

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЗАКОНА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ МЕЖДУ ОТКАЗАМИ ВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ ОБ- СЛУЖИВАЕМЫХ МНОГОПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ СИСТЕМ С УЧЕТОМ ДЕФЕКТОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Ю.Л. Поночовный

(представил д.т.н., проф. В.С. Харченко)

В статье приводятся результаты исследования закона распределения времени между отказами систем, вызванных дефектами взаимодействия и параметров этого закона с целью усовершенствования аппарата оценки надежности обслуживаемых многопользовательских систем

Постановка проблемы. Развитие информационных технологий в рамках концепций глобальных и локальных сетей обуславливает применение многопользовательских систем. Надежность таких систем является одной из основных составляющих, определяющих качество обслуживания сети в целом, поэтому к надежности многопользовательских систем выдвигаются повышенные требования. Для обеспечения требуемого уровня надежности многопользовательские системы наделены свойствами отказоустойчивости, восстанавливаемости, обслуживаемости и др. Надежность современных восстанавливаемых обслуживаемых многопользовательских систем (ВОМС) принято рассматривать в аспекте проявления физических дефектов аппаратных средств (ДФ АС), дефектов проектирования программных средств (ДП ПС) и дефектов взаимодействия (ДВ) [1, 2]. Соответственно при моделировании надежности ВОМС рассматривают модели надежности каждой компоненты, что особенно существенно при повышенных требованиях к надежности системы. В связи с этим задача моделирования надежности многопользовательских систем является актуальной.

Анализ литературы. Моделирование надежности систем с учетом ДВ является относительно молодой отраслью теории надежности сложных систем. В работе [3] дефекты взаимодействия (ДВ) разделяются на случайные, непреднамеренные и злонамеренные. Пользуясь сходностью статистических свойств, случайные и непреднамеренные ДВ описываются в модели надежности [2] с помощью следующей плотности функции распределения времени между отказами ВОМС:

$$f(t) \approx \lambda_0 e^{-\nu t} \cdot \exp\{e^{-\nu t} \cdot t\}, \quad (1)$$

где λ_0 – начальная интенсивность отказов ВОМС, вызванных ДВ; ν – средняя интенсивность отказов ВОМС, полученная на этапе обучения обслуживающего персонала и приработки ВОМС; τ – длительность периода обучения обслуживающего персонала и приработки ВОМС.

Однако, результаты моделирования надежности многопользовательских ВОМС (в дальнейшем ВОМС) с учетом злонамеренных ДВ (ДВЗ) с использованием экспоненциального закона распределения времени между отказами системы, вызванными ДВЗ, расходятся с имеющимися данными эксплуатации данного класса систем [4].

Цель статьи. В связи с этим необходимо разработать модель оценки параметров надежности ВОМС с учетом ДВЗ, адаптированную под статистические данные эксплуатации данного класса систем. Для этого необходимо:

- провести статистический анализ выборки эксплуатационных данных ВОМС;
- принять основные допущения для построения модели оценки параметров надежности;
- сформулировать гипотезу о законе распределения времени между отказами ВОМС, вызванными ДВЗ;
- разработать модель оценки параметров надежности ВОМС с учетом ДВЗ;
- провести анализ полученных результатов моделирования и сделать выводы о перспективе дальнейших исследований в заданном направлении.

1. Статистический анализ выборки эксплуатационных данных ВОМС. Сравнительный анализ статистических данных по ДВЗ показывает, что они имеют отношение к программным средствам ВОМС и вызваны злонамеренными воздействиями. Предпосылки к возникновению и распространению злонамеренных воздействий различны и их исследование носит скорее юридический, чем технический характер. Однако механизм распространения злонамеренных воздействий практически однообразен. Изначально некоторый опытный программист выявляет изъян, или так называемую «дыру» в ПС атакуемой системы. Далее он в собственных целях (наиболее часто в корыстных) «эксплуатирует» эту дыру, чем может вызвать отказы ВОМС. Со временем информация об обнаруженном дефекте ВОМС (хотя до признания этого дефекта официальными органами, он, по сути, не является таковым) становится доступной и другим пользователям системы, и они также начинают «эксплуатировать» данную «дыру».

Следует отметить, что в последнее время информация о всевозможных «дырах» распространяется очень быстро в связи с развитием сети Интернет. Данный факт отображен на рис. 1, 2, где показано общее количество количества отказов ВОМС, вызванных ДВЗ с 1988 по 2003 год.

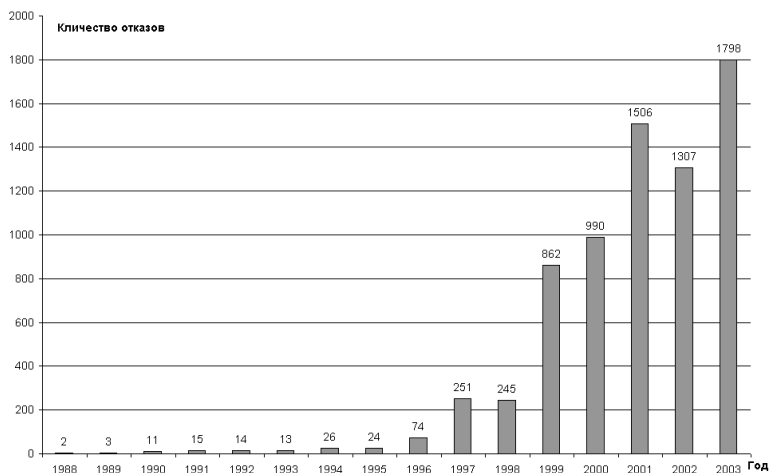


Рис. 1. Распределение количества отказов ВОМС, вызванных ДВЗ по годам

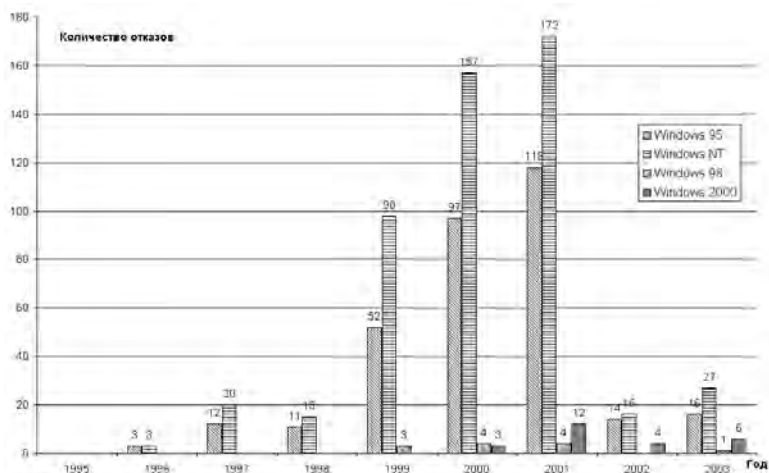


Рис. 2. Распределение количества отказов ВОМС с ОС Windows, вызванных ДВЗ, по годам

В [4] рассмотрены ВОМС различных классов, поэтому данная выборка обладает значительной избыточностью. С целью уменьшения избыточности для проведения статистического анализа необходимо огра-

ничиться одним классом ВОМС. Рассмотрим ВОМС, в которых используется операционная система (ОС) Microsoft Windows различных версий.

На рис. 2 на примере ВОМС с ОС Microsoft Windows показана динамика изменения количества отказов, вызванных ДВЗ. До введения новой ОС Windows 2000 количество отказов, вызванных ДВЗ, на ВОМС стремительно возрастало, а после введения новой ОС, когда в новой версии ОС старые изъяны были устранены, количество отказов, вызванных ДВЗ уменьшилось. Начиная с версии ОС Windows 98 компания Microsoft проводит политику промежуточных модификаций ОС (так называемые Service Pack), поэтому относительно ОС Windows 98 и 2000 не наблюдается стремительного роста количества отказов ВОМС, вызванных ДВЗ.

На примере ВОМС с ОС Windows NT исследуем закон распределения времени между отказами ВОМС, вызванными ДВЗ. Количество отказов ВОМС, вызванных ДВЗ по годам приведено в табл. 1 и на рис. 3 [4].

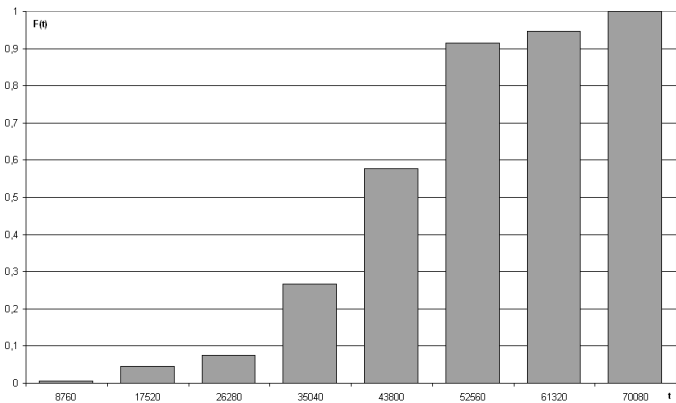


Рис. 3. Гистограмма распределения количества отказов ВОМС с ОС Windows NT, вызванных ДВЗ

Таблица 1

Количество отказов ВОМС с ОС Windows NT, вызванных ДВЗ

№ п/п	Год	Время в часах	Количество отказов ВОМС	Количество отказов ВОМС с накоплением
1.	1996	0 – 8760	3	3
2.	1997	8761 – 17520	20	23
3.	1998	17521 – 26280	15	38
4.	1999	26281 – 35040	98	136
5.	2000	35041 – 43800	157	293
6.	2001	43801 – 52560	172	465

7.	2002	52561 – 61320	16	481
8.	2003	61321 – 70080	27	508

Оптимальный закон распределения времени между отказами ВОМС, вызванными ДВЗ, получен с помощью метода максимального правдоподобия – низкий Гумбеля (для исследования использовался пакет ПС Relx 7.6), для которого плотность распределения определяется из выражения

$$f(t) = \frac{1}{\delta} \exp \left(\left[\frac{t - \xi}{\delta} \right] - e^{\frac{t - \xi}{\delta}} \right). \quad (2)$$

Оптимальные параметры закона распределения:

- масштаб $\delta = 9520,973$;
- локальность $\xi = 56954,880$ (часов).

Интенсивность потока отказов $\lambda_{\text{П}}(t)$, вызванных ДВЗ, определяется из выражения

$$\lambda_{\text{П}}(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{1}{\delta} \exp \left(\frac{t - \xi}{\delta} \right) = A \cdot B^t, \quad (3)$$

где $A = \left(\delta \cdot \exp \left[\frac{\xi}{\delta} \right] \right)^{-1}$; $B = \exp \left(\frac{1}{\delta} \right)$.

Плотность распределения $f(t)$ имеет явно выраженный максимум в момент времени $t = \xi$. В этот момент происходит модификация ПС и устраняются ДВ. Второй параметр – масштаб показывает скорость изменения интенсивности потока и зависит от ряда факторов (количество пользователей, которые имеют доступ к ВС, скорость обмена информацией о «дырах» между злоумышленниками, цели, преследуемые злоумышленниками и др.).

Если принять во внимание, что среднее время между отказами является величиной, обратной усредненной интенсивности отказов, то из (3) следует, что на протяжении периода эксплуатации ВОМС время между отказами, вызванными ДВЗ, будет постоянно уменьшаться по показательному закону (здесь уместно привести аналогию с физическим явлением цепной реакции при ядерном распаде вещества).

2. Основные допущения, принимаемые для построения модели оценки параметров надежности ВОМС с учетом ДВЗ. На основании проведенного статистического анализа выдвинуты следующие допущения:

- закон распределения отказов ВОМС, вызванных ДВЗ, не зависит от класса ВОМС, а имеет отношение к человеческой природе;

- злонамеренные дефекты взаимодействия для ВОМС имеют отношение к ПС;
- восстановление системы после проявления ДВЗ производится путем перезапуска ПС системы, а устранение дефекта (дыры) ПС – путем модификации ПС;
- параметры закона распределения потока отказов ВОМС, вызванных ДВЗ, зависят от класса вычислительных систем и количества лиц, имеющих доступ к системам;
- интенсивность отказов ВОМС, вызванных ДВЗ, до первого проявления дефектов взаимодействия равна интенсивности отказов ВОМС, вызванных дефектами проектирования программных средств.

3. Гипотеза о законе распределения времени между отказами ВОМС, вызванными ДВЗ. Анализ статистической выборки показывает, что интенсивность отказов ВОМС, вызванных ДВЗ, увеличивается с увеличением времени эксплуатации системы по показательному закону. Значит, для оценки надежности ВОМС с учетом ДВЗ нельзя использовать простые марковские модели, в которых принято допущение о стационарности потоков отказов системы. Однако ряд моделей позволяет учитывать нестационарные потоки за счет принципа многофрагментности [5]. При этом, в данных многофрагментных моделях используется функциональная зависимость $\lambda_{\text{П}}(N)$, где N – количество отказов ВОМС, вызванных ДВЗ. В связи с этим на основании проведенного статистического анализа и полученных выражений (2), (3) необходимо вывести требуемый закон изменения интенсивности отказов.

Зависимость изменения количества отказов от времени функционирования системы (ведущая функция потока отказов $N(t)$) для проанализированной статистической выборки определяется следующим образом:

$$N(t) = N_{\text{max}} \cdot F(t) = N_{\text{max}} \cdot \left(1 - \exp \left[- \exp \left(\frac{t - \xi}{\delta} \right) \right] \right), \quad (4)$$

где N_{max} – максимальное количество отказов ВОМС, вызванных ДВЗ на протяжении исследуемого временного интервала, $N_{\text{max}} = 508$.

Из выражения (4) можно получить обратную зависимость $t(N)$, которая определяется по формуле

$$t(N) = \log_{\exp\left(\frac{1}{\delta}\right)} \log_{\exp\left[-\exp\left(\frac{-\xi}{\delta}\right)\right]} \left(1 - \frac{N}{N_{\text{max}}} \right). \quad (5)$$

На рис. 4 показана зависимость $t(N)$ времени эксплуатации ВОМС от количества отказов ВОМС, полученная на основании (5).

При подстановке значений $t(N)$ в выражение (3) получен график зависимости $\lambda_{FI}(t[N])$ (что эквивалентно $\lambda_{FI}(N)$), изображенный на рис. 5.

После аппроксимации зависимости $\lambda_{FI}(N)$ получено выражение

$$\lambda_{FI}(N) = 7 \cdot 10^{-6} \cdot \exp(0,0082 \cdot N) = 7 \cdot 10^{-6} \cdot 1,00823^N = \lambda_{FI0} \cdot c_\lambda^N, \quad (6)$$

где λ_{FI0} – значение интенсивности отказов в начальный момент времени ($t = 0$), $\lambda_{FI0} = 0,000007306410765$ 1/час; c_λ – скорость изменения интенсивности отказов ВОМС, вызванных ДВЗ, $c_\lambda = 1,008213713147732552$.

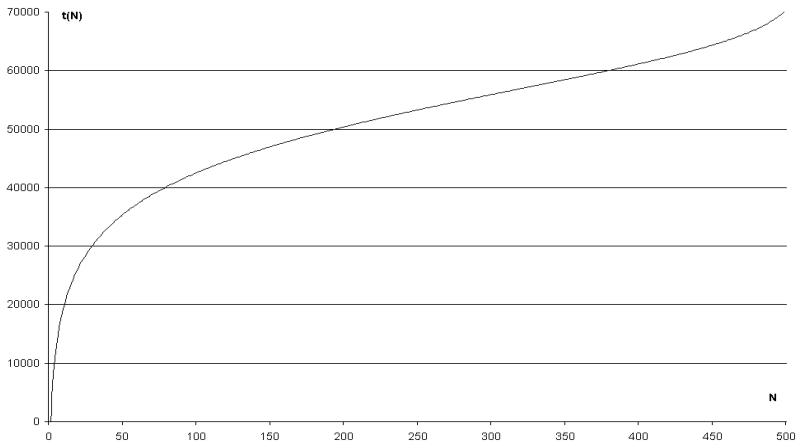


Рис. 4. Зависимость времени эксплуатации ВОМС $t(N)$ от количества отказов ВОМС

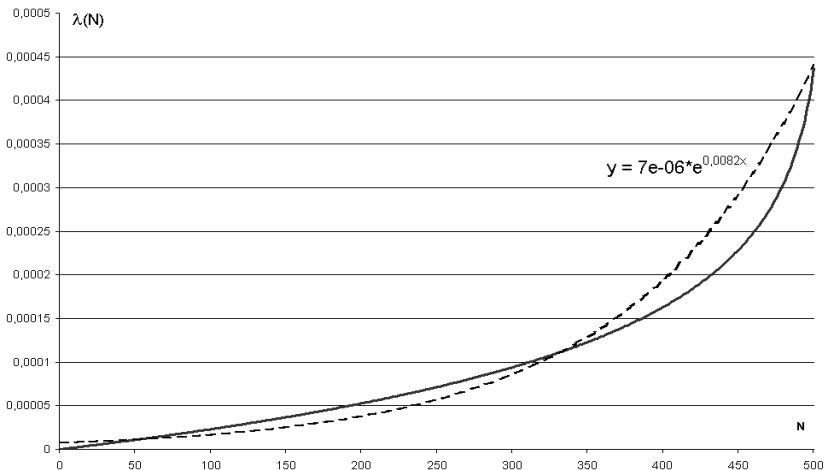


Рис. 5. Зависимость интенсивности отказов ВОМС от количества отказов

График аппроксимирующей функции показан на рис. 5 пунктирной линией.

4. Модель оценки параметров надежности ВОМС с учетом ДВЗ. Закон распределения интенсивности отказов ВОМС (6) имеет два параметра λ_{FI0} и c_λ . Оценка данных параметров производится следующим образом.

На основании допущения о программном происхождении ДВЗ параметр λ_{FI0} соответствует интенсивности отказов ПС ВОМС в начальный период эксплуатации системы (при $t = 0$), значение которой можно определить из модели RL-92 [6].

Второй параметр закона распределения c_λ можно связать с рядом метрик, косвенно относящихся к свойству безопасности (security) ВОМС. Предлагается следующий подход к моделированию данного параметра:

$$c_\lambda = 2 \cdot k_z, \quad (7)$$

где k_z – коэффициент безопасности (security) ВОМС, который определяется исходя из класса ВОМС [7] по табл. 2.

Таблица 2

Расчет коэффициента безопасности (security) ВОМС

Класс защищенности	k_z	Класс защищенности	k_z
1	1	5	0,8
2	0,95	6	0,75
3	0,9	7	0,7
4	0,85		

Функционирование ВОМС в условиях проявления ДВЗ рассматривается с логической точки зрения следующим образом. Злоумышленник, обнаруживший «дыру» в ПС после перевода системы в неработоспособное состояние либо поделится информацией с двумя товарищами, либо на следующий раз затратит в 2 раза меньше времени на перевод системы в неработоспособное состояние (этим объясняется коэффициент 2 в выражении (7)).

Однако на разработанную модель необходимо наложить дополнительные условия. Во-первых, в отличие от данных генеральной совокупности [4], интенсивность отказов одной ВОМС не может увеличиваться до бесконечности и существует минимальный временной интервал, необходимый злоумышленникам для перевода системы в неработоспособное состояние. Этому интервалу соответствует значение максимальной интенсивности $\lambda_{\text{FI max}}$, которое зависит от технических характеристик ВОМС. Во-вторых,

при обновлении ПС системы интенсивность отказов ВОМС, вызванных ДВЗ уменьшается до значения интенсивности отказов обновленной версии ПС ВОМС, значение которой можно определить из модели IBM [8].

Выводы.

1. Закон распределения времени между отказами, вызванными ДВЗ, на промежутках между обновлениями ПС – показательный двухпараметрический для зависимостей $\lambda_{FI}(t)$ и $\lambda_{FI}(N)$.

2. Параметрами закона распределения $\lambda_{FI}(N)$ являются начальная интенсивность отказов λ_{FI0} и скорость изменения интенсивности c_λ .

3. Параметр c_λ зависит от класса безопасности (security) ВОМС.

Анализ полученных результатов показывает, что для определения показателей функции готовности ВОМС необходимо использовать многофрагментное моделирование, которое позволяет учесть изменение интенсивности отказов ВОМС, вызванных ДВЗ, на промежутках между обновлениями ПС системы. Планируется включить разработанную модель оценки параметров надежности ВОМС с учетом ДВЗ в комплексную модель надежности ВОМС с учетом проявления ДФ, ДП и ДВ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Леонтьев Е. А. *Надежность экономических информационных систем: Учеб. пособ.* – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та. 2002. – 128 с.
2. Смагин В. А. *Техническая синергетика.* – [Электр. ресурс]. – Режим доступа: <http://sir35.narod.ru/Cmagin/index.htm>.
3. Laprie J.-C., Avizienis A., Randell B. *Dependability of Computing Systems: Fundamental Concepts, Terminology, and Examples* // LAAS-CNRS Report: 99-293, 1999.
4. ICAT Metabase Documentation. – [Электр. ресурс]. – Режим доступа: <http://icat.nist.gov>.
5. Одарущенко О.Н. *Оценка надежности программно-технических комплексов на основе разработки и исследования многофрагментных марковских моделей* // Обработка информации. – НАН Украины, Петровская академия наук и искусств. – 1997. – Вып. 7. – С. 151 – 157.
6. Lyu M.R. *Handbook of Software Reliability Engineering.* – McGraw-Hill Company, 1996. – 805 p.
7. ГОСТ Р 51241-98. *Средства и системы контроля и управления доступом. классификация. Общие технические требования. Методы испытаний.*
8. Полонников Р. И., Никандров А. В. *Методы оценки показателей надежности программного обеспечения.* – С.-Пб.: Политехника, 1992. – 78 с.

Поступила 28.09.2004

ПОНОЧОВНЫЙ Юрий Леонидович, адъюнкт кафедры «Телекоммуникационных

систем и сетей» ПВИС. Окончил ПВИС в 2002 г. Область научных интересов – надежность современных телекоммуникационных систем.