

УДК 005.6

DOI: 10.12737/22169

Т.А. Елисеева

ВЛИЯНИЕ ПОЛНОТЫ ИСПОЛЬЗУЕМОЙ МОДЕЛИ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ТОЧНОСТЬ И ДОСТОВЕРНОСТЬ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ

Рассмотрен вопрос установления зависимости точности и достоверности оценки надежности, проведенной экспертными методами, от полноты логической модели надежности технической системы. Полнота модели определена видами технической совместимости, необходимыми для всестороннего анализа системы на стадии проектирования. По аналогии с функцией потерь Тагути пред-

ложено оценивать среднее квадратическое отклонение (СКО) экспертных оценок надежности, используя параболическую функцию, которая позволяет учесть прогрессивность величины СКО при снижении достоверности оценки.

Ключевые слова: надежность, точность, достоверность, техническая совместимость, дерево неисправностей, качество.

Т.А. Eliseeva

INFLUENCE OF USE COMPLETENESS OF ENGINEERING SYSTEM MODEL UPON ACCURACY AND ADEQUACY OF RELIABILITY ASSESSMENT

An overall purpose of researches – improvement of assessment methods of engineering systems reliability at the stage of design.

To achieve the end specified within the bounds of the investigation there was established that one of the most significant factors defining the effectiveness of the reliability assessment at the stage of designing is the completeness of a model used. For the assessment of model completeness by the example of a failure tree it was offered to determine a correlation between levels of a logical model of reliability and kinds of engineering consistency regulated by RSS 30709-2002 “Engineering Consistency. Terms and Definitions”. Within the bounds of the paper there is analyzed a minimum set of the sorts engineering consistency (dimensional consistency of system elements, compatibility of elements according to reliability, interoperability) the account of which requires various degrees of detailed elaboration of a model and supposes the existence of corresponding source data including those established at the identification of logic connections between failures and the analysis of possible failures caused by a common reason.

For the systematization of research results there is developed a matrix of correlation of analyzed kinds

of engineering consistency with the levels of a failure tree and the values of the assessment of a quadratic means of deviation (QMD) of expected results. The mathematical dependences allowing the definition of QMD values at every level of the logic model of reliability are developed. To account for the progressiveness of a QMD value at the decrease of assessment reliability by analogy with Taguchi function of losses it is offered to use a parabolic dependence. The approach offered is particularly urgent for methods where the accuracy of results obtained determines the degree of a risk of manufacturers caused by wrong or untimely management or technical decision-makings. The trend of risk changes for manufacturers depending on QMD of a resultant value allows explaining diagrams presented in the paper.

The results obtained explain the dependence of accuracy and reliability of a reliability assessment on the completeness of use of the model and show a trend of the influence of parameters pointed out upon risk probability of manufacturers at the decision-making at the stage of designing.

Key words: reliability, accuracy, adequacy, engineering consistency, failure tree, quality.

В настоящее время существует значительное количество методов оценки надежности технических систем [1]. Выбор необходимого метода зависит от ряда факторов: сложности объекта оценивания, наличия исходной информации об объекте, точности результата оценки, квалификации исполнителей и т.д.

Базовым показателем, определяющим качество результирующей оценки надежности на этапе проектирования, где приоритет получили экспертные методы оценки, является показатель эффективности. Эффективная оценка – это несмещенная оценка, имеющая наименьшую дисперсию из всех возможных несмещенных оценок данного параметра [2]. Наибольшее

влияние на эффективность оценки надежности технических систем оказывает точность используемой для проведения оценки логической модели надежности. Точность модели зависит как от исходной информации об отказах отдельных элементов, объединяемых в систему, так и от наличия информации о возможных отказах по общей причине (ООП), т. е. отказах нескольких элементов в системе, возникающих в результате одного воздействия. И

если первую часть информации можно получить из сопроводительной документации, то идентифицировать отказы по общей причине можно только путем взаимной увязки функциональных свойств объединяемых элементов, последовательно раскрывая логические связи на каждом уровне используемой модели надежности, например дерева неисправностей (рис. 1), с учетом принципа технической совместимости.

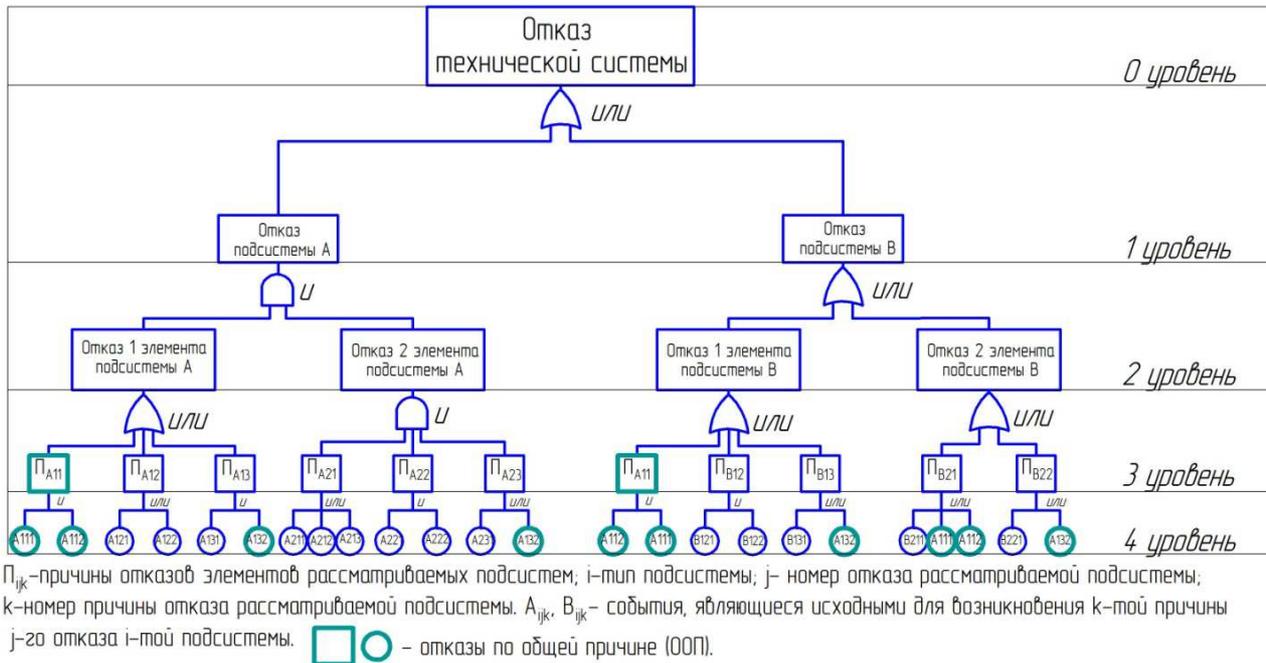


Рис. 1. Дерево неисправностей

Принцип совместимости является одним из основных принципов теории систем [3; 4] и заключается в том, что заданные множества базовых элементов и связей между ними, образующие сложную систему, при своем совместном функционировании (взаимодействии) обеспечивают достижение цели или требуемых свойств и характеристик системы [5].

Классификацию видов технической совместимости устанавливает ГОСТ 30709-2002 «Техническая совместимость. Термины и определения» [5].

На стадии проектирования к основным видам технической совместимости можно отнести:

- размерную совместимость, обеспечиваемую соблюдением сопрягаемых геометрических размеров объединяемых элементов;

- совместимость по надежности, которая заключается в обеспечении требуемых показателей надежности системы;
- функциональную совместимость, заключающуюся в пригодности элементов системы к совместному взаимодействию по видам функций и эксплуатационным характеристикам.

Учет перечисленных видов совместимости на этапе проектирования требует различной степени детализации модели, используемой для описания технической системы, а также различных исходных данных.

Для установления наличия размерной совместимости достаточно сведений, прописанных в технической документации. Эта информация априори заложена на первом уровне логической модели надежности (рис. 1), так как отсутствие размерной

совместимости между элементами не позволяет рассматривать их совокупность как единую систему.

Совместимость элементов системы по показателям надежности требует учета логических связей («и»/ «или») между отказами объединяемых элементов. Как и в предыдущем случае, установить наличие такого вида совместимости можно уже на верхнем уровне модели (1-й уровень на рис. 1), но при этом следует понимать, что каждый отказ будет рассмотрен как независимое событие, так как причины их возникновения пока не определены.

Функциональную совместимость можно идентифицировать только взаимной увязкой функциональных свойств объединяемых элементов (не ниже 2-го уровня). Анализ системы по виду функциональной совместимости позволяет определить причины возникновения отказов отдельных элементов и при необходимости выявить отказы по общей причине (3-й уровень), что, безусловно, повышает точность исходной модели.

Исходя из вышесказанного количество видов технической совместимости, учитываемых при построении логической модели надежности на этапе проектирования, будет влиять на полноту модели с точки зрения достоверности исходной информации, а также на точность результирующей оценки, в совокупности определяя качество результата.

Для систематизации приведенных выше рассуждений на рис. 2 представлена матрица, разработанная с учетом взаимосвязи видов технической совместимости с уровнями дерева неисправностей (рис. 1) и показателем рассеивания значений резуль-

тирующей оценки относительно её математического ожидания - оценкой среднего квадратического отклонения (СКО) $S_{\bar{C}_i}$.

Как видно из графика (рис. 2), для описания тенденции изменения значения СКО при переходе от уровня к уровню логической модели предложено использовать параболическую зависимость, которая позволяет учесть прогрессивность величины СКО при снижении достоверности оценки.

Использование параболической зависимости рекомендовано в работах Г. Тагута, посвящённых исследованию потерь потребителей, связанных с риском отклонения реальных показателей качества (в нашем случае - показателя надежности) от номинальных значений, считающихся наилучшими.

Для расчета значений СКО на каждом уровне дерева неисправностей можно использовать формулу

$$S_{\bar{C}_i\beta} = k(n - \beta)^2.$$

Здесь $S_{\bar{C}_i\beta}$ - СКО результирующей оценки надежности на соответствующем уровне дерева неисправностей; n - число уровней дерева неисправностей; β - порядковый номер уровня, $\beta = 0, 1, \dots, n-1$; k - коэффициент масштаба, значение которого будет определяться зависимостью

$$k = \frac{S_{\bar{C}_{i0}}}{(n - \beta)^2},$$

где $S_{\bar{C}_{i0}}$ - СКО результирующей оценки, гарантируемой экспертной группой на нулевом уровне дерева неисправностей при отсутствии информации об объекте исследования.

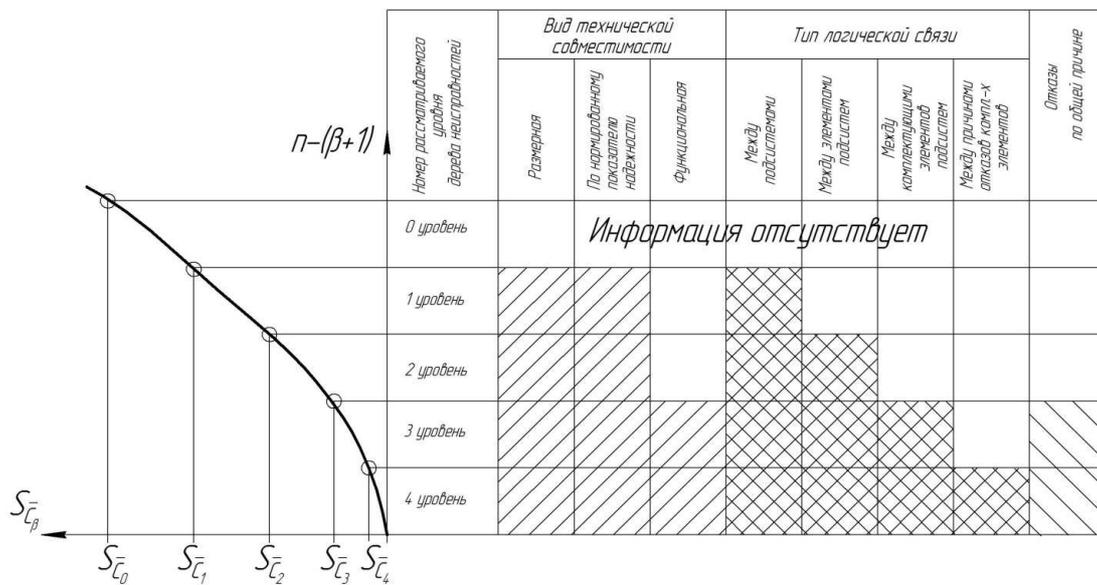


Рис. 2. Матрица взаимосвязи видов технической совместимости с уровнями дерева неисправностей и значениями оценки среднего квадратического отклонения $S_{\bar{C}_\beta}$

Предложенный подход является особенно актуальным для методов, где точность полученных результатов определяет совокупность дальнейших мероприятий по повышению надежности, например: введение дополнительного контроля, изменение режимов технического обслуживания, внесение изменений в конструкцию и др. Все перечисленные мероприятия требуют от производителей затрат времени и материальных ресурсов, что, безусловно, связано с риском при принятии неверного или несвоевременного решения.

В качестве примера такого метода, можно привести метод «Анализ видов, последствий и критичности отказов» (FMEA-анализ) [6]. Суть указанного метода состоит в оценке надежности объекта путем расчета критичности каждого из возможных отказов и последующего сравнения полученной величины с пороговым значением ($C_{кр}$), установленным до проведения анализа.

Критичность отказа (C_i) в соответствии с приведенным методом определяется как произведение 3 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}):

$$C_i = B_{1i} B_{2i} B_{3i} .$$

Если по результатам анализа полученное значение критичности (C_i) превышает пороговое значение ($C_{кр}$), то задачей производителя является принятие решения о введении дополнительных мер, направленных на снижение данного значения и повышение надежности проектируемой конструкции.

Метод FMEA является экспертным, и в случае согласованности мнений экспертов его результаты можно представить, по аналогии с многократными измерениями, в интервальной форме с учетом погрешности оценки [7].

В случае нормального закона распределения вероятностей оценок числа критичности (\bar{C}_i) визуальнo оценить влияние СКО на вероятность риска принятия производителем неверного управленческого решения ($P_{риска}$) позволяют графики, представленные на рис. 3.

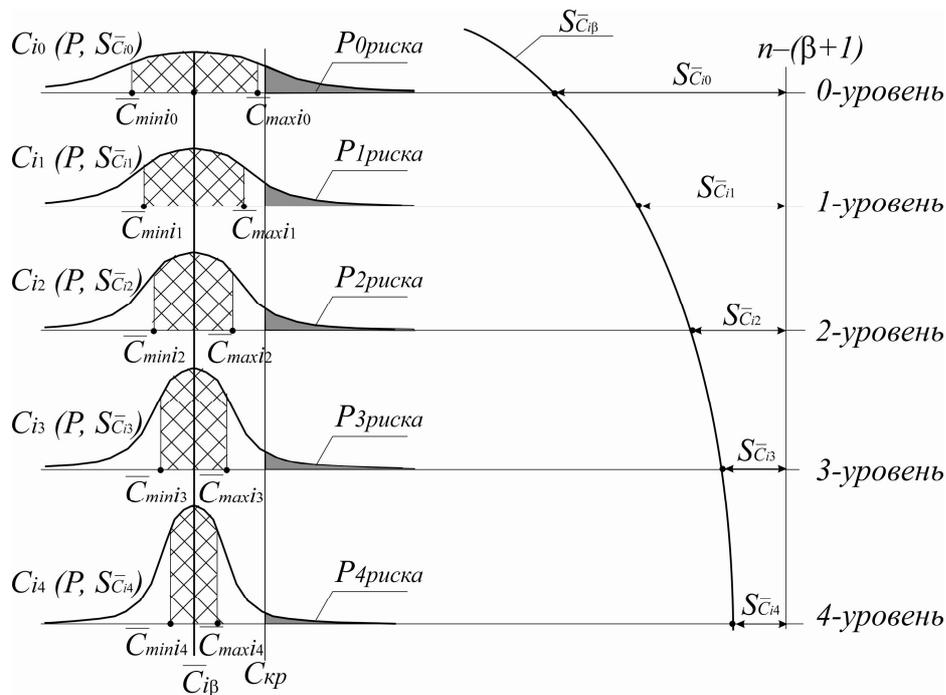


Рис. 3. Зависимость риска производителя ($P_{\text{риска}}$) на каждом уровне дерева неисправностей от значения оценки среднего квадратического отклонения $S_{\bar{C}_{i\beta}}$

В соответствии с приведенными графиками (рис. 3) с увеличением количества уровней дерева неисправностей разброс характеристик оценки критичности $\bar{C}_{i\beta}$ уменьшается за счет уменьшения оценки СКО:

$$S_{\bar{C}_{i0}} > S_{\bar{C}_{i1}} > S_{\bar{C}_{i2}} > S_{\bar{C}_{i3}} > S_{\bar{C}_{i4}}.$$

С уменьшением СКО при неизменной принятой доверительной вероятности ($P\text{-const}$) изменяется вид функции $C_{i\beta}(P, S_{\bar{C}_{i\beta}})$, что приводит к уменьшению риска производителя:

$$P_{0\text{риска}} > P_{1\text{риска}} > P_{2\text{риска}} > P_{3\text{риска}} > P_{4\text{риска}}.$$

Предложенный подход к оценке СКО и, соответственно, рисков производителей, основанный на использовании функции потерь Г. Тагути и установлении взаимо-

связи между точностью и достоверностью оценки надежности и видами технической совместимости, учитываемыми при построении логической модели надежности, позволяет:

- установить точность и достоверность результирующей оценки;
- оценить вероятность риска производителей, использующих результаты оценки для принятия решений, направленных на повышение надежности разрабатываемого объекта;
- оценить эффективность результатов оценки и скорректировать требования к точности ее проведения в рамках принятой производителем политики в области качества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 51901.5-2005. Менеджмент риска. Руководство по применению методов анализа надежности. – М.: Стандартинформ, 2005. – 49 с.
2. Орлов, А.И. Математика случая: Вероятность и статистика – основные факты: учеб. пособие / А.И.Орлов. – М.: МЗ-Пресс, 2004. – 110 с.
3. Бергаланфи, Л. Общая теория систем / Л. Бергаланфи. – М.: Системное моделирование, 1969.
4. Острейковский, В.А. Теория систем: учеб. для вузов / В.А. Острейковский. – М.: Высш. шк., 1997. – 240 с.
5. ГОСТ 30709-2002. Техническая совместимость. Термины и определения. – Минск: Изд-во стандартов, 2003. – 8 с.
6. ГОСТ Р 51901.12-2007 (МЭК 60812:2006). Менеджмент риска. Метод анализа видов и последствий отказов. – М.: Стандартинформ, 2007. – 35 с.

7. Елисеева, Т.А. Анализ рисков принятия управленческих решений при использовании экспертных методов оценки надежности/ Т.А. Елисеева, Е.В. Плахотникова, С.И. Сольвьев. - URL: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_19_eliseeva_plahotnicova_solovev.pdf_04e0b42e89.pdf (дата обращения: 22.08.2016).
8. Леорн, Р. Управление качеством. Робастное проектирование. Методы Тагути: [пер с англ.] / Р. Леорн, А. Шумейкер, Р. Какар, Л. Кац и др. – М.: СЕЙФИ, 2002. – 384 с.
1. RSS 51901.5-2005. *Risk Management. Guide for use of methods of reliability analysis.* – М.: Standardinform, 2005. – pp. 49.
2. Orlov, A.I. *Case Mathematics: Probability and Statistics* –basic facts: Manual / A.I. Orlov. – М.: MZ-Press, 2004. – pp. 110.
3. Bertalanfi, L. General theory of systems / L. Bertalanfi. - М.: *System Modeling*, 1969.
4. Ostreikovsky, V.A. *System Theory: Textbook for Colleges* / V.A. Ostreikovsky.- М.: Higher School, 1997. – pp. 240.
5. RSS 30709-2002. *Engineering Consistency. Terms and Definitions.*– Minsk: Standards Publishing House, 2003. – pp. 8.
6. RSS 51901.12-2007 (IEC 60812:2006). *Risk Management. Method for Analysis of Failure Types and Consequences.* – М.: Standardinform, 2007. – pp. 35.
7. Eliseeva, T.A. *Risks Analysis in Management Decision-Making at Expert Methods Use for Reliability Assessment* / T.A. Eliseeva, E.V. Plakhotnikova, S.I. Soloviyov. - URL: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_19_eliseeva_plahotnicova_solovev.pdf_04e0b42e89.pdf (address date: 22.08.2016).
8. Leorn, R. *Quality Control. Robust Design. Taguchi Methods:* [transl. from Engl.] / R. Leorn, A. Shoemaker, R. Kakar, L. Kats et al. – М.: SEIFI, 2002. – pp. 384.

Статья поступила в редколлегию 5.09.2016.

Рецензент: д.т.н., доцент
Тульского государственного университета
Ларин С.Н.

Сведения об авторах:

Елисеева Татьяна Алексеевна, аспирант Тульского государственного университета, тел.: 8-915-690-49-88, e-mail: eliseeva__tatiana@mail.ru.

Eliseeva Tatiana Alexeevna, Post graduate student of Tula State University, Phone: 8-915-690-49-88, e-mail: eliseeva__tatiana@mail.ru.