

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СТЕПЕНИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО УСТАРЕВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ЭКСТРАПОЛЯЦИИ НЕЧЕТКИХ ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК

О. Л. ШЕСТОПАЛОВА

*Московский авиационный институт, филиал „Восход“,
г. Байконур, Казахстан
E-mail: neman2004@mail.ru*

Предложен подход к прогнозированию остаточного срока службы информационной системы с использованием нечеткой регрессионной модели деградации ее функциональных возможностей. Особенностью подхода является введение нечетких временных интервалов и нечетких экспертных оценок степени функционального (морального) устаревания. Прогнозирование осуществляется на основе обработки результатов нечеткого экспертного оценивания степени функционального устаревания информационной системы. Приведены выражения, позволяющие определить оптимальные значения параметров нечеткой линейной регрессионной модели, а также прогнозные значения степени функционального устаревания и функционального остаточного ресурса информационной системы. Применение описанных результатов позволяет получить прогнозные оценки показателей моральной долговечности существующих информационных систем, необходимые для планирования процессов их проектирования, эксплуатации и модернизации.

Ключевые слова: прогнозирование, информационная система, нечеткая экспертная оценка, функциональное устаревание

В настоящее время расширение потенциальных функциональных возможностей информационных систем (ИС) вследствие появления новых технических решений начинает опережать сроки создания и внедрения предыдущих разработок [1, 2]. В этой ситуации можно говорить о функциональном (моральном) устаревании (ФУ) ИС.

Под ФУ будем понимать процесс отставания ИС от изменяющихся требований пользователей по составу и качеству функций (информационных услуг). Для получения пользователем новых информационных услуг могут потребоваться новые источники информации, виды информации, способы ее отображения при существенном повышении оперативности, защищенности, непрерывности и надежности передачи и приема информации.

Механизм функционального морального устаревания ИС запускается, когда новые разработки в сфере информационных технологий начинают изменять структуру пользовательского спроса на состав и качество услуг. Вследствие ФУ системы должны либо заменяться более совершенными, либо модернизироваться.

Планирование процесса проектирования, эксплуатации и модернизации ИС в современных условиях возможно при наличии прогнозных оценок показателей моральной долговечности существующих ИС. Одним из таких показателей может быть функциональный остаточный срок службы (ФОСС) ИС, т.е. период времени от текущего момента до достижения ИС функционального предельного состояния (ФПС) ИС. При ФПС дальнейшее целевое применение ИС нецелесообразно вследствие неустраиваемого отставания от функциональных возможностей новых, более совершенных ИС.

Методы прогнозирования остаточного срока службы информационных систем основаны в основном на исследовании изменения во времени процессов физического старения аппаратной

части оборудования ИС и недостаточно учитывают аспекты функционального устаревания [3]. Эти методы базируются на статистических данных, а для оценки ФОСС ИС такую статистическую информацию получить в принципе невозможно вследствие изменения характеристик объектов наблюдений и параметров среды функционирования. Вследствие этого статистическая информация о моральном устаревании ИС неоднородна и крайне ограничена по объему.

Альтернативный источник информации о возможных темпах устаревания использует не статистические данные, а опыт экспертов в рассматриваемой предметной области.

Экспертные знания о степени функционального устаревания ИС могут быть представлены в формализованном виде с использованием понятия нечеткого множества (НМ):

$$\underline{A} = \left\{ \left(a, \mu_{\underline{A}}(a) \right) \right\}, \tag{1}$$

где $\mu_{\underline{A}}(a) = \overline{0,1}$ — функция принадлежности (ФП) НМ \underline{A} , отражающая степень субъективной уверенности эксперта в принадлежности a к \underline{A} [4].

Введем переменные: y , которая является экспертной оценкой степени отставания функциональных возможностей рассматриваемой ИС от нового уровня пользовательских требований, и x , описывающую срок службы ИС.

Эксперту гораздо легче сформировать количественную оценку, если переменные x и y оцениваются нечетко. В этом случае эксперт приближенно оценивает отставание функциональных возможностей рассматриваемой ИС от нового уровня пользовательских требований для некоторой заданной совокупности нечетких временных интервалов, описывающих, например, ближайшую, среднюю и отдаленную перспективы.

В этой ситуации приобретает актуальность задача построения математической модели обработки приближенных экспертных оценок, привязанных к некоторой совокупности нечетких временных интервалов.

Нечеткую временную шкалу зададим вектором размерности N нечетких множеств

$$\underline{X}_{<N>} = \langle \underline{x}_1, \underline{x}_2, \dots, \underline{x}_i, \dots, \underline{x}_N \rangle. \tag{2}$$

Результаты приближенного оценивания степени отставания функциональных возможностей ИС от нового уровня пользовательских требований для (2) представим как

$$\underline{Y}_{<N>} = \langle \underline{y}_1, \underline{y}_2, \dots, \underline{y}_i, \dots, \underline{y}_N \rangle.$$

Образует нечеткий временной ряд (НВР) значений степени ФУ ИС:

$$\underline{M}_{<N>} = \langle \underline{M}_1, \underline{M}_2, \dots, \underline{M}_i, \dots, \underline{M}_N \rangle, \tag{3}$$

где

$$\underline{M}_i = \{ \langle M_i, \mu_{\underline{M}_i}(M_i) \rangle \}, M_i = (x, y), (x, y) \in Z, Z = X \times Y, x \in X, y \in Y,$$

$$\mu_{\underline{M}_i}(M_i) = \mu_{\underline{M}_i}(x, y) = \min(\mu_{\underline{x}_i}(x_i), \mu_{\underline{y}_i}(y_i)).$$

Таким образом, результаты экспертного оценивания ФУ ИС представляются нечеткими значениями $\underline{M}_i, i = \overline{1, N}$, с двумерными ФП, отображаемыми в виде поверхностей S_i .

Представим ФП $\mu_{\underline{M}_i}(x, y)$ совокупностью контуров равной принадлежности (КРП). Для этого разделим интервал возможных значений ФП $\mu_{\underline{M}_i}(x, y) \in [0, 1]$ на некоторое число отрезков L .

Присвоим данным отрезкам номера по возрастанию $\mu_{M_i}(x, y)$:

$$\mu_{M_i}(x, y, l) = l / L.$$

Для уровней l/L , $l = \overline{0, L-1}$, найдем проекции на плоскость yOx сечений поверхности S_i плоскостями P_l , параллельными yOx . Тогда ФП $\mu_{M_i}(x, y)$ можно описать совокупностью проекций на плоскости yOx :

$$\underline{M}'_{iL} = \{(L_{il}, \mu_{M_i}^l(x, y)), l = \overline{1, L}\}. \quad (4)$$

Совокупность проекций (4) есть множество КРП L_{il} . С помощью КРП можно графически представить НВР (3) упорядоченным множеством нечетких наблюдений, отображаемых на плоскости xOy в виде (4) (рис. 1). Форма КРП в общем случае может быть произвольной. Однако в практических приложениях с целью упрощения вычислений целесообразно использовать ФП специального вида. Форма КРП L_{il} зависит от вида ФП $\mu_{x_i}(x_i)$ и $\mu_{y_i}(y_i)$. При треугольной или трапецеидальной форме функций принадлежности нечетких множеств x_i и y_i КРП L_{il} имеют форму прямоугольника, при параболической — кругов или эллипсов.

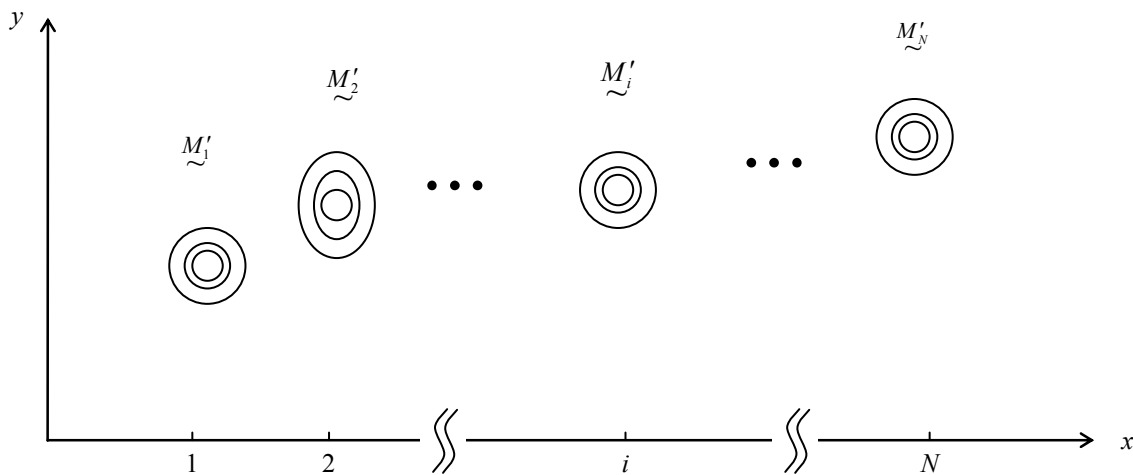


Рис. 1

Круговые и эллипсоидные КРП можно описать следующими выражениями:

$$L_{oi} = \mu_{oi}(x, y, l) = \left[1 - r_{il}^{-2} \left((x - x_{il})^2 + (y - y_{il})^2 \right) \right]^+, \quad (5)$$

$$L_{\varepsilon il} = \mu_{\varepsilon i}(x, y, l) = \left[1 - (x - x_{il})^2 / u_{il}^2 - (y - y_{il})^2 / v_{il}^2 \right]^+, \quad (6)$$

где r_{il} — радиус круга с центром (x_{il}, y_{il}) , $[v]^+ = \max\{v, 0\}$, (x_{il}, y_{il}) — центр эллипса, а u_{il} и v_{il} — его полуоси.

Рассмотрим зависимость степени ФУ ИС от времени в нечеткой интерпретации в виде однофакторной линейной модели (уравнения регрессии) следующего вида:

$$\underline{y} = \underline{a}_0 + \underline{a}_1 \underline{x} + \underline{\varepsilon}, \quad (7)$$

где \underline{a}_0 , \underline{a}_1 — нечеткие коэффициенты; \underline{x} — нечеткая переменная, описывающая срок службы ИС; \underline{y} — нечеткая случайная величина, описывающая экспертные оценки степени отста-

вания функциональных возможностей ИС от изменившегося уровня пользовательских требований; ε — ошибка нечеткого моделирования.

В модели (7) подлежит оцениванию вектор $\underline{A}_{\langle 2 \rangle}$:

$$\underline{A}_{\langle 2 \rangle} = \langle a_0, a_1 \rangle, \tag{8}$$

который может быть интерпретирован как двумерный нечеткий параметр

$$\underline{A}_{\langle 2 \rangle} = \{ \langle (a_0, a_1), \mu_{\underline{A}_{\langle 2 \rangle}}(a_0, a_1) \rangle \}, \tag{9}$$

его значения должны быть определены таким образом, чтобы наилучшим образом (по заданному критерию качества) описать тенденцию изменения НВР (3) с помощью зависимости (7).

Задача подбора коэффициентов в (7) в трехмерном пространстве может быть формально представлена как построение поверхности $S_{\underline{A}}$, описывающей отношение $A_0 \times A_1 \xrightarrow{\mu} [0; 1]$.

При этом любой точке на поверхности $S_{\underline{A}}$ с координатами (a_0, a_1) соответствует определенная оценка качества аппроксимации НВР.

Приравняем $x=x_0$ в выражении $y = a_0 + a_1x$.

Тогда при заданной оптимальным образом поверхности S_i выходной переменной y соответствует значение ФП $\mu_{\underline{M}_i}(x_0, a_0 + a_1x_0)$, изменяемое при варьировании $x \in X$.

Вычислим степень отклонения \underline{E}_i кривой

$$G(a_0, a_1) = \{ (x, a_0+a_1x) \in Z; x \in X \}$$

от точечного значения НВР \underline{M}_i :

$$\mu_{\underline{E}_i}(a_0, a_1) = \frac{\int_{G_j(a_0, a_1)} \mu_{\underline{M}_i}(x, y) \rho(x, y) dx}{\int_{G_j(a_0, a_1)} \rho(x, y) dx}, \tag{10}$$

где $G_j(a_0, a_1) = \{ (x, y) \in G(a_0, a_1) \mid x \in \text{supp}(\text{Proj}_X \underline{M}_i) \}$; нечеткая проекция \underline{M}_i на ось x

$\text{Proj}_X \underline{M}_i = \{ \langle x, \mu_{\underline{P}_i}(x) \rangle \}$; $\mu_{\underline{P}_i}(x) = \mu_{\underline{x}_i}(x_i)$; $\rho(x, y)$ — весовая функция.

Агрегируя (10) по всему множеству значений НВР (3), получим:

$$\mu_{\underline{E}}(a_0, a_1) = \sum_{i=1}^N \mu_{\underline{E}_i}(a_0, a_1) = \sum_{i=1}^N \frac{\int_{G_j(a_0, a_1)} \mu_{\underline{M}_i}(x, y) \rho(x, y) dx}{\int_{G_j(a_0, a_1)} \rho(x, y) dx}.$$

Если предположить, что $\rho(x, y) = \text{const}$, тогда

$$\mu_{\underline{E}}(a_0, a_1) = \sum_{i=1}^N \frac{\int_{G_j(a_0, a_1)} \mu_{\underline{M}_i}(x, y) dx}{\int_{G_j(a_0, a_1)} dx}.$$

Пусть X_0 — множество объединенных оснований X_{0i} :

$$X_0 = \bigcup_{i=1, N} X_{0i}, \quad X_{0i} = \text{supp}(\text{Proj}_X \underline{M}_i). \tag{11}$$

Принимая во внимание (11), можно записать:

$$\mu_{\underline{E}}(a_0, a_1) = \int_{X_0} \max_{i=1, N} \mu_{\underline{M}_i}(x, y) dx \Big/ \int_{X_0} dx,$$

или

$$\mu_{\tilde{E}}(a_0, a_1) = \int_{X_0} \mu_{\tilde{M}}(x, y) dx \Big/ \int_{X_0} dx.$$

Показатель $\mu_{\tilde{E}_j}(a_0, a_1)$ в определенной степени отражает точность подбора коэффициентов (7) рассмотренного НВР $\tilde{M}_{\langle N \rangle}$ кривой $G_j(a_0, a_1)$.

Несколько более информативен показатель отклонения от наилучшей из возможных аппроксимирующих кривых:

$$G_j(f) = \{(x, f(x)): x \in X\},$$

где

$$f(x) = \arg \max_{y \in Y} \mu_{\tilde{M}}(x, y). \quad (12)$$

Кривой $G_j(f)$ принадлежат все точки $(x, y) \in Z$, в которых $\mu_{\tilde{M}}(x, y)$ максимальна при всех значениях $y \in Y$. Выражение (12) может быть интерпретировано следующим образом: при расчете функции $f(x)$ необходимо рассматривать только те точки y , в которых $\mu_{\tilde{M}}(x, y)$ максимальна при данном x .

$G_j(f)$ назовем показателем максимального приближения к НВР $\mu_{\tilde{M}}(x, y)$ для X . Теперь можно записать:

$$\mu_{\tilde{E}}(f) = \int_{G_j(f)} \mu_{\tilde{M}}(x, y) \rho(x, y) dx \Big/ \int_{G_j(f)} \rho(x, y) dx,$$

или (при $\rho = \text{const}$)

$$\mu_{\tilde{E}}(f) = \int_{X_0} \max_{y \in Y} \mu_{\tilde{M}}(x, y) dx \Big/ \int_{X_0} dx.$$

Учитывая, что $\mu_{\tilde{E}}(f) > 0$ и $\mu_{\tilde{E}}(a_0, a_1) \leq \mu_{\tilde{E}}(f)$ для всех $(a_0, a_1) \in A$, можно определить:

$$\mu_c(a_0, a_1; f) := \mu_{\tilde{E}}(a_0, a_1) / \mu_{\tilde{E}}(f). \quad (13)$$

При $\rho(x, y) \neq \text{const}$ (13) определяется как:

$$\mu_c(a_0, a_1; f) = \frac{\int_{G_j(a_0, a_1)} \mu_{\tilde{M}}(x, y) \rho(x, y) dx \Big/ \int_{G_j(f)} \rho(x, y) dx}{\int_{G_j(f)} \mu_{\tilde{M}}(x, y) \rho(x, y) dx \Big/ \int_{G_j(a_0, a_1)} \rho(x, y) dx}. \quad (14)$$

При $\rho(x, y) = \text{const}$

$$\mu_c(a_0, a_1; f) = \int_{X_0} \mu_{\tilde{M}}(x, y) dx \Big/ \int_{X_0} \max_{y \in Y} \mu_{\tilde{M}}(x, y) dx.$$

Параметр $\mu_c(a_0, a_1; f) \in [0, 1]$ есть показатель адекватности модели (7) НВР (3). Следовательно, НМ $\tilde{A}_{\langle 2 \rangle} = \langle (a_0, a_1), \mu_c(a_0, a_1; f) \rangle$ представляет собой нечеткую оценку параметров модели (7) и может быть отображена (рис. 2) в трехмерном пространстве в виде некоторой поверхности $S_{\tilde{A}}$, задаваемой на $(a_0, a_1) \in A$. Данная поверхность есть графическое отображение функции принадлежности $\mu_c(a_0, a_1; f)$.

Используя нечеткие оценки (14), можно, во-первых, спрогнозировать во времени степень функционального устаревания ИС, во-вторых, получить оценку функционального морального остаточного срока службы ИС.

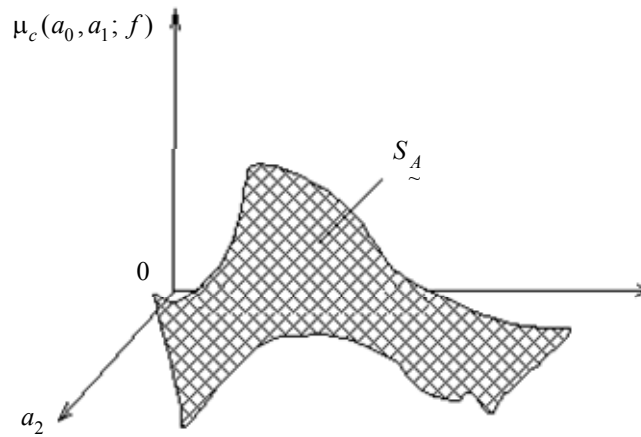


Рис. 2

Прогнозирование степени ФУ ИС выполним путем расчета значения переменной y при значении $x=x_0$. Прогноз степени ФУ ИС при этом выражается в виде нечеткого числа, задаваемого ФП:

$$\tilde{y} = \{ \langle y, \mu_{\tilde{y}}(y) \rangle \}, \tag{15}$$

где

$$\mu_{\tilde{y}}(y) = \mu_0(y; x_0) = \max_{(a_0, a_1): y=a_0+a_1x_0} \mu_c(a_0, a_1; f).$$

Варьируя значения x_0 , можно построить кривую снижения функциональных возможностей ИС во времени, представленную на рис. 3.

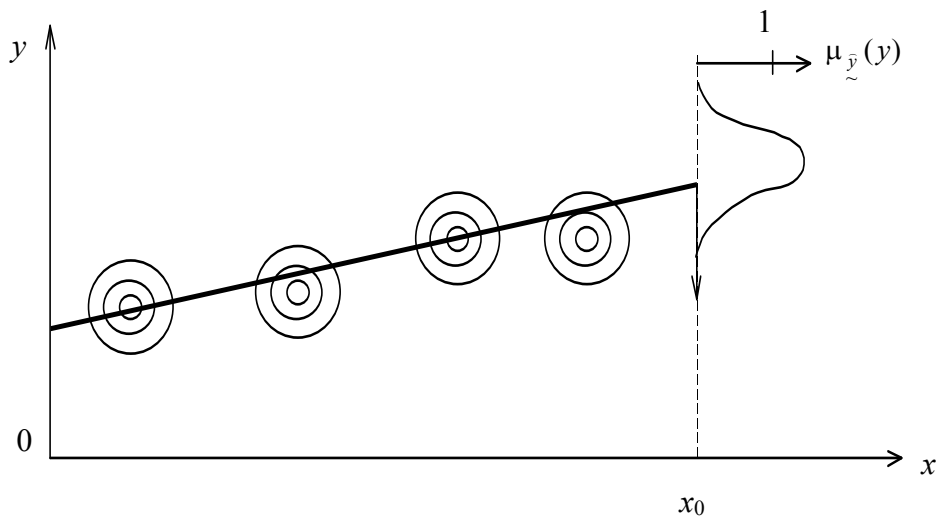


Рис. 3

Прогнозирование ФОСС ИС заключается в определении переменной x , при котором переменная y достигает заданного уровня y_0 .

Результат прогнозирования ФОСС ИС при $y=y_0$ описывается НМ

$$\hat{x} = \{ \langle \tilde{x}, \mu_{\tilde{x}}(x) \rangle \}, \tag{16}$$

где

$$\mu_{\hat{x}}(x) = \mu_0(y_0; x) = \max_{(a_0, a_1): y_0=a_0+a_1x} \mu_c(a_0, a_1; f).$$

Пример полученной оценки приведен на рис. 4.

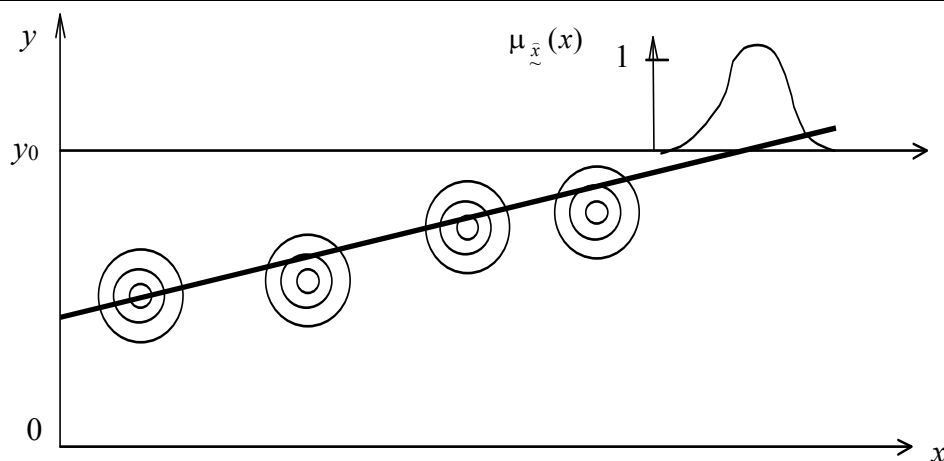


Рис. 4

Таким образом, в настоящей статье представлен подход к прогнозированию остаточного срока службы информационной системы с использованием нечеткой регрессионной модели деградации ее функциональных возможностей. Особенностью подхода является введение нечетких временных интервалов и нечетких экспертных оценок степени функционального устаревания. Прогнозирование осуществляется на основе обработки результатов нечеткого экспертного оценивания степени функционального устаревания информационной системы. Приведены выражения, позволяющие определить оптимальные значения параметров нечеткой линейной регрессионной модели, а также прогнозные значения степени функционального устаревания и функционального остаточного ресурса информационной системы.

Исследования, выполненные по данной тематике, проводились при финансовой поддержке бюджетной темы №№0073–2018–0003.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Митчелл Р. Моральный износ и как с ним бороться // Computer world Россия. 2008. № 32 [Электронный ресурс]: <<http://www.osp.ru/cw/2008/32/5462756/>>.
2. Дорохов А. Н., Миронов А. Н., Шестопалова О. Л. Определение потребности в модернизации средств технического обеспечения распределенной системы сбора и обработки информации // Информация и космос. 2014. № 1. С. 9—12.
3. Шестопалова О. Л. Прогнозирование моральной долговечности распределенных информационных систем с учетом прогрессирующих ограничений на возможности восстановления ресурса элементной базы // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 6 [Электронный ресурс]: <<http://www.science-education.ru/113-11078>>.
4. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М.: Мир, 1976. 166 с.

Сведения об авторе

Ольга Львовна Шестопалова

— канд. техн. наук, доцент; МАИ филиал „Восход“; факультет испытательных летательных аппаратов; декан; E-mail: neman2004@mail.ru

Поступила в редакцию
27.08.18 г.

Ссылка для цитирования: Шестопалова О. Л. Прогнозирование степени функционального устаревания информационных систем на основе экстраполяции нечетких экспертных оценок // Изв. вузов. Приборостроение. 2019. Т. 62, № 4. С. 312—319.

**PREDICTING THE EXTENT OF FUNCTIONAL OBSOLESCENCE OF INFORMATION SYSTEMS
BASED ON EXTRAPOLATION OF FUZZY EXPERT ESTIMATES****O. L. Shestopalova**

Branch "Voskhod" MAI,
city of Baikonur, Kazakhstan
E-mail: neman2004@mail.ru

An approach to the problem of prediction of the extent of functional obsolescence of information system using a fuzzy regression model of degradation of the system functionality. Special feature of the approach is introduction of fuzzy time intervals and fuzzy expert assessments of the degree of functional (moral) obsolescence. Forecasting is carried out based on processing the results of fuzzy expert evaluation of the degree of functional obsolescence of the information system. Expressions allowing to determine the optimal values of the parameters of the fuzzy linear regression model, as well as predict the extent of functional obsolescence and functional residual resource of the information system, are presented. The application of the described results makes it possible to obtain predictive estimates of indicators of moral durability of existing information systems necessary for planning the processes of their design, operation, and modernization.

Keywords: prediction, information system, fuzzy expert estimate, functional obsolescence

REFERENCES

1. Mitchell R. *Computer world Rossiya*, 2008, no. 32, <http://www.osp.ru/cw/2008/32/5462756/> (in Russ.)
2. Dorokhov A.N., Mironov A.N., Shestopalova O.L. *Information and Space*, 2014, no. 1, pp. 9–12. (in Russ.)
3. <http://www.science-education.ru/113-11078>. (in Russ.)
4. Zadeh L.A. *Information Sciences*, 1975, vol. 1, pp. 119–249.

Data on author

Olga L. Shestopalova — PhD, Associate Professor; Branch "Voskhod" MAI, Dean of the Faculty Testing of Aircraft; E-mail: neman2004@mail.ru

For citation: Shestopalova O. L. Predicting the extent of functional obsolescence of information systems based on extrapolation of fuzzy expert estimates. *Journal of Instrument Engineering*. 2019. Vol. 62, N 4. P. 312—319 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2019-62-4-312-319