

УДК 519.673

Д. В. КОМНАТНЫЙ, кандидат технических наук, Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого, Республика Беларусь

ОБОБЩЕННАЯ МЕТОДИКА АНАЛИЗА БЕЗОПАСНОСТИ И РИСКА ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ОТВЕТСТВЕННЫМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ

Решается задача разработки методики анализа безопасности и оценки риска эксплуатации систем управления ответственными технологическими процессами в условиях воздействия электромагнитных помех. Предлагается разработать такую методику на основе концепции «качество – риск – надежность». Показано, что этим способом можно создать методику, опирающуюся на весьма общие физические представления, которые справедливы как для механических, так и для электрических и электронных систем. В этой методике нормирование риска проводится только из вероятностных соображений, что делает ее наиболее адекватной для систем управления ответственными технологическими процессами.

Введение. В составе промышленного и энергетического комплексов развитых стран имеются предприятия, которые характеризуются высокой степенью опасности в случае отказа или сбоя технологического процесса. Это химические и нефтеперерабатывающие заводы, электростанции, в особенности атомные. Железные дороги и магистральные трубопроводы также имеют высокую степень опасности в случае аварийных ситуаций. На системы управления этими ответственными технологическими процессами и возлагается парирование нештатных ситуаций, обеспечение безопасности. Современные системы управления конструируются на микроэлектронной и микропроцессорной элементной базе. Наряду с достоинствами, эта элементная база обладает и существенным недостатком: снижением устойчивости к электромагнитным помехам с ростом плотности электронных элементов на кристалле и снижением уровня полезных сигналов. Поэтому существует определенный риск эксплуатации микроэлектронной аппаратуры в условиях воздействия электромагнитных помех, который подлежит анализу, оценке и нормированию с целью обеспечения требуемых технических показателей систем управления.

Постановка задачи. В настоящее время разработано значительное количество методов оценки техногенного риска [1, 2]. Но значительным недостатком этих методов является слабая привязка к физическим процессам воздействия вредных факторов, в том числе электромагнитных помех, на технические системы. Методика оценки безопасности и риска, предложенная в [3], лишена этого недостатка. Но она ориентирована на рассмотрение механических систем с усталостью и трением. Распространение основных принципов этой методики на электрические и электронные системы позволит получить методику, опирающуюся на наиболее универсальные представления и, при необходимой адаптации, справедливую для систем различной физической природы. Это, в свою очередь, позволит унифицировать инженерные методы анализа техногенного риска, повысить их адекватность. Рассмотрению этой задачи и посвящена настоящая статья.

Основная часть. Анализ надежности, безопасности и техногенного риска для конкретной технической системы в [3] основан на концепции «качество–риск–надежность». Согласно этой концепции такой анализ выполняется путем решения цепочки проблем: эксплуатационное воздействие – устойчивость – условия устойчивости – параметр надежности – параметр риска – параметр безопасности.

На основании [4, 5] эксплуатационное воздействие электромагнитных помех на микроэлектронную технику описывается энергией помех W . Помехоустойчивость такой техники характеризует пороговое значение энергии помех $W_{\text{пор}}$, превышение которого вызывает сбой в работе электронных узлов. Соответственно условие устойчивости $W < W_{\text{пор}}$. Тогда показатель нарушения качества по [3] есть вероятность превышения энергии помех порогового уровня

$$D = P(W > W_{\text{пор}}) = \int_{W_{\text{пор}}}^{\infty} p(W) dW, \quad (1)$$

где $p(W)$ – закон распределения плотности вероятности энергии помех.

Тот же результат может быть получен методом «нагрузка – устойчивость» [4].

Самостоятельную проблему представляет собой определение закона распределения плотности вероятности энергии помех. В [6] показано, что даже распределение плотности вероятности напряжения помех во входной цепи рецептора помех может быть вычислено только приближенно путем разложения в ряд Эдворта по полиномам Эрмита. Расчет коэффициентов ряда требует неоднократного взятия несобственных интегралов. Поэтому для сокращения вычислительных трудностей следует прибегнуть к линеаризации закона распределения [4, 7]. В этом методе предполагается, что плотность вероятности энергии помех подчинена нормальному закону с математическим ожиданием

$$W_{\mu} = W(U_{\mu}, \tau_{\mu}, \alpha_{\mu}, R_{\text{вх}\mu}) \quad (2)$$

и дисперсией

$$\sigma_W = \frac{\partial W}{\partial U} \sigma_U + \frac{\partial W}{\partial \tau} \sigma_\tau + \frac{\partial W}{\partial \alpha} \sigma_\alpha + \frac{\partial W}{\partial R} \sigma_R, \quad (3)$$

где W_μ – математическое ожидание энергии помехи, Дж; U_μ – математическое ожидание амплитуды помехи, В; τ_μ – математическое ожидание длительности помехи, с; α_μ – математическое ожидание временных параметров помехи, с⁻¹; $R_{вх\mu}$ – математическое ожидание входного сопротивления рецептора, Ом; $\sigma_W, \sigma_U, \sigma_\tau, \sigma_\alpha, \sigma_R$ – дисперсии энергии, амплитуды, длительности, временных параметров помехи и входного сопротивления рецептора.

Тогда показатель нарушения качества легко определить по известному из теории вероятности соотношению

$$D = \frac{1}{2} - \Phi\left(\frac{W_{\text{пор}} - W_\mu}{\sigma_W}\right). \quad (4)$$

Параметром надежности по [8, 9] следует принять вероятность сбоя системы управления в целом $P_{сб}$, которая может быть вычислена исходя из показателей нарушения качества функционирования отдельных узлов по вероятностно-логической схеме для рассматриваемой системы. Методы построения этих схем приведены в [8, 9].

Параметр риска по ГОСТ Р 54505–2001 требуется вычислять по формуле

$$\rho = \sum F_i(C_i, P_{сб,i}), \quad (5)$$

где ρ – параметр риска; F_i – функционал, связывающий стоимость сбоя и его вероятность; C_i – стоимость сбоя под действием i -того типа эксплуатационного воздействия, у.е.

Но данный способ расчета параметра риска имеет недостатки. В системах управления ответственными технологическими процессами при малой вероятности сбоя последствия его зачастую не могут быть выражены в экономических категориях. Вид функционала F не нормируется. Уровни риска также не нормируются, и задание их оставлено на усмотрение разработчика системы. Поэтому целесообразно определять параметр риска согласно [3]

$$\rho = \frac{P_{сб}}{1 - P_{сб}}. \quad (6)$$

Тогда показатель безопасности по [3] вычисляется по формуле

$$S = 1 - \rho = \frac{1 - 2P_{сб}}{1 - P_{сб}}. \quad (7)$$

Показатель риска (6) легко нормируется [3]:

$0 \leq \rho < \rho_{G1}$ – устойчивое состояние;

$\rho_{G1} \leq \rho < 1$ – низкий уровень опасности;

$1 \leq \rho < \rho_{G2}$ – область неустойчивости;

$\rho > \rho_{G2}$ – закритическое опасное состояние.

В этих соотношениях $\rho_{G1} = 0,618$; $\rho_{G2} = 1,618$ – «золотой риск», выражающийся константой «золотого сечения». Появление «золотого сечения» не должно вызывать недоверия к предлагаемой методике, так как известно [10, 11], что эта константа является характеристикой сложных динамических систем.

Сравнение описанной в статье методики с методикой анализа риска из [3] показывает, что их отличие

заключается в способе расчета показателя нарушения качества и параметров надежности. Эти отличия, во-первых, отражают особенности микроэлектронных систем управления как структурно-сложных распределенных систем. Во-вторых, в них проявляются особенности протекания случайных электромагнитных процессов в электронных цепях, по сравнению с явлениями трения и усталости в узлах и деталях машин и механизмов. Поэтому допустимо считать, что задача унификации методики анализа техногенного риска для различных технических систем, в том числе эксплуатируемых совместно, может считаться решенной.

Заключение. Предлагаемая методика анализа техногенного риска имеет следующие достоинства. В ней учитывается вероятностная природа эксплуатационных воздействий. Примечательной особенностью изложенной в [3] и предложенной в настоящей статье методики является то, что эксплуатационные воздействия характеризуются их энергией. Энергия, как известно, является общей мерой различных форм движения материи, изучаемых физикой [12]. Поэтому сравниваемые методики опираются на весьма общие физические представления и, следовательно, имеют универсальный характер, пригодный для использования в различных областях техники.

В методике не остается ненормируемых соотношений. Уровни риска определены из физических соображений и могут быть утверждены стандартом. Эти уровни не связаны с экономическими и политическими категориями, что облегчает разработку нормативной документации.

Таким образом, допустим вывод, что данная методика имеет неоспоримые преимущества перед утвержденной в ГОСТ Р 54505–2001. Поэтому задача стандартизации и нормирования техногенного риска для систем управления ответственными технологическими процессами не может считаться разрешенной и требует дополнительных исследований. В частности, таковые выполнены в настоящей работе. Результаты показывают, что возможно создание достаточно универсальных методов анализа риска и безопасности, основанных на обобщенных физических соображениях. Полученные методы позволяют выполнить анализ риска функционирования систем управления ответственными технологическими процессами с высокой адекватностью. Это особенно необходимо в связи с увеличением концентрации опасных производств в промышленно развитых странах и необходимостью обеспечения требуемого уровня безопасности работников и населения.

Список литературы

- 1 Малкин, В. С. Надежность технических систем и техногенный риск / В. С. Малкин. – Ростов-н/Д : Феникс, 2010. – 432 с.
- 2 Мушик, Э. Методы принятия технических решений / Э. Мушик, П. Мюллер. – М. : Мир, 1990. – 208 с.
- 3 Надежность, риск, качество : [моногр.] / Л. А. Сосновский [и др.]; под ред. Л. А. Сосновского. – Гомель : БелГУТ, 2012. – 358 с.
- 4 Бочков, К. А. Элементы моделирования электромагнитной совместимости устройств железнодорожной автоматики и

телемеханики / К. А. Бочков, Д. В. Комнатный. – Гомель : БелГУТ, 2013. – 185 с.

5 **Кравченко, В. И.** Грозозащита радиоэлектронных средств / В. И. Кравченко. – М.: Радио и связь, 1991. – 264 с.

6 **Левин, Б. Р.** Теоретические основы статистической радиотехники / Б. Р. Левин. – М. : Радио и связь, 1989. – 656 с.

7 **Венцель, Е. С.** Теория вероятности / Е. С. Венцель. – М. : Высшая школа, 2002. – 575 с.

8 **Лисенков, В. М.** Статистическая теория безопасности движения поездов / В. М. Лисенков. – М. : ВИНТИ РАН, 1999. – 332 с.

9 **Острейковский, В. А.** Безопасность атомных станций. Вероятностный подход / В. А. Острейковский, Ю. В. Швыряев. – М. : Физматлит, 2008. – 352 с.

10 **Шредер, М.** Фракталы, хаос, степенные законы. Миниатюры из бесконечного рая / М. Шредер. – Ижевск : НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2005. – 525 с.

11 **Заславский, Г. М.** Введение в нелинейную физику: От маятника до турбулентности и хаоса / Г. М. Заславский, Р. З. Сагдеев. – М. : Наука, 1988. – 368 с.

12 **Болсун, А. И.** Краткий словарь физических терминов / А. И. Болсун. – Минск : Высш. шк., 1979. – 416 с.

Получено 30.04.2016

D. V. Komnatny. Generalized procedure of safety and risk operation analysis of responsible processes control systems in conditions of electromagnetic noise exposure.

The problem of safety and risk operation analysis procedure elaboration for responsible processes control systems in conditions of electromagnetic noise exposure is solved in the article. It is proposed to elaborate such procedure based on “quality – risk – reliability” conception. It is shown, that one can create by this way a procedure based on highly general physical notions, which are correct both to mechanical, electrical and electronic systems. The risk normalization is carried out in this procedure only on probabilistic considerations. This property make it most adequate for responsible processes control systems.