина доверительного интервала случайной погрешности значения критичности, зависящая от принятой доверительной вероятности и вида закона распределения вероятностей (ЗРВ) результатов оценки.

Вероятность риска принятия производителем неверного управленческого решения на основе результатов экспертной оценки критичности будет зависеть от близости расчетной величины критичности ( $\bar{C}_i$ ) к пороговому значению ( $C_{кр}$ ), установленному до проведения анализа и от оценки СКО величины критичности, что поясняют графики, представленные на рисунке (1) и построенные при различном сочетании указанных параметров для нормального ЗРВ результатов оценки.

Учитывая, что оценки критичности являются экспертными и ЗРВ может соответствовать не обязательно только нормальному (см. рис. 1), рассмотрим возможность оценки рисков производителей для случаев нормального, равномерного и треугольного (Симпсона) ЗРВ, поскольку практически любой реальный закон распределения вероятности можно свести с некоторым приближением к одной из этих моделей. Рассмотрим также расчет величины риска по неравенству Чебышева, которое

используется при неизвестном ЗРВ.



$S_{\bar{C}_1}, S_{\bar{C}_2}$  — оценки СКО величины критичности ( $S_{\bar{C}_1} > S_{\bar{C}_2}$ );  $\bar{C}_a, \bar{C}_b, \bar{C}_c$  — расчетные величины критичности ( $\bar{C}_a < \bar{C}_b < \bar{C}_c$ );  $P$  — принятая доверительная вероятность случайной погрешности числа критичности ( $P = const$ );  $C_{кр}$  — пороговое значение числа критичности, установленное до проведения анализа;  $P_{риска}^{a1}, P_{риска}^{a2}, P_{риска}^{b1}, P_{риска}^{b2}, P_{риска}^{c1}, P_{риска}^{c2}$  — вероятности рисков производителя принять неправильное управленческое решение ( $P_{риска}^{a1} < P_{риска}^{a2} < P_{риска}^{b1} < P_{риска}^{b2} < P_{риска}^{c1} < P_{риска}^{c2}$ );  $\bar{C}_{\min i}, \bar{C}_{\max i}$  — максимальные и минимальные значения величины критичности, рассчитанные по формулам:

$$\bar{C}_{\max i} = \bar{C}_i + t \cdot S_{\bar{C}_i}, \bar{C}_{\min i} = \bar{C}_i - t \cdot S_{\bar{C}_i}.$$

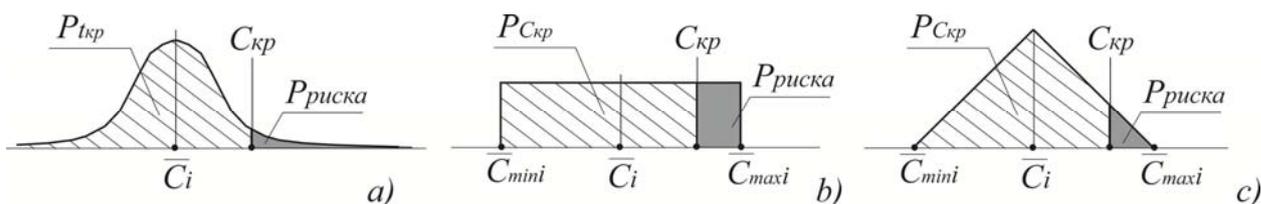
**Рис. 1 — Зависимость вероятности риска производителя принять неправильное управленческое решение ( $P_{риска}$ ) от значений критичности  $\bar{C}_i$  и оценки СКО  $S_{\bar{C}_i}$**

Установить вероятность риска ( $P_{риска}$ ) при нормальном ЗРВ оценок числа критичности (см. рис. 2а) и известном значении оценки СКО позволяет формула:

$$P_{риска} = \frac{1 - P_{t_{кр}}}{2}, \tag{3}$$

где  $P_{t_{кр}}$  — значение вероятности, определить которое можно, используя ЗРВ Стьюдента с числом степеней свободы  $h = n - 1$  [10], где  $n$  — количество экспертов, участвующих в оценке аргумента  $t_{кр}$  интегральной функции ЗРВ числа критичности по формуле (4):

$$t_{кр} = \frac{C_{кр} - \bar{C}_i}{S_{C_i}}. \tag{4}$$



**Рис. 2 — Графическая интерпретация распределения вероятностей риска производителей  $P_{риска}$  при нормальном (а), равномерном (b) и треугольном (с) ЗРВ оценок числа критичности  $\bar{C}_i$**

Для равномерного ЗРВ (см. рис. 2b) вероятность риска будет определяться по формуле:

$$P_{риска} = \frac{\bar{C}_{max i} - C_{кр}}{\bar{C}_{max i} - \bar{C}_{min i}}, \quad (5)$$

где  $\bar{C}_{min i}$ ,  $\bar{C}_{max i}$  — максимальное и минимальное значения величины критичности.

Определить указанные величины при равномерном ЗРВ позволяют формулы:

$$\bar{C}_{min i} = \bar{C}_i - \sqrt{3} \cdot S_{\bar{C}_i}, \quad (6)$$

$$\bar{C}_{max i} = \bar{C}_i + \sqrt{3} \cdot S_{\bar{C}_i}, \quad (7)$$

где  $\bar{C}_i$  — оценка величины критичности отказа;  $S_{\bar{C}_i}$  — оценка СКО величины критичности.

Для треугольного (Симпсона) ЗРВ (рис. 2с) вероятность риска можно рассчитать как:

$$P_{риска} = 2 \cdot \left( \frac{\bar{C}_{max i} - C_{кр}}{\bar{C}_{max i} - \bar{C}_{min i}} \right)^2. \quad (8)$$

В данном случае, максимальное и минимальное значения величины критичности рассчитывается как:

$$\bar{C}_{min i} = 2 \cdot \left( \bar{C}_i - \sqrt{6} \cdot S_{\bar{C}_i} \right), \quad (9)$$

$$\bar{C}_{max i} = 2 \cdot \left( \bar{C}_i + \sqrt{6} \cdot S_{\bar{C}_i} \right), \quad (10)$$

Следует учитывать, что нормальный ЗРВ является неограниченным по

значению своего аргумента, т.е. интегральная функция от  $t_{кр}$  не равна 0 или 1 ни при каких значениях аргумента. Эта функция асимптотически приближается к 0 при  $t_{кр} \rightarrow -\infty$  и к 1 при  $t_{кр} \rightarrow +\infty$ . Равномерный и треугольный ЗРВ ограничены минимальным и максимальным значениями аргумента, т.е. если:

$$\bar{C}_i \leq \bar{C}_{\min i}, \text{ то } f(\bar{C}_i) = 0;$$

$$\bar{C}_i > \bar{C}_{\max i}, \text{ то } f(\bar{C}_i) = 1.$$

При неизвестном ЗРВ или в случае, когда ЗРВ симметричен, риск производителя принять неверное управленческое решение можно рассчитать по формуле Чебышева.

Если ЗРВ неизвестен вообще, формула Чебышева примет вид:

$$P_{\text{риска}} \leq \frac{1}{2 \cdot t_{кр}^2}. \quad (11)$$

Если ЗРВ вероятности симметричен, риск производителя можно рассчитать как:

$$P_{\text{риска}} \leq \frac{2}{9 \cdot t_{кр}^2}. \quad (12)$$

Но следует иметь ввиду, что использование неравенства Чебышева в данном случае малоэффективно, поскольку оно действует только при больших значениях нормированного аргумента ( $t_{кр} > 2 \dots 3$ ) и, следовательно, может применяться только на значительном удалении от критического значения числа  $\bar{C}_i$ .

Обобщая вышеизложенное, методику расчета риска ( $P_{\text{риска}}$ ) можно представить следующим алгоритмом:

1. Определение вида ЗРВ оценок числа критичности ( $\bar{C}_i$ ), что является отдельной задачей исследований.
2. Определение значения оценки среднего квадратического отклонения

( $S_{\bar{C}_{\text{ф}}}$ ), зависящего от количества числа экспертов в группе, степени детализации модели технической системы в целом или отдельных её составляющих, полноты исходной информации об оцениваемом объекте.

3. Расчет нормированного аргумента интегральной функции ЗРВ числа критичности ( $t_{\text{кр}}$ ).

4. Определение значения вероятности  $P_{t_{\text{кр}}}$  или  $P_{C_{\text{кр}}}$

4.1. В случае нормального ЗРВ для этой цели используется ЗРВ Стьюдента с числом степеней свободы  $h = n - 1$ .

4.2. При равномерном ЗРВ используется формула (13):

$$P_{C_{\text{кр}}} = \frac{C_{\text{кр}} - \bar{C}_{\text{mini}}}{\bar{C}_{\text{maxi}} - \bar{C}_{\text{mini}}}. \quad (13)$$

4.3. При треугольном ЗРВ используется формула (14):

$$P_{C_{\text{кр}}} = 1 - 2 \cdot \left( \frac{\bar{C}_{\text{maxi}} - C_{\text{кр}}}{\bar{C}_{\text{maxi}} - \bar{C}_{\text{mini}}} \right)^2. \quad (14)$$

4.4. При использовании формулы Чебышева при неизвестном ЗРВ используется формула (15):

$$P_{t_{\text{кр}}} = 1 - \frac{1}{t_{\text{кр}}^2}. \quad (15)$$

4.5. При использовании формулы Чебышева при неизвестном симметричном ЗРВ используется формула (16):

$$P_{t_{\text{кр}}} = 1 - \frac{4}{9} \cdot \frac{1}{t_{\text{кр}}^2}. \quad (16)$$

5. Расчет вероятности риска производителя принять неверное управленческое решение в зависимости от принятого ЗРВ производится по формулам:

$$P_{\text{риска}} = \frac{1 - P_{t_{\text{кр}}}}{2} \text{ или } P_{\text{риска}} = \frac{1 - P_{C_{\text{кр}}}}{2}, \quad (17)$$

либо при принятии гипотезы о том, что закон не является нормальным использовать формулы (5)...(12), исключая при этом выполнение пункта 3 предложенной методики.

Актуальность приведенного подхода к оценке риска производителей обусловлена прежде всего современными требованиями, выраженными в виде «риск - ориентированного мышления» (ИСО 9000:2015 «Системы менеджмента качества»). Согласно этому стандарту, оценка рисков и принятие решений, основанных на результатах этой оценки, являются необходимыми условиями для достижения результативности системы менеджмента качества.

Разработка новых методов оценки рисков и применение существующих методов дает возможность более эффективно проводить предупредительные мероприятия и мероприятия по улучшению, что является необходимым условием дальнейшего развития отечественной промышленности.

### Литература

1. Chapman, Ch. and St. Stephen Ward, 2003. Project Risk Management Processes Techniques and Insights. John Wiley & Sons, pp: 55-76.
2. Vose, Da., 2008. Risk Analysis. A quantitative guide. John Wiley & Sons, Ltd, pp: 1-13.
3. Ажмухамедов И.М., Выборнова О.Н. Формализация понятий приемлемого и толерантного риска // Инженерный вестник Дона, 2015, №3 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3240](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3240).
4. Чижова В.И., Плуготаренко Н.К., Сосов П.А. Системный анализ и управление рисками для здоровья человека на основании данных автоматизированной системы мониторинга // Инженерный вестник Дона, 2012, №4 (часть 2) URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1344](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1344).
5. Бондарь М. А. Методы принятия управленческих решений // Экономика и управление в XXI веке: тенденции развития. 2014. №14. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n14y2014/1344](#)

cyberleninka.ru/article/n/metody-prinyatiya-upravlencheskih-resheniy-1 (дата обращения: 04.07.2016).

6. Елисеева Т. А. Анализ безопасности электроприводной запорной арматуры методом АВПКО // Известия Тульского Государственного университета. Технические науки. 2013. №5. С. 182-186.

7. Елисеева Т. А. Повышение качества экспертной оценки при проведении анализа видов, последствий и критичности отказов (АВПКО) технических систем // Известия Тульского Государственного университета. Технические науки. 2015. №6 часть 1. С. 342-349.

8. Шишкин И.Ф. Теоретическая метрология. Часть 1. Общая теория измерений: Учебник для ВУЗов. 4-е изд., перераб. и доп. СПб.: Питер, 2010. 192 с.

9. Шушерин В.В., Кортков С.В., Зеткин А.С. Средства и методы управления качеством: учебное пособие. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2006. 202 с.

10. Соловьев С. И. Метрология, стандартизация и сертификация: учеб. пособие для вузов / С. И. Соловьев [и др.]; ТулГУ. — Тула: Изд-во ТулГУ, 2007. 164 с.

### References

1. Chapman, Ch. and St. Stephen Ward, 2003. Project Risk Management Processes Techniques and Insights. John Wiley & Sons, pp. 55-76.

2. Vose, Da., 2008. Risk Analysis. A quantitative guide. John Wiley & Sons, Ltd, pp: 1-13.

3. Azhmukhamedov I.M., Vybornova O.N. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2015, №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3240](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3240).

4. Chizhova V.I., Plugotarenko N.K., Sosov P.A. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2012, №4 (part 2), URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1344](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1344).



5. Bondar' M. A. *Ekonomika i upravlenie v XXI veke: tendentsii razvitiya*. 2014. №14. URL: [cyberleninka.ru/article/n/metody-prinyatiya-upravlencheskih-resheniy-1](http://cyberleninka.ru/article/n/metody-prinyatiya-upravlencheskih-resheniy-1) (data obrashcheniya: 04.07.2016).

6. Eliseeva T. A. *Izvestiya Tul'skogo Gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*. 2013. №5. pp. 182-186.

7. Eliseeva T. A. *Izvestiya Tul'skogo Gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*. 2015. №6 chast' 1. pp. 342-349.

8. Shishkin I.F. *Teoreticheskaya metrologiya [Theoretical metrology]. Chast' 1. Obshchaya teoriya iz-mereniy: Uchebnik dlya VUZov*. 4 izd. pererab. i dop. SPb.: Piter, 2010. 192 p.

9. Shusherin V.V., Kortov S.V., Zetkin A.S *Sredstva i metody upravleniya kachestvom [Tools and methods of quality management]: uchebnoe posobie*. Ekaterinburg: GOU VPO UGTU-UPI, 2006. 202 p.

10. Solov'ev S. I. *Metrologiya, standartizatsiya i sertifikatsiya [Metrology, Standardization and Certification]: ucheb.posobie dlya vuzov*. S. I. Solov'ev [i dr.]; TulGU. Tula: Izd-vo TulGU, 2007. 164 p.