УДК 681.3.06

В.Ф. Гузик, А.П. Самойленко, Е.Р. Мунтян

ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНТЕГРАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Проблемы системного проектирования информационно-вычислительных систем (ИВС) управления всегда отличались сложностью и неоднозначностью подходов и методов их решения. Одним из важнейших интегральных показателей является оценка надежности системы. В данной работе мы будем ориентироваться на системы универсального типа. Каждая из них, как известно, учитывает параметры, как алгоритмических характеристик программного обеспечения, так и структурные особенности аппаратных средств. Для оценки надежности аппаратного обеспечения (АО) создан единый подход, и успешно используется ряд методов, например, модель на основе интегральных уравнений, модель на основе дифференциальных уравнений, метод оценки по графу состояний системы, логико-вероятностная модель и другие [1]. Подобное, к сожалению, нельзя сказать о надежности программного обеспечения (ПО). На сегодняшний день существует порядка десяти разрозненных моделей оценки надежности ПО. Основным их недостатком является то, что они не адаптированы на модели определения надежностных характеристик АО, что говорит об актуальности создания интегральной оценки надежности программно-аппаратного обеспечения ИВС.

Проведем краткий анализ существующих математических моделей оценки надежности ПО системы. Их можно разбить на три вида: эмпирические, статистические и вероятностные модели. Эмпирические модели наиболее простые, они основаны на анализе накопленной информации о функционировании ранее разработанных программ. Примером таких моделей служит *модель Холстеда* [2], которая оценивает зависимость количества ошибок в программе от числа операторов и операндов в программной среде после окончания ее разработки. Главным недостатком эмпирических моделей является большая погрешность вычислений.

Среди статистических моделей можно выделить *модели Миллса, Коркорэна, метод параллельного тестирования*. Оценка надежности программного обеспечения в данных моделях также связана только с числом программных ошибок пропорциональными соотношениями, определяемыми простыми статистическими методами на основе интуитивных допущений. При этом не делается никаких предположений о законах распределения случайных величин, а источником информации является только исследуемая программа.

Вероятностные модели наиболее сложные, описывающие случайный процесс обнаружения и проявления программных отказов. К ним относится *модель Джелински-Моранды*, которая допускает, что время до следующего отказа распределено экспоненциально и интенсивность отказов программы пропорциональна количеству оставшихся в программе ошибок.

В качестве следующего представителя вероятностных моделей можно рассмотреть *модель Мусы*. Здесь аргументом показателей надежности выбрано операционное время отладки ПО и время функционирования программ в составе вычислительной системы.

Модель Шумана отличается от модели Джелинского-Моранды тем, что периоды времени отладки и эксплуатации рассматриваются отдельно. Допущения к экспоненциальной модели Шумана: число команд в программе постоянно; число ошибок после исправления уменьшается (новые ошибки не вносятся); число отказов программы пропорционально количеству оставшихся ошибок. Недостатками данной модели является необходимость использования результатов отладки, а это зачастую недоступно пользователям готового ПО.

Структурная модель роста надежности, предложенная *Иыуду*, основана на следующих допущениях: исходные данные выбираются случайно в соответствии с распределением; все элементы программ образуют s классов; ошибки в элементах программ независимы.

Все сказанное выше подтверждает необходимость создания интегральной модели оценки надежности ИВС, которая охватывала бы и программную и аппаратную части всей системы, учитывала бы язык написания программы, а также ресурсоемкость ПО. Как нам кажется, это позволит получить модель, отличающуюся более адекватными оценками надежности, возможностью инженерного использования при системном исследовании сложных вычислительных систем.

Рассмотрим один из возможных вариантов решения поставленной задачи. Функционирование ИВС можно представить в виде вероятностного графа, имеющего конечное множество вершин и переходов между ними. Считается, что множество состояний отображается вершинами графа, которые соответствуют работоспособным или неработоспособным состояниям системы, а стрелками обозначаются переходы из одного состояния в другое. Для получения графа состояний необходима логическая схема расчета надежности, которая в свою очередь может быть построена на основании функциональной схемы системы.

Надежность восстанавливаемых систем отображается коэффициентом готовности $K_Г(t)$. Для определения коэффициента готовности построим интегральную модель ИВС (рис.1), в которой будем считать, что при переходе из состояния S_1 в состояние S_3 имеет место физический отказ, а при переходе из состояния S_2 в состояние S_4 – функциональный.

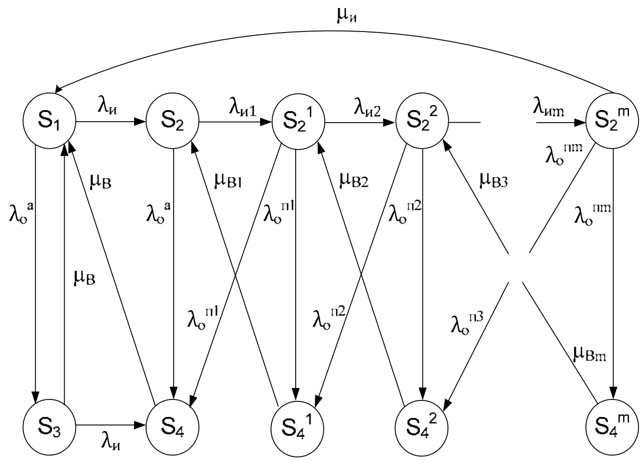

Рис. 1. Интегральная модель ИВС

Вершины графа соответствуют следующим состояниям системы:

S_1 – система исправна и находится в дежурном режиме;

S_2 – система (аппаратное обеспечение) исправна и находится в рабочем режиме;

$S_2^1, S_2^2, \ldots, S_2^m$ – система (ПО) исправна и находится в рабочем режиме;

S_3 – система неисправна и находится в дежурном режиме;

S_4 – система (АО) неисправна и находится в рабочем режиме.

$S_4^1, S_4^2, \ldots, S_4^m$ – система (ПО) неисправна и находится в рабочем режиме.

Дуги-переходы оцениваются интенсивностями:

λ_u – интенсивность поступления заявок;

μ_u – интенсивность обслуживания заявок;

λ_o^a – интенсивность отказов АО системы в рабочем режиме;

$\lambda_o^{n1}, \lambda_o^{n2}, \ldots, \lambda_o^{nm}$ – интенсивности отказов ПО системы в рабочем режиме;

$\mu_в, \mu_{в1}, \ldots, \mu_{вm}$ – интенсивности восстановления системы.

Для дальнейшей работы можно упростить граф, объединив вершины $S_2^1, S_2^2, \ldots, S_2^m$ в вершину S_2^1, а вершины $S_4^1, S_4^2, \ldots, S_4^m$ в вершину S_4^1. При этом каждое состояние соответственно оценивается вероятностью пребывания информационно-вычислительной системы в том или ином состоянии. Вероятностный граф, описывающий состояние ИВС, позволяет отразить этот процесс системой дифференциальных уравнений Колмогорова-Чепмена, которую в свою очередь можно отобразить в виде системы алгебраических уравнений (если считать, что $t \to \infty$). Решив найденную систему, можно найти значения вероятностей нахождения системы в той или иной вершине S_i как $P_i = f(\lambda_u, \lambda_{u1}, \lambda_o^a, \lambda_o^n, \mu_u, \mu_в, \mu_{в1})$.

После этого коэффициент готовности ИВС $К_г(t)$ определим подстановкой значений вероятностей безотказной работы:

$$К_г(t) = P_1(t) + P_2(t) + P_2^1(t). \tag{1}$$

Согласно экспоненциальной модели Джелинского-Моранды, имеем

$$P(t_i) = e^{-\lambda_i t_i}, \tag{2}$$

где время t_i изменяется от момента начала работы программы до окончания ее выполнения. Интенсивность отказов программного обеспечения равна

$$\lambda_i = C(N_{ош} - i + 1), \tag{3}$$

где C – коэффициент пропорциональности, $N_{ош}$ – прогнозируемое количество ошибок при работе программы. Коэффициент пропорциональности находится по выражению

$$C = \frac{\sum_{i=1}^{k-1} \frac{1}{N_{ош} - i + 1}}{\sum_{i=1}^{k-1} t_i}. \tag{4}$$

По модели Холстеда прогнозируемое количество ошибок равно

$$N_{ош} = V/3000, \tag{5}$$

где V – объем программы в байтах, который можно найти из выражения

$$V = N \log_2 (\eta_1 + \eta_2), \tag{6}$$

где η_1 – число простых операторов программы; η_2 – число простых операндов в программе; N – длина программы равна $N = N_1 + N_2$; N_1 – общее число операторов в программе; N_2 – общее число операндов в программе.

Соединяя приведенные выражения в единую модель, получаем

$$\lambda_i = \frac{\sum_{j=1}^{k-1} \frac{1}{N_{ош} - j + 1}}{\sum_{j=1}^{k-1} t_{ij}} (N_{ош} - ш + 1). \tag{7}$$

Имея значения интенсивностей, найденные по формуле (7), можно определить $P_1(t)$, $P_2(t)$, $P_2^1(t)$. Полученные значения необходимы для определения $К_г(t)$ (см. формулу (1)).

Таким образом, применение сочетания предложенных моделей позволяет комплексно оценить надежность восстанавливаемой системы $(К_Г(t))$ с учетом параметров входного и выходного потоков, потоков отказа программно-аппаратного обеспечения и потока восстановления работоспособности ИВС, а также получить оценку надежности ПО исходя из его ресурсоемкости (количества входных и выходных данных) и особенностей структуры языковых средств представления задачи управления.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Самойленко А.П.* Основы теории надежности автоматизированных систем обработки информации и управления. –Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2000. – 122 с.
2. *Холстед М.Х.* Начала науки о программах. –М.: Финансы и статистика, 1981. – 128 с.

УДК 539:620.179.16

Ю.В. Юханов, Е.С. Огурцов

ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗЛУЧЕНИЯ И РАССЕЯНИЯ ЛИНЕЙНОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ ИЗ СКОШЕННЫХ ВОЛНОВОДОВ В СЛУЧАЕ Е-ПОЛЯРИЗОВАННОЙ ВОЛНЫ

Исследования диаграмм рассеяния и направленности антенной решетки скошенных волноводов являются актуальными [1-3]. Одним из возможных способов расширения углов сканирования фазированных антенных решеток является использование в качестве излучающих элементов скошенных волноводов. Также для приведения диаграммы направленности антенны к требуемому сектору обзора радиотехнических систем посадки летательных аппаратов волновод может быть скошен под углом α к плоскости экрана [1]. Целью данной работы является расчет характеристик, диаграмм рассеяния, диаграмм направленности, линейной антенной решетки из скошенных волноводов в азимутальной плоскости (ЛАР СА) для случая Е-поляризованной волны.

Постановка задачи. Дана антенна в виде бесконечной периодической решетки полубесконечных плоскопараллельных волноводов A_m ($m = 0, \pm 1, \pm 2 \ldots \pm \infty$) с размерами раскрывов $\dfrac{a}{\cos\alpha} + b$, расположенных на идеально проводящей плоскости на расстоянии $T = \dfrac{a}{\cos\alpha} + b$ друг от друга (рис.1).

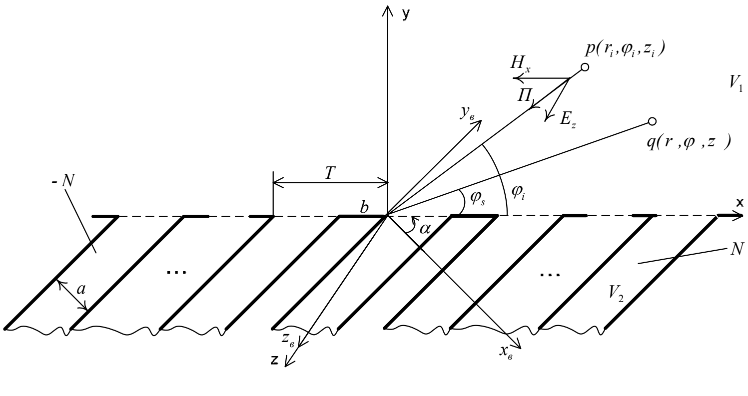

Рис. 1. Постановка задачи. Е-поляризованная волна