Надежность и живучесть систем как частные свойства технической устойчивости

З. И. Абдулаева
Санкт-Петербургский Политехнический университет Петра Великого
Санкт-Петербург, Россия
abdulaeva_zi@spbstu.ru

В. В. Виноградов
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
Санкт-Петербург, Россия
v.vin91@gmail.com

М. Э. Топузов
Северо-западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова
Санкт-Петербург, Россия
marlen.topuzov@szgmu.ru

Д. П. Макаренко
ПАО ВНИИХОЛОДМАШ
Москва, Россия
makarenko@vhm.ru

***Аннотация*. Цель: Показать, что надёжность и живучесть технических систем могут рассматриваться совместно, в рамках концепции технической устойчивости, с применением унифицированных нечетко-логических описаний.**

Методы: Для систем автономного холодоснабжения с резервом времени предлагаются несколько моделей и методов совместного учёта надежности и живучести, с оценкой уровня устойчивости по критерию функционально-эксплуатационного риска (ФЭР).

Результат: Совместный анализ надежности и живучести технических систем позволяет избежать конфликта в распределении ресурсов на обеспечение устойчивости в целом, поскольку свойства надежности и живучести могут конфликтовать друг с другом.

Выводы: Подход, основанный на концепции глобальной устойчивости, позволяет безгранично расширять исходную техническую модель, добавляя в неё описания для экономической и организационной систем, которые применительно к исходной технической системе выступают как надсистемы управления.

Ключевые слова: техническая устойчивость; надежность; живучесть; нечеткие модели технической устойчивости; функционально-эксплуатационный риск (ФЭР)

I. Введение

В современных условиях мирового кризиса особое внимание должно уделяться обеспечению устойчивого функционирования ответственных технических систем. Более подробный анализ показывает, что свойство устойчивости систем является глобальным и подразумевает одновременное обеспечение всех частных локальных свойств, входящих в его состав. В частности, в современной парадигме исследований технической устойчивости надежность и живучесть систем должны рассматриваться совместно, на правах равноправных частных свойств. Доклад посвящён особенностям такого совместного рассмотрения.

II. Совместный анализ надежности и живучести систем

Надежность технической системы; в соответствии с ГОСТ 27.002–2015 [1] – это её свойство сохранять во времени способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения; технического обслуживания; хранения и транспортирования. Это общетехническое определение. У технической живучести, в отличие от надежности, общетехнического определения нет, есть только отраслевые; обзор этих определений сделан в [2; 3]. В [2; 4] функциональная живучесть понимается как способность технической системы сохранять эффективность своего функционирования, пусть даже на сниженном уровне, в условиях неблагоприятных внешних воздействий (НВ).

В широком диапазоне случаев (например, в военных приложениях), надёжность и живучесть технической системы должны обеспечиваться совместно и одновременно. Но ресурсная база указанных свойств обеспечивается из единого организационно-финансового источника, что изначально закладывает конфликт обозначенных свойств при обеспечении. Легко можно предложить примеры, когда надёжность технической системы обеспечена, а живучесть нет, и наоборот.

Естественный выход из ситуации – это исследовать более глобальное свойство технической устойчивости, применительно к которому надежность и живучесть являются частными свойствами. Оценивая систему по интегральному показателю устойчивости и нормируя его уровень, можно примирить надежность и живучесть в обеспечении. Именно таким путём пошла западная наука, подчиняя надежность и живучесть устойчивости (рисунок).

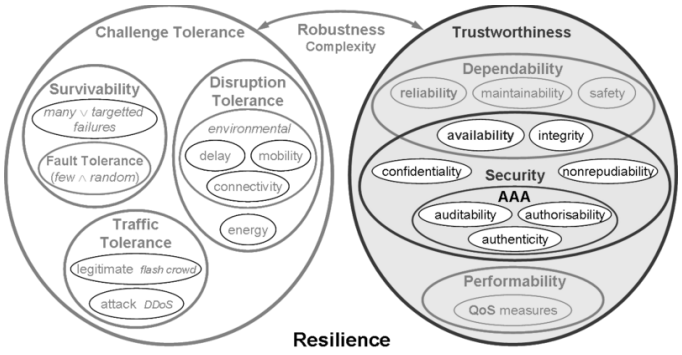

Рис. 1. Надежность и живучесть как частные свойства устойчивости. Источники: [5; 6]

В конце концов, для владельца системы неважно, какие именно причины снижают эффективность работы системы – внешние или внутренние; ему важно, чтобы система функционировала устойчиво, причём в любых заранее оговорённых условиях, в том числе экстремальных, которые лежат за пределами штатных. Другое дело, что штатные и нештатные условия функционирования сопровождаются разными уровнями информационной неопределенности. Если процессы отказов и восстановлений элементов системы хорошо описываются потоками с вероятностными характеристиками, то нештатные условия, связанные с катастрофами и военными ударами, не подлежат вероятностному моделированию в классическом; частотном понимании вероятности. И здесь гораздо уместнее использовать математический аппарат теории возможностей и нечетких множеств.

Таким образом, в интересах анализа технической устойчивости уместно рассматривать эффективность системы как нечеткую случайную величину в смысле [7]. Если случайность системе доставляется изнутри (в части отказов и восстановлений); то нечёткость подступает извне (со стороны НВ). И тогда можно оценивать уровень технической устойчивости по критерию функционально-эксплуатационного риска ФЭР [2;8] по формуле:

$$\text{Risk} = \text{PossProb}\,\{\text{Eff} < \text{Effmin} \mid \text{AE}\} \qquad (1)$$

Здесь PossProb – это математический символ; указывающий; что обработка нечетко-случайной величины эффективности Eff должна производиться как по вероятности; так и по возможности (одновременно в двух математических пространствах). Также Effmin – минимально-допустимый уровень эффективности функционирования системы; *AE* – весь комплекс условий, влияющих на деятельность системы, в части внешних и внутренних возмущений.

Рассмотрим функционирование комбинированной системы автономного холодоснабжения в составе специального объекта [9], обладающего запасом хладоносителя (искусственный лёд). В штатных условиях лёд запасается, а в нештатных условиях – расходуется на нужды объекта, пока система восстанавливается путём ремонта.

Если рассматривать только надежность такой системы; то она хорошо описывается полумарковскими моделями надежности с резервом времени [10]. И тогда коэффициент готовности системы – это скалярная величина вероятности. Если же рассматривать только живучесть без надежности, то коэффициент готовности – это уже нечеткая величина произвольного вида, в зависимости от сценария НВ. И, чтобы проанализировать уровень ФЭР, надо оценить возможность того, что коэффициент готовности сохранится в нормативно-допустимых пределах (выше уровня, установленного техническими требованиями к системе).

Впервые совместный анализ надежности и живучести технической системы был предпринят в [3], затем эти результаты были воспроизведены в аналогичной постановке задачи в [2]. Когда НВ прикладывается к системе, оно застаёт систему в спектре частично-работоспособных состояний, вероятностная мера которых формируется из условий простейшей марковской цепи. НВ задаёт нечетко-возможностное распределение состояний, и в результате оценка готовности системы строится на объединении множеств потенциально отказавших и потенциально поражённых элементов системы (оба названных множества могут пересекаться).

Экономическое содержание обеспечения технической устойчивости состоит в том; что решается оптимизационная задача минимизации финансовых вложений в обеспечение устойчивости; при ограничениях на максимально допустимый уровень ФЭР. Исследуя свойства логистической кривой ФЭР, в зависимости от нормативных требований к коэффициенту готовности системы, можно сделать вывод; что устойчивость системы не обеспечивается, если ФЭР > 15%...20%. Чем ответственнее техническая система, тем ниже уровень предельно-допустимого ФЭР.

III. Заключение

В задачах анализа технической устойчивости эффективность функционирования системы – это нечеткая случайная величина. Случайность обуславливается штатными условиями функционирования системы и сопряжёнными с этими условиями внезапными и постепенными отказами оборудования. Существенная информационная неопределенность в части НВ, в свою очередь, предполагает моделирование поведения системы на основе нечетких моделей. Тем самым, совместный учёт надежности и живучести предполагает модельную гибридизацию, когда вероятности и нечетко-множественные описания присутствуют в одном модельном каркасе и взаимно дополняют друг друга. Это открывает широкие возможности для анализа технической устойчивости по показателю ФЭР.

Список литературы

[1] ГОСТ 27.002-2015. Надежность в технике. Термины и определения.

[2] Недосекин А.О., Виноградов В.В., Абдулаева З.И. Методы и модели оценки функциональной живучести структурно-сложных технических систем. СПб: Изд. СПбПУ, 2018. 127 с.

[3] Черкесов Г.Н. Модели и методы оценки живучести сложных систем. М.: МДНТП; 1987. 32 с.

[4] Черкесов Г.Н., Недосекин А.О., Виноградов В.В. Анализ функциональной живучести структурно-сложных технических систем // Надежность. 2018. Т.18. № 2(65). С. 17-24.

[5] Черкесов Г.Н., Недосекин А.О. Описание подхода к оценке живучести сложных структур при многоразовых воздействиях высокой точности // Надежность. 2016. Т.16. №2 (57). С. 3–15.

[6] ResiliNets Initiative. – Электронный ресурс. Режим доступа: https://wiki.ittc.ku.edu/resilinets/Main_Page. Дата обращения: 15.02.2020.

[7] Puri M.L., Ralesku D.A., Fuzzy random variables // J. Math. Anal. Appl. 1986. pp. 409-422.

[8] Недосекин А.О., Смирнов А.В., Макаренко Д.П., Абдулаева З.И. Функционально-эксплуатационный риск как критерий для оценки долговечности автономной энергетической системы // Надежность и безопасность энергетики. 2019. Т. 12. № 1. С. 56-62.

[9] Смирнов А.В., Недосекин А.О., Макаренко Д.П., Александров С.В. Прогнозирование остаточного ресурса оборудования технических систем специальных объектов МО РФ // В сб. докладов.: Актуальные вопросы развития систем автономного электроснабжения объектов Министерства обороны Российской Федерации. СПб: Изд-во Политехнического университета; 2017. 282 с.

[10] Черкесов Г.Н. Надежность технических систем с временной избыточностью. М.: Советское радио; 1974. 296 с.