

УДК 621.395.7

А.Н. Гладков, В.Г. Перминов, А.Н. Павлов

Пермский военный институт внутренних войск МВД России, Пермь, Россия

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЛОКАЛЬНОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ ВОИНСКОЙ ЧАСТИ ВВ МВД РОССИИ

Рассматриваются вопросы, связанные с использованием имитационного моделирования для определения характеристик надежности локальной вычислительной сети. Была разработана имитационная модель для определения характеристик надежности локальной вычислительной сети воинской части внутренних войск МВД России. Отказы в любой локальной вычислительной сети рассматриваются как случайные события. Поэтому ее модель базируется на использовании основных положений теории систем массового обслуживания, предназначенной для исследования сложных систем со стохастическим характером функционирования. При проведении вычислительных экспериментов на имитационной модели с использованием программной среды Simulink пакета MatLab рассматривались варианты для локальной вычислительной сети с резервированием и без резервирования. Проведена статистическая обработка результатов экспериментов с помощью электронных таблиц Excel. Полученные графические и аналитические зависимости позволяют определять интенсивность отказов, вероятность безотказной работы и отказа локальной вычислительной сети воинской части.

Разработанная методика определения характеристик надежности локальной вычислительной сети воинской части ВВ МВД России, использующая средства имитационного моделирования, может использоваться для проведения численных экспериментов с целью определения характеристик надежности локальных вычислительных сетей как на этапе предварительных проектных оценок, так и при их эксплуатации. Она также пригодна для принятия решения о создании системы резервирования в структуре существующих и вновь создаваемых локальных вычислительных сетей. При этом, как показывает практика, погрешность такой оценки находится в пределах 5–10 % погрешности.

Ключевые слова: имитационное моделирование, надежность, локальная вычислительная сеть, эксперимент, резервирование, аналитическая, графическая, зависимость, методика, проектирование, эксплуатация.

A.N. Gladkov, V.G. Perminov, A.N. Pavlov

Perm Military Institute of Internal Troops of the Ministry of Internal Affairs of Russia,
Perm, Russian Federation

**DEFINITION OF RELIABILITY LOCAL AREA NETWORK
MILITARY UNIT MIA RUSSIA**

The article discusses the issues associated with the use of simulation to determine the characteristics of the local area network reliability. Simulation model was developed to determine the characteristics of the local area network reliability military unit of the Interior Ministry of Russia. Failures in any local area network are seen as random events. Therefore, its model is based on the use of the basic tenets of the theory of queuing systems designed to study complex systems with stochastic nature of the operation. In carrying out computational experiments on the simulation model using the program package MatLab Simulink environment were considered the options for a local area network with redundant and non-redundant. Statistical analysis of the results of experiments using Excel spreadsheets. These graphical and analytical dependence allows to determine the failure rate, the probability of failure-free operation and failure of the local area network of the military unit. The developed method of determining the reliability characteristics of the local area network of military unit MVD Russia, using simulation tools can be used to conduct numerical experiments to characterize the reliability of local area networks both at the stage of preliminary design estimates, and in their operation. It is also suitable for making a decision on the establishment of a system of redundancy in the structure of existing and newly created local computational-enforcement networks. However, as practice shows, the accuracy of such an assessment is within the range of 5–10 % error.

Keywords: simulation, reliability, local area network, an experiment, reservation, analytical, graphical, dependency, technique, design, operation.

Введение. Внутренние войска МВД России в настоящее время широко применяют автоматизированные системы управления и обработки информации, позволяющие эффективно управлять войсковыми соединениями и частями. Немаловажную роль в таких АСУ отводится вопросам повышения надежности локальных вычислительных сетей воинских частей и соединений, использующих современные средства обработки и передачи информации.

Под надежностью и безопасностью АСУ ВВ МВД России понимается ее защищенность от случайных или преднамеренных вмешательств в нормальный процесс ее функционирования, выражающийся в хищении или изменении информации (программная надежность), а также в нарушении ее работоспособности из-за отказов (аппаратная надежность).

Современное сетевое оборудование находит широкое применение при построении всех уровней системы АСУ ВВ МВД России. Ввиду важности задач, решаемых с их помощью, к надежности предъявляются

очень высокие требования. При этом под надежностью понимается способность поддерживать передачу информации с заданной скоростью и с заданной достоверностью в течение требуемого промежутка времени. Рассматриваемые далее варианты повышения надежности сети с привлечением резервирования неизбежно связаны с дополнительными затратами. Поскольку эта процедура может быть выполнена с помощью различных подходов, выбор наиболее эффективного способа – как с технической, так и с экономической точек зрения – приобретает исключительно важное прикладное значение.

Анализ факторов, влияющих на надежность локальных вычислительных сетей, показал, что надежность закладывается при проектировании, реализуется при изготовлении и расходуется при эксплуатации. Поэтому естественным является рассмотрение методов повышения надежности на этих трех этапах жизненного цикла [1, 2].

Надежность является комплексным, сложным свойством, состоящим в общем случае из безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости. Следовательно, и методы повышения надежности должны рассматриваться с позиции повышения этих четырех составляющих свойств надежности [3, 5, 6].

Все методы повышения надежности принципиально могут быть сведены к следующим основным методам:

- резервированию (рис. 1);
- уменьшению интенсивности отказов элементов сети;
- сокращению времени непрерывной работы;
- уменьшению времени восстановления;
- выбору рациональной периодичности и объема контроля.

Математическая модель. Одно из центральных положений – теории надежности состоит в том, что отказы рассматривают в ней как случайные события. Интервал времени от момента включения элемента (системы) до его первого отказа является случайной величиной, называемой временем безотказной работы. Интегральная функция распределения этой случайной величины, представляющая собой (по определению) вероятность того, что время безотказной работы будет менее t , обозначается $q(t)$ и имеет смысл вероятности отказа на интервале $0...t$. Вероятность противоположного события – безотказной работы на этом интервале – определяется как

$$p(t) = 1 - q(t).$$

Мерой надежности элементов и систем является интенсивность отказов $\lambda(t)$, представляющая собой условную плотность вероятности отказа в момент t , при условии, что до этого момента отказов не было. Между функциями $\lambda(t)$ и $p(t)$ существует взаимосвязь:

$$p(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}.$$

В период нормальной эксплуатации (после приработки, но еще до того, как наступил физический износ) интенсивность отказов примерно постоянна $\lambda(t) \approx \lambda$. В этом случае

$$p(t) = e^{-\lambda t}.$$

Таким образом, постоянной интенсивности отказов, характерной для периода нормальной эксплуатации, соответствует экспоненциальное уменьшение вероятности безотказной работы с течением времени.

Среднее время безотказной работы (наработки на отказ) находят как математическое ожидание случайной величины – время безотказной работы:

$$t_{cp} = \int_0^{\infty} t \frac{dq(t)}{\alpha}, \alpha = \lambda \int_0^{\infty} t e^{-\lambda t}, \alpha = \frac{1}{\lambda}. \quad (1)$$

Следовательно, среднее время безотказной работы в период нормальной эксплуатации обратно пропорционально интенсивности отказов:

$$t_{cp} = \frac{1}{\lambda}.$$

Оценим надежность некоторой сложной системы, состоящей из множества разнотипных элементов. Пусть $p_1(t), p_2(t), \dots, p_r(t)$ – вероятности безотказной работы каждого элемента на интервале времени $0 \dots t$, r – количество элементов в системе. Если отказы отдельных элементов происходят независимо, а отказ хотя бы одного элемента ведет к отказу всей системы, то вероятность безотказной работы системы в целом равна произведению вероятностей безотказной работы отдельных ее элементов:

$$P_{сист}(t) = \prod_{i=1}^N P_i(t) = \prod_{i=1}^N e^{-\lambda_i t} = e^{-\lambda_{сист} t}, \quad (2)$$

где $\lambda_{\text{сист}}$ – интенсивность отказов системы, $\lambda_{\text{сист}} = \sum_{i=1}^l \lambda_i$; λ_i – интенсивность отказа i -го элемента.

Среднее время безотказной работы системы $t_{\text{ср. сист}}$, ч, находится по формуле

$$t_{\text{ср. сист}} = \frac{1}{\lambda_{\text{ЛВС}}}. \quad (3)$$

К числу основных характеристик надежности восстанавливаемых элементов и систем относится коэффициент готовности:

$$K_r = \frac{t_{\text{ср}}}{t_{\text{ср}} + t_{\text{в}}}, \quad (4)$$

где $t_{\text{в}}$ – среднее время восстановления элемента (системы).

Он соответствует вероятности того, что элемент (система) будет работоспособен в любой момент времени.

При отдельном резервировании системы, когда она резервируется по узлам, блокам и элементам с замещением отказавших элементов резервными, основным параметром резервирования является его кратность:

$$m = \frac{(l - h)}{h},$$

где l – общее число элементов резервированного устройства; h – число резервируемых элементов, необходимых для нормальной работы устройства; $l - h$ – число резервных элементов.

При отдельном резервировании вероятность безотказной работы и вероятность отказа при m -кратном резервировании равнонадежных элементов определяется по формуле

$$P_{\text{сист}}(t) = \prod_{i=1}^N \left\{ 1 - [1 - p_i(t)]^{m+1} \right\}, \quad Q_{\text{сист}}(t) = 1 - \prod_{i=1}^N \left\{ 1 - [1 - p_i(t)]^{m+1} \right\}.$$

Выбор метода исследования. Рассмотрим функциональную схему сети, для которой будут определяться характеристики надежности (рис. 1).

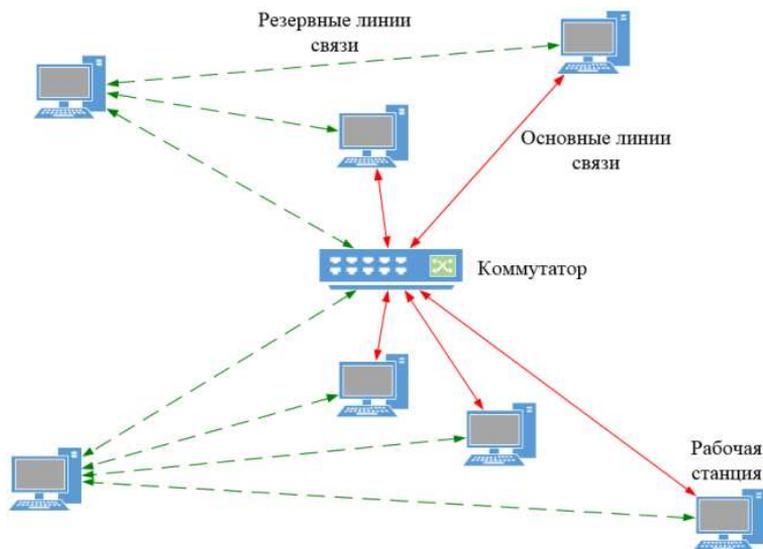


Рис. 1. Функциональная схема сети

Для определения характеристик надежности ЛВС воинской части существует несколько способов, из которых можно выделить наиболее часто используемые: аналитический метод, базирующийся на теории систем массового обслуживания (СМО) и теории вероятностей, и метод имитационного моделирования, применяющийся в совокупности с современными программными продуктами, использующими необходимый математический аппарат.

Для использования второго метода – имитационного моделирования понадобится наличие современного программного продукта, который позволял бы применить проведение численных экспериментов, базирующихся на теории СМО, планирования экспериментов и теории вероятностей [10].

Для использования второго метода – имитационного моделирования понадобится наличие современного программного продукта, который позволял бы применить проведение численных экспериментов, базирующихся на теории СМО, планирования экспериментов и теории вероятностей [11].

Данный метод исследования сложных систем, в том числе и СМО, представляет собой модель, которая имитирует работу реальной системы. Поэтому во многих случаях имитационное моделирова-

ние становится наиболее эффективным, а часто и практически единственным доступным методом исследования систем. Основное преимущество имитационного моделирования перед другими видами моделирования состоит в универсальности.

При исследовании систем со стохастическим характером функционирования результаты, полученные при единичном «прогоне» имитационной модели, носят частный характер. Следовательно, для того чтобы найти одну оценку (одно значение) какой-либо характеристики функционирования системы, необходимо многократно «прогонять» имитационную модель (необходимо получить множество результатов) с последующей статистической обработкой полученных данных. Поэтому в имитационной модели должны быть предусмотрены программные средства сбора и средства последующей статистической обработки данных, полученных в ходе моделирования по интересующим характеристикам системы.

Выбор инструментальных средств и разработка имитационной модели. В качестве такого современного программного продукта можно предложить программу Simulink пакета MatLab.

Simulink – интегрированный с MatLab интерактивный инструмент для моделирования, имитации и анализа динамических систем. Он дает возможность строить графические блоки – диаграммы, имитировать динамические системы, исследовать работоспособность систем, отлаживать и совершенствовать их. Simulink – это платформа для проектирования и имитации работы динамических систем в различных отраслях [4, 7, 8, 9].

Для проведения численных экспериментов были разработаны имитационные модели сети с резервированием и без резервирования в программе Simulink пакета MatLab.

Основными подсистемами имитационной модели являются: подсистема коммутатора, подсистема рабочей станции и подсистема резервирования.

Анализ полученных результатов. При проведении численных экспериментов на представленных имитационных моделях были получены графические и аналитические зависимости для определения характеристик надежности ЛВС воинской части (рис. 2–4).

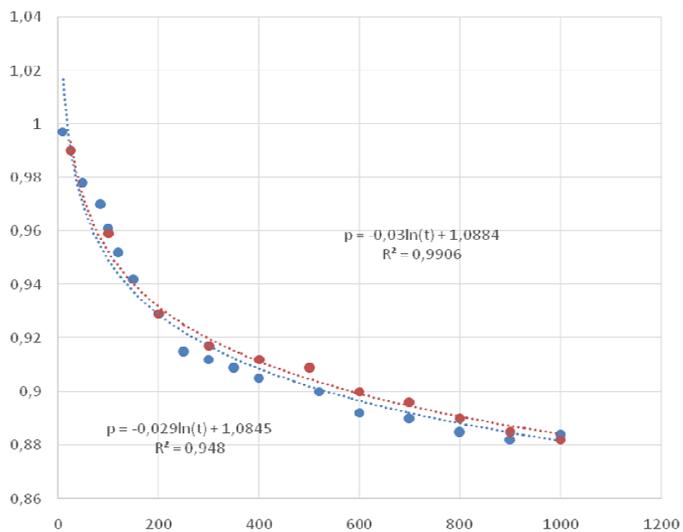


Рис. 2. Зависимость $p(t)$

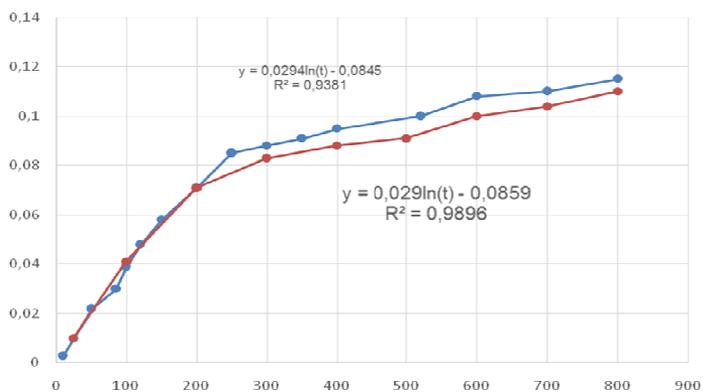


Рис. 3. Зависимость $q(t)$

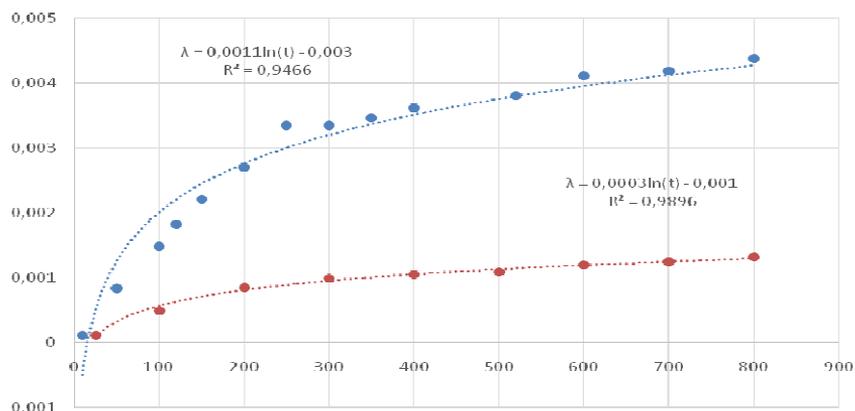


Рис. 4. Зависимость $\lambda(t)$

Заключение. Таким образом, средства имитационного моделирования можно использовать для проведения численных экспериментов с целью определения характеристик надежности локальных вычислительных сетей как на этапе предварительных проектных оценок, так и при их эксплуатации.

При этом, как показывает практика, погрешность такой оценки находится в пределах 5–10 %.

Библиографический список

1. Вишневский В.М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей. – М.: Техносфера, 2003. – С. 117–121.
2. Черкесов Г.Н. Надежность аппаратно-программных комплексов. – СПб.: Питер, 2005.
3. Сарвин А.А., Абакулина Л.И., Готшалк О.А. Диагностика и надежность автоматизированных систем: Письменные лекции. – СПб.: Изд-во СЗТУ, 2003. – С. 59–73.
4. Морозов В.К. Моделирование информационных и динамических систем. – М.: Академия, 2011. – С. 251–261.
5. Ананьев А.Н. Разработка и исследование методов расчета надежности корпоративных сетей региональных операторов связи // Электросвязь. – 2002. – № 10. – С. 30–33.
6. Половко А.М., Гуров С.В. Основы теории надежности. – 2-е изд., пер. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 702 с.
7. Дьяконов В.П. Simulink: Самоучитель. – М.: ДМК-Пресс, 2013. – 784 с.
8. Файзутдинов Р.Н. Математическое моделирование сложных систем: лабораторный практикум. – Казань: Изд-во Казан. нац. исслед. техн. ун-та им. А.Н. Туполева, 2013. – 69 с.
9. Кельтон В., Лоу А. Имитационное моделирование. Классика CS. – 3-е изд. – СПб.: Питер; Киев: Изд. группа БХВ, 2004. – 847 с.
10. Лазарев Ю. Моделирование процессов и систем в MatLab: учеб. курс. – СПб.: Питер; Киев: Изд. группа БХВ, 2005. – 512 с.
11. Морозов В.К., Рогачев Г.Н. Моделирование информационных и динамических систем. – М.: Академия, 2011. – 384 с.

References

1. Vishnevskii V.M. Teoreticheskie osnovy proektirovaniia komp'iuternykh setei [Theoretical bases of computer networks design]. Moscow: Tekhnosfera, 2003, pp. 117-121.
2. Cherkesov G.N. Nadezhnost' apparatno-programmnykh kompleksov [The reliability of software and hardware systems]. Saint Petersburg: Piter, 2005.
3. Sarvin A.A., Abakulina L.I., Gotshal'k O.A. Diagnostika i nadezhnost' avtomatizirovannykh sistem: Pis'mennye lektsii [Diagnostics and reliability of automated systems: written lectures]. Saint Petersburg: Severo-Zapadnyi tekhnicheskii universitet, 2003, pp. 59-73.
4. Morozov V.K. Modelirovanie informatsionnykh i dinamicheskikh sistem [Information and dynamical systems modelling]. Moscow: Akademiia, 2011, pp. 251-261.
5. Anan'ev A.N. Razrabotka i issledovanie metodov rascheta nadezhnosti korporativnykh setei regional'nykh operatorov svyazi [Development and research of methods for calculating the reliability of regional operators corporate networks]. *Elektrosviaz'*, 2002, no. 10, pp. 30-33.
6. Polovko A.M., Gurov S.V. Osnovy teorii nadezhnosti [Basic of reliability theory]. Saint Petersburg: BKhV-Peterburg, 2006. 702 p.
7. D'iakonov V.P. Simulink: Samouchitel' [Simulink: Self-teaching guide]. Moscow: DMK-Press, 2013. 784 p.
8. Faizutdinov R.N. Matematicheskoe modelirovanie slozhnykh sistem: laboratornyi praktikum [Mathematical modelling of complex systems: Laboratory-based practical]. Kazanskii natsional'nyi issledovatel'skii tekhnicheskii universitet imeni A.N. Tupoleva, 2013. 69 p.
9. Kel'ton V., Lou A. Imitatsionnoe modelirovanie. Klassika CS [Simulation modelling. Classic CS]. Saint Petersburg: Piter; Kiev: BKhV, 2004. 847 p.
10. Lazarev Iu. Modelirovanie protsessov i sistem v MatLab [Modelling of processes and systems in MatLab]. Saint Petersburg: Piter; Kiev: BKhV, 2005. 512 p.
11. Morozov V.K., Rogachev G.N. Modelirovanie informatsionnykh i dinamicheskikh sistem [Information and dynamical systems modelling]. Moscow: Akademiia, 2011. 384 p.

Сведения об авторах

Павлов Александр Николаевич (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительных машин, комплексов, систем и сетей Пермского военного института внутренних войск МВД России (614112, Пермь, ул. Гремячий Лог, 1).

Гладков Алексей Николаевич (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, заместитель начальника кафедры вычислительных машин, комплексов, систем и сетей Пермского военного института внутренних войск МВД России (614112, Пермь, ул. Гремячий Лог, 1).

Перминов Владимир Геннадьевич (Пермь, Россия) – преподаватель кафедры вычислительных машин, комплексов, систем и сетей Пермского военного института внутренних войск МВД России (614112, Пермь, ул. Гремячий Лог, 1).

About the authors

Pavlov Alexander Nikolaevich (Perm, Russian Federation) is a Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor Department of computers, complexes, systems and networks Perm Military Institute of Internal Troops of Russia (614112, Perm, street Gremyachy Log, 1).

Gladkov Aleksey Nikolaevich (Perm, Russian Federation) is a Ph.D. in Technical Sciences, Deputy head of the Department of computing machines, complexes, systems and networks Perm military Institute of internal troops of the MIA of Russia (614112, Perm, street Gremyachy Log, 1).

Perminov Vladimir Gennadievich (Perm, Russian Federation) is a teacher Department of computers, complexes, systems and networks Perm Military Institute of Internal Troops of Russia (614112, Perm, street Gremyachy Log, 1).

Получено 05.10.2015