

светового потока, проходящего через цилиндрическое образцовое и проверяемое отверстие.

Таким образом, можно сделать вывод, что при массовом производстве деталей достаточно несложной конфигурации для контроля их внутренних диаметров наиболее целесообразно как с экономической, так и с технической точек зрения применять контрольные автоматы, принцип действия которых основан на фотоэлектрическом способе контроля и методе сравнения размеров образцового и контролируемого изделий.

SUMMARY

The analysis of the contemporary methods for controlling internal diameters of cylindrical wares is carried out in the paper. Especial attention is attracted at controlling with help of gauges, as on the basis of analyses of such controlling the recommendations for the other control methods can be got. Demerits of the proposed control method with using of the gauges are demonstrated. There is a conclusion about expediency to control by the photoelectric uncontact way in the paper.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рабинович С.Г. Погрешности измерений. - Л.: Энергия, 1978.
2. Журавлев А.Н. Допуски и технические измерения. - М.: Высшая школа, 1981.
3. Рудзит Я.А. Микрогеометрия и контактное взаимодействие поверхностей. - Рига: Зинатне, 1975.
4. Чудов В.А., Цидулко Ф.В., Фрейдгейм Н.И. Размерный контроль в машиностроении. - М.: Машиностроение, 1982.

Поступила в редколлегию 22 февраля 2000 г.

УДК 681.3

ОБ ОЦЕНИВАНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

*Н.Э.Рязанцев**, ст.науч.сотр.; *И.А.Кулик*, ст.преп., канд.техн.наук
(Военный институт артиллерии при СумГУ)

В настоящее время существуют различные подходы и методологии оценивания эффективности функционирования технических систем. В данной статье предлагается для решения задачи оценивания эффективности функционирования технических систем использовать метод имитационного моделирования. В качестве математической модели предлагается строить модель операционного комплекса системы.

В [1] решение вопроса о том, какая система или способ ее применения являются лучшими, решается на основе понятий качества и эффективности.

Квалиметрия и теория эффективности имеют один и тот же объект исследования – сложные системы, но предметы исследования их существенно различны. Теория качества изучает основные закономерности оценивания свойств систем. Теория эффективности изучает основные закономерности процессов применения сложных систем в различных операциях, т.е. закономерности и условия приспособленности систем к достижению целей операции, в которых эти системы применяются.

Будем различать три типа операций: терминальные, развивающиеся и календарно-развивающиеся. Организовать операцию – значит выбрать каким-либо образом параметры или элементы, от которых зависит результат

операции. Одним из наиболее важных свойств, характеризующих операцию, является эффективность операции. Достижение цели операции осуществляется с помощью комплекса технических средств и обслуживающего их персонала, объединенных в единую систему.

Так как операция выполняется системой, то в дальнейшем термины «операция» и «целенаправленный процесс функционирования системы» будем отождествлять. Операция может быть условно описана в виде совокупности элементов

$$O = \langle R_1, R_2, F_0, \theta, T \rangle, \quad (1)$$

где R_1 – ресурсы; R_2 – результат;

F_0 – отношение на R_1, R_2 , т.е. $F_0 \subset R_1 \times R_2$;

θ – условия проведения операции;

T – время выполнения (длительность) операции.

При оценивании эффективности ресурсы целесообразно разделить на две составные части: активные R_{11} и пассивные R_{12} . Активные ресурсы – это средства, непосредственно наносящие ущерб окружающей среде, а пассивные – обеспечивающие средства. Как активные, так и пассивные ресурсы включают в себя материальные, энергетические, информационные и человеческие ресурсы, т.е. запасы, имеющиеся в распоряжении системы.

Отметим, что пассивные ресурсы, как правило, расходуются до момента начала функционирования системы, а активные – в процессе ее функционирования. Под результатом понимается конечный итог действий системы. В зависимости от цели операции результат может иметь различный физический смысл.

Отношение F_0 ставит в соответствие затраченным ресурсам полученный результат, т.е. определяет характер операции. Отношение F_0 может быть функциональным, тогда

$$R_2 = F(R_1). \quad (2)$$

Результаты операции по достижению цели при данном количестве ресурсов зависят от ряда факторов, определяющих условия выполнения операции: от выбранного способа проведения операции и от управления этим процессом, от воздействий природных условий, от противодействия противника. При исследовании эффективности указанные условия принято подразделять на управляемые θ_V и неуправляемые θ_H . Учитывая наличие управляемых условий, процесс функционирования системы, выполняющей операцию, можно представить как процесс взаимодействия ее с другой системой (окружающей средой).

Условия функционирования θ оказывают влияние на расход ресурсов, результат и время его достижения, а также на вид отношения F_0 , т.е. на сам процесс выполнения операции, поэтому выражение (1) можно записать в виде

$$O = \langle R_1(\theta), R_2(\theta), F_0(\theta), T(\theta) \rangle. \quad (3)$$

Ход выполнения операции принято описывать некоторой совокупностью фазовых координат $y_i [i = 1(n)]$, чаще всего характеризующих степень достижения результата операции, т.е. результат операции R_2 формально

может быть описан вектором $Y(t) = \langle y_1(t), \dots, y_n(t) \rangle$, компоненты которого характеризуют отдельные свойства данного результата. В свою очередь, введя характеристики x_i свойств ресурсов, последние можно описать в виде вектора: $X(t) = \langle x_1(t), \dots, x_m(t) \rangle$. Тогда получим

$$O = \langle X(\theta, t), Y(\theta, t), F_o(\theta, t), T(\theta, t) \rangle. \quad (4)$$

Динамика процесса выполнения операции может быть описана различными способами. Системный подход позволяет осуществить декомпозицию цели и операции на подцели и элементарные операции. Такая декомпозиция может быть выполнена двумя путями [1].

Под качеством операции будем понимать свойство или совокупность свойств операции, обуславливающих ее пригодность для использования по назначению.

Эффективность – свойство, характеризующее приспособленность процесса к достижению цели операции, которое является производным от ряда простых свойств, таких, как результативность, ресурсоемкость и оперативность.

Следует различать два уровня оценивания качества операции:

- оценивание качества результатов операции;
- оценивание качества самой операции, называемого ее эффективностью.

Операция может считаться качественной только тогда, когда требуемыми качествами обладают все без исключения ее результаты. При этом критерии оценивания качеств операции и ее результатов должны выбираться независимо друг от друга. Свойства технической системы (ТС) и результатов операции целесообразно разделить на 2 группы:

- целевые (функциональные);
- обеспечивающие (эксплуатационно-технические).

Наряду с иерархией ТС существует соответствующая ей иерархия целей реализуемых ими операций. Качество – это свойство или совокупность свойств объекта, обеспечивающих его пригодность для использования по назначению. Качество операции не может быть охарактеризовано ни одним из перечисленных частных (единичных) свойств в отдельности, а определяется их совокупностью – комплексом, включающим в себя как минимум три группы компонент.

Введем обозначения:

$X_{(n1)}^{(1)} = \mathcal{E}_{(n1)}$ – вектор результатов (целевых, позитивных эффектов);

$X_{(n2)}^{(2)} = C_{(n2)}$ – вектор затрат ресурсов (побочных, негативных эффектов) на получение этих результатов;

$X_{(n3)}^{(3)} = T_{(n3)}$ – вектор временных затрат (побочных, негативных эффектов) на получение этих результатов.

Тогда показатель качества результатов операции представляет собой n -мерный вектор ($n = n_1 + n_2 + n_3$):

$$X_{(n)} = \langle X_{(n1)}^1, X_{(n2)}^2, X_{(n3)}^3 \rangle = \langle \mathcal{E}_{(n1)}, C_{(n2)}, T_{(n3)} \rangle = \langle \mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2, \dots, \mathcal{E}_{n1}, C_1, C_2, \dots, C_{n2}, \tau_1, \tau_2, \dots, \tau_{n3} \rangle,$$

а критерий пригодности операции, оценивающий её качество, получит следующее выражение :

$G_n : X_{(n)} \in \{X_{(n)}^d\}$ где $\{X_{(n)}^d\}$ – область допустимых значений вектора $X_{(n)}$.

Часто внутри групп компонент вектора $X_{(n)}$ может быть произведено свёргивание показателей результатов операции (любым из известных методов) путём введения обобщённых показателей. Для наглядности положим $n=3$.

Тогда $\mathcal{E} = \sum_{i=1}^{n1} \alpha_i \varepsilon_i; C = \sum_{j=1}^{n2} \beta_j C_j; \tau = \max\{\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_{n3}\}$,

$X_{(3)} = \langle x_1, x_2, x_3 \rangle = \langle \mathcal{E}, C, \tau \rangle, G_3 : X_{(3)} \in \{X_{(3)}^d\}$

Эффективность – это комплексное операционное свойство целенаправленного процесса функционирования системы (ЦПФС), характеризующее его приспособленность к достижению цели, реализуемой технической системой операции (к решению стоящей перед ТС задачи). Оценивание эффективности операции должно проводиться на двух уровнях и реализоваться в два этапа.

На первом уровне:

- определяется показатель качества результатов ЦПФС (операции) - вектор $\hat{X}_{(3)}$ показателей $\hat{\mathcal{E}}, \hat{C}, \hat{\tau}$ его частных эффектов;

- определяются требования к качеству результатов операции – область $\{\hat{X}_{(3)}^d\}$ допустимых значений $\hat{\mathcal{E}}^d, \hat{C}^d, \hat{\tau}^d$ показателей её результатов $\hat{\mathcal{E}}, \hat{C}, \hat{\tau}$;

- формируется критерий оценивания качества результатов операции – трёхместный предикат $G_4 : \hat{X}_{(3)} \in \{\hat{X}_{(3)}^d\}$

На втором уровне:

- вычисляется показатель эффективности ЦПФС (операции) - вероятность достижения цели (т.е. выполнения задачи ТС):

$$P_{д.ц} = P(\hat{X}_{(3)}) = P(\hat{X}_{(3)} \in \{\hat{X}_{(3)}^d\});$$

- задаются требования к эффективности операции;
- находится требуемое (минимально допустимое) или оптимальное значение ($P_{д.ц}^{mp}$ или $P_{д.ц}^{opt}$) вероятности $P_{д.ц}$ достижения цели операции;

- реализуется один из критериев оценивания эффективности операции (одноместных предикатов):

- критерий пригодности $G_5 : P_{д.ц} \geq P_{д.ц}^{mp}$;

- критерий оптимальности $O_5 : P_{д.ц} = P_{д.ц}^{opt}$.

Физически достижение цели операции – это наступление некоторого события, математически – это выполнение необходимых условий, которые в формализованной, конструктивной форме представляют собой предикаты, т.е. системы отношений. Таким образом, критерий оценивания качества результатов операции по существу представляет собой математическую формулировку её цели.

Исследование эффективности операции представляет собой двуединую задачу, включающую в себя:

- прямую задачу – задачу анализа эффективности операции;
- обратную задачу – задачу оптимального синтеза операций.

Задача анализа преследует следующие цели:

- построение математических моделей исследуемых объектов;

– определение (обоснование) показателей качества ТС и эффективности ЦПФС и формулирование критериев их оценивания;

– оценивание эффективности ЦПФС и качества ТС.

Окончательные результаты решения задачи анализа являются инструментом (средством), используемым при решении задач синтеза. Для вычисления вероятности $P_{д.ц}$ необходимо и достаточно знать законы распределения случайного вектора $\hat{X}_{(3)}$ и случайной области $\{\hat{X}_{(3)}^d\}$. Можно предположить, что ограничения, накладываемые на различные эффекты операции, независимы, но для вектора $\hat{X}_{(3)}$ такое допущение неправомерно.

Универсальная форма закона распределения $\hat{X}_{(3)}$

$$F_{\hat{X}_{(3)}}(X_{(3)}) = P\left[\left(\hat{x}_1 < x_1\right) \cap \left(\hat{x}_2 < x_2\right) \cap \left(\hat{x}_3 < x_3\right)\right]$$

или

$$\Phi_{\hat{X}_{(3)}}(X_{(3)}) = P\left[\left(\hat{x}_1 \geq x_1\right) \cap \left(\hat{x}_2 < x_2\right) \cap \left(\hat{x}_3 < x_3\right)\right].$$

Если законы распределения случайных вектора $\hat{X}_{(3)}$ и области $\{\hat{X}_{(3)}^d\}$ известны, то по формуле полной вероятности

$$P_{д.ц} = P(\hat{X}_{(3)} \in \{\hat{X}_{(3)}^d\}) = P(\hat{X}_{(3)} \underset{\leq}{\overset{\geq}{\neq}} \hat{Y}_{(3)}) = \left\{ \begin{array}{l} \iiint \Phi_{\hat{X}_{(3)}}(Y_{(3)}) dF_{\hat{Y}_{(3)}}(Y_{(3)}), \\ \iiint \Phi_{\hat{Y}_{(3)}}(X_{(3)}) dF_{\hat{X}_{(3)}}(X_{(3)}), \end{array} \right.$$

где $dF_{\hat{Y}_{(3)}}(Y_{(3)}) = \varphi_{\hat{Y}_{(3)}}(Y_{(3)}) dY_{(3)}$; $dY_{(3)} = dy_1 dy_2 dy_3$;

$dF_{\hat{X}_{(3)}}(X_{(3)}) = \varphi_{\hat{X}_{(3)}}(X_{(3)})$; $dX_{(3)} = dx_1 dx_2 dx_3$;

$$\{\hat{X}_{(3)}^d\} = (\hat{x}_1 \geq y_1) \cap (\hat{x}_2 < y_2) \cap (\hat{x}_3 < y_3);$$

\hat{y}_1 – целевой эффект; \hat{y}_2 – затраты; \hat{y}_3 – время проведения операции.

По сути проблемы нужно построить три модели:

– модель операционной системы;

– модель операционной ситуации;

– модель операционного комплекса.

Модель операционной системы включает:

$X_{(n)} = \langle x_{11}, \dots, x_{1n_1}; x_{21}, \dots, x_{2n_2}; x_{31}, \dots, x_{3n_3} \rangle$ – вектор эффектов;

$A_{(k)} = \langle a_1^y, \dots, a_{k_y}^y; a_1^u, \dots, a_{k_u}^u \rangle$ – вектор управляемых и неуправляемых параметров ТС;

$B_{(i)} = \langle b_1^y, \dots, b_{i_y}^y; b_1^u, \dots, b_{i_u}^u \rangle$ – вектор управляемых и неуправляемых параметров (характеристик) условий её функционирования, влияющих на результаты операции;

$A_{\langle k \rangle} = A_{\langle k \rangle}(A_{\langle k_2 \rangle}^{\circ}, B'_{\langle l \rangle})$ – операционную модель ТС, т.е. зависимость её параметров A от эксплуатационных характеристик A° ТС и условий B' её функционирования;

$X_{\langle n_1 \rangle}^{(1)} = R(X_{\langle n_2 \rangle}^{(2)}, X_{\langle n_3 \rangle}^{(3)})$ – операционный функционал (ЭР– функции) [2]

с параметрами: $X_{\langle n_2 \rangle}^{(2)} = X_{\langle n_2 \rangle}^{(2)}(A_{\langle k \rangle}, B'_{\langle l \rangle})$;

$X_{\langle n_3 \rangle}^{(3)} = X_{\langle n_3 \rangle}^{(3)}(A_{\langle k \rangle}, B'_{\langle l \rangle}, X_{\langle n_2 \rangle}^{(2)})$;

$X_{\langle n_1 \rangle}^{(1)} = X_{\langle n_1 \rangle}^{(1)}(A_{\langle k \rangle}, B'_{\langle l \rangle}, X_{\langle n_2 \rangle}^{(2)}, X_{\langle n_3 \rangle}^{(3)})$;

$\Phi_{\hat{X}_{\langle n \rangle}}(X_{\langle n \rangle}) = \Phi_{\hat{X}_{\langle n \rangle}}(X_{\langle n \rangle}, A_{\langle k \rangle}, B'_{\langle l \rangle})$ – закон распределения вектора $\hat{X}_{\langle n \rangle}$ результатов операции.

Операционный функционал и закон распределения представляют собой математическую модель ЦПФС.

$A_{\langle k \rangle}^y \subset A_{\langle k \rangle}$; $B_{\langle l \rangle}^y \subset B'_{\langle l \rangle}$ – подвекторы управляемых параметров векторов $A_{\langle k \rangle}$ и $B'_{\langle l \rangle}$, а также способы управления ими.

Модель операционной ситуации включает

$$Y_{\langle n \rangle} = \langle y_{11}, \dots, y_{1n_1}; y_{21}, \dots, y_{2n_2}; y_{31}, \dots, y_{3n_3} \rangle, B''_{\langle l' \rangle} = \langle b_{l'}^{y_1}, \dots, b_{l'}^{y_{n_1}}; b_{l'}^{y_2}, \dots, b_{l'}^{y_{n_2}}; b_{l'}^{y_3}, \dots, b_{l'}^{y_{n_3}} \rangle$$

– спецификации, предъявляемые к результатам операции требований ($\hat{Y}_{\langle n \rangle}$) и параметров (характеристик) $B''_{\langle l' \rangle}$ условий применения ТС (управляемых и неуправляемых).

$Y_{\langle n \rangle} = Y_{\langle n \rangle}(B''_{\langle l' \rangle})$; $F_{\hat{Y}_{\langle n \rangle}}(Y_{\langle n \rangle}) = F_{\hat{Y}_{\langle n \rangle}}(Y_{\langle n \rangle}, B''_{\langle l' \rangle})$ – определяет зависимость требований ($\hat{Y}_{\langle n \rangle}$), предъявляемых к результатам ($\hat{X}_{\langle n \rangle}$) операции, от условий ($B''_{\langle l' \rangle}$), а также закон распределения случайного вектора $\hat{Y}_{\langle n \rangle}$. И

совместно со спецификациями реализуют априорную модель ситуации (стратегической и оперативно-тактической обстановки), в которой достигается цель операции.

$B_{\langle l' \rangle}^y \subset B''_{\langle l' \rangle}$ – подвектор $B_{\langle l' \rangle}^y$ управляемых параметров вектора $B''_{\langle l' \rangle}$, а также способы управления ими и совместно с подвекторами управляемых параметров $A_{\langle k \rangle}^y, B_{\langle l' \rangle}^y$ операционной системы моделирует работу органа управления. Если добавить к этим двум моделям критерий оценивания между компонентами векторов ($\hat{X}_{\langle n \rangle}$) и ($\hat{Y}_{\langle n \rangle}$), обеспечивающими достижение цели операции, то получим операционный комплекс, с помощью которого можно оценить эффективность ТС.

Таким образом, можно сравнивать по операционному свойству $R_{\text{д.ч}}$ эффективности операции, различные ТС, построив операционные комплексы этих систем. Данный математический аппарат при решении

многокритериальных задач позволяет решать прямые задачи исследования операций, он помогает «выбраковать» из множества возможных решений заведомо неудачные, уступающие другим по всем критериям [3].

При исследовании эффективности операции в условиях неопределенности, вызываемой воздействием случайных факторов, полное её устранение невозможно в принципе. Поэтому в любом решении о качестве результатов ЦПФС будет присутствовать элемент неопределённости (недостовренности), т.е. непредсказуемого несоответствия их действительному уровню. Если операция будет повторяться многократно, то эти несоответствия будут в среднем сглаживаться. Однако при немногочетном и особенно одноразовом применении ТС отклонения показателя эффективности ЦПФС от его среднего значения $P_{дц}$ могут оказаться существенными, и тогда надо считаться с возможностью появления неожиданностей в каждом отдельном случае.

В основе построения законов распределения $F_{\hat{Y}}(y)$ случайного вектора \hat{Y} требований к результатам операции лежат методы экспертного оценивания и статистических испытаний. Экспериментальное определение законов распределения должно опираться на опыт проведения операций, аналогичных исследуемой, и осуществляться методами математической статистики. Если имеются результаты экспертного оценивания и экспериментальные данные, то применяется метод вкладов.

Наконец, закон распределения случайного вектора $\hat{Y}_{(n)}$ может быть построен методом статистического моделирования. Для этого разрабатывается имитационная статистическая модель операционного комплекса, которая затем испытывается на ЭВМ. Результаты испытаний обрабатываются методами математической статистики, и по ним вновь строятся статистические функции распределения или кумуляты. Оценочные функции распределения могут быть выровнены соответствующей теоретической функцией распределения по методу моментов с помощью распределений Пирсона, Грама-Шарлье, рядов Эджворта и т.п.

SUMMARY

The methods of estimation of technical systems and evaluation of their effectivity are under review in the paper. It is offered to use an operational complex as a mathematical model of the system and to compare the systems at an operational property – probability of reaching of their objects by to technical system.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Морозов Л.М., Петухов Г.Б., Сидоров В.Н. Методологические основы теории эффективности. –Л.:ВИКИ им. А.Ф.Можайского, 1982.-236с.
2. Поспелов Г.С., Ириков В.А. Программно-целевое планирование и управление.–М.: Сов.радио, 1976.
3. Венцель С. Исследование операций.– М.: Наука,1988.-207с.

Поступила в редколлегия 14 февраля 2000 г.