

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

УДК 519.21.001.8

М. А. Елисеева, К. Н. Маловик

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ГИПЕРСЛУЧАЙНЫХ ЯВЛЕНИЙ ДЛЯ КОНТРОЛЯ РЕСУРСОСПОСОБНОСТИ СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

UDC 519.21.001.8

M. A. Yeliseyeva, K. N. Malovik

THE APPLICATION OF THE THEORY OF HYPERRANDOM PHENOMENA TO CONTROL RESOURCE POOLS OF COMPLEX OBJECTS

Аннотация

Исследование вопросов по обеспечению долгосрочной эксплуатации сложных объектов требует особого внимания к оцениванию и прогнозированию рисков при контроле ресурсоспособности. Определение уровня безопасности сложных объектов является актуальной задачей, решение которой заключается в оценивании и прогнозировании реального состояния оборудования. При этом одним из важных факторов повышения качества оценивания уровня безопасности и долгосрочной эксплуатации служит обоснование и выбор наиболее эффективной математической модели для оценивания и прогнозирования рисков.

Ключевые слова:

ресурсные характеристики, сложный объект, ресурсоспособность, остаточный ресурс, гиперслучайная величина.

Abstract

The issues associated with ensuring long-term operation of complex objects require special attention to evaluation and prediction of risks in controlling resource pools. The determination of the level of safety of complex objects is a task of vital importance, the solution of which lies in the estimation and prediction of the real condition of equipment. In this case, one of the important factors to improve the evaluation of security level and long-term operation is justification and selection of the most effective mathematical model to evaluate and forecast risks.

Key words:

resource characteristics, complex object, resource pool, residual lifetime, hyper-random value.

Введение

Исследование вопросов по обеспечению ресурсоспособности и долгосрочной эксплуатации потенциально опасных технических объектов, которые следует рассматривать как сложные объекты (СО) [1], требует особого вни-

мания к оцениванию и прогнозированию рисков при контроле ресурсных характеристик (РХ) оборудования [2]. Определение уровня безопасности СО является актуальной задачей, решение которой заключается в оценивании и прогнозировании реального технического состояния оборудования. При этом

одним из важных факторов повышения качества оценивания уровня безопасности, ресурсоспособности и долгосрочной эксплуатации СО на всех стадиях его жизненного цикла считается обоснование и выбор наиболее эффективной математической модели [2, 3], позволяющей получать более достоверную информацию для принятия решений о продлении срока службы оборудования СО либо о немедленной его замене.

На сегодняшний день при анализе опасностей, связанных с отказами технических устройств опасных производственных объектов (ОПО), для принятия решений по безопасности применяются показатели технического риска, которые определяются соответствующими методами надежности [3]. При этом оценивание технического риска связано с наличием ряда задач при установлении значений вероятностей отказов, для решения которых целесообразно проведение исследований показателей ресурсоспособности СО. Показатели ресурсоспособности и долгосрочной эксплуатации СО, рассматриваемые с помощью РХ, определяющими из которых можно считать остаточный ресурс (ОР) и время предельного состояния (ВПС), являются наименее изученными и сложными для исследования [2, 3].

Цель данного исследования – определить подход к оцениванию и прогнозированию РХ СО методом гиперслучайных величин с помощью моделирования состояний ресурсоспособности СО и проведения сравнительного анализа применяемого математического аппарата. При этом в результате исследования множества состояний СО при оценивании ресурсоспособности, в общем, и определяющих РХ, в частности, целесообразно предусмотреть их унификацию относительно динамики состояний ресурсоспособности.

Основная часть

Известна модель [2], которая позволяет привести состояния ресурсо-

способности СО к единообразию относительно определяющих причин отказов в рамках методологии индивидуального прогнозирования СО. На ее базе для описания динамики состояний ресурсоспособности СО в общем случае можно рассмотреть множество работоспособных (и безопасных) состояний MS и полностью неработоспособных состояний, включающих функционально опасные MS_{OP} и безопасные MS_B состояния соответственно, с помощью модели, представленной на рис. 1.

В общем, могут иметь место и другие состояния, связанные с профилактикой, модернизацией, ремонтом, заменой элементов, которые не показаны на рис. 1. Переход СО из состояний множества MS_1 в состояния множества MS_j , где $j = \overline{2, n}$, вызывается уменьшением запаса ресурса при сохранении в полном объеме его функциональности. В случае пополнения ресурса возможны обратные переходы.

На рис. 1 приняты следующие обозначения: S_0 – исходное исправное состояние; S_K – подмножество состояний конструктивных внезапных отказов; S_{KP} – подмножество состояний конструктивных постепенных отказов; $S_Э$ – подмножество состояний эксплуатационных отказов; S_D – подмножество состояний деградиационных отказов; S_P – подмножество состояний ресурсных отказов; S'_{KP} – подмножество состояний конструктивных постепенных отказов, возникающих, но не обнаруженных; S'_D – подмножество состояний деградиационных отказов, возникающих, но не обнаруженных. При обнаружении отказов и их устранении СО переходит в исправное состояние S_0 .

Для дальнейшего исследования состояний ресурсоспособности предположим, что СО с конечным временем жизни описывается процессом естественного старения, который можно представить в виде ряда последовательных этапов. Поэтому целесообразно рас-

смотрение вопроса прогнозирования времени попадания СО в предельные состояния, т. е. ВПС – τ . Для прогнозирования этого времени при оценивании технического риска нужно определить

границы области изменения τ на этапах проектирования и эксплуатации, которые обусловлены вероятностью отказов оборудования СО [4], как показано на рис. 2.

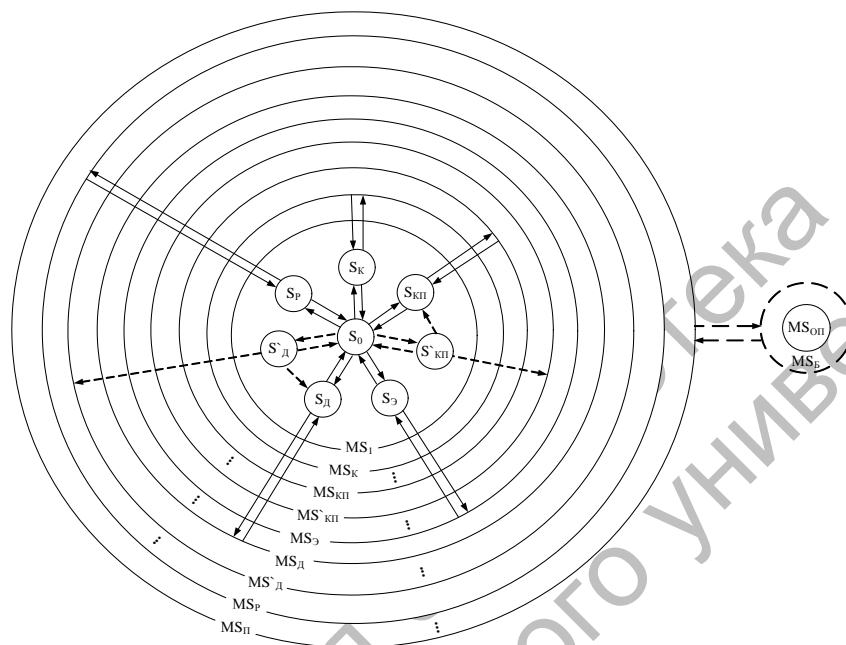


Рис. 1. Модель динамики состояний ресурсоспособности СО

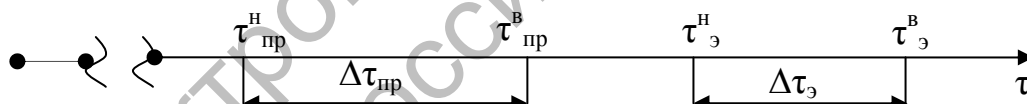


Рис. 2. Интервальная оценка ВПС при определении технического риска СО: $\tau_{пр}^н$, $\tau_{пр}^в$ – нижняя и верхняя границы ВПС на этапе проектирования, $\tau_{э}^н$, $\tau_{э}^в$ – нижняя и верхняя границы ВПС на этапе эксплуатации СО

Для получения интервальной оценки неопределенности технического риска при построении модели прогнозирования τ СО необходимо применение математического аппарата, позволяющего учитывать различные условия формирования процессов предотказного состояния на этапах проектирования и эксплуатации СО.

С целью обоснования и выбора наиболее эффективной аналитической модели, обеспечивающей повышение качества оценивания РХ СО, можно по-

казать результаты сравнительного анализа математического аппарата [5], представленные в табл. 1.

Определяющий недостаток приведенных в таблице методов – требование наличия репрезентативной выборки. Анализ показал, что наиболее приемлемым и эффективным для оценки РХ является математический аппарат теории нечетких множеств и гиперслучайных величин. Однако для использования теории нечетких множеств требуются базы данных компетенций, идентифи-

цированных относительно объекта, и компетентные эксперты, что не всегда возможно. Поэтому можно полагать, что математический аппарат теории ги-

перслучайных явлений более приемлем для построения модели оценивания технического риска СО.

Табл. 1. Сравнительный анализ математического аппарата

Математический аппарат	Функциональный анализ	Математический анализ	Дифференциальное уравнение	Теория случайных процессов	Теория гиперслучайных явлений	Теория нечетких множеств
Объект	Детерминированный с известными характеристиками			Стохастический с известными характеристиками	Стохастический с известными характеристиками	Детерминированный или стохастический с неизвестными характеристиками
Среда	Детерминированная с известными характеристиками			Стохастическая с известными характеристиками	Стохастическая с неизвестными характеристиками	Детерминированная или стохастическая с неизвестными характеристиками
Достоинства	Возможность физического моделирования			Адекватность	Адекватность, позволяет учитывать условия формирования оцениваемой величины (проведения испытаний)	Простота, высокая эффективность
Недостатки	Сложность получения и обработки информации, требуется большой объем информации, большое затратное время, большая стоимость, недостаточная адекватность модели			Сложность получения данных, требуется репрезентативная статистика	Слабо исследована, недостаточно примеров практического применения	Наличие неопределенности, зависящей от компетентности экспертов, отсутствие базы данных компетенций

В настоящее время математический аппарат теории гиперслучайных явлений, ориентированной на адекватное описание реальных физических явлений, позволяет учитывать непредсказуемый характер изменения свойств СО и статистических условий их наблюдения [6]. Так как при оценивании РХ имеется некоторая неопределенность, то можно сказать, что для более качественного контроля РХ СО целесообразно рассматривать РХ как и гиперслучайные величины, описание которых задается

границами области неопределенности в виде границ условных функций распределения, характеризующих пессимистический и оптимистический прогнозы изменения величины.

Преимуществами применения методов гиперслучайных величин для оценивания РХ является то, что оценки, описывающие гиперслучайные явления, к которым можно отнести изменения параметров РХ СО, несут больше информации об исследуемом явлении и характеризуют его полнее, чем анало-

гичные вероятностные и числовые характеристики, рассчитываемые классическими статистическими методами. Поэтому можно предполагать большую эффективность методов гиперслучайных величин для исследования РХ и параметров технического риска СО.

Рассмотрим возможность оценивания такой РХ, как ОР, которая, как правило, является вероятностной характеристикой надежности оборудования ОПО. ОР, будучи функциональной характеристикой закона распределения случайной наработки до отказа, связан с уравнениями функции распределения или с плотностью распределения наработки до отказа. Следовательно, оценивание ОР зависит, прежде всего, от того, насколько качественно проведено оценивание функции распределения или плотности распределения. Под ОР понимают запас вероятной наработки оборудования СО после момента контроля его технического состояния (или ремонта), в течение которого достигается соответствие требованиям нормативно-технической документации всех основных технико-эксплуатационных показателей и показателей безопасности [5]. При этом прогнозирование величины ОР обеспечивается при одновременном выполнении следующих условий: известны параметры, определяющие техническое состояние оборудования; известны критерии предельного состояния оборудования; имеется возможность периодического (или непрерывного) контроля значений параметров технического состояния.

По многим характерным для оборудования СО деградиационным процессам указанные условия выполняются, однако по другим видам поврежденных не все условия, необходимые для прогнозирования ОР, по существующим методикам оценивания и прогнозирования РХ могут выполняться, что требует проведения специальных исследований [5].

Известны статистические методы оценки и прогнозирования ресурса оборудования СО [2], основанные на анализе его функции распределения как случайной величины. При этом под ОР можно понимать математическое ожидание остаточной наработки, а под остаточной наработкой – оставшуюся случайную наработку оборудования до его перехода в предельное состояние [5]. Таким образом, ОР является вероятностной характеристикой надежности оборудования СО. Следовательно, оценивание ОР зависит, прежде всего, от того, насколько качественно проведено оценивание функции распределения или плотности распределения [2]. Так как в процессе эксплуатации решается задача прогнозирования поведения интенсивности отказов как статистическая, основанная на обработке исходной информации, то, следовательно, прогноз имеет некоторый разброс. Поэтому целесообразно прогнозируемое поведение интенсивности отказов определять как среднее значение, которое находится между значениями, характеризующими пессимистический и оптимистический прогнозы [2, 7].

При определении вероятностных границ ОР методом гиперслучайных величин предположим, что множество G охватывает множество всех вариантов условий формирования оцениваемой величины. Оцениваемая гиперслучайная величина ОР представляет собой множество случайных величин T/g , описывающих измеряемую величину при фиксированных условиях $g \in G$. Гиперслучайная оценка ОР представляет собой множество гиперслучайных оценок T^*/g , описывающих оценки случайных величин в условиях $g \in G$ [6].

При этом гиперслучайная оценка ОР задается:

- вероятностными характеристиками;
- условными параметрами;
- безусловными параметрами.

Графическое представление границ области неопределенности при прогнозировании вероятностной оценки ги-

перслучайной величины ОР показано на рис. 3.

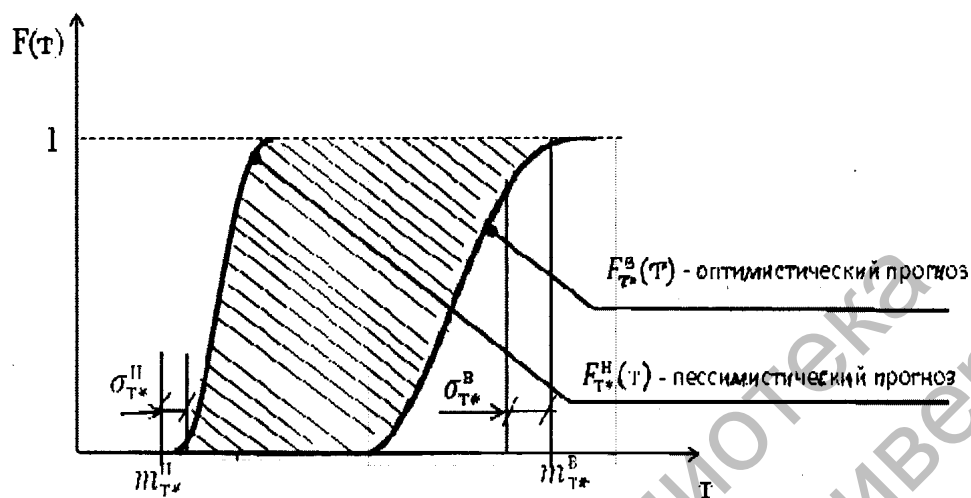


Рис. 3. Графическая иллюстрация прогнозирования области неопределенности вероятностной оценки гиперслучайной величины ОР

Приняты следующие обозначения: $F_{T^*/g}(T)$ – условная функция распределения для $\forall g \in G$; $F_{T*}^H(T)$, $F_{T*}^B(T)$ – границы функции распределения; $m_{T^*/g}$ – математическое ожидание; $\sigma_{T^*/T,g}$ – среднеквадратическое отклонение для всех $g \in G$; m_{T*}^H , m_{T*}^B – математическое ожидание границ; σ_{T*}^H , σ_{T*}^B – среднеквадратическое отклонение границ.

Таким образом, имея определенную выборку, соответствующую неизвестной величине T (время) и неизвестным условиям g , а также априорную информацию о параметрах и характеристиках оценки и показателях ОР, с помощью метода гиперслучайных величин можно определить оценку ОР и оценить точность прогноза.

Представление величины ОР как гиперслучайной величины и его оценки дает возможность выделить границы оптимистического и пессимистического прогнозов оценок величины ОР с уче-

том условий наблюдений, что позволит повысить точность оценивания и прогнозирования РХ СО.

Выводы

- В результате проведенного анализа:
 - показано, что применение теории гиперслучайных явлений способствует более эффективному исследованию ресурсных характеристик и технического риска сложных объектов;
 - приведено графическое представление границ области неопределенности при прогнозировании вероятностной оценки гиперслучайной величины остаточного ресурса;
 - предложено совершенствование методологии оценивания технического риска при контроле ресурсных характеристик, которое предусматривает повышение качества принимаемых решений в условиях непредсказуемой изменчивости сложных объектов и статистических условий наблюдения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Елисеєва, М. А.** Особенности оценивания ресурсных характеристик методом гиперслучайных величин / М. А. Елисеєва, К. Н. Маловик // Проблеми розвитку та впровадження систем управління, стандартизації, сертифікації, метрології в регіонах України : матеріали IV Всеукраїнської наук.-практ. конф. 7–10 квітня 2014 р. – Донецьк : ДонНТУ, 2014. – С. 31–36.
2. **Маловик, К. Н.** Развитие научных основ повышения качества оценивания и прогнозирования ресурсных характеристик сложных объектов : монография / К. Н. Маловик. – Севастополь : СГУЯЭиП, 2013. – 332 с.
3. **Маловик, К. Н.** Систематизация методов оценивания рисков эксплуатации АЭС / К. Н. Маловик, М. А. Елисеєва // Ядерная и радиационная безопасность. – 2014. – № 1. – С. 21–25.
4. **Елисеєва, М. А.** Оценивание вероятностных показателей технического риска методом гиперслучайных величин / М. А. Елисеєва, К. Н. Маловик // Сб. наук. пр. СГУЯЭиП. – 2014. – Вып. 1. – С. 129–136.
5. РД 26.260.004-91. Прогнозирование остаточного ресурса оборудования по изменению параметров его технического состояния при эксплуатации. – М., 1991.
6. **Горбань, И. И.** Теория гиперслучайных явлений / И. И. Горбань. – Киев : Наукова думка, 2007. – 184 с.
7. **Елисеєва, М. А.** Безопасность объектов критического применения. Развитие диаграммы Фармера / М. А. Елисеєва, К. Н. Маловик // Стандарты и качество. – 2013. – № 7. – С. 40–41.

Статья сдана в редакцию 12 ноября 2014 года

Мария Александровна Елисеєва, аспирант, Севастопольский национальный университет ядерной энергии и промышленности. E-mail: marysia_a_a@mail.ru.

Константин Николаевич Маловик, руководитель Института нанотехнологий информационно-измерительных и специализированных компьютерных систем, Севастопольский национальный университет ядерной энергии и промышленности. E-mail: konstmalovik@mail.ru.

Mariya Aleksandrovna Yeliseyeva, PhD student, Sevastopol National University of Nuclear Energy and Industry. E-mail: marysia_a_a@mail.ru.

Konstantin Nikolaevich Malovik, Director of the Institute of Nanotechnology and Specialized Computer Systems, Sevastopol National University of Nuclear Energy and Industry. E-mail: konstmalovik@mail.ru.