

## Оценка надежности человеко-машинной системы принятия управленческих решений

Виноградова Г.Л., канд. техн. наук, Перепелкин А.С., асп.

Рассматриваются вопросы оценки надежности человеко-машинной системы принятия управленческих решений. Описываются модели расчета показателей надежности для подсистем и системы в целом.

*Ключевые слова:* надежность, модели, управленческое решение.

### Estimation to reliability of the man-machine system of the taking the management decisions

They Are Considered questions of the estimation to reliability of the man-machine system of the taking the management decisions. They Are Described models of the calculation of the factors to reliability for subsystems and systems as a whole.

*Keywords:* reliability, models, management decision.

Повышение эффективности управления промышленным предприятием является актуальной задачей в любой экономической ситуации – будь то высококонкурентная среда, характерная для насыщенного рынка, или условия нарастающих кризисных явлений в экономике. Одним из подходов к повышению эффективности управления является совершенствование процесса принятия управленческого решения. Совершенствовать принятие решений в рамках системы управления промышленным предприятием возможно путем повышения качества, которое во многом определяется степенью субъективности лиц, принимающих решений (ЛПР). Так, определение необходимых ресурсов для производства заказа, а именно, выбор материалов и поставщиков, конструктивных решений, технологий, оборудования, оснастки и т.п., зависит от опыта и квалификации ЛПР, а также качества информации, на основе которой принимается решение. Минимизировать фактор субъективности можно, осуществляя принятие решений в высокоавтоматизированной человеко-машинной системе, в которой принятие решений осуществляется как результат реализации ряда функций в автоматическом режиме [1]. Человеко-машинная система управления предприятием состоит из связанных подсистем с различной степенью автоматизации. Первая подсистема ориентирована на принятие решений человеком; вторая поддерживает принятие решений, осуществляемых в автоматизированном режиме; третья выполняет управленческие задачи автоматически. Существенной проблемой функционирования системы управления предприятием с такой структурой является проблема надежности.

При оценке надежности системы с трехуровневой структурой необходима оценка надежности не только отдельных подсистем, но и надежности функционирования всей системы в целом. Под надежностью будем понимать готовность к безотказной и безошибочной работе

объекта в заданный промежуток времени, обеспечивающую выполнение требуемых функций, конечным результатом реализации которых является принятие управленческого решения. Надежность функционирования системы определяется как множество показателей надежности каждой из подсистем:

$$P(Su) = \{P(A), P(V), P(C)\},$$

где  $P(Su)$  – комплексный показатель надежности системы управления;  $P(A)$  – показатель надежности автоматической подсистемы;  $P(V)$  – показатель надежности автоматизированной подсистемы;  $P(C)$  – показатель надежности подсистемы принятия управленческих решений человеком.

Для оценки надежности каждой подсистемы необходимо исследование всех ее составных компонентов, влияющих на надежность. Так, подсистема автоматического принятия решений включает такие компоненты, как техническое средство (ТС) и программное обеспечение (ПО), надежность которых и определяет надежность подсистемы. Отказ первой компоненты может возникнуть при отказе как одного элемента, так и нескольких сразу, поэтому показатель надежности  $P(TC)$  будет рассчитываться как

$$P(TC) = \prod_{i=1}^{k_{TC}} P_{d_i}^{TC}(t, \Delta t) \text{ при } n_i = 1,$$

где  $k_{TC}$  – количество элементов ТС;  $n_i$  – показатель востребованности  $i$ -го элемента ТС (1 – элемент ТС востребован, 0 – элемент не востребован);  $d_i$  –  $i$ -й элемент ТС;  $(t, \Delta t)$  – заданный промежуток времени.

Показатель надежности второй компоненты подсистемы автоматического принятия решений – программного обеспечения  $P(ПО)$  – определяется как

$$P(ПО) = \prod_{i=1}^{k_{ПО}} P_{d_i}^{ПО}(t, \Delta t),$$

где  $k_{ПО}$  – количество показателей надежности  $ПО$ ;  $d_i$  –  $i$ -й показатель надежности  $ПО$ .

В силу того что отказ программного обеспечения является зависимым событием относительно отказа технического средства, вероятность отказа автоматической подсистемы принятия управленческих решений при отказе технического средства равна  $P_B(\overline{TC}) = 1$ . Модель вероятности отказа автоматической подсистемы при безотказной работе технического средства имеет вид

$$P_B(TC) = 1 - \prod_{i=1}^{k_{ПО}} P_{d_i}^{ПО}(t, \Delta t).$$

Тогда показатель надежности автоматической подсистемы принятия управленческих решений  $P(A)$  может оцениваться по формуле

$$\begin{aligned} P(A) &= 1 - P(B) = P(\overline{TC}) * P_B(\overline{TC}) + \\ &+ P(TC) * P_B(TC) = \left( 1 - \prod_{i=1}^{k_{ТС}} P_{d_i}^{ТС}(t, \Delta t) \right) * 1 + \\ &+ \prod_{i=1}^{k_{ТС}} P_{d_i}^{ТС}(t, \Delta t) * \left( 1 - \prod_{i=1}^{k_{ПО}} P_{d_i}^{ПО}(t, \Delta t) \right) = \\ &= \prod_{i=1}^{k_{ТС}} P_{d_i}^{ТС}(t, \Delta t) * \prod_{i=1}^{k_{ПО}} P_{d_i}^{ПО}(t, \Delta t). \end{aligned}$$

Автоматизированный уровень принятия управленческих решений отличается от автоматического наличием одной составляющей – человеком, поэтому показатель ее надежности  $P(V)$  примет следующий вид:

$$P(V) = P(A) * P(\mathcal{U}),$$

где  $P(\mathcal{U})$  – показатель надежности принятия решений человеком.

Значение этого показателя в заданный промежуток времени определяется в соответствии с формулой

$$P(\mathcal{U}) = \prod_{i=1}^{k_{\mathcal{U}}} P_{d_i}^{\mathcal{U}}(t, \Delta t),$$

где  $k_{\mathcal{U}}$  – количество показателей надежности при принятии решений человеком;  $P_{d_i}^{\mathcal{U}}$  – надежность  $i$ -го показателя.

Тогда показатель надежности автоматизированной подсистемы принятия управленческих решений формализуется в виде следующей модели:

$$P(V) = \prod_{i=1}^{k_{ТС}} P_{d_i}^{ТС}(t, \Delta t) * \prod_{i=1}^{k_{ПО}} P_{d_i}^{ПО}(t, \Delta t) * \prod_{i=1}^{k_{\mathcal{U}}} P_{d_i}^{\mathcal{U}}(t, \Delta t).$$

Для комплексной оценки надежности функционирования автоматизированной подсистемы необходим учет влияния человека-оператора на подсистему. Возможны два варианта функционирования системы:

1) с некомпенсируемыми ошибками оператора и отказами техники;

2) с компенсацией ошибок оператора и последствий отказов технических систем [3, 4].

Безотказная работа системы «с некомпенсируемыми ошибками и отказами» обеспечивается отсутствием отказов технических средств и ошибок оператора. Вероятность безотказной работы системы будет равна

$$P^V(t_1, t_1 + \Delta t) = P^A(t_1, t_1 + \Delta t) * P^{\mathcal{U}}(\Delta t),$$

где  $P^A(t_1, t_1 + \Delta t)$  – вероятность безотказной работы технической системы в течение некоторого времени;  $P^{\mathcal{U}}(\Delta t)$  – вероятность безошибочной работы операторов при условии, что технические средства работают безотказно;  $t_1$  – общее (накопленное) время эксплуатации технической системы;  $(\Delta t)$  – анализируемый период применения.

Второй вариант функционирования системы возможен при своевременном исправлении (компенсации) части допущенных операторами ошибок. С учетом пренебрежимо малой величины вероятности одновременного появления нескольких ошибок и мгновенной компенсации с вероятностью  $\rho$  возникающих ошибок, вероятность безотказной работы может оцениваться по формуле

$$\begin{aligned} P_{\text{комп1}}^V(t_1, t_1 + \Delta t) &= \\ &= P^A(t_1, t_1 + \Delta t) * \left( P^{\mathcal{U}}(\Delta t) + (1 - P^{\mathcal{U}}(\Delta t)) * \rho \right). \end{aligned}$$

Так как компенсация ошибок и последствий отказа технической системы является существенным дополнительным фактором повышения надежности подсистемы, то вероятность ее безотказной работы составит

$$\begin{aligned} P_{\text{комп2}}^V(t_1, t_1 + \Delta t) &= \\ &= P^{\mathcal{U}}(\Delta t) * \left[ P^{ТС}(t_1, t_1 + \Delta t) + (1 - P^{ТС}(\Delta t)) * \mu \right], \end{aligned}$$

где  $\mu$  – вероятность моментальной компенсации отказа технической системы.

С учетом рассмотренных вариантов функционирования автоматизированной подсистемы показатель надежности ее работы  $P(V)$  примет вид

$$P(V) = P_{\text{комп1}}^V(t_1, \Delta t) + P_{\text{комп2}}^V(t_1, \Delta t).$$

Анализ надежности человеческой составляющей в подсистемах автоматизированного и ручного принятия решений позволил сделать вывод о неравенстве этих показателей, т. е.  $P(\mathcal{U}^*) \neq P(\mathcal{U})$ . Это обусловлено, прежде всего, различием функций человека в этих подсистемах. Так, в автоматизированной подсистеме принятия решений оператор выполняет лишь контролирующую функцию.

Для определения соотношения объема задач, выполняемых человеком до и после формирования подсистемы автоматического принятия решения, введен коэффициент сжатия  $W$ , с учетом которого надежность подсистемы будет оцениваться по следующей формуле:

$$P(U^*) = \prod_{i=1}^{k_d} P_{d_i}^{U^*}(t, \Delta t) * W,$$

где  $m$  – количество факторов, влияющих на надежность принятия решений в ручной подсистеме;  $W$  – коэффициент сжатия, равный

$$W = \frac{n}{m};$$

$n$  – количество функций человека в ручной подсистеме;  $m$  – количество функций человека в автоматизированной подсистеме принятия решений.

Очевидно, что  $n > m$ , поэтому соотношение показателей надежности функционирования подсистем с участием человека составит

$$\prod_{i=1}^n P_{k_i}^U(t_1, \Delta t) < \prod_{i=1}^m P_{k_i}^{U^*}(t_1, \Delta t).$$

Согласно этому соотношению, чем меньше в подсистеме функций, осуществляемых человеком, тем больше надежность такой подсистемы.

С позиций системного анализа сложные системы характеризуются рядом закономерностей, определяющих диалектику части и целого. Одной из основных закономерностей является целостность, проявляющаяся в возникновении у системы новых интегративных качеств, несвойственных ее компонентам. Таким свойством рассматриваемой трехуровневой системы принятия управленческих решений является возможность передачи функции из одной подсистемы в другую. Так, например, возмущения в автоматической подсистеме, которые могут привести к отказу или простою, могут быть переданы в автоматизированную подсистему или подсистему принятия решений человеком. Возможность компенсации возмущений в автоматизированной подсистеме приведет к передаче функций в подсистему принятия решений человеком. Передача функций из подсистемы в подсистему возможна только в направлении «сверху вниз» на основании низкой степени формализации функций.

Одним из способов оценки неопределенности системы является нахождение ее энтропии как распределения параметров элементов системы [3]. Повышение отказоустойчивости системы при отказе одной из подсистем происходит за счет перераспределения функций между функционирующими подсистемами, что соответствует резервированию с перераспределением нагрузки. Такое состояние характеризуется тем, что система в случае отказа каких-либо компонентов продолжает функционировать, однако режимы работы элементов системы изменяются.

Существует несколько методов определения надежности системы при резервировании с перераспределением нагрузки, основными из которых являются:

– метод интегральных уравнений, в котором рассчитываются интегральные или ин-

тегриродифференциальные уравнения, связывающие характеристики распределений времени безотказной работы, а для восстанавливаемых систем – время восстановления элементов. При оценке надежности сложного события как результата взаимодействия нескольких факторов выделяется один или несколько бесконечно малых интервалов времени. Недостатком метода является трудность решения уравнений при сравнительной простоте их составления;

– метод дифференциальных уравнений, основанный на допущении показательных распределений времени (наработки) между отказами и времени восстановления, для чего решается система дифференциальных уравнений для вероятностей состояний.

Для оценки надежности системы с трехуровневой структурой использован метод дифференциальных уравнений на основе возможности оценки как восстанавливаемых, так и невосстанавливаемых систем. Возможные состояния системы формализованы в виде графа, представленного на рис. 1.

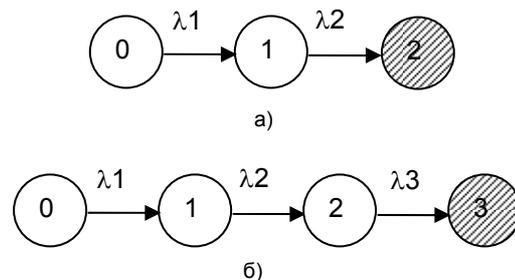


Рис. 1. Граф состояний системы: 0,1,2,3 – возможное состояние системы, возникающее при отказах ее элементов;  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$  – показатели интенсивности переходов

Первая модель, приведенная на рис. 1,а, включает одну основную подсистему с интенсивностью отказа  $\lambda_1$  и одну резервную, имеющую интенсивность отказа  $\lambda_2$ . Такая система может находиться в трех состояниях: 0 – все элементы работоспособны (работает основной элемент); 1 – работает резервный элемент (отказ основного элемента); 2 – все элементы не работоспособны.

Система дифференциальных уравнений, в соответствии с графом состояний, будет иметь вид

$$\begin{cases} P_0'(t) = -\lambda_1 P_0(t), \\ P_1'(t) = \lambda_1 P_0(t) - \lambda_2 P_1(t), \\ P_2'(t) = \lambda_2 P_1(t), \end{cases}$$

где  $\lambda = \frac{1}{mt}$ ,  $mt$  – среднее время между отказами;  $P_i(t)$  – вероятность нахождения системы в момент времени  $t$  в  $i$ -м состоянии. Начальные условия: при  $t = 0$   $P_0(0) = 1$ ;  $P_1(0) = P_2(0) = 0$ .

Путем преобразования Лапласа с учетом начальных условий построена следующая система уравнений:

$$\left. \begin{aligned} (s + \lambda_1)p_0^0(s) &= 1, \\ (s + \lambda_2)p_1^0(s) - \lambda_1 p_0^0(s) &= 0, \\ sp_2^0(s) - \lambda_2 p_1^0(s) &= 0. \end{aligned} \right\}$$

На основании метода обратного преобразования Лапласа, оценка надежности системы будет вычисляться по формуле

$$P(t) = P_0(t) + P_1(t) = e^{-\lambda_1 t} + \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}).$$

Вторая модель (рис. 1,б) включает основную подсистему с интенсивностью отказа  $\lambda_1$  и две резервные с интенсивностью отказа  $\lambda_2$  и  $\lambda_3$ . Система может находиться в четырех состояниях, т. е. отличается от предыдущего варианта наличием состояния, когда функционирует второй резервный элемент. Система дифференциальных уравнений состояний будет иметь вид

$$\begin{cases} P_0(t) = -\lambda_1 P_0(t), \\ P_1(t) = \lambda_1 P_0(t) - \lambda_2 P_1(t), \\ P_2(t) = \lambda_2 P_1(t) - \lambda_3 P_2(t), \\ P_3(t) = \lambda_3 P_2(t). \end{cases}$$

В результате решения системы определен интегрированный показатель надежности системы, рассчитываемый по формуле

Виноградова Галина Леонидовна,  
Костромской государственный технологический университет,  
кандидат технических наук, профессор кафедры информационных технологий,  
телефон (4942) 53-58-72.

Перепелкин Антон Сергеевич,  
Костромской государственный технологический университет,  
аспирант кафедры информационных технологий,  
телефон (4942) 53-58-72.

$$\begin{aligned} P(t) &= P_0(t) + P_1(t) + P_2(t) = \\ &= e^{-\lambda_1 t} + \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) + \\ &+ \frac{\lambda_1 \lambda_2}{(\lambda_2 - \lambda_1)(\lambda_3 - \lambda_2)} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_3 t}) + \\ &+ \frac{\lambda_1 \lambda_2}{(\lambda_2 - \lambda_1)(\lambda_3 - \lambda_2)} (e^{-\lambda_2 t} - e^{-\lambda_3 t}). \end{aligned}$$

Таким образом, разработанные модели показателей надежности системы управления предприятием с трехуровневой структурой позволяют оценивать надежность системы принятия управленческих решений, а также надежность ее функционирования при переходе к такой структуре.

#### Список литературы

1. Виноградова Г.Л. Классификация функций управления при проведении эволюционного реинжиниринга бизнес-процессов // Известия ТулГУ. Сер. Бизнес-процессы и бизнес-системы. – 2005. – Вып. 1. – С. 3–7.
2. Виноградова Г.Л. Реорганизация административных бизнес-процессов с использованием перманентного реинжиниринга // Вестник ТГУ. – 2006. – № 3. – С. 10–14.
3. Дружинин Г.В. Надежность автоматизированных систем. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергия, 1977.
4. Переверзев Е.С. Надежность и испытание технических систем // АН УССР. Ин-т техн. Механики. – Киев: Наук. Думка, 1990.