

# Обробка інформації в складних технічних системах

УДК 65.011.3.001.18.019

Д.А. Бережной, К.Н. Маловик

*Севастопольский национальный университет ядерной энергии и промышленности,  
Севастополь*

## ВЛИЯНИЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ НА СТОИМОСТЬ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

*Рассматривается вопрос зависимости стоимости проектирования сложных объектов от величины затрат на создание системы прогнозирования. Показаны особенности сложных объектов. Раскрывается сущность прогнозирования надежности сложных объектов и создания системы прогнозирования. Дано определение и цель создания системы прогнозирования. Приведены основные требования, предъявляемые к системе прогнозирования. Также рассмотрены основные факторы, влияющие на неопределенность прогнозирования сложных объектов.*

**Ключевые слова:** *сложный объект, надежность, система прогнозирования, неопределенность прогнозирования, эффективность.*

### Введение

Одно из основных требований, предъявляемых к сложным объектам (СО) – обеспечение высокого уровня безопасности и надежности их работы. Проблема обеспечения надежности и высокого качества функционирования СО относится к числу наиболее важных задач.

На этапе проектирования СО всегда присутствуют затраты, связанные с прогнозированием его надежности, которые впоследствии влияют на общую стоимость проектирования СО. При прогнозировании надежности СО всегда есть вероятность неопределенности, которая предопределяет затраты на проектирование сложного объекта.

### Основная часть

Примерами СО являются ядерные энергетические установки (ЯЭУ), объекты инфраструктуры железнодорожного транспорта, авиационной инфраструктуры, космической инфраструктуры, социально-экономическая сфера и т.д.

Сложным объектам характерно [1]:

– **Уникальность** большой номенклатуры составных элементов СО.

– **Функциональная избыточность.** Простой объект может находиться только в двух состояниях: состоянии работоспособности (исправном) и состоянии отказа. При отказе любого элемента простой объект либо полностью прекращает выполнение своей функции, либо продолжает ее выполнение в

полном объеме, если отказавший элемент резервирован. СО при отказе отдельных элементов, как правило, не теряет работоспособность. Зачастую только снижаются характеристики эффективности СО.

– **Большая длительность эксплуатации.** Эта особенность СО выдвигает на первый план проблему обеспечения не только их высокой безотказности, но и долговечности.

– **Высокая надежность элементов.** Отказы СО являются крайне редкими событиями.

Весьма показательно выглядит проблема прогнозирования долговечности в условиях ограниченной информации на примере таких СО, какими являются ЯЭУ. Кроме рассмотренных выше четырех особенностей СО ядерные энергетические установки еще дополнительно имеют такие свойства, как высокая радиационная и ядерная опасность для населения, окружающей среды и обслуживающего персонала в случае отказов оборудования.

Для повышения безопасности и долговечности, на стадии проектирования, осуществляется прогнозирование надежности СО.

Основные понятия, связанные с прогнозированием надежности: интервал упреждения, интервал предыстории и продолжительность развития предотказного состояния.

**Интервал упреждения**  $T_y$  – это промежуток времени, на который разрабатывается прогноз. Так как в любой практической ситуации с ростом интервала упреждения точность прогноза уменьшается (рис. 1), то возникает необходимость определения

некоторого минимального интервала упреждения, для которого имеет смысл осуществлять прогноз.

Под **интервалом предьстории**  $T_n$  понимается минимальный промежуток времени, на котором проявляются закономерности изменения прогнозируемого процесса, что обеспечивает возможность экстраполяции на заданном интервале упреждения [2].

Поскольку прогноз осуществляется всегда на основе некоторой предьстории изменения прогнозируемого параметра  $y(t)$ , возможность прогнозирования на заданный интервал упреждения  $T_y$  определяется продолжительностью **развития предотказного состояния**  $T_{nc}$  (рис. 1), которая должна быть не меньше требуемой длины предьстории:  $T_{nc} \geq T_n$  [2].

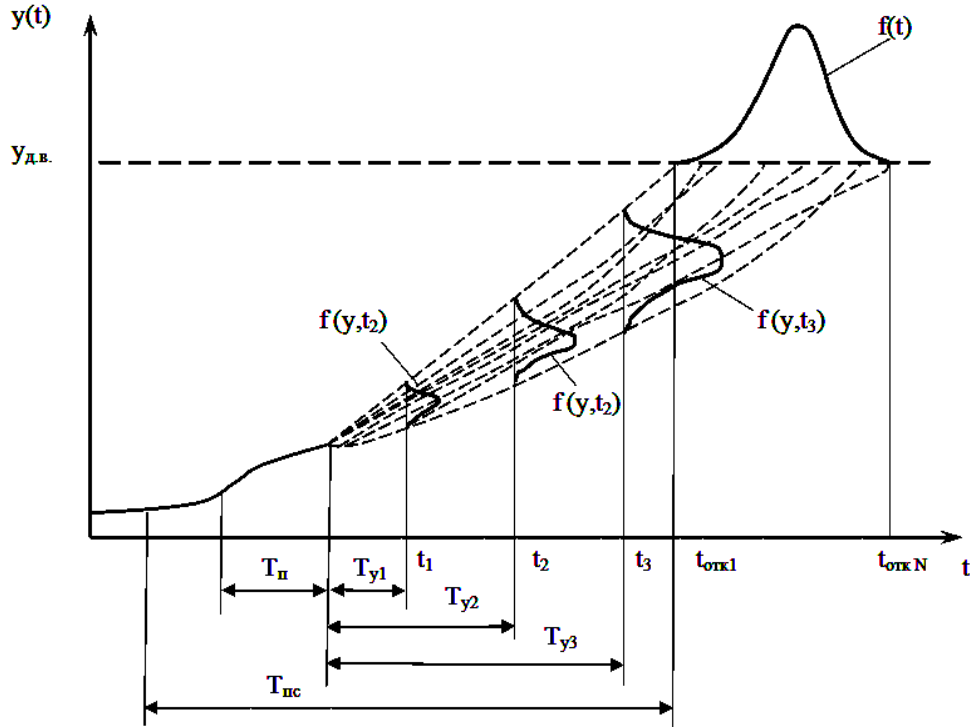


Рис. 1. Динамика временных характеристик прогнозирования

При формулировке метода прогнозирования надежности СО исходят из того, что состояние СО в момент времени  $t = 0$  (момент прогнозирования надежности) характеризуется  $m$  параметрами  $x_1, x_2, \dots, x_m$  которые представляют собой случайные функции времени. Работоспособному состоянию СО соответствуют такие значения параметров, которые удовлетворяют условиям работоспособности:

$$x_{\min i} < x_i < x_{\max i}, i = 1, 2, 3, \dots, m, \quad (1)$$

где  $x_{\min i}, x_{\max i}$  – предельные (граничные) значения  $i$ -го параметра.

Условия работоспособности системы могут включать также  $r$  ограничения на сочетания значений параметров, которые в общем случае имеют вид

$$f_j(x_1, x_2, \dots, x_m) < 0, j = 1, 2, 3, \dots, r$$

или

$$f_j(x_1, x_2, \dots, x_m) > 0, j = 1, 2, 3, \dots, r, \quad (2)$$

где  $f_j(x_1, x_2, \dots, x_m)$  – функция, определяющая граничные сочетания параметров при работе СО.

Условия (1) – (2) геометрически представляют область работоспособности системы  $\omega$ . Пример представления области работоспособности  $\omega$  для случая двух параметров приведен на рис. 2 [3].

Как следует из такого представления, работоспособному состоянию СО соответствует попадание точки  $X = (x_1, x_2, \dots, x_m)$  в область  $\omega$ . В процессе функционирования системы точка  $X$  дрейфует случайным образом. Предельное состояние СО наступает тогда, когда  $X$  достигает границы области  $\omega$ . Момент  $T_n$  наступления предельного состояния является случайной величиной с некоторым законом распределения  $f(T_n)$  – функцией распределения плотности вероятностей величины  $T_n$  [3].

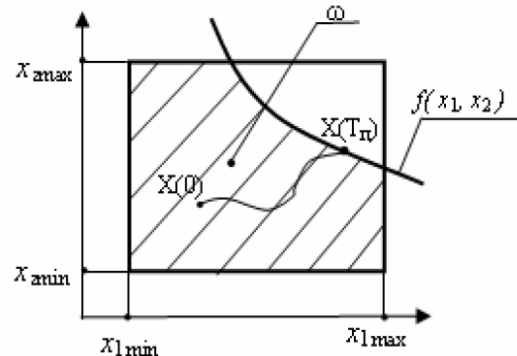


Рис. 2. Геометрическое описание функционирования СО:  $T_n$  – момент наступления предельного состояния СО

Совокупность исходных данных о СО и моделях прогнозирования, а также ряд других компонентов и их взаимосвязей можно объединить в единую **систему прогнозирования (СП)** [4].

**Система прогнозирования** – упорядоченная совокупность методик, технических средств, предназначенная для прогнозирования сложных явлений или процессов.

**Цель создания СП** – определить значение ресурсоспособности сложного объекта, установить зависимость ресурсных характеристик СО от исходных данных, а также предупредить ухудшение этих характеристик путем отслеживания динамики развития предотказного состояния  $T_{ПС}$  и если возможно, воздействовать на ресурсные характеристики для улучшения надежности и безопасности СО.

**По интервалу предупреждения  $T_y$  прогноз может быть:**

**1. Оперативный** – рассчитан на перспективу, на протяжении которой не ожидается ни количественных, ни качественных изменений объекта исследования. Разрабатывается на период до 1-го месяца.

**2. Краткосрочный** – рассчитан на перспективу, на протяжении которой не ожидается существенных количественных изменений объекта исследования. Разрабатывается на период до 1-го года.

**3. Среднесрочный** – охватывает перспективу между кратко и долгосрочным прогнозами с преобладанием количественных изменений над качественными. Разрабатывается на период до 5 лет.;

**4. Долгосрочный** – рассчитан на перспективу, на протяжении которой ожидаются не только количественные, но и качественные изменения объекта исследования. Разрабатывается на период от 5 до 20 лет.

**5. Дальнесрочный – (сверхдолгосрочный)** охватывает перспективу, в течение которой ожидаются столь значительные качественные изменения, что можно говорить лишь о самых общих перспективах развития исследуемого явления или процесса. Разрабатывается на период более 20 лет.

**Основные требования, предъявляемые к СП:**

1. Обеспечение достаточно точного прогноза, качество которого можно определить по определенному критерию.

2. Гибкое реагирование на изменения, происходящие в объекте прогнозирования. Данная ситуация определяется по возрастанию неопределенности прогнозирования, когда текущие наблюдения за объектом отличаются от ожидаемых результатов.

3. Удовлетворение ряда требований, учитывающих специфику обработки информационных потоков.

Целью прогнозирования является уменьшение риска при принятии решения.

Внедрение СП надежности сложных объектов требует определенных затрат связанных с проектированием СП, применением математических методов прогнозирования и программного обеспечения. Однако эти затраты полностью окупаются, если учесть экономический эффект, который может быть получен от применения СП надежности СО.

С экономической точки зрения наиболее рационально создавать СП на этапе проектирования СО. В этом случае предметом прогнозирования становится генеральная совокупность СО, которая является идеализированным объектом – расчетной схемой, основанной на изучении предшествующего опыта проектирования и эксплуатации сходных объектов, а также на статистических данных о свойствах материалов, элементов узлов и агрегатов [5].

Прогноз обычно сопровождается неопределенностью, но уровень ее зависит от используемой системы прогнозирования.

**Неопределенность прогнозирования** – вероятностная характеристика, характеризующая рассеяние значений, которые могли бы быть обоснованно приписаны результату прогнозирования.

Центральным моментом прогнозирования надежности является выбор функции прогнозирования (ФП).

Выбирая ФП, необходимо учитывать:

- характер протекания процесса;
- вид функций, описывающих тренд;
- степень изученности процесса, что эквивалентно виду математического описания;

– наличие неопределенностей различной природы, влияющих на поведение процесса, к которым относятся существование неконтролируемых внешних факторов.

После выбора функции прогнозирования вторым центральным вопросом прогнозирования является вопрос ошибки прогноза.

Основными источниками ошибок прогноза являются:

- неопределенность измерения;
- наличие неконтролируемых внешних факторов;
- неправильный выбор ФП и неопределенность в оценке ее параметров;
- изменение характера протекания процесса на участке предупреждения, по сравнению с первоначальным, на участке наблюдения [6].

Таким образом, неопределенность прогнозирования определяется выбором ФП и ошибкой прогнозирования.

Предоставляя больше ресурсов на проектирование СО, можно увеличить точность прогноза и уменьшить убытки, связанные с неопределенностью прогнозирования.

Эта зависимость представлена на рис. 3.

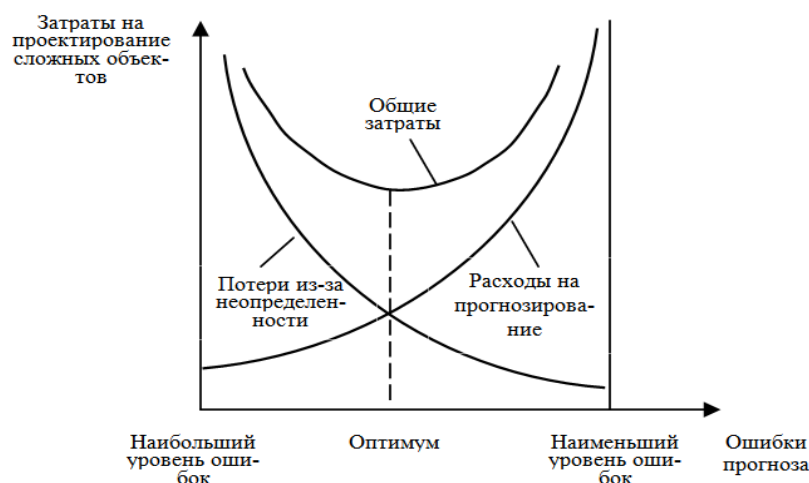


Рис. 3. Эффективность затрат на прогнозирование надежности

Иллюстрация эффективности затрат, изображенная на рис. 3, основана на снижении убытков при использовании результатов прогнозирования. На определенном уровне затраты на СП могут вовсе не приводить к снижению потерь. Это связано с тем, что невозможно снизить среднюю неопределенность прогнозирования ниже определенного уровня, вне зависимости от того, насколько сложен примененный метод прогнозирования [7].

Поскольку при прогнозировании надежности СО всегда есть вероятность неопределенности, то необходимо определить ошибку прогноза. Поэтому целесообразно оптимизировать затраты на создание СП.

### Вывод

При создании системы прогнозирования необходимо учитывать зависимость расходов на проектирование сложного объекта от уровня неопределенности с целью уменьшения риска при принятии решений и оптимизации затрат.

### Список литературы

1. Острейковский В.А. Теория надежности / В.А. Острейковский. – М.: Высш. школа, 2003. – 463 с.

2. Острейковский В.А. Вероятностное прогнозирование работоспособности элементов ЯЭУ / В.А. Острейковский, Н.Л. Сальников. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 416 с.

3. Жмерев В.С. Использование метода имитационного моделирования для оценки остаточного ресурса оборудования АЭС / В.С. Жмерев, К.Н. Маловик, А.А. Чулкин // Сборник науч. трудов СНУЯЭиП. – Севастополь: СНУЯЭиП, 2010. – С. 200-206.

4. Седуш В.Я. Система прогнозирования сроков отказа деталей механического оборудования / В.Я. Седуш, Н.А. Ченцов, В.Н. Ручко, С.Л. Сулейманов // Науч. Труды III Международ. Конф. «Оценка и обоснование продления ресурса элементов конструкций»: в 2-х Т. – Т. 2. – К.: Нац. АН Украины: ин-т проблем прочности. – С. 937-942.

5. Болотин В.В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций / В.В. Болотин. – М.: Машиностроение, 1984. – 312 с.

6. Захаров И.П. Теория неопределенности в измерениях / И.П. Захаров, В.Д. Кукуш. – Х.: Консум, 2002. – 256 с.

7. Маловик К.Н. Современные аспекты экономики и эффективности качества: учеб. пособие / К.Н. Маловик. – Севастополь: СНУЯЭиП, 2007. – 248 с.

Поступила в редколлегию 18.02.2013

Рецензент: д-р техн. наук проф. И.П. Захаров, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

### ВПЛИВ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ПРОГНОЗУВАННЯ НАДІЙНОСТІ НА ВАРТІСТЬ ПРОЕКТУВАННЯ СКЛАДНИХ ОБ'ЄКТІВ

Д.А. Бережний, К.М. Маловик

Розглядається питання залежності вартості проектування складних об'єктів від розміру затрат на створення системи прогнозування. Показані особливості складних об'єктів. Розкривається суть прогнозування надійності складних об'єктів і створення системи прогнозування. Дано визначення і ціль створення системи прогнозування. Приведені основні вимоги що пред'являються до системи прогнозування. Розглянуті основні фактори, котрі впливають на невизначеність прогнозування складних об'єктів.

**Ключові слова:** складний об'єкт, надійність, система прогнозування, невизначеність прогнозування, ефективність.

### THE EFFECT OF UNCERTAINTY OF FORECASTING THE RELIABILITY TO THE COST OF DESIGNING A COMPLEX OBJECT

D.A. Bereznoi, K.N. Malovik

The question of the cost for designing of complex objects depending on the magnitude of the expenses of creating the Forecasting System was described. The peculiar properties of complex objects were shown. The essence of reliability prediction of complex objects and the Forecasting System were disclosed. Definition and the goal of creating the forecasting system were given. The basic requirements for the forecasting system were considered. The main factors affecting the uncertainty of prediction of complex objects were considered.

**Keywords:** a complex object, the reliability, the forecasting system, uncertainty of forecasting, the efficiency.