УДК: 5196.8:691.32/ .34

В.Ю. Дубницкий[1], А.М. Кобылин[1], В.Л. Чернявский[2]

[1] *Харьковский институт банковского дела Университета банковского дела НБУ, Харьков*
[2] *Харьковский государственный технический университет строительства и архитектуры, Харьков*

ОЦЕНКА НИЖНЕЙ ГРАНИЦЫ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО РЕСУРСА СЛОЖНОЙ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ПОЛНОЙ И НЕПОЛНОЙ ИНФОРМАЦИИ О ЕЁ НАЧАЛЬНОМ СОСТОЯНИИ

Предложены способы определения нижней границы эксплуатационного ресурса сложной физико-химической системы при полной и неполной информации о её начальном состоянии. Перечислены виды неопределённости информации в зависимости от имеющихся сведений о начальном состоянии системы. В случае полной определённости и стохастической неопределенности для решения задачи использован метод линеаризации функции случайных аргументов. В случае нестохастической неопределённости использован метод интервальных вычислений.

Ключевые слова: *состояние системы, ресурс системы, метод линеаризации, интервальные вычисления.*

Введение

В работах [1…4] авторами данного сообщения было введено понятие состояния сложной физико-химической системы (СФХС), активно взаимодействующей с внешней средой. Состояние системы было определено в виде мультипликативной функции специального вида. В работе [9] была получена оценка средней длительности безопасной эксплуатации такой системы. Действующие в настоящее время нормативные документы [5, 6, 7] требуют определения не только среднего времени эксплуатации системы, но и вычисление её нижней границы, определённой с заранее заданной доверительной вероятностью γ, так называемый γ-процентный ресурс. Это требование вызвано необходимостью ранней диагностики возможных повреждений системы.

В рамках данной публикации в соответствии с указанными нормативными документами приняты приведенные в табл. 1 такие термины и определения.

Таблица 1

Термины и определения, принятые в работе

Термин	Определение
Допустимый (или недопустимый) вид технического состояния системы	Один из двух видов технического состояния системы, определяемый подмножеством технических состояний, которые допускаются (или не допускаются) при эксплуатации системы
Контролируемый параметр	Количественная или качественная характеристика технического состояния системы (составляющая состояния) и/ или нагрузок и воздействий на систему (составляющая воздействий), которая устанавливается технической документацией на систему. Количественная характеристика может быть представлена сосредоточенной и/или распределенной физической величиной
Критерий предельного технического состояния системы (критерий предельного состояния)	Условие принадлежности конкретного технического состояния системы к критериальному подмножеству, которое включает допустимый вид технического состояния системы и имеет общую часть границы с границей допустимого вида. Общая часть границы содержит предельные технические состояния системы, которые можно установить по этому условию (критерию предельного состояния). Пересечение всех (полной совокупности) критериальных подмножеств образует допустимый вид технического состояния системы с границей, представленной объединением всех общих частей
Отказ системы	Переход технического состояния системы от допустимого к недопустимому виду
Предельное (граничное) техническое состояние системы	Техническое состояние системы, принадлежащее границе подмножества технических состояний, которые допускаются при эксплуатации системы (границе допустимого вида технического состояния системы)
Прогнозирование технического состояния системы	Определение (с оценкой вероятности) технического состояния системы и его вида в предстоящие моменты времени при ожидаемых нагрузках и воздействиях на системы вместе со значениями показателей надежности системы

Анализ литературы. В работах [1, 2] была введена оценка текущего состояния СФХС в виде:

$$S_t = \prod_{i=1}^{n} \frac{|x_{it} - x_{ik}|}{x_{ik}}, \qquad (1)$$

где x_{it} – текущее значение i-го контролируемого параметра; x_{ik} – предельное значение i-го контролируемого параметра. Для прогнозирования продолжительности безопасного технического состояния системы ($T_{пр}$) была предложена формула:

$$T_{пр} = \frac{S_t}{S_0 - S_t} K T_э, \qquad (2)$$

где S_0 – начальное состояние СФХС, известное заранее; $T_э$ – время эксплуатации системы до момента её обследования; К – эмпирический коэффициент, учитывающий особенности эксплуатации системы.

Начальным состоянием (S_0) СФХС назовём численное значение известной функции контролируемых параметров, при которых рассматриваемая система начала взаимодействие с внешней средой. В том случае, когда их точные численные значения известны, например, из нормативной или проектной документации, будем говорить, что мы располагаем полной информацией о начальном состоянии системы и, следовательно, неопределённость отсутствует. Если эти сведения получены при проведении специального эксперимента и в расчётах будут использованы не точные начальные значения контролируемых параметров, а их статистические оценки, то будем говорить о наличии стохастической неопределённости в определении начальных значений. Будем говорить, что величина S_0 имеет нестохастическую неопределенность, если для каждой конкретной реализации СФХС известны только точные значения границ интервалов изменения начальных значений контролируемых параметров, но не их конкретные значения.

Постановка задачи. Требуется определить нижнюю границу эксплуатационного ресурса СФХС независимо от вида неопределённости относительно информации о начальном состоянии системы.

Изложение результатов

Состояние системы будем считать в общем случае убывающей функцией времени, за исключением не более одного интервала длительностью $T_1 < T_{пред}$, где $T_{пред}$ – предельно допустимое время существования системы. Наличие такого интервала вызывается особенностями протекания деградационных процессов в конкретных системах.

Рассмотрим более подробно условие (1). Выделим во множестве контролируемых параметров $U = \{x_1, x_2, ... x_n\}$ подмножество контролируемых параметров $M = \{x_i\}$, $\{i = 1, 2, ... m\}$ таких, что текущее состояние системы S_t тем больше, чем больше числитель условия (1). Выделим во множестве контролируемых параметров $U = \{x_1, x_2, ... x_n\}$ подмножество контролируемых параметров $N = \{x_i\}$, $\{i = m+1, m+2, ... n\}$ таких, что текущее состояние системы S_t тем больше, чем меньше числитель условия (1). Очевидно, что $U = M \bigcup N$ при условии, что $M \bigcap N = \varnothing$.

С учётом этого в работах [3, 4] условие (1) представлено в виде:

$$S_t = \prod_{i=1}^{m} \frac{x_{it} - x_{ik}}{x_{ik}} \prod_{i=m+1}^{n} \frac{x_{ik} - x_{it}}{x_{ik}} = C \cdot G. \qquad (3)$$

В условии (3) для обеспечения неотрицательности числителя примем, что:

$$x_i = \begin{cases} x_i, \text{если} \quad x_i \ge x_{ik}, \\ x_{ik}, \text{если} \quad x_i \le x_{ik}, \end{cases} \qquad (4)$$

при условии, что $i = 1, 2, ... m$ и

$$x_i = \begin{cases} x_i, \text{если} \quad x_i \le x_{ik}, \\ x_{ik}, \text{если} \quad x_i \ge x_{ik} \end{cases} \qquad (5)$$

при условии, что $i = m+1, m+2, ... n$.

Далее будем называть числитель дробей, входящих в равенство (3), абсолютным значением ресурса состояния по переменной x_i, каждую из дробей – относительным значением ресурса состояния по соответствующей переменной.

1. Расчёт гамма-процентного ресурса в условиях полной информированности и стохастической неопределённости данных о начальных значениях контролируемых параметров. Величину $T_{пр}$ назовём эксплуатационным ресурсом СФХС, активно взаимодействующей с внешней средой. Для определения его γ-процентного значения воспользуемся методом линеаризации в том виде, в котором он описан в работе [8].

Пусть нам известна с точностью до постоянных коэффициентов функция $y = \varphi(x_1, x_2, ... x_n)$, где $x_1, x_2, ... x_n$ – случайные величины, имеющие, по крайней мере, конечные вторые начальные и центральные моменты.

Тогда среднее значение такой функции:

$$\bar{y} \approx \varphi(\bar{x}_1, \bar{x}_2, ... \bar{x}_n), \qquad (6)$$

дисперсия:

$$D[y] \approx \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{\partial\varphi}{\partial x_i}\right)_{\bar{x}}^2 D[x_i] + 2\sum_{i<j} \left(\frac{\partial\varphi}{\partial x_i}\right)_{\bar{x}} \left(\frac{\partial\varphi}{\partial x_j}\right)_{\bar{x}} r_{ij}\sigma(x_i)\sigma(x_j). \qquad (7)$$

В условии (7) принято, что $D[x_i]$ – дисперсия i-го аргумента,

$$\left(\frac{\partial\varphi}{\partial x_i}\right)_{\bar{x}} = \frac{\partial\varphi(x_1, ... x_n)}{\partial x_i} \mid x_1 = \bar{x}_1, ..., x_n = \bar{x}_n, \qquad (8)$$

$\sigma(x_i)$ – среднеквадратическое отклонение i-го аргумента; r_{ij} – коэффициент корреляции между i-м и j-м аргументами, входящими в функцию $y=\varphi(x_1, x_2, ...x_n)$.

Для функции вида (2) в соответствии с (6) определим среднее значение эксплуатационного ресурса:

$$\bar{T}_{пр}=\frac{\bar{S}_t}{S_0-\bar{S}_t}KT_э. \quad (9)$$

Из условий (7) и (8) при n=1 получим, что

$$D\left[T_{пр}\right]=(KT_э)^2\left(\frac{d}{dS_t}\frac{S_t}{S_0-S_t}\right)^2_{\bar{S}_t}\sigma^2(S_t). \quad (10)$$

Выполнив необходимые преобразования, получим, что

$$D\left[T_{пр}\right]=(KT_э)^2\left(\frac{S_0^2}{\left(\bar{S}_t-S_0\right)^4}\right)_{\bar{S}_t}\sigma^2(S_t). \quad (11)$$

Выражения (9) и (10) позволяют определить γ-процентный эксплуатационный ресурс, используя выражение

$$T^{\gamma}_{пр}=\bar{T}_{пр}-t_{\gamma}\sigma(T_{пр}), \quad (12)$$

очевидно, что $\sigma(T_{пр})=D\left[T_{пр}\right]^{0,5}$. Если $\gamma=0,9$, то величина $t_{\gamma}=1,6$ для большинства законов распределения непрерывной случайной величины. Обоснование этого утверждения дано в работе [9].

Из условия (10) следует, что дисперсия (среднеквадратическое отклонение) величины $T_{пр}$ есть сложная функция, аргументами которой служат элементы множества U- множества контролируемых параметров. Рассмотрим подробнее условие (3).

Если $i \in M$, то

$$\frac{\partial S_t}{\partial x_i}=\left(\frac{1}{x_{ik}}\prod_{i\in(M\backslash i)}\frac{x_{it}-x_{ik}}{x_{ik}}\right)G. \quad (13)$$

Если $i \in N$, то

$$\frac{\partial S_t}{\partial x_i}=\left(-\frac{1}{x_{ik}}\prod_{i\in(N\backslash i)}\frac{x_{ik}-x_{it}}{x_{ik}}\right)C. \quad (14)$$

Используя выражения (13) и (14), с учётом (7) получим, что

$$\sigma^2(S_t)\approx G\sum_{i}^{m}\left(\frac{1}{x_{ik}}\prod_{i\in(M\backslash i)}\frac{x_{it}-x_{ik}}{x_{ik}}\right)^2\sigma^2(x_i)+$$

$$+C\sum_{m+1}^{n}\left(-\frac{1}{x_{ik}}\prod_{i\in(N\backslash i)}\frac{x_{ik}-x_{it}}{x_{ik}}\right)^2\sigma^2(x_i)+$$

$$+2\sum_{i<j}\left(\frac{\partial S_t}{\partial x_i}\right)_{\bar{x}}\left(\frac{\partial S_t}{\partial x_j}\right)_{\bar{x}}r_{ij}\sigma(x_i)\sigma(x_j). \quad (15)$$

Рассмотрим важный для практики частный случай, когда оценка текущего технического состояния системы имеет вид

$$S_t=\frac{pH_t-pH_k}{pH_k}\cdot\frac{W_k-W_t}{W_k}=A\cdot B. \quad (16)$$

В условии (16) принято, что pH – показатель щёлочности водной вытяжки из вяжущей компоненты бетона; W – показатель капиллярного водопоглощения. Физический смысл этих показателей рассмотрен в работе [10]. Метод линеаризации, применённый к условию (16), даёт следующие результаты.

Среднее значение оценки текущего технического состояния системы примет вид:

$$\bar{S}_t=\frac{p\bar{H}_t-pH_k}{pH_k}\cdot\frac{W_k-\bar{W}_t}{W_k}=A\cdot B. \quad (17)$$

Для вычисления дисперсии этой оценки определим, что:

$$\frac{\partial S_t}{\partial(pH)}=\frac{B}{pH_k}; \quad (18)$$

и

$$\frac{\partial S_t}{\partial W_t}=-\frac{A}{W_k}. \quad (19)$$

Дисперсия величины S_t может быть определена по условию (15), которое в данном случае примет вид:

$$\sigma^2(S_t)=\left(\frac{B}{pH_k}\right)^2\sigma^2(pH_t)+\frac{A^2}{W_k^2}\sigma^2(W_t)-$$

$$-2r_{pH,W}\sigma(pH_t)\sigma(W_t). \quad (20)$$

Следует обратить внимание на то, что коэффициент корреляции, входящий в условие (18), будет отрицательным вследствие физического смысла задачи потому, что уменьшение величины pH сопровождается ростом величины W.

Используя условия (11) и (18), окончательно получим условие:

$$D\left[T_{пр}\right]=(KT_э)^2\left(\frac{S_0^2}{\left(\bar{S}_t-S_0\right)^4}\right)_{\bar{S}_t}\cdot\left(\frac{B}{pH_k}\right)^2\sigma^2(pH_t)+$$

$$+\frac{A^2}{W_k^2}\sigma^2(W_t)-2r_{pH,W}\sigma(pH_t)\sigma(W_t). \quad (21)$$

Опыт применения оценки вида (1) для решения практических задач выявил следующий недостаток. При увеличении количества переменных в условии (1) результат произведения будет весьма малым числом. Хотя это не меняет упорядоченности в ряду наблюдений, психологическая «осязаемость» такого результата невелика. Лучший для понимания результат даёт использование средней геометрической. В этом случае оценка (16) примет вид

$$S_t^{г}=\left(\frac{pH_t-pH_k}{pH_k}\cdot\frac{W_k-W_t}{W_k}\right)^{1/2}=(A\cdot B)^{1/2}, \quad (22)$$

оценка (17) примет вид

$$\bar{S}_t^г = \sqrt{\frac{\left(p\bar{H}_t\right) - pH_k}{pH_k} \cdot \frac{W_k - \bar{W}_t}{W_k}} . \qquad (23)$$

Результаты вычислений величины S_t по формулам (17) и (19) приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчёта значения оценки текущего технического состояния системы умножением и средним геометрическим

№ п/п	pH_t	W_t	A	B	S_t	$S_t^г$
1	11,63	6,4	0,0113	0,0857	0,0010	0,031
2	11,82	5,9	0,0278	0,1571	0,0044	0,066
3	11,53	6,8	0,0026	0,0286	0,0001	0,008

Из приведенных данных видно, что $A < S_t^г < B$ и оценка получила вид более удобный для пользования. В общем случае эта оценка примет вид

$$S_t^{геом} = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^{n} \frac{|x_{it} - x_{ik}|}{x_{ik}}} . \qquad (24)$$

В соответствии с требованиями метода линеаризации получим выражения для частных производных по аргументам, входящим в оценку вида (19):

$$\frac{\partial S_t^г}{\partial (pH_t)} = \frac{\sqrt{\dfrac{(pH_k - pH_t)(W_t - W_k)}{pH_k \cdot W_k}}}{2\left(\sqrt{b^2 - 4ac}_t - pH_k\right)} = \frac{S_t^г}{2(pH_t - pH_k)} ; \qquad (25)$$

$$\frac{\partial S_t^г}{\partial (W_t)} = \frac{\sqrt{\dfrac{(pH_k - pH_t)(W_t - W_k)}{pH_k \cdot W_k}}}{2\left(W_k - W_t\right)} = \frac{S_t^г}{2(W_k - W_t)} . \qquad (26)$$

Общее в полученных выражениях то, что при приближении текущих параметров, входящих в оценку состояния, к своим предельным значениям расчётная величина среднеквадратического отклонения отклонениям неограниченно возрастает и, следовательно, в соответствии с условием (12) величина $T_{пр}$ – продолжительность безопасного технического состояния системы уменьшается. Это обстоятельство даёт возможность определить область целесообразного применения описанной методики для каждой конкретной предметной области. Очевидно, что она будет эффективной как средство ранней диагностики состояния системы и своевременного выбора времени проведения профилактических работ.

2. Расчёт нижней границы ресурса в условиях нестохастической неопределённости данных о начальных значениях контролируемых параметров. Вычислительным аппаратом, адекватно учитывающим особенности действий с величинами, имеющими нестохастическую неопределенность, могут, по нашему мнению, быть интервальные вычисления [11].

Пусть R – поле вещественных чисел, $a_н$, $a_в$ – элементы поля, причем $a_н \le a_в$. Тогда $A=[a_н, a_в]$ будет интервальным числом, определенным на интервале $I=[a_н, a_в]$ – носителе интервального числа A. Если $a_н=a_в$, то определение интервального числа совпадает с общепринятым. Следовательно, интервальное число в известном смысле является расширением понятия числа.

Операции над числами $A=[a_н, a_в]$ и $B=[в_н, в_в]$ проводят по правилам, введенным в [11].

$$A+B = A=[a_н+в_н;\ a_в+в_в]; \qquad (27)$$

$$A–B = A=[a_н–в_в;\ a_в–в_н]; \qquad (28)$$

$$A \cdot B= [\min(a_нв_н,\ a_нв_в,\ a_вв_н,\ a_вв_в),\ \max(a_нв_н,\ a_нв_в,\ a_вв_н,\ a_вв_в)]; \qquad (29)$$

$$A/B = [a_н, a_в] \cdot [1/в_в; 1/в_н] . \qquad (30)$$

Следует отметить, что никаких иных предложений о свойствах интервальных чисел не делается в отличие от чисел стохастически неопределенных, для действий с которыми необходимо знать их совместные законы распределения или начальные, центральные и смешанные моменты.

В том случае, когда СФХС реализована в виде технического объекта или его фрагмента, то при определении величин x_{it} могут быть два случая. В первом случае геометрические размеры исследуемого объекта позволяют получить выборку необходимого объема для получения статистически обоснованной оценки $\hat{x}_{it}$ величины x_{it}, тогда при определении величины S_t используют величину $x_{it}=[\hat{x}_{iн}, \hat{x}_{iв}]$. Во втором случае, когда нет условий для получения выборки необходимого объема, вместо x_{it} следует использовать его интервальный аналог $x_{it}=[x_{itн}, x_{itв}]$. Границу интервала – носителя числа x_{it} определяют, используя экстремальные свойства энтропии непрерывной случайной величины [12], а именно:

$$x_{itн} = \min_{1 \le u \le Pi}(x_{it}^{(1)}, x_{it}^{(2)}, ..., x_{it}^{(u)}, ..., x_{it}^{(Pi)}) \qquad (31)$$

и

$$x_{itв} = \max_{1 \le u \le Pi}(x_{it}^{(1)}, x_{it}^{(2)}, ..., x_{it}^{(u)}, ..., x_{it}^{(Pi)}) . \qquad (32)$$

В выражениях (26) и (27) принято, что $x_{it}^{(u)}$ – u-е значение определения i-го свойства во время t; P_i – количество определений i-го свойства в указанных условиях. В данной работе рассмотрен общий случай, то есть второй вариант. Интервальные числа, соответствующие переменным $T_{пр}$, $T_э$, S_t, S_0, входящим в (2), обозначим как $[T_{пр}]$, $[T_э]$, $[S_t]$, $[S_0]$. Условие (2) представим в виде

$$[T_П] = \frac{[T_э] \cdot [S_t]}{[S_0] - [S_t]} \qquad (33)$$

или

$$[T_{пн}, T_{пв}] = \frac{[T_э, T_э] \cdot [S_{tн}, S_{tв}]}{[S_{0н}, S_{0в}] - [S_{tн}, S_{tв}]} . \qquad (34)$$

Входящую в (28) величину $[S_t]$ вычислим так.

Пусть $$[D_1]=\frac{(x_{itн},x_{itв})-(x_{ik},x_{ik})}{(x_{ik},x_{ik})}; \qquad (35)$$

если по физическому смыслу задачи $x_{it}>x_{ik}$

и $$[D_2]=\frac{(x_{ik},x_{ik})-(x_{itн},x_{itв})}{(x_{ik},x_{ik})}; \qquad (36)$$

то $$[S_t]=\prod_{i=1}^{m}[D_{1i}]\cdot\prod_{i=1}^{n}[D_{2i}]. \qquad (37)$$

Для $i=\overline{1,m}$ величина $x_{it}>x_{ik}$, для $i=\overline{m+1,n}$ верно условие $x_{it}<x_{ik}$.

Учитывая равенства (3)…(6), условие (10) примет вид

$$[T_{пп},T_{пb}]=\frac{[\min(T_эS_{tn},T_эS_{tв}),\max(T_эS_{tn},T_эS_{tв})]}{[(S_{on}-S_{tв}),S_{ob}-S_{tn}]}. \qquad (38)$$

Выполняя операцию интервального деления, получим:

$$[T_{пн},T_{пв}]=\left[\min(T_эS_{tн},T_эS_{tв}),\max(T_эS_{tн},T_эS_{tв})\right]\times$$
$$\times\left[(S_{ов}-S_{tн})^{-1},(S_{ов}-S_{tв})\right]^{-1}. \qquad (39)$$

Далее определим нижнюю границу интервального числа $[T_{пр}]$:

$$T_{пн}=\min\Big((\min(T'_эS_t,T_эS_{tв})\cdot(S_{ов}\text{-}S_{tn}))^{-1};$$
$$(\min(T_эS_{tн},T_эS_{tв})\cdot(S_o\text{-}S_{tв}))^{-1};$$
$$\max(T_эS_{tn},T_эS_{tв})\cdot(S_{ов}-S_{tn})^{-1}; \qquad (40)$$
$$\max(T_эS_{tn},T_эS_{эв})\cdot(S_{on}\text{-}S_{tв})^{-1}\Big).$$

Приведенный пример показывает, что расчет нижней границы выражения (28), являющегося интервальным расширением условия (2), становится весьма громоздким.

Для упрощения процесса вычислений разработан специализированный программный калькулятор (СПК). СПК представляет собой специализированный программный продукт, написаны на языке программирования Object Pascal и реализованный в среде программирования Delphi 6.0. Для использования СПК создано приложение, использующее элементы управления ActiveX. Интерфейс СПК приведен на рис. 1.

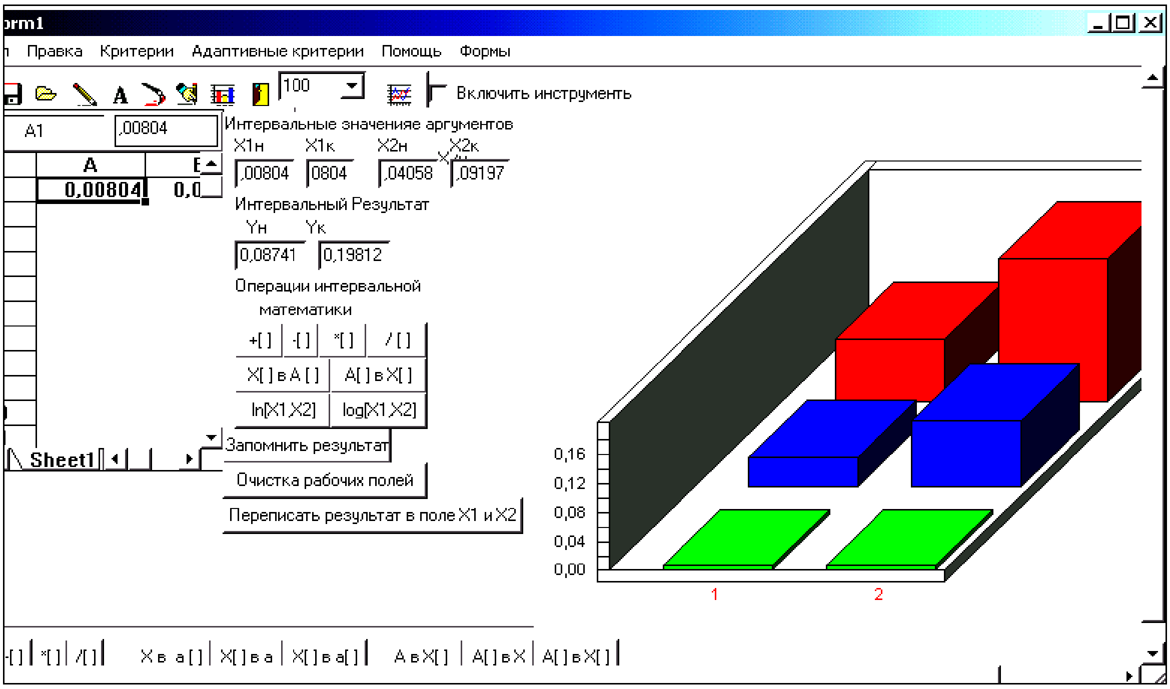

Рис. 1. Интерфейс специализированного программного калькулятора для определения интервального остаточного ресурса системы

В качестве иллюстрации рассмотрим пример, приведенный в работе [10]. Конкретные численные значения взяты из этой же работы и указаны в табл. 3.

Результаты расчета показали, что срок службы системы будет от 3,8 года до 36 лет.

Используя приведенные в [10] сведения о статистических свойствах величины S_t, интервал может быть сужен от 4,8 до 19,8 года.

Сравнение с приведенными в [10] оценками показывает, что за счет увеличения информированности о свойствах величины S_t удалось значительно уменьшить величину интервала. Дальнейшее его уменьшение возможно только за счет уточнения сведений о величине S_0, то есть о величинах, определяющих начальное состояние системы.

Выводы

1. Определены виды неопределённости начальных условий при определении эксплуатационного ресурса сложной физико-химической системы при её взаимодействии с внешней средой.

Таблица 3

Исходные данные для решения численного примера

Условное обозначение переменной	Содержательное значение переменной	Интервал, носитель значений переменой
$T_э$, годы	Продолжительность эксплуатации системы до обслуживания	[12; 12]
W_t, %	Водопоглощение по массе во время обслуживания	[4,82; 6,5]
pH_t	Показатель концентрации водородных ионов при обслуживании	[11,6; 12,32]
V_t, %	Содержание непрогидратированных цементных остатков, %	[41,3; 47,9]
W_0, %	Начальное значение водопоглощения по массе	[2,48; 3,31]
pH_0	Начальное значение показателя концентрации водородных ионов	[12,4; 12,6]
V_0, %	Начальное значение непрогидратировавших цементных остатков	[40; 50]

2. Описан способ определения гамма-процентного ресурса системы в условиях полной информированности и стохастической неопределённости о значении начальных параметров системы.

3. Обосновано применение интервальных вычислений для прогнозирования остаточного ресурса открытых сложных физико-химических систем со стохастически неопределенным начальным состоянием (начальными условиями).

4. Предложен специализированный программный калькулятор для выполнения расчетов по правилам интервальной арифметики.

5. Выполнен прогноз для обоснования возможности дальнейшей эксплуатации конкретной системы.

Список литературы

1. *Дубницкий В.Ю. Прогнозирование стойкости бетона при сложных агрессивных воздействиях на основе оценки величины коррозионного состояния / В.Ю. Дубницкий, В.Л. Чернявский // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1990. – №1. – С. 122-125.*
2. *Дубницкий В.Ю. Определение взаимозаменяемости ресурсов сложной физико-химической системы с использованием производственной функции / В.Ю. Дубницкий, В.Л. Чернявский // Системи обробки інформації. – Х.: ХВУ, 2003. – Вип. 2. – С. 202-206.*
3. *Дубницкий В.Ю. Оценка состояния открытой системы при двусторонних ограничениях на область изменения её свойств / Ю.В. Дубницкий, В.Л. Чернявский // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2010. – Вип. 1 (82). – С. 132-137.*
4. *Чернявский В.Л. Адаптация абиотических систем / В.Л. Чернявский. – Днепропетровск: Изд. Днепрпетровск. нац. ун-та железнодор. тр-та, 2008. – 412 с.*
5. *ДБН В.1.2-5:2007. СНББ. Науково-технічний супровід будівельних об'єктів.*
6. *ДСТУ Б В.2.6-27:2006. Автоматизовані системи технічного діагностування будівельних конструкцій.*
7. *ДСТУ 2860-94 Надійність техніки. Терміни та визначення.*
8. *Вентцель Е.С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения / Е.С. Венцель, Л.А. Овчаров. – М.: Высшая школа, 2000. – 480 с.*
9. *Новицкий П.В. Оценка погрешностей результатов измерений / П.В. Новицкий, И.А. Зограф. – Л.: Энергия, 1985. – 248 с.*
10. *Чернявский В.Л. Адаптация бетона: Монография / В.Л. Чернявский. – Днепропетровск: Нова Ідеологія, 2002. – 116 с.*
11. *Алефельд Г. Введение в интервальные вычисления / Г. Алефельд, Ю. Херцбергер. – М.: Мир, 1987. – 360 с.*
12. *Лившиц Н.А. Вероятностный анализ систем автоматического управления / Н.А. Лившиц, В.Н. Пугачев. – М.: Сов. радио, 1963. – С. 68-90.*

Поступила в редколлегию 15.05.2012

Рецензент: д-р физ.-мат. наук, проф. М.В. Новожилова, Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, Харьков.

ОЦІНКА НИЖНЬОЇ ГРАНИЦІ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОГО РЕСУРСУ СКЛАДНОЇ ФІЗИКО-ХІМІЧНОЇ СИСТЕМИ ПРИ ПОВНІЙ І НЕПОВНІЙ ІНФОРМАЦІЇ ПРО ЇЇ ПОЧАТКОВИЙ СТАН

В.Ю. Дубницький, А.М. Кобилін, В.Л. Чернявський

Запропоновані способи визначення нижньої границі експлуатаційного ресурсу складної фізико-хімічної системи при повній і неповній інформації про її початковий стан. Визначені види невизначеності інформації залежно від наявних відомостей про початковий стан системи. В разі повної визначеності і стохастичної невизначеності для розв'язання задачі використано метод лінеаризації функцій випадкових аргументів. В разі нестохастичної невизначеності використано метод інтервальних обчислень.

Ключові слова: *стан системи, ресурс системи, метод лінеаризації, інтервальні обчислення.*

ESTIMATION OF LOW LIMIT OF OPERATIONAL RESOURCE OF DIFFICULT PHYSICOCHEMICAL SYSTEM AT COMPLETE AND INCOMPLETE INFORMATION ABOUT ITS INITIAL STATE

V.Iu. Dubnytskyi, A.M. Kobylin, V.L. Cherniavskyi

There are offered the methods of determination of low limit of operational resource of the difficult physicochemical system at complete and incomplete information about its initial state. The types of uncertainty of information are determined depending on present data about the initial state of the system. In case of complete definiteness and stochastic definiteness for the task decision the method of function linearization of random arguments is used. In case of instochastic definiteness the method of interval calculations is used.

Keywords: *the state of system, resource of the system, method of linearization, interval calculations.*