УДК 004.415

В. Ю. ДУБНИЦКИЙ, А. М. КОБЫЛИН

Харьковский учебно-научный институт банковского дела ГВУЗ «Университет банковского дела», Украина

ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕРВАЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ В СИСТЕМЕ ЦЕНТР-РАДИУС ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАДЁЖНОСТИ ПРОГРАММНЫХ СИСТЕМ

Для уменьшения неопределённости, возникающей на стадии эскизного проектирования программных систем, предложено использовать интервальные вычисления в системе центр-радиус. Разработаны алгоритмы вычисления показательной и логарифмической функций для интервальных аргументов, заданных в системе центр-радиус. Полученные алгоритмы реализованы при определении надёжности программных систем в соответствии с моделями Холстеда, Мусы, Лапри и гиперэкспоненциальной моделью. Для выполнения расчётов предложен специализированный программный калькулятор, приведены примеры его применения.

Ключевые слова: *надёжность программного обеспечения, интервальные вычисления, модели Холстеда, Мусы, Лапри, гиперэкспоненциальная модель, специализированный программный калькулятор.*

Постановка проблемы в общем виде по оценке качества и надежности программного обеспечения

В стандарте ISO/IEC 12207:2008 «System and software engineering – Software life cycle processes» предусмотрено, что на стадии разработки технического задания на проектирование программной системы, при выполнении её эскизного проекта, рассматривают предварительные проектные решения как по системе в целом, так и по её отдельным частям. Очевидно, что на этой стадии проектирования все характеристики будущей системы могут быть определены с некоторой неопределённостью, чаще всего нестохастической по своей природе. Это обусловлено неполнотой сведений о свойствах системы и условии её эксплуатации. Наиболее подходящим по своему физическому смыслу математическим аппаратом, используемым для выполнения расчетов в условиях принятого вида неопределённости, может быть аппарат интервальных вычислений, основы которого изложены в работе [1], ставшей классической. Строгое обоснование применения методов интервальных вычислений для расчёта надёжности алгоритмических процессов дано в работе [2]. Авторы данного сообщения более десяти лет используют указанные методы для предварительного расчёта надёжности программных и технических систем [3, 4].

Для расчёта надёжности программных систем в работах [5-7] рекомендовано использовать следующие выражения.

При использовании модели Холстеда количество возможных ошибок в программе определяют исходя из равенства:

$$N_{\text{ошибок}} = \frac{V}{E_{\text{критическое}}}, \qquad (1)$$

где V – объем программы,

$E_{\text{критическое}}$ – эмпирическая постоянная $E = 2 \cdot 10^3 ... 5 \cdot 10^5$,

$N_{\text{ошибок}}$ – количество ошибок в программе.

При использовании модели Милса количество возможных ошибок в программе определяют исходя из равенства:

$$N_{\text{ош}} = \frac{N_{\text{отм}} - N_{\text{внес}}}{N_{\text{внесв}}}, \qquad (2)$$

где $N_{\text{ош}}$ – количество собственных дефектов в программе,

$N_{\text{отм}}$ – количество выявленных собственных дефектов в программе,

$N_{\text{внес}}$ – количество внесенных дефектов,

$N_{\text{внесв}}$ – количество выявленных внесенных дефектов.

При использовании модели Мусы количество возможных ошибок в программе определяют исходя из равенства:

$$z(t) = \frac{1}{T_0} \exp\left(-\frac{Ct}{B_0 T_0}\right), \qquad (3)$$

где B_0 – ожидаемое число отказов в программном обеспечении,

T_0 – средняя наработка на отказ в начале испытаний,

C – коэффициент сжатия тестов,

t – время эксплуатации.

При использовании гиперэкспоненциальной

модели используют условие:

$$\lambda(e) = a\sum_{i=1}^{k} P_i b_i \exp(-b_i t)\,, \qquad (4)$$

где P_i – весовые коэффициенты,

b_i – интенсивность удаления дефектов i-го класса,

a – количество дефектов, присутствующих в программном обеспечении в начале фазы тестирования;

t – время эксплуатации.

При использовании модели Лапри используют условие:

$$u(t) = \frac{P_1\xi_1 e^{(-\xi_1 t)} + P_2\xi_2 e^{(-\xi_2 t)}}{P_1 e^{(-\xi_1 t)} + P_2 e^{(-\xi_2 t)}}\,, \qquad (5)$$

где t – время эксплуатации,

P_1, P_2, ξ_1, ξ_2 – параметры, определяющие надежность программы.

При оценивании длины программы используют условие:

$$N = n_1 \log_2 n_1 + n_2 \log_2 n_2\,, \qquad (6)$$

где n_1 – объём словаря операторов,

n_2 – объём словаря операндов.

Можно предположить, исходя из физического смысла переменных и коэффициентов, входящих в условия (1) – (5), что на стадии эскизного проектирования системы они известны с некоторой неопределённостью.

В соответствии с работами [9-11] различают неопределенность типа А, которую оценивают статистическими методами и неопределенность типа В, которой присущи свойства нестохастической неопределённости. Для её определения используют априорную нестатистическую информацию о возможных интервалах значений элементов формул (1) – (5). В работах [12-15] показаны способы объединения этих подходов, основанные на том, что доверительные интервалы статистических оценок параметров, характеризующих надёжность технических систем, можно рассматривать как интервалы их возможных значений, задаваемых неопределённостью типа В.

Применение этого подхода для решения задач надёжности программных и технических систем показано в работах [3, 14, 15]. В них было показано, что источником погрешности при расчёте надёжности служит неопределённость, возникающая вследствие статистического оценивания параметров безотказной работы и их доверительных интервалов.

Анализ последних исследований и публикаций

Правила действий с интервальными числами подробно изложены в работах [1, 16, 17]. Рассмотрим множество действительных чисел, на котором определим интервальное число А в виде замкнутого интервала, который, используя обозначения, принятые в работах [1, 16, 17], представим в виде:

$$A = \left(\underline{a}, \overline{a}\right) = (a_1, a_2)\,;\; \underline{a} \le \overline{a}\,;\; a_1 \le a_2\,. \qquad (7)$$

При таком способе определения интервальных чисел операции с ними выполняют по правилам, приведенным в работах [1, 16, 17]:

$$A+B = [(a_1 + b_1),\, (b_2 + b_2)]; \qquad (8)$$

$$A-B = [(a_1 - b_2),\, (a_2 - b_1)]; \qquad (9)$$

$$A\cdot B = (Z_1, Z_2); \qquad (10)$$

$$Z_1 = \min\,(a_1 b_1, a_1 b_2, a_2 b_1, a_2 b_2); \qquad (11)$$

$$Z_2 = \max\,(a_1 b_1, a_1 b_2\; a_2 b_1, a_2 b_2); \qquad (12)$$

$$A/B = (a_1, b_1)\,(1/b_2,\, 1/b_1),\, 0 \notin B\,. \qquad (13)$$

Операцию возведения в целочисленную степень выполняют по правилу:

$$A^n = \begin{cases} \left[a_1^n, a_2^n\right], & \text{если } a_1 > 0; \\ \left[0, \max\left\{a_1^n, a_2^n\right\}\right], & \text{если } 0 \in \left[a_1, a_2\right],\ \text{n-четное}; \\ \left[a_1^n, a_2^n\right], & \text{если } 0 \in \left[a_1, a_2\right],\ \text{n-нечетное}; \\ \left[a_2^n, a_1^n\right], & \text{если } a_2 < 0,\ \text{n-четное}; \\ \left[a_1^n, a_2^n\right], & \text{если } a_2 < 0,\ \text{n - нечетное}; \end{cases} \qquad (14)$$

Выделим на числовой оси интервалы: $Z(R) = \{a_1 \le 0 \le a_2\}$; $-P(R) = \{a_2 \le a_1 \le 0\}$; $P(R) = \{a_2 \ge a_1 \ge 0\}$. В этом случае результат операции умножения $A \cdot B$ определяют в соответствии с таблицей Кэли, приведенной в табл. 1.

В этой таблице в верхних строках ячеек приведены результаты, заимствованные из работы [16], в нижней – [17]. Эти результаты совпадают во всех вариантах, кроме варианта, при котором $B \in Z(R)$. Указанную коллизию по нашему мнению нельзя считать опечаткой, так как во всех предыдущих работах автора работы [17] она приведена именно в таком виде.

В работе [17] предложено интервальное число $A = (a_1, a_2)$, $\underline{a} \le \overline{a}$, $a_1 \le a_2$ представлять в виде:

$$A = \left\langle a, r_a \right\rangle, \qquad (15)$$

где

$$a = \frac{a_1 + a_2}{2}\,,\quad r_a = \frac{a_2 - a_1}{2}\,,\ a, r_a, \in R\,. \qquad (16)$$

Подобное представление интервального числа получила название «Система центр-радиус». При применении этой системы действия сложения и вычитания с интервальными числами выполняют по следующим правилам:

$$A + B = \left\langle a + b, r_a + r_b \right\rangle; \qquad (17)$$

$$A - B = \left\langle a - b, r_a + r_b \right\rangle. \qquad (18)$$

Таблица 1

Таблица Кэли для выполнения операции умножения интервальных чисел

Операция $A \cdot B$	$B \in P(R)$	$B \in Z(R)$	$B \in -P(R)$
$A \in P(R)$	$(\underline{a}\ \underline{b}, \overline{a}\ \overline{b})$ $(a_1\ b_1, a_2\ b_2)$	$(\overline{a}\ \underline{b}, \overline{a}\ \overline{b})$ $(a_2\ b_1, a_2\ b_2)$	$(\overline{a}\ \underline{b}, \underline{a}\ \overline{b})$ $(a_2\ b_1, a_1\ b_2)$
$A \in Z(R$	$(\underline{a}\ \overline{b}, \overline{a}\ \overline{b})$ $(a_1\ b_2, a_2\ b_2)$	$[\min(\underline{a}\ \overline{b}, \overline{a}\ \underline{b}), \max(\underline{a}\ \underline{b}, \overline{a}\ \overline{b})]$ $[\min(a_1\ b_2, a_2\ b_1); \max(a_1\ b_1, a_2\ b_2)]$	$(\overline{a}\ \underline{b}, \underline{a}\ \underline{b})$ $(a_2\ b_1, a_1\ b_1)$
$A \in -P(R)$	$(\underline{a}\ \underline{b}, \overline{a}\ \underline{b})$ $(a_1\ b_2, a_2\ b_1)$	$(\underline{a}\ \overline{b}, \underline{a}\ \underline{b})$ $(a_1\ b_2, a_2\ b_2)$	$(\overline{a}\ \overline{b}, \underline{a}\ \underline{b})$ $(a_2\ b_2, a_1\ b_1)$

Формулы для выполнения действий умножения и деления в общем случае приведены в работе [17].

Исходя из физического смысла задачи определения надёжности, все её параметры и переменные суть положительные величины. То есть, в условии (15) $a > 0, r > 0$. Примем также, что $a > r_a$. Физический смысл этого ограничения в том, что центр значений некоторой измеряемой или оцениваемой величины должен быть больше ширины её допустимого интервала, иначе задача теряет своё содержательное значение. То есть:

$$a \geq r_a \geq 0, \ b \geq r_b \geq 0. \tag{19}$$

Для этого случая в работе [19] предложены формулы выполнения операций деления и умножения в системе центр-радиус в виде:

$$\langle a, r_a \rangle \langle b, r_b \rangle = \langle ab + r_a r_b, a r_b + b r_a \rangle; \tag{20}$$

$$\frac{\langle a, r_a \rangle}{\langle b, r_b \rangle} = \left\langle \frac{ab + r_a r_b}{b^2 - r_b^2}, \frac{a r_b + b r_a}{b^2 - r_b^2} \right\rangle. \tag{21}$$

Для возведения в целочисленную степень в работе [17] приведены формулы:

$$A^n = \langle a, r_a \rangle^n = \langle G, R \rangle; \tag{22}$$

при условии, что $n \in Z$. Тогда:

$$G = \sum_{k=0}^{n} C_n^{2k} r_a^{2k} a^{n-2k};$$

$$R = \sum_{k=0}^{n} C_n^{2k+1} r_a^{2k+1} |a|^{n-(2k+1)}. \tag{23}$$

Численные эксперименты, выполненные авторами данного сообщения и приведенные в работе [4], показали, что система центр-радиус позволяет получить наименьший интервал определения числа по сравнению со всеми известными в данное время системами аксиом интервальной арифметики, описанными в работе [16].

В приведенных правилах выполнения операций в системе центр-радиус отсутствуют правила умножения и деления на постоянное число, возведение в степень с произвольным показателем и способы вычисления элементарных функций.

Постановка задачи

Разработка методов вычисления в системе центр-радиус элементарных функций для использования их при расчёте надёжности программных и технических систем с последующей реализацией на специализированном программном калькуляторе.

Полученные результаты

Пусть A= (a_1, a_2) и B= (b_1, b_2). Рассмотрим подробнее вариант умножения двух интервальных чисел в классической интервальной математике при условии, что $A \in -P(R)$ и $B \in Z(R)$. Рассмотрим знаки попарных произведений численных значений их границ. Если:

$$z_{ij} = a_i b_j, \ i, j = 1, 2; \tag{24}$$

и

$$\operatorname{sgn} z = \begin{cases} 1, \text{ если } z > 0; \\ -1, \text{ если } z < 0. \end{cases} \tag{25}$$

Значения функции (24) при различных знаках границ интервалов сомножителей показаны в табл. 2.

Таблица 2

Значения функции sgn z при различных знаках границ интервалов сомножителей

	$b_1 < 0$	$b_2 > 0$
$a_1 < 0$	$z_{11} = 1$	$z_{21} = -1$
$a_2 > 0$	$z_{21} = -1$	$z_{22} = 1$

Следовательно

$$[A \in -P(R)] \cdot [B \in Z(R] = [\min(a_2\ b_1, a_1\ b_2), \max(a_1\ b_1, a_2\ b_2)]. \tag{26}$$

Постоянное число C в системе центр-радиус представим в виде $C = \langle c, 0 \rangle$. Примем, что $A = \langle a, r_a \rangle$ и $B = \langle b, 0 \rangle$. Тогда:

$$A + B = \langle a + b, r_a \rangle; \quad (27)$$

$$A - B = \langle a - b, r_a \rangle. \quad (28)$$

Для умножения интервального числа, представленного в системе центр-радиус, на постоянную величину

Запишем, что:

$$AB = \begin{cases} \langle a, 0 \rangle \langle b, r_b \rangle, A = \text{const}, B \neq \text{consn}; \\ \langle a, r_a \rangle \langle b, 0 \rangle, A \neq \text{const}, B = \text{const}. \end{cases} \quad (29)$$

Используя условие (20) получим, что:

$$AB = \begin{cases} \langle a, 0 \rangle \langle b, r_b \rangle = \langle ab, ar_b \rangle, A = \text{consn}, B \neq \text{const}; \\ \langle a, r_a \rangle \langle b, 0 \rangle = \langle ab, br_a \rangle, A \neq \text{consn}, B = \text{const}. \end{cases} \quad (30)$$

При операции деления интервального числа на постоянное число получим, что:

$$\frac{A}{B} = \frac{\langle a, r_a \rangle}{\langle b, 0 \rangle} = \left\langle \frac{ab}{b^2}, \frac{br_a}{b^2} \right\rangle = \left\langle \frac{a}{b}, \frac{r_a}{b} \right\rangle; \quad (31)$$

или

$$\frac{A}{B} = \frac{\langle a, 0 \rangle}{\langle b, r_b \rangle} = \frac{\langle ab, ar_b \rangle}{b^2 - r_b^2} = \left\langle \frac{ab}{b^2 - r_b^2}, \frac{ar_b}{b^2 - r_b^2} \right\rangle. \quad (32)$$

В рамках данной работы для определения надёжности программных систем необходимы следующие элементарные функции: показательная с отрицательным показателем и логарифмическая функция по основанию два.

При выборе методов расчёта численных значений этих функций выбирали те, которые для своей реализации требуют меньшее количество операций по сравнению с остальными. Соблюдение этих требований обеспечивало наименьшую величину результирующего интервала.

Следуя работе [18] представим логарифмическую функцию в виде:

$$\ln x = \sum_{i=1}^{n} \frac{C_n^i}{C_{2n}^i} \left[(-1)^{i-1} + \frac{1}{x^i} \right] \frac{(x-1)^i}{i}, \quad (33)$$

где

$$C_n^i = \frac{n!}{i!(n-i)!}.$$

С учётом ранее принятых обозначений в нашем случае получим, что:

$$\ln \langle x, r_x \rangle =$$

$$= \sum_{i=1}^{6} \langle a_i, 0 \rangle \left[\langle -1; 0 \rangle^{i-1} + \frac{\langle 1; 0 \rangle}{\langle x, r_x \rangle^i} \right] \frac{(\langle x, r_x \rangle - \langle 1; 0 \rangle)^i}{\langle i; 0 \rangle}. \quad (34)$$

Далее при описании вычислительных алгоритмов, во избежание недоразумений, связанных с использованием десятичных дробей, вместо символа $\langle a, r_a \rangle$ будем использовать символ $\langle a; r_a \rangle$.

Коэффициенты a_i, необходимые для вычисления величины $\ln \langle x, r_x \rangle$, приведены в табл. 3.

Таблица 3

Значение коэффициентов для рационального приближения функции $\ln(x)$

a_1	0,500000	a_4	0,030303
a_2	0,227273	a_5	0,007576
a_3	0,090909	a_6	0,0001082

Так, как [18]:

$$\log_a x = \frac{\ln x}{\ln a}; \quad (35)$$

$$\log_2 x = \frac{\ln x}{\ln 2} = \frac{1}{0,693147} = 1,442695 \ln(x). \quad (36)$$

Следовательно

$$\log_2 \langle x, r_x \rangle = 1,442695 \langle \ln(\langle x, r_x \rangle) \rangle. \quad (37)$$

Следуя работе [18], представим показательную функцию с отрицательным показателем, точнее её рациональное приближение, в виде:

$$e^{-x} = \left[\sum_{k=0}^{6} a_k x^k \right]^{-4}, \text{ при } 0 \le x \le 16. \quad (38)$$

Значения коэффициентов a_k, используемых для рационального приближения величины e^{-x}, приведены в табл. 4.

Таблица 4

Значение интерполяционных коэффициентов для рационального приближения функции e^{-x}

a_0	1	a_4	0,0001715620
a_1	0,2499986842	a_5	0,0000054302
a_2	0,0312575832	a_6	0,0000006906
a_3	0,00259137121		

Интервальное расширение функции (38) примет вид:

$$e^{-\langle x, r_x \rangle} = \left[\sum_{k=0}^{6} \langle a, r_a \rangle_k \langle x, r_x \rangle^k \right]^{-4}. \quad (39)$$

Для проведения вычислительных экспериментов разработана программная система на языке программирования C# в среде программирования Visual Studio 2013 [20]. Система позволяет выполнить расчеты с помощью «Интервальный калькулятор – Центрированные формы» арифметических выражений любой сложности, используя рассмотренные в данной работе формулы интервальных выражений и интервальных расширений для функций (15) – (38) в форме «центр-радиус».

Для реализации рассмотренных моделей расчета надежности программного обеспечения, представленных условиями (1) – (6) необходимо в главном окне системы (рис. 1) установить курсор на соответствующий пункт меню. В результате открывает-

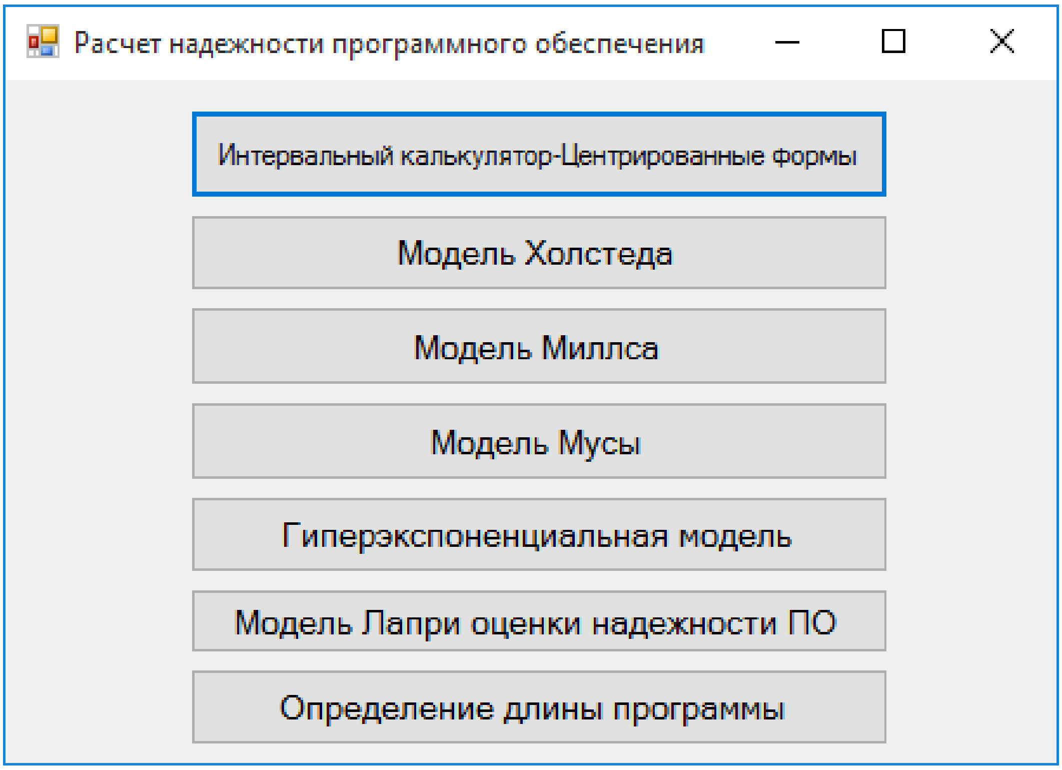

Рис. 1. Главное окно программной системы для расчета надежности программного обеспечения

ся окно для выполнения расчетов по выбранной модели. Примеры расчетов показаны на рис. 2 и рис. 3.

Выводы

1. Для учёта неопределённости, возникающей на стадии эскизного проектирования программных систем, предложено для уменьшения неопределённости использовать интервальные вычисления в системе центр-радиус.
2. Предложены алгоритмы вычисления показательной и логарифмической функций для интервальных аргументов, заданных в системе центр-радиус.
3. Полученные алгоритмы реализованы при определении надёжности программных систем в соответствии с моделями Холстеда, Мусы, Лапри и гиперэкспоненциальной моделью.
4. Для выполнения расчётов предложен специализированный программный калькулятор, приведены примеры его применения.

Литература

1. Алефельд, Г. Введение в интервальные вычисления. [Текст] / Г. Алефельд, Ю. Херцбергер. – М. : Мир, 1987. – 259 с.

2. Ротштейн, А. П. Нечёткая надёжность алгоритмических процессов. [Текст] / А. П. Ротштейн, С. Д. Штовба. – Винница : Континент-ПРИМ, 1997. – 142 с.

3. Дубницкий, В. Ю. Интервальное вычисление эффективности тестирования компьютерных программ [Текст] / В. Ю. Дубницкий, А. М. Кобылин, И.А. Супрун // Системи обробки інформації. – Х. : ХУПС, 2006. – Вип 6(55). – С. 66-71.

4. Дубницкий, В. Ю. Решение обратной задачи интервального анализа поисковым методом. [Текст] / В. Ю. Дубницкий, А. М. Кобылин // Вісник Харківського національного університету. – 2014. – № 1131. – С. 54-72.

5. Харченко, В. С. Методы моделирования и оценки качества и надежности программного обеспечения [Текст] : учеб. пособие / В. С. Харченко, В. В. Скляр, О. М. Тарасюк. – Х. : Нац. аэрокосм. ун-т "Харьк. авиац. ин-т", 2004. – 159 с.

6. Пайчун, Б. П. Оценка надежности программного обеспечения[Текст] / Б. П. Пайчун, Р.М. Юсупов. – СПб. : Наука, 1994. – 84 с.

7. Технологии высокой готовности для программно-технических комплексов космических систем: монография [Текст] / В. С. Харченко, О. Н. Одарущенко, Ю. Л. Поночовный [и др.] ; под ред. В. С. Харченко, Б. М. Конорева. – Х. : Государственный центр регулирования качества поставок и услуг. Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», 2010. – 372 с.

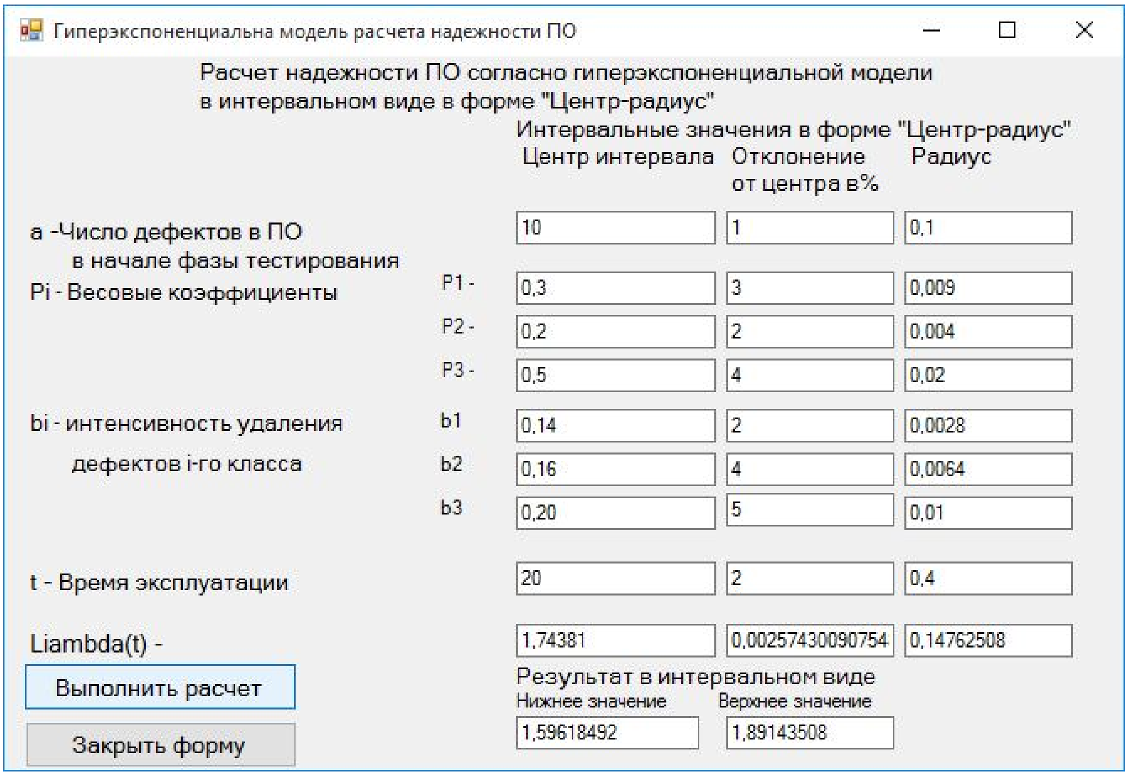

Рис. 2. Пример расчета надежности программного обеспечения по гиперэкспоненциальной модели

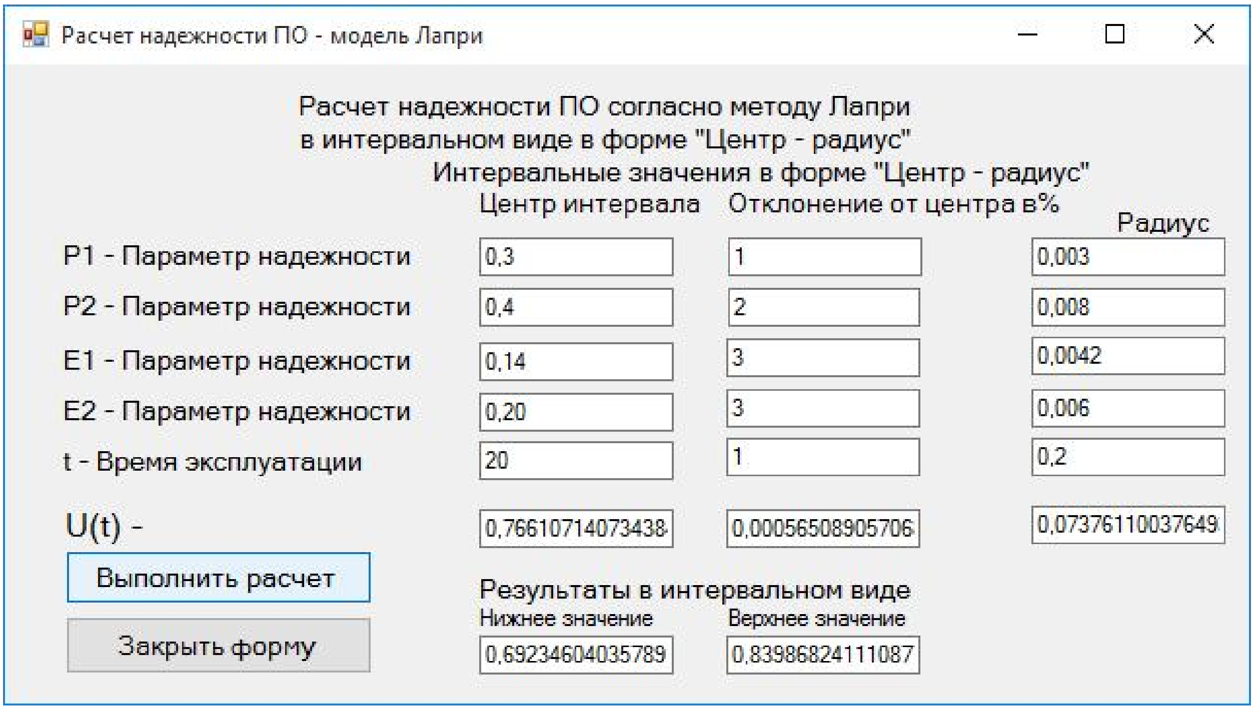

Рис. 3. Пример расчета надежности программного обеспечения по модели Лапри

8. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement: First edition. – ISO, Switzerland, 1993. – 134 c.

9. ДСТУ-Н РМГ 43:2006 Метрологія. Застосування «Руководства по выражению неопределенности измерений» (РМГ 43:2001). – 34 с.

10. Поджаренко, В. О. Опрацювання результатів вимірювань на основі концепції невизначеності [Текст] : навчальний посібник / В. О. Поджаренко, О. М. Васілевський, В. Ю. Кучерук. – Вінниця : ВНТУ, 2008. – 158 с.

11. Захаров, И. П. Теория неопределённости в измерениях [Текст] / И. П. Захаров, В. Д. Кукуш. – Х. : Консум, 2002. – 256 с.

12. Кузнецов, В. П. Интервальные статистические модели [Текст] / В. П. Кузнецов. – М. : Изд. Радио и связь, 1991. – 352 с.

13. Панов, Н. В. Объединение стохастических и интервальных подходов для решения задач глобальной оптимизации функций [Текст] / Н. В. Панов // Вычислительные системы. – 2009. – Т. 14, № 5. – С. 49-65.

14. Дубницкий, В. Ю. Зависимость значения надёжности основных схем соединения элементов от величины доверительного интервала параметра биномиального распределения. [Текст] / В. Ю. Дубницкий, А. М. Кобылин // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2012. – Вип. 1 (21). – С. 65-69.

15. Дубницкий, В. Ю. Определение вычислительной погрешности расчёта надёжности. [Текст] / В. Ю. Дубницкий, А. И. Ходырев, А. М. Кобылин // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2012. – № 7 (59). – С. 272-278.

16. Шарый, С. П. Конечномерный интервальный анализ [Текст] / С. П. Шарый. – М. : Изд-во «XYZ», 2012. – 606 с.

17. Жуковська, О. А. Основи інтервального аналізу: навч. посіб .[Текст] / О. А. Жуковська. – К. : Освіта України, 2009. – 136 с.

18. Люстерник, Л. А. Математический анализ: Вычисление элементарных функций [Текст] / Л. А. Люстерник, О. А. Червоненкис, А. Р. Янпольский. – М., 1963. – 248 с.

19. Жуковська, О. А. Дослідження закону дистрибутивності в класичній інтервальній арифметиці для загального випадку [Текст] / О. А. Жуковська, А. О. Титаренко // Наукові вісті Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". – 2013. – № 4. – С. 38-44.

20. Visual Studio 2010 для профессионалов [Текст] : пер. с англ. / Ник Рендольф, Джвид Гарлнер, Майкл Минутило, Крис Андерсон. – М. : ООО «И.Д. Вильямс», 2011. – 1184 с.

References

1. Alefeld, G., Khertsberger, M., *Vvedeniye v intervalniye vychisleniya* [Introduction to the interval calculations]. Moscow, Mir Publ., 1987. 259 p.

2. Rotshtein, A. P., Shtovba, S. D. *Nechetkaya nadegnost algoritmicheskich protsessov* [Fuzzy reliability of algorithmic process]. Vinnitsa, Kontinent-PRIM Publ., 1997. 142 p.

3. Dubnitsky, V. Yu., Kobylin, A. M., Suprun, I. A. Intervalnoye vichisleniye effektivnosti testirovaniya komputernych programm [Interval calculation of the efficiency of software testing]. *Sistemy obrobky informatsii*, 2006, no. 6(66), pp. 66-71. (in Russian).

4. Dubnitsky, V. Yu., Kobylin, A. M. Resheniye obratnoy zadachi intervalnogo analiza poiskovym metodom [The solution of the inverse problem of the interval analysis search method]. *Visnyk Kharkivskogo natsionalnogo universytetu*, 2014, no. 1131, pp. 54-72.

5. Kharchenko, V. S., Sklyar, V. V., Tarasyuk, O. M. *Metody modelirovaniya i otsenki kachestva i nadegnosty programmnogo obespecheniya: ucheb. posobiye* [Methods for modeling and assessing the quality and reliability of software: Textbook.]. Kharkiv, National aerospace university "Kharkiv Aviation Institute", 2004. 159 p.

6. Pajchun, B. P., Yusupov, R. M. *Ocenka nadezhnosty` programmnogo obespecheny`ya* [Evaluation of software reliability]. St. Petersburg, Nauka Publ., 1994. 84 p.

7. Kharchenko, V. S., Odaruchshenko, O. N., Ponochovny, Yu. L. *Tekhnologii vysokoy gotovnosty dlya programmno- technychtskich kompleksov kosmicheskych system* [Technology for high-availability software and hardware complexes of space systems]. Kharkiv, Gosudarstvenny tsentr regulirovaniya kachestva postavok i uslug. Natsionalny aerokosmitshniy universitet im. N.Ye. Gukovskogo "KhAI", 2010. 372 p.

8. *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*: First edition. ISO, Switzerland, 1993. 134 p.

9. *DSTU N RMG 43: 2006. Metrologiya. Zastosuvannya Rukovodstva po vyrageniyu neopredelennosty izmereniy* [State Standart N RMG 43: 2006. Metrology. Application of "Guide to the Expression of Uncertainty of measurement"]. Kyiv, State Standard of Ukraine, 2007. 34 p.

10. Podgarenko, V. O., Vasylevsky, O. M., Kutsheruk, V. Yu. *Opratsuvannya rezultativ vymiruvan na osnovi kontseptsyy nevyznatchennosty: navchalny posibnyk* [Processing of measurement based on the concept of uncertainty: Tutorial]. Vinnytsya, VNTU Publ., 2008. 158 p.

11. Zaharov, I. P., Kukush, V. D. *Teoriya neopredelennosti v izmereniyach* [Theory of Uncertainty in Measurement]. Kharkiv, Konsum Publ., 2002. 256 p.

12. Kuznetsov, V. P. *Intervalnyie statisticheskiye modeli* [Interval statistical models]. Moscow, Radio i sviaz Publ., 1991. 352 p.

13. Panov, V. P. Obyedineniye stochasticheskich i intervalnych podchodov dlya resheniya zadach globalnoy optimizacii funktsiy [Combining stochastic and interval approaches for solving global optimization functions]. *Vichislitelniye sistemi*, 2009, no №5. pp. 49-65.

14. Dubnitsky, V. Yu., Kobylin, A. M. Zavisimost znacheniya nadegnosty osnovnich schem soyedineniya elementov ot velichiny doveritelnogo intervala parametra binomialnogo raspredeleniya. [The dependence of the value of reliability of the main schemes of combining the elements of the value of

the confidence interval in-parameter of the binomial distribution]. *Sistemy upravlinnya, navigatsii ta zvyazku,* 2012, vol. 1 (21). pp. 65-69.

15. Dubnitsky, V. Yu., Kobylin, A. M., Hodyrev, A. I. Opredeleniye vichislitelnoy pogreshnosti rascheta nadegnosty [Definition of computational error of calculation of reliability]. *Radioelektronny i computerni systemy*, 2012, no.7 (59), pp. 272-278.

16. Sharyi, S. P. *Konecthnomerniy intervalniy analys* [The finite interval analysis]. Moscow, XYZ Publ., 2012. 606 p.

17. Zhukovska, O. A. *Osnovy intervalnogo analizu: navch. posybnyk*. [Fundamentals of interval analysis: Tutorial]. Kharkiv, Osvita Ukrainy Publ., 2009. 136 p.

18. Lusternick, L. A., Chervonenkis, O. A., Yanpolskiy, A. R. *Matematicheskiy analiz: Vychisleniye elementarnych funkciy* [Mathematical analysis: Calculation of elementary functions]. Moccow, 1963. 248 p.

19. Zhukovska, O. A., Titarenko, A. O. Doslidgennya zakonu distributyvnosty v klasychniy intervalniy ariphmetytsy dlya zagalnogo vypadku [The study the law distributivity in classical interval arithmetic for the general case]. *Naukovy visti Natsionalnogo technitchyogo universytetu Ukrainy "Kyivskiy golytechnitchniy institut",* 2013, no. 4. pp. 38-44.

20. Randolf, N, Gardner, D., Mynutilo, M. *Visual Studio dlya professionalov.* [Visual Studio for professionals]. Moscow, OOO "I.D. Villiams" Publ., 2011. 1184 p.

Поступила в редакцию 17.02.2016, рассмотрена на редколлегии 14.04.2016

ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕРВАЛЬНИХ ОБЧИСЛЕНЬ В СИСТЕМІ ЦЕНТР-РАДІУС ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ПРОГРАМНИХ СИСТЕМ

В. Ю. Дубницький, А. М. Кобилін

Для зменшення невизначеності, яка виникає на стадії ескізного проектування програмних систем, запропоновано використовувати інтервальні обчислення в системі центр-радіус. В даній роботі створено алгоритми обчислення показникової і логарифмічної функцій для інтервальних аргументів, заданих в системі центр-радіус. Отримані алгоритми реалізовано при визначенні надійності програмних систем відповідно до моделей Холстеда, Мусси, Лапрі і гіперекспоненціальної моделі. Для виконання розрахунків запропоновано спеціалізований програмний калькулятор, наведені приклади його застосування.

Ключові слова: надійність програмного забезпечення, інтервальні обчислення, моделі Холстеда, Мусси, Лапрі, гіперекспоненційна модель, спеціалізований програмний калькулятор.

INTERVAL CALCULATIONS IN CENTER-RADIUS SYSTEM FOR ASSESSMENT OF SOFTWARE SYSTEMS RELIABILITY

V. Yu. Dubnitskiy, A. M. Kobylin

In order to take into account indeterminancy that emerges at the stage of preliminary program systems engineering interval calculations in center-radius system are proposed for decrease of indeterminancy interval. Calculation algorithms of exponential and logarithm functions for interval arguments defined in center-radius system are developed. Obtained algorithms are implemented while determining reliability of program systems according to Halstead, Musa, Laprie model and hyperexponential model. Special program calculator is proposed for calculations, examples of its usage are given.

Key words: software reliability, interval calculations, Halstead, Musa, Laprie models, hyperexponential model, special program calculator.

Дубницкий Валерий Юрьевич – канд. техн. наук, ст. науч. сотр. Харьковского учебно-научного института ГВУЗ «Университет банковского дела», Харьков, Украина, e-mail: valeriy_dubn@mail.ru.

Кобылин Анатолий Михайлович – канд. техн. наук, доцент кафедры информационных технологий Харьковского учебно-научного института ГВУЗ «Университет банковского дела», Харьков, Украина, e-mail: anatoli_kam@ukr.net.

Dubnitskiy Valeriy Jur'evich – Candidate of Technical Science, Senior Researcher of Kharkiv Educational and Scientific Institute of SHEI "Banking University", Kharkiv, Ukraine, e-mail: valeriy_dubn@mail.ru.

Kobylin Anatoliy Mihajlovich – Candidate of Technical Science, Assistant Professor of Dept. of Information Technologies of Kharkiv Educational and Scientific Institute of SHEI "Banking University", Kharkiv, Ukraine, e-mail: anatoli_kam@ukr.net.