

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР МОДЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ГАРАНТОСПОСОБНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Проведено аналіз відомих моделей надійності програмних засобів гарантоздатних інформаційних систем з точки зору використання їх на різних етапах життєвого циклу програмного забезпечення. На основі проведеного аналізу виявлено ступінь застосовності розглянутих моделей як розробниками, так і кінцевими користувачами на етапах тестування і експлуатації програмних засобів.

Проведен анализ известных моделей надежности программных средств гарантоспособных информационных систем с точки зрения применения их на разных этапах жизненного цикла программного обеспечения. На основе проведенного анализа выявлена степень применимости рассмотренных моделей как разработчиками, так и конечными пользователями на этапах тестирования и эксплуатации программных средств.

The analysis of the most known models of reliability of programmatic tools of the dependability informative systems is conducted from the point of view of application of them on the different stages of life cycle of software. On the basis of the conducted analysis the degree of applicability of the considered models is deduced, by both developers and end users on the stages of testing and exploitation of programmatic tools.

В настоящее время разнообразные информационные системы (ИС) сделали деловую, общественную, личную жизнь каждого человека и человечества в целом более эффективной, динамичной и интересной. Но у этой медали есть и обратная сторона. Наряду с несомненными преимуществами использования ИС растут масштабы, сложность и значимость их надежности, а также размеры потерь в критических аварийных ситуациях. К нашему большому сожалению, нарушение, прекращение или неверное функционирование ИС приводят к большим материальным убыткам, серьезным последствиям для жизни людей и экологии планеты.

Например, 4 июня 1996 г. был произведен первый запуск ракеты-носителя Ariane 5 разработки Европейского Сообщества. Через 40 с старт закончился взрывом. Авария побила все рекорды по размерам вызванных ею убытков. Только находившееся на борту научное оборудование было оценено на сумму в полмиллиарда долларов, не говоря о других издержках; а астрономические цифры "упущенной выгоды" от несостоявшихся коммерческих запусков и потеря репутации надежного перевозчика в конкурентном

секторе мировой экономики с трудом поддаются оценке [6].

Печально известная ошибка в линейном ускорителе Therac-25 стала причиной гибели нескольких больных, получивших смертельные дозы радиации во время лечения, проводимого с июня 1985-го по январь 1987 года в нескольких онкологических клиниках в США и Канаде. Эти дозы, как было оценено позже, более чем в 100 раз превышали те, что обычно применяются при лечении [13].

По мнению автора [1] гарантоспособность (dependability) – “это свойство вычислительной системы, позволяющее обоснованно полагаться на выполнение услуг, для которых она предназначена”.

Под надежностью (reliability) программной системы (ПС) понимается ее способность безотказно выполнять определенные функции при заданных условиях в течение заданного периода времени с достаточно большой вероятностью [5].

Надежность работы гарантоспособных ИС во многом зависит от надежности программных средств (ПС) как наиболее сложной, значимой и дорогостоящей составляющей ИС.

Итак, вопросы повышения надежности ПС для обеспечения гарантоспособности ИС

являются нетривиальной, немаловажной и актуальной задачей.

В работе [10] методы обеспечения надежности ПО предложено делить на следующие 4 группы:

- 1) предотвращение (недопущение) дефектов;
- 2) устранение дефектов;
- 3) обеспечение отказоустойчивости;
- 4) анализ и прогнозирование надежности.

В данной работе предполагается рассмотреть методы 4-й группы.

К задачам анализа и прогнозирования надежности ПС можно отнести следующие [4]:

- 1) выявление и исследование факторов, определяющих и влияющих на характеристики надежности;
- 2) исследование специфики дефектов и ошибок, динамики их изменения на наиболее длительных этапах эксплуатации и сопровождения, а также их влияние на показатели надежности и эффективности ПС;
- 3) выбор и обоснование критериев надежности для ПС определенного типа и назначения;
- 4) исследование моделей надежности ПС.

В нашем исследовании будем рассматривать 4-ю задачу.

Под программными дефектами подразумеваются ошибки различных специалистов на этапе разработки, внедрения и сопровождения программного обеспечения (ПО), вызывающие сбои и отказы ПС гарантоспособных ИС на различных стадиях их жизненного цикла (ЖЦ). Жизненный цикл ПС – это структура, состоящая из процессов, работ и задач, включающая в себя разработку, эксплуатацию и сопровождение ПС [3].

Оценка надежности ПО в виде общепринятых показателей надежности, таких как вероятность отказа и вероятность безотказной работы, интенсивность отказов (ИО), среднее время наработки на отказ, прогнозное количество ошибок, базируется на основании результатов тестирования или эксплуатации ПС с использованием математических моделей надежности ПС (МНПС). В результате работы многих специалистов и исследователей [7-9,11,12,14,15] в течение

последних сорока лет появились около 30 наиболее известных оригинальных МНПС. К этому числу следует добавить менее известные модели, а также различные вариации и комбинации моделей.

В настоящее время использование МНПС различными категориями пользователей на разных этапах ЖЦ наталкивается на ряд трудностей и нерешенных проблем:

– на разных этапах ЖЦ ПС необходимо использовать разные модели. Большое количество МНПС (около 50) и ограниченная область применения каждой из них создают проблему выбора наиболее адекватной модели для конкретного ПС на данном этапе ЖЦ;

– хорошее ПО эксплуатируется в течение длительного времени (более десяти лет). За это время оно многократно адаптируется к постоянно меняющейся внешней среде, дорабатывается с целью расширения функциональности, претерпевает другие изменения, что влечет за собой изменение характеристик ПС и его модели надежности;

– с одной стороны, МНПС весьма разнообразны и существует множество их классификаций. Они используют различные законы распределения случайных величин, различные математические выражения и параметры моделей. Поэтому степень сложности моделей бывает довольно высокой, но приемлемой для специалистов по программной надежности.

– с другой стороны, потребность в независимом определении характеристик фактической надежности ПС на этапе его эксплуатации может возникнуть у его конечных пользователей, а также у третьих лиц, например, контролирующих органов, определяющих эффективность капиталовложений в ИС предприятия. Эти люди не являются специалистами по программной надежности. Для них высокая сложность МНПС может стать непреодолимым препятствием для ее практического использования.

Для решения вышеуказанных проблем необходимо продолжение исследований применимости МНПС разработчиками и другими специалистами на разных этапах ЖЦ ПС. Аналитический обзор моделей, про-

веденный в данной работе, позволит сделать очередной шаг в этом направлении.

Экспоненциальные модели надежности, как наиболее распространенные и часто применяемые в надежности ПС, и их применимость на различных этапах жизненного цикла программных систем были рассмотрены в работе [2]. В данной работе продолжены исследования и сделана попытка расширения перечня МНПС путем добавления к экспоненциальному классу других известных моделей. Важно выяснить, насколько эти модели применимы не только разработчиками, но и другими заинтересованными в независимой оценке надежности лицами на разных этапах эксплуатации ПС.

В настоящей работе необходимо выполнить аналитический обзор следующих известных МНПС:

- 1) Шика-Волвертона
- 2) Вейбулла
- 3) Дюэна
- 4) 1-й геометрической Моранды
- 5) 2-й геометрической Моранды
- 6) логарифмической Мусы-Окумото
- 7) S-образной с перегибами
- 8) степенной Уолла-Фергюссона.

Ранний этап эксплуатации ПС, на котором проявляются и устраняются не выявленные при тестировании дефекты ПС, назовем периодом опытной эксплуатации. Период, когда почти все программные ошибки выявлены и исправлены, их проявление возможно с низкой степенью вероятности. Этот период назовем этапом нормальной эксплуатации ПС. На основе приемлемости допущений моделей, их преимуществ и недостатков, необходимо выявить степень сложности моделей и применимости разработчиками и другими лицами на следующих этапах ЖЦ: 1 – системного тестирования, 2 – опытная эксплуатация, 3 – нормальная эксплуатация.

Модель Шика-Волвертона предложена в работе [14]. Она является развитием модели Желинского-Моранды. Исходные данные – порядковый номер ошибки и длительность интервалов отладки. Допущения модели и ее математическое выражение:

1) все ошибки в ПС одинаково вероятны, независимы и имеют один и тот же порядок серьезности;

2) ошибки постоянно и немедленно устраняются без внесения новых;

3) ПО функционирует в среде, близкой к реальным условиям;

4) время между отказами соответствует эрлеевскому распределению;

5) ИО остается постоянной до исправления очередной ошибки;

6) ИО пропорциональна числу остаточных ошибок и длительности i -го интервала отладки:

$$\lambda(t_i) = K(N_0 - i + 1)t_i, t_{i-1} < t_i < t_{i+1} \quad (1)$$

где K – коэффициент пропорциональности, N_0 – начальное количество ошибок; t_i – промежуток времени между ошибками.

Преимущества: 1) модель дает возможность определить все необходимые параметры, не прибегая к другим моделям, что сокращает время расчета показателей надежности; 2) модели не нужны внутренние характеристики ПС.

Недостатки: 1) модель предполагает, что интенсивность отказов с течением времени возрастает линейно, поскольку промежутки времени между ошибками увеличиваются – это не соответствует реально наблюдаемым зависимостям; 2) модель разработана для теории надежности технических устройств и может использоваться для оценки надежности ПС только на небольших временных интервалах.

Выводы о применимости. Модель применима разработчиками на этапе тестирования при небольших длительностях времени отладки; неприменима она конечными пользователями ПС на больших временных интервалах по причине возрастания интенсивности отказов во времени.

Модель Вейбулла предложена в работе [11]. Является одной из ранних классических моделей надежности, исходит из теории надежности технических устройств. Модель основана на вейбулловском распределении отказов во времени. Не имеет каких-либо допущений, связанных с программными ошибками, их характером и интенсивностью. Основное математическое выражение модели

$$\lambda(t) = m\lambda^m t^{m-1}, \quad (2)$$

где λ – параметр модели, m – дополнительный параметр модели из диапазона $0 < m < 1$.

Преимущества. Содержит дополнительный по сравнению с другими моделями параметр m ; подбирая m и λ , можно получить лучшее соответствие опытным данным на каком-то ограниченном временном интервале.

Недостатки. Модель в основном используется в теории надежности аппаратных средств; параметры модели – постоянные величины, имеющие определенные значения для каждого класса технических изделий; в литературе не описаны параметры этой модели для различных классов или видов программ; отсутствуют какие-либо практические рекомендации по подбору значений m и λ для ПС, что допускает свободную трактовку параметров модели, которая основывается на опыте и интуиции специалиста и влечет за собой большое влияние субъективного фактора.

Выводы о применимости. Данная модель не применима для расчета характеристик надежности ПС на длительных временных интервалах.

Модель Дюэна предложена в работе [7]. Это одна из наиболее ранних классических моделей надежности, которая исходит из теории надежности технических устройств. Допущения модели и ее математическое выражение:

1) все ошибки в ПС одинаково вероятны, не зависимы и имеют один и тот же порядок серьезности;

2) общее число ошибок, обнаруженных к произвольному моменту времени t , подчиняется распределению Пуассона со средним значением

$$m(t) = \alpha t^\beta, \quad (3)$$

где α и β – параметры модели. ИО имеет следующий вид:

$$\lambda(t) = \alpha \beta t^{\beta-1}. \quad (4)$$

Преимущества. Не нужны структурные характеристики ПС; модель является двухпараметрической, что обеспечивает большую гибкость ее применения; подбирая параметры модели, можно получить хорошее соответствие опытным данным.

Недостатки. В литературе не описаны параметры этой модели для различных клас-

сов или видов программ, что допускает свободный подбор параметров модели, который основывается на опыте и интуиции специалиста, и влечет за собой большое влияние субъективного фактора.

Выводы о применимости. Поскольку подбор параметров модели не имеет практических рекомендаций и субъективен, считаем данную модель менее применимой для расчета характеристик надежности как разработчиками, так и конечными пользователями.

1-я геометрическая модель Моранды предложена в работе [8]. Входными данными модели являются временные интервалы между ошибками, а также начальное значение ИО. Допущения модели и ее математическое выражение:

- 1) общее число ошибок не ограничено;
- 2) обнаружение ошибок не равновероятно;
- 3) обнаружение ошибок – процесс, не зависящий от ошибок;
- 4) программное обеспечение функционирует в среде, близкой к реальным условиям;
- 5) интенсивность отказов принимает форму геометрической прогрессии, ее характеристики в интервале между ошибками постоянны:

$$\lambda(t) = DK^{i-1}, t_{i-1} < t < t_i, \quad (5)$$

где $D = \lambda(0)$ – исходное значение интенсивности отказов; $0 < K < 1$ – параметр геометрической прогрессии; i – количество обнаруженных ошибок; t – временной интервал между соседними ошибками.

Преимущества. Математические выражения модели просты и наглядны, не требуют громоздких и сложных вычислений; в данной модели ошибки не считаются одинаково серьезными; модель не нуждается в информации о структурных характеристиках ПС.

Недостатки. Допущения модели не вполне реалистичны; модели нужны временные интервалы между ошибками; сбор такой статистики составляет определенную трудоемкость; геометрическая прогрессия с одними параметрами на длительном этапе эксплуатации дает грубые, приблизительные результаты с малой степенью точности; в литературе не описан параметр этой модели

для различных классов или видов программ; для определения параметра K может быть полезной информация о ранее разработанных программных проектах, которая конечным пользователям ПС, как правило, недоступна.

Выводы о применимости. Данная модель менее применима для расчета характеристик надежности разработчиками, так и конечными пользователями.

2-я геометрическая модель Моранды предложена в работе [8]. Разделяет время отладки – эксплуатации на интервалы. Кроме четырех вышеназванных допущений, принимается дополнительное допущение: за время

i -го интервала число обнаруженных ошибок подчиняется распределению Пуассона с параметром DK^{i-1} . ИО имеет следующий вид:

$$\lambda(t) = D_i K_i^{i-1}, \quad (6)$$

где D_i, K_i задаются для i -го интервала тестирования.

Преимущества. Деление длительного времени тестирования-эксплуатации на временные интервалы и подбор параметров для каждого интервала отдельно повышает степень точности расчета характеристик надежности.

Недостатки. Увеличивается трудоемкость расчетов характеристик надежности по этой модели; дополнительное допущение одновременно является ограничением данной модели в практическом применении для разных ПС.

Выводы о применимости. Данная модель более применима для расчета характеристик надежности разработчиками, чем конечными пользователями.

Логарифмическая модель Мусы-Окумото предложена в работе [9]. Допущения модели и ее математическое выражение:

1) программное обеспечение функционирует в среде, близкой к реальным условиям;

2) ошибки устраняются немедленно без внесения новых;

3) проявление ошибок рассматривается как неоднородный пуассоновский процесс, ошибки независимы, их число в ПС бесконечно;

4) число выявленных ошибок на временном интервале пропорционально числу не выявленных ошибок;

5) частота проявления ошибок подчиняется логарифмической функции.

Выражение ИО имеет следующий вид:

$$\lambda(t) = \frac{KB}{Kt+1}, \quad (7)$$

где $K = \lambda_0 \theta$ – коэффициент, который характеризует экспоненциальное падение ИО с каждой исправленной ошибкой; λ_0 – начальное значение ИО; $\theta > 0$ – параметр затухания ИО, $B = \theta^{-1}$.

Преимущества. Модель специально создана для определения надежности ПС, а не исходила из теории надежности аппаратуры, как другие ранние модели; применяемый математический аппарат прост и нагляден, не требует сложных или громоздких расчетов; входными данными модели являются начальное значение ИО, а также параметры модели; модели не нужны структурные особенности ПС; все допущения модели, кроме 2-го, вполне реалистичны.

Недостатки. 2-е допущение модели на практике не выполнимо; она предусматривает падение ИО с каждой исправленной ошибкой, не учитывая вновь привнесенных программных дефектов или зависимых ошибок; модель не учитывает разную значимость ошибок; для модели необходимо определение начального значения ИО.

Выводы о применимости. Модель применима для разработки, а также на этапах как тестирования, так и эксплуатации. Вполне применима конечными пользователями ПС.

Модель S-образная с перегибами предложена в работе [15]. Допущения модели и ее математическое выражение:

1) программная система функционирует в среде, близкой к реальным условиям;

2) проявление ошибок в данной модели рассматривается как неоднородный пуассоновский процесс;

3) все проявленные ошибки устраняются, при этом новые дефекты не вносятся;

4) вероятность выявления ошибки в единицу времени пропорциональна текущему количеству проявленных ошибок;

5) ошибки могут быть взаимозависимы, т.е. некоторые из них не проявляются до устранения других (принцип взаимной компенсации ошибок).

Выражение текущего количества ошибок имеет вид

$$n(t) = v \frac{1 - e^{(-\beta t)}}{1 + \psi e^{(-\beta t)}}, \quad (8)$$

где v – начальное количество дефектов ПО, β – скорость нахождения и устранения дефекта; ψ – параметр перегиба, $\psi(r) = (1 - r)/r$, $0 \leq r \leq 1$, здесь r – частота перегибов, представляющая собой отношение обнаруженных дефектов к общему их количеству.

Преимущества. Модель специально создана для определения надежности ПС; по данной модели вероятность проявления ошибки тем меньше, чем больше количество проявленных ошибок. Как и все S-образные модели, она учитывает скорость нахождения и исправления ошибки после ее обнаружения; отличие от других моделей заключается в 5-м допущении; оно гласит, что во время исправления одних ошибок проявляются другие, которые раньше не были заметны; это обстоятельство влечет за собой внезапное скачкообразное увеличение количества ошибок на плавно падающей кривой количества ошибок во времени; графическое представление модели имеет S-образную кривую с перегибами; при частоте перегибов $r = 1$ эта модель эквивалентна экспоненциальной модели, а при $r < 0,5$ – приобретает S-образную форму; модели не нужна информация о структуре ПС.

Недостатки. На практике допущение о не внесении новых ошибок не выполнимо, в связи с чем это допущение является одновременно и ограничением модели; для расчетов характеристик надежности по этой модели необходимы следующие входные данные: временная статистика ошибок, исходное количество ошибок в ПС, скорость нахождения и устранения дефекта, а также параметр перегиба; определение этих параметров несложно, но занимает время; при определении параметров модели могут быть полезны расчеты характеристик надежности других программных проектов, которые пользователям недоступны.

Выводы о применимости. Модель применима как разработчиками, так и специалистами, занимающимися тестированием и эксплуатацией. Менее применима конечными пользователями ПС, которые могут столкнуться с трудностями определения входных данных модели.

Степенная модель Уолла-Фергюссона предложена в работе [12]. Допущения модели и ее математическое выражение:

1) программная система функционирует в среде, близкой к реальным условиям;

2) число обнаруженных и исправленных ошибок зависит от степени отлаженности программы и определяется степенной зависимостью

$$\varepsilon_u = \varepsilon_0 \left(\frac{M}{M_0} \right)^\alpha, \quad (9)$$

где M – степень отлаженности программ; M_0 и ε_0 – эмпирические константы.

Выражение ИО имеет следующий вид:

$$\lambda(M) = R_0 \left(\frac{M}{M_0} \right)^{\alpha-1}, \quad (10)$$

где $R_0 = \alpha \varepsilon_0$; $\alpha < 1$ (рекомендуемое значение 0,5); величина M выражается в человеко-месяцах эксплуатации либо единицах календарного времени.

Преимущества. Допущения модели реалистичные, но не полные. Не нужны структурные характеристики ПС; модель двухпараметрическая, что делает ее более гибкой для применения по сравнению с однопараметрическими моделями. В отличие от других модель использует такой новый параметр, как степень отлаженности программы.

Недостатки. Исходными данными модели являются количество обнаруженных и исправленных ошибок, степень отлаженности программы, параметры модели; большое количество исходных данных, требует дополнительных расчетов; высокая трудоемкость и временные затраты использования модели.

Выводы о применимости. Данная модель в меньшей степени применима для расчета характеристик надежности разработчиками ввиду большой трудоемкости определения входных данных модели; конечными пользователями модель не применима в связи с не-

возможность правильно оценить степень отлаженности программы.

За рамками данного исследования остались некоторые менее известные и применяемые модели, в том числе: структурные Нельсона и Ийуду, статистическая Миллса, переходных вероятностей, Коркорэна, гиперболическая, для применения которых необходимо знание структуры ПС и большого количества трудно оцениваемых параметров модели. Не рассмотрены также байесовские модели, требующие особого подхода к распределениям случайных величин.

Выводы и заключительные положения. Анализируя допущения и выражения моделей, можно сделать следующие выводы:

1) Допущения данных моделей отличаются предположениями о конечном и бесконечном количестве ошибок в ПС, а также зависимостью и независимостью одних ошибок от других. Общее для моделей предположение – не внесение новых ошибок при устранении обнаруженных, т.е. ни одна из моделей не учитывает вторичных ошибок.

2) Большинство моделей используют неоднородное пуассоновское распределение. В более ранних моделях, разработанных для моделирования аппаратной надежности, используется рэлеевское распределение и распределение Вейбулла;

3) Модели используют степенные, экспоненциальные и логарифмические выражения;

4) Данные модели не используют характеристики исходного кода ПС, не нуждаются в расчете метрик;

5) Все модели, используют длительность тестирования либо эксплуатации ПС. Кроме времени, в моделях применяются также один или два других параметра модели, с разной сложностью их оценивания и субъективностью таких оценок.

Результаты анализа преимуществ и недостатков указанных МНПС отражены в таблице. Темные ячейки данной таблицы показывают большую степень применимости МНПС, светлые – меньшую степень применимости конкретной модели на данном этапе ЖЦ. В таблице этапы ЖЦ ПО обозначены так: 1 – системное тестирование, 2 – опытная эксплуатация, 3 – нормальная эксплуатация

разработчиками, 4 – опытная эксплуатация, 5 – нормальная эксплуатация конечными пользователями ПС.

Применимость МНПС на различных этапах жизненного цикла

Название модели	Этапы ЖЦ ПС				
	1	2	3	4	5
Шика-Волвертона	■	■	■	□	□
Вейбулла	□	□	□	□	□
Дюэна	■	■	■	■	■
1-я геометрическая модель Моранды	■	■	■	■	■
2-я геометрическая модель Моранды	■	■	■	■	■
Логарифмическая модель Мусы-Окумото	■	■	■	■	■
S-образная с перегибами	■	■	■	■	■
Степенная Уолла-Фергюссона	■	■	■	□	□

Исследования показали, что наилучшими являются – логарифмическая модель Мусы-Окумото и S-образная с перегибами. Наименее приемлемые модели – степенная Уолла-Фергюссона и модель Вейбулла.

Результаты, полученные в данной работе, могут быть использованы различными группами специалистов для выбора моделей, направленных на эффективную оценку надежности ПС на указанных этапах ЖЦ. Анализ моделей и резульатная сводная таблица степени применимости моделей имеют практическую ценность для прогнозирования показателей надежности с использованием оптимальной и адекватной МНПС гарантоспособных систем.

Список использованной литературы

1. Авиженис А.Н. Гарантоспособные вычисления: от идей до реализации в проектах / А.Н. Авиженис, Ж.-К. Лапри // ТИИЭР. – 1986. – Т. 74. – № 5. – С.8-21.
2. Антощук С.Г. Экспоненциальные модели надежности и их применимость на различных этапах жизненного цикла программных систем. /С. Г. Антощук, Д.А. Маевский, С.А. Яремчук // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – 2010. – № 1 (77). – С. 93 – 101.
3. ДСТУ 3918-1999 (ISO/IEC 12207). Інформаційні технології. Процеси життєвого циклу програмного забезпечення.- введ.01.07.2000. – К.: Держстандарт України, 2000. – 49 с.
4. Липаев В.В. Надежность программных средств / В.В. Липаев – М.: Синтег. 1998. – С.10-18.
5. Харченко В.С. Гарантоспособность и гарантоспособные системы: элементы методологии / В.С.Харченко //Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2006. – Вип.5(17). – С.7-19.
6. Ariane 5: Flight 501 Failure. [Электронный ресурс] – Режим доступа <http://www.eIRSn.esa.it/htdocs/tidc/press/Press96/press33.html>.
7. Duan J.T. Lournig Curve Approach to Reliability Monitoring / J.T Duan // IEEE Trans. on Aerospace. 1964. – Vol. 2. – P. 563-566.
8. Moranda P.B. Probability-Based Models for the Failures During Burn / P.B. Moranda – In Phase Joint National Meeting ORSA. Tims. – Las Vegas, N.Y., Nov., 1975.
9. Musa J.D. Logarithmic Poisson Time Model for Software Reliability Measurement / J.D. Musa, K.A. Okumoto // Proc. Sevent International Conference on Software Engineering. – Orlando, Florida. – 1984. – P. 230-238.
10. Pullum L. Software fault tolerance techniques and implementation/ L.Pullum – Artech House computing library, 2001. – 343 p.
11. Sukert C.A. An investigation of software reliability models / C.A. Sukert. Proc. Annual Reliability and Maintainability Symp. – 1977. – P. 478-484.
12. Wall J.K. Pragmatic software reliability prediction / J.K.Wall, P.A.Ferguson // Proc. 1977 Annual Reliability and Maintainability Symp. – 1977. – P.485-488.
13. Williamson G., Software Safety and Reliability / G. Williamson. IEEE Potentials. –Vol. 16. – No. 4. – 1997. – P. 32–36.
14. Wolverton R.W. Assessment of Software Reliability / R.W. Wolverton, C.J Shick // TRW-SS-73-04. September 1972.
15. Yamada S. S-shaped software reliability grows modeling for software error detection / S.Yamada, M.Ohba, S.Osaki // IEEE Trans. Reliability. – 1983. – R-32. – N 5. – P. 475-518.

Получено 24.01.2011



Яремчук
Светлана Александровна,
аспирант кафедри ТООЭ,
ИЕЕ, ОНПУ,
ст. пр. каф. інформ.
управл. систем и
технологій Ізмайльського
інст. водн. трансп.,
г. Ізмайл, ул. Героев
Сталинграда 42-44,
тел. (04841) 2-02-80
E-mail:
svetlana397@yandex.ru