

УДК 658.011

© Дедков В.К.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОГРЕСС – ОСНОВА ФОРМИРОВАНИЯ «ПОКОЛЕНИЙ» ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Определяются минимально приемлемые темпы научно-технического прогресса, при которых могут быть достигнуты планируемые на краткосрочные или длительные периоды показатели качества и надежности технических объектов.

Задача заключается в исследовании влияния темпов научно-технического прогресса на показатели надежности и технические показатели качества машиностроительной продукции в условиях плановой развивающейся экономики [1].

Целью исследования является определение минимально приемлемых темпов научно-технического прогресса, при которых могут быть достигнуты планируемые на краткосрочные или длительные периоды показатели качества и надежности технических объектов. Исходя из этого, можно установить плановые задания по ускорению научно-технического прогресса на прогнозируемый период.

Прогнозирование показателей надежности на основе модели «гибели-размножения» технических объектов (приведенной ниже), при варьировании исходными данными, обеспечивает получение ряда возможных вариантов решения задачи, из которых можно выбрать приемлемое решение. Поэтому работа с моделью осуществляется в диалоговом режиме. Для удобства сравнительного анализа решений, соответствующих различным вариантам задачи, результаты расчетов по модели представляются в графической форме. Диалоговый режим работы с моделью и графическое представление результатов прогнозирования предопределяют целесообразность программной реализации задачи.

Математическая модель задачи

В качестве основы для решения сформулированной выше задачи прогнозирования смены поколений

однотипных объектов в условиях действия научно-технического прогресса используется математическая модель интегрального уравнения восстановления, сформулированная в терминах нагрузок (воздействий, требований и т.п.) и сопротивляемостей (предельных технических характеристик) исследуемых объектов [2].

Математическая модель задачи имеет следующий вид [2]:

$$b(n) = \int_{-\infty}^{\infty} R_{\bar{u}}(x; x_n) \prod_{i=1}^{n-1} F_{\bar{u}}(x; x_i) \varphi_{\bar{x}}(x) dx + \sum_{j=1}^{n-1} h(j) \int_{-\infty}^{\infty} R_{\bar{u}}(x; x_j) \prod_{i=1}^{n-j-1} F_{\bar{u}}(x; x_i) \varphi_{\bar{y}}\left(\frac{x - A_j}{B_j}\right) \frac{1}{|B_j|} dx, \quad (1)$$

где $F_{\bar{u}}(x; x_i) = F_{\bar{u}}\{x[1 + b(i-1)^\alpha] - a(i-1)^\alpha\}$;

$$R_{\bar{u}}(x; x_i) = 1 - F_{\bar{u}}(x; x_i);$$

$$A_j = a_{nmn} (j-1)^{\alpha_{nmn}}; \quad B_j = 1 + b_{nmn} (j-1)^{\alpha_{nmn}};$$

$$[i=1(1)n]; \quad [j=1(1)n-1], \quad i \neq j;$$

$$\prod_{i=1}^0 F_{\bar{u}}(x; x_i) = 1; \quad \sum_{j=1}^0 \dots = 0;$$

a, b, α – варьируемые переменные (параметры старения сопротивляемости объекта);

$a_{nmn}, b_{nmn}, \alpha_{nmn}$ – варьируемые переменные (параметры влияния научно-технического прогресса на технические характеристики объектов, используемых для замены отказавших);

$$F_{\bar{u}}(x) = \exp\{-\exp[-\beta(x - \mu)]\};$$

$$\varphi_{\bar{x}}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\bar{x}}}} \exp\left[-\frac{(x - \bar{x})^2}{2\sigma_{\bar{x}}^2}\right];$$

$$\varphi_{\bar{y}}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\bar{y}}}} \exp\left[-\frac{(x - \bar{y})^2}{2\sigma_{\bar{y}}^2}\right];$$

β, μ – варьируемые переменные (параметры закона распределения нагрузки);

$\bar{x}, \sigma_{\bar{x}}$ – варьируемые переменные (параметры закона распределения сопротивляемости объекта);

Дедков Виталий Кириллович – доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник ВЦ им. АА. Дородницына РАН.

$\bar{y}, \sigma_{\hat{y}}$ – варьируемые переменные (параметры закона распределения технических характеристик объектов замены, появившихся в результате действия научно-технического прогресса).

Аналитическая модель (1), построенная на основе интегрального уравнения восстановления, является описанием процесса «гибели» и «размножения». Гибель объекта, технические характеристики которого заданы плотностью распределения случайной переменной \hat{x} , т.е. $\varphi_{\hat{x}}(x) = \varphi_{\hat{x}}^{\sigma}(x; \bar{x}, \sigma_{\hat{x}})$ (где \bar{x} – математическое ожидание случайной величины \hat{x} , а $\sigma_{\hat{x}}$ – ее среднеквадратическое отклонение), обусловлена действием на него случайной нагрузки \hat{u} , которая задана функцией распределения $F_{\hat{u}}(x) = F_{\hat{u}}(x; \mu, \beta)$ (где μ – математическое ожидание, а $1/\beta$ – дисперсия экстремального закона распределения случайной переменной \hat{u}).

Объект погибает вследствие того, что его техническая характеристика не отвечает предъявленным к ней «требованиям». Требование может выступать в форме физической нагрузки, и тогда условие ($\hat{u} > \hat{x}$) является условием физического отказа объекта.

Условие ($\hat{u} > \hat{x}$) может отражать несоответствие качества \hat{x} , предъявленному со стороны заказчика (покупателя) требованию \hat{u} , которое превосходит фактически достигнутый уровень показателя качества \hat{x} . Ввиду случайности как уровня требования \hat{u} , предъявленного к конкретному объекту, так и случайности (или неопределенности) уровня качества \hat{x} этого объекта, событие, названное выше «гибелью» объекта ($\hat{A} = \hat{u} > \hat{x}$), также является случайным.

Если объект соответствует требованиям, когда он новый, т.е. в период начала его эксплуатации (хотя и здесь возможен отказ, если требование достаточно высоко), то он может отказать в дальнейшем.

Поскольку уровень требований в процессе применения объекта не снижается, а уровень технических характеристик снижается, в связи с износом и старением, то вероятность отказа (гибели) возрастает.

Изменение (деградация) технических характеристик введенного в действие объекта в процессе эксплуатации описывается случайной функцией следующего вида:

$$\hat{x}_n = \bar{x}[1 + b(n-1)^{\alpha}] - a(n-1)^{\alpha}, \quad (2)$$

где \bar{x} – значение (уровень) технической характеристики объекта в исходный момент времени $n=1$;

\hat{x}_n – значение технической характеристики объекта в момент времени $t \neq n$;

a – скорость старения технического качества объекта;

b – показатель неопределенности («рассеивания») характеристики технического качества объекта в процессе старения;

α – показатель влияния времени на скорость старения (характеризует зависимость скорости старения от текущего уровня технического качества объекта).

Процессы гибели объектов, введенных в эксплуатацию в исходный момент времени, выражены первым слагаемым в правой части модели (1). Второе слагаемое модели (1) отражает вероятности замены отказавших объектов новыми, отказы новых объектов и изменения технического качества объектов, связанные с заменами.

Если объект отказывает (гибнет), он исключается из эксплуатации, а взамен отказавшего в работу вступает другой объект, того же назначения. Технические характеристики объекта, использованного для замены отказавшего, заданы плотностью распределения $\varphi_{\hat{y}}(x) = \varphi_{\hat{y}}^{\sigma}(x; \bar{y}, \sigma_{\hat{y}})$ случайной величины \hat{y} (где \bar{y} – математическое ожидание, а $\sigma_{\hat{y}}$ – среднеквадратическое отклонение случайной переменной \hat{y}).

Объект, использованный для замены отказавшего, по своим техническим показателям может либо быть полностью идентичным отказавшему, либо превосходить его. В этом заключается действие научно-технического прогресса. Совершенствование материалов, конструкции, технологии изготовления, отработки на основе новейших научно-технических достижений приводит к росту (совершенствованию) технических характеристик объекта.

Процесс роста технических характеристик, обусловленный ускорением научно-технического прогресса, неоднозначен. Ускорение научно-технического прогресса зависит от многих факторов, таких, например, как финансирование развития, размах научных исследований, степень использования результатов науки на практике, инвестиционная политика в области реконструкции и переоснащения производства, стимулирование новаторства и т.п.

В силу неопределенности влияния многих факторов на темпы научно-технического прогресса трудно установить взаимно однозначное соответствие между прогнозируемым уровнем технических характеристик и моментом времени, к которому можно было бы приурочить его достижение.

Однако основные рычаги управления научно-технического прогресса известны. Существует богатей-

ший опыт планового социалистического развития машиностроительного производства, используя который, можно с высоким уровнем доверия прогнозировать как темпы научно-технического прогресса, так и результаты его влияния на показатели технического качества объектов.

Зависимость между прогнозируемыми характеристиками технических объектов \hat{y}_n , испытывавшими на себе действие научно-технического прогресса, и временем n (где n – число лет, кварталов, месяцев и т.д.) задается следующим выражением:

$$\hat{y}_n = \hat{y}[1 + b_{nmn}(n-1)^{\alpha_{nmn}}] + a_{nmn}(n-1)^{\alpha_{nmn}}, \quad (3)$$

где \hat{y} – случайная величина, являющаяся технической характеристикой уровня качества объекта, используемого для замены отказавшего объекта в момент времени $n=1$;

\hat{y}_n – случайная величина, являющаяся характеристикой уровня технического качества объекта, который будет использован для замены отказавшего объекта в прогнозируемом будущем, соответствующем моменту времени n ;

a_{nmn} – показатель темпа научно-технического прогресса;

b_{nmn} – показатель неопределенности влияния научно-технического прогресса на изменение технических характеристик объекта;

α_{nmn} – показатель ускорения научно-технического прогресса или характеристика зависимости результатов действия научно-технического прогресса от достигнутого уровня качества.

Выражение (3) представляет собой вырожденную, случайную функцию переменной величины \hat{y}_n от времени n (или числа циклов «нагрузений»), с которым связана возможность «гибели» объекта и замены его новым. В этой зависимости параметры, отражающие влияние научно-технического прогресса на изменение технических характеристик объекта, представлены средними, т.е. неслучайными, величинами: a_{nmn} , b_{nmn} , α_{nmn} . Неопределенность величины прогнозируемой технической характеристики связана с неопределенностью ее исходного значения. Исходное или начальное значение предельной величины технической характеристики, определяющей способность объекта сопротивляться действующей нагрузке (или требованию) нельзя определить однозначно, не приводя объект к предельному состоянию, т.е. к отказу.

В момент отказа, когда могут быть измерены предельные значения нагрузок, определяющих предельные величины технических возможностей объекта (его сопротивляемость нагрузке), он прекращает свое существование как объект эксплуатации. Поэтому техни-

ческие характеристики конкретного объекта, соответствующие предельным нагрузкам, действующим на него, неопределенны.

Эта неопределенность распространяется и на прогнозируемые технические характеристики. Управление параметрами функции $\hat{y}_n = \hat{y}(y; a_{nmn}, b_{nmn}, \alpha_{nmn})$, называемыми показателями научно-технического прогресса, позволяет исследовать влияние факторов, определяющих действие научно-технического прогресса, на технические характеристики объектов и показатели их надежности.

Таким образом, второе слагаемое в модели (1) отражает процесс ввода в эксплуатацию новых объектов, как продуктов действия научно-технического прогресса, взамен отказавших объектов и возможность их гибели в процессе последующих нагружений.

Как технические характеристики, так и показатели надежности объектов в прогнозируемом будущем определяются уровнем показателей технического качества не только тех объектов, которые введены в эксплуатацию в начале прогнозируемого интервала, но также и уровнем показателей тех объектов, которые вводятся на каждом шаге прогнозирования взамен отказавших объектов. Поэтому в любой момент прогнозируемого будущего в эксплуатации находится «смесь» объектов различных поколений с различными уровнями показателей технического качества.

Именно характеристиками этой «смеси» определяется уровень показателя качества произвольного объекта в момент времени n . Относительное число отказавших в любой момент времени объектов определяется долевым вкладом объектов различных поколений в генеральную совокупность.

Процесс качественного изменения технических характеристик смешанной совокупности объектов, как первоначально введенных в эксплуатацию, так и пришедших на замену отказавшим, отражается следующим выражением:

$$\varphi_{\hat{z}_n}(x) = \varphi_{\hat{x}}(x) \prod_{i=1}^{n-1} F_{\hat{u}}(x; x_i) + \sum_{j=1}^{n-1} h(j) \prod_{i=1}^{n-j-1} F_{\hat{u}}(x; x_i) \varphi_{\hat{y}}\left(\frac{x - A_j}{B_j}\right) \frac{1}{|B_j|}, \quad (4)$$

где \hat{z}_n – случайная величина уровня технического качества произвольного объекта «смеси» в момент времени n ;

$h(j)$ – интенсивность потока отказов произвольного объекта «смеси» в момент времени j ; ($h(j)$ рассчитывается по формуле (1).

Пользуясь формулой (4), можно рассчитать уровни технических характеристик объектов для любого момента времени n в прогнозируемом будущем.

Пусть заданы показатели качества: технические характеристики (сопротивляемости) и показатели надежности, которые должны быть достигнуты к определенному моменту будущего. Тогда путем сопоставления расчетных показателей с заданными можно оценить

возможность выполнения задания по росту показателей при принятых (или имеющихся место) темпах научно-технического прогресса.

Если требования не выполняются, то путем управления показателями научно-технического прогресса, следует найти такие значения показателей ускорения научно-технического прогресса, при которых требования могут быть удовлетворены.

Литература

- 1. Дедков В.К., Кирсанова И.Н. Аналитическая модель для оценки влияния научно-технического прогресса на показатели технического качества и надежности машиностроительной продукции. // Вопросы теории безопасности и устойчивости систем. Вып. №3, М.: ВЦ РАН, 2000. с. 93-106.*
- 2. Дедков В.К., Северцев Н.А. Косвенные методы прогнозирования надежности. М.: ВЦ им. А.А. Дородницына РАН, 2006. 272 с.*

Материал поступил в редакцию 26. 12. 2007г.