

Нечеткая модель функционально-эксплуатационного риска (ФЭР) технической системы

З. И. Абдулаева¹, В. В. Виноградов², Д. П. Макаренко³

¹СЗГМУ им. И.И. Мечникова (Санкт-Петербург)

²ГУАП (Санкт-Петербург)

³ОАО «ВНИИХОЛОДМАШ»

Abstract. Purpose: To justify the category of functional operational risk (FOR) as an integral characteristic of the sustainability of the responsible technical system (RTS), where the property of "resilience" includes dependability and survivability. **Method:** The FOR estimation is performed based on a hybrid fuzzy-probabilistic model, using the apparatus of fuzzy functions. **Result:** The evaluation of FOR as a possibility that the integral characteristics of dependability and survivability will not go beyond its normative values, at a predetermined point in time in the future, is proposed. **Conclusions:** The RTF FOR estimation is performed optimally when the probabilistic and fuzzy-logical descriptions are combined.

Keywords: *responsible technical system (RTS); functional-operating risk (FOR); dependability; survivability; resilience; fuzzy random variable*

В современных зарубежных научных исследованиях постепенно видоизменяется парадигма идентификации и анализа базовых свойств технических систем (эффективность, надежность, живучесть, безопасность и др.) по следующим основным направлениям:

- активно применяется категория технического риска, выражающая не только вероятность развития тех или иных процессов в системе, но и анализ последствий этих процессов для владельцев системы (в том числе объем предполагаемого ущерба);
- базовые свойства систем начинают рассматриваться как частные свойства некоторого сложного интегрального свойства, именуемого «системная устойчивость» (resilience). В частности, в рамках этого подхода разворачивается инициатива [4]]. И данному комплексному свойству системной устойчивости отвечает критерий интегрального риска (рис. 1) – возможность или вероятность потерять устойчивость в результате воздействия на систему внутренних и/или внешних причин;
- концепция ответственных технических систем (ОТС) требует от проектантов и аналитиков индивидуального подхода к рассмотрению функционирования систем этого класса, с

существенным снижением веса «коллективных» оценок, полученных в ходе комплексного анализа элементов аналогичных систем.

Критерий интегрального риска содержит в своём составе ряд частных видов рисков, выделенных по своему специфическому содержанию:

- риск промышленной аварии – возможность того, что на опасном производственном объекте наступит авария, сопряженная с гибелью / травмированием людей и повреждением имущества;
- проектный риск – возможность того, что основной причиной ожидаемого негатива могут выступить ошибки в конструкторской документации и/или в проектных расчетах, неверный выбор базовых принципов работы ОТС и т.д.;
- экономический риск – возможность того, что неправильное функционирование ОТС может нанести объекту хозяйственный ущерб определенного уровня;
- функционально-эксплуатационный риск (ФЭР) – оцениваемая в настоящем возможность того, что в конкретный момент времени T в будущем эффективность функционирования ОТС, измеряемая по функциональным критериям, окажется ниже нормативно допустимого предела.

Таким образом, структурируя концепцию ФЭР, целесообразно рассматривать эффективность функционирования системы в будущем как нечеткую случайную величину [5], подлежащую прогнозированию на момент T в будущем. ОТС склонна к деградации по внутренним причинам (физический износ оборудования) и по внешним причинам (негативные воздействия широкого спектра); этой деградации противостоят восстановительные процессы, применение структурного и функционального видов резервирования, а также работа специализированных средств обеспечения надежности, живучести и безопасности. Вся эта деятельность разворачивается в условиях существенной информационной неопределенности в отношении воздействий на систему изнутри и извне, а также в части

параметров восстановления системы из состояния отказа. В статистическом отношении, параметры потоков отказов и восстановлений могли бы рассматриваться как скалярные величины, подтвержденные в ходе испытаний. Однако индивидуальный подход к надежности ОТС говорит о том, что коллективные оценки интенсивностей отказов по аналогичному оборудованию могут применяться к анализу данной ОТС лишь опосредованно, с учётом поправки на специфические условия функционирования данной конкретной системы; соответственно указанные оценки подлежат размытию [2]. Аналогичным образом, в рамках индивидуальной надёжности, прогнозированию подлежат не только внезапные, но и постепенные отказы.

Таким образом, мы имеем несколько частных критериев системной устойчивости восстанавливаемой ОТС:

- интенсивность функциональных отказов – нечеткая функция времени произвольного вида;
- интенсивность восстановления оборудования из отказа – нечеткая функция произвольного вида;
- характеристика неблагоприятного воздействия (НВ) – многомерный случайный процесс, где мощность НВ и точки приложения НВ – случайные величины;
- коэффициент готовности $K_g(T)$ – вероятность заставить систему на штатном уровне эффективности функционирования в момент T , в условиях постепенных и внезапных отказов – нечеткая функция T произвольного вида;
- вероятность выживания системы $R(T)$ [3] – вероятность заставить систему на минимально-допустимом уровне эффективности

функционирования в момент T по результатам НВ. Если НВ не предполагаются, $R(T) = 1$.

Целесообразно ввести вероятность сохранения эффективности ОТС по любым причинам, как нечеткую функцию произвольного вида, в качестве нечеткой нормы:

$$E(T) = \min \{K_z(T), R(T)\} \quad (1)$$

И, наконец, уровень функционально-эксплуатационного риска представляет собой четкую (скалярную) функцию T :

$$\Phi ЭР(T) = Poss \{E(T) < E_0(T)\} \quad (2)$$

Здесь запись «Poss» – математический знак возможности, $E_0(T)$ – требуемый на момент T нормативный уровень вероятности сохранения эффективности ОТС – скалярная функция T . Оценка (2) может быть получена на основе методов из [[1]], при сравнении нечеткого числа E с нормативным скалярным числом E_0 .

Таким образом, ФЭР представляет собой комплексную оценку уровня системной устойчивости, сочетая сводную оценку надежности и живучести. Если уровень ФЭР становится недопустимо высоким (0.2 и выше), то системная устойчивость не обеспечивается. Чаще всего такое явление возникает при исчерпании остаточного ресурса ОТС вследствие полного физического износа оборудования, когда интенсивность отказов оборудования становится недопустимо высокой. В этом случае, работа системы должна быть остановлена. ФЭР является идеальным показателем для прогнозирования остаточного ресурса ОТС по результатам накопленной статистики о постепенных и внезапных отказах, а также данных о характере проведенных профилактических и восстановительных работ.

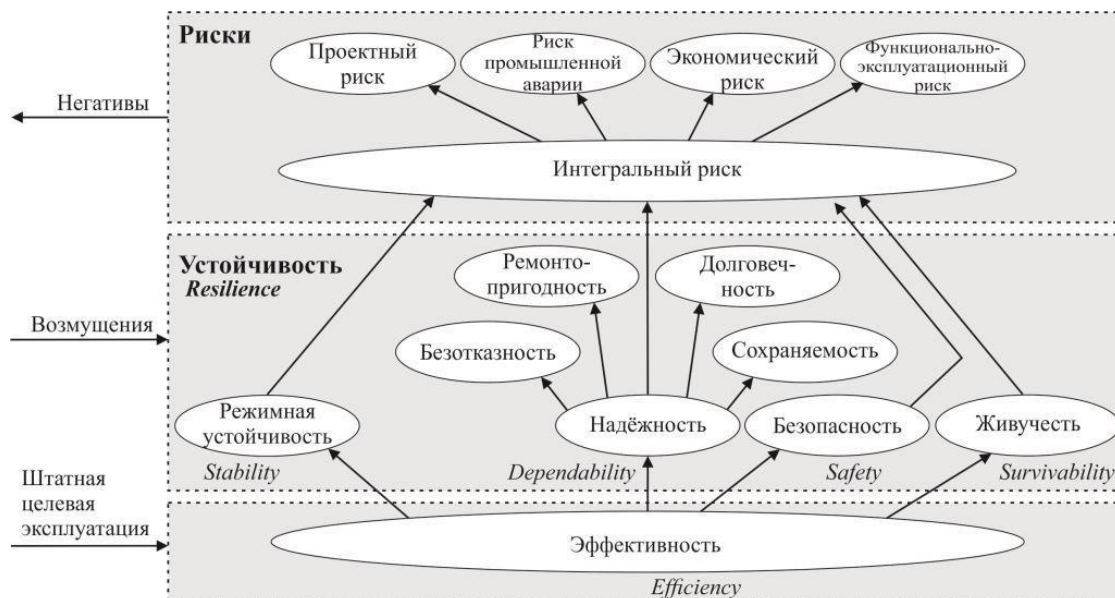


Рис. 1. Измеримые свойства ОТС

а.

Источник: собственные исследования авторов

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Абдулаева З.И., Недосекин А.О. Стратегический анализ инновационных рисков. СПб: СПбГПУ, 2013. 150 с.
- [2] Недосекин А.О., Макаренко Д.П. Абдулаева З.И. Нечетко-вероятностная модель для оценки рисков ответственных технических систем // Информация и космос. 2018. стр 92-99.
- [3] Недосекин А.О., Макаренко Д.П., Виноградов В.В. Нечетко-множественная оценка функциональной живучести комбинированной системы холодоснабжения с резервом времени // Мягкие вычисления и измерения. 2018. В печати.
- [4] ResiliNets Initiative (Канзасский университет и университет Ланкастер, США). - On site: https://wiki.itc.ku.edu/resilinet/Main_Page.
- [5] Puri M.D., Ralescu D.A. Fuzzy Random Variables // J. Math. Anal. App. 1986. v. 114. pp. 409–422.
- [6] Nedosekin, A.O., Shmatko A.D. Abdoulaeva Z.I. Non-exchange evaluation of industrial risks // Proceedings of 2017 20th IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 2017