

# Исследование влияния внешних деструктивных воздействий на элементы мультисервисной сети связи

С. Н. Новиков, С. А. Петров

В работе приведены результаты имитационного моделирования протоколов маршрутизации MPLS и OSPF в условиях внешних деструктивных воздействий на элементы МСС. При моделировании использовались программные продукты Opnet Modeler v 14.0 и Graphical Network Simulator 3 v 1.3.13 (GNS3).

*Ключевые слова:* мультисервисная сеть связи, маршрутизация, MPLS, OSPF, внешние деструктивные воздействия, имитационное моделирование.

## 1. Постановка задачи

Многочисленные исследования доказывают значительное влияние протоколов сетевого уровня на параметры QoS приложений мультисервисных сетей связи (МСС). Данный факт стимулирует производителей телекоммуникационного оборудования к исследованию, разработке и внедрению новых, более совершенных программно-аппаратных комплексов, реализующих процедуры маршрутизации. Вместе с тем такие комплексы являются структурообразующими для МСС. Это означает, что изменение методов маршрутизации всегда влечет за собой серьезные материальные затраты и проведение глобальных организационно-технических мероприятий на действующих сетях. Желательно иметь универсальные комплексы, реализующие процедуры маршрутизации, способные поддерживать любые технологии формирования пакетов пользовательской информации (АТМ, IP всех версий, Ethernet и т.д.). В результате был разработан протокол MPLS [1], реализующий «статистический» метод формирования плана распределения информации (ПРИ) [2]. Применение MPLS совместно с другими сетевыми технологиями (АТМ, IP всех версий, Ethernet и т.д.) обеспечивает QoS неограниченного спектра приложений и не требует значительных материальных затрат на действующих МСС.

«Статистический» метод формирования ПРИ организует маршрут по накопленной статистике ранее установленных соединений. Это является достоинством данного метода и одновременно серьезным недостатком. Можно предположить, что в условиях внешних деструктивных воздействий на элементы МСС из-за отсутствия статистической информации данный метод не сможет оптимально решать задачи процедур маршрутизации.

В работе [3] было проведено исследование данного предположения. Процесс использования сетевых ресурсов, необходимых для реализации анализируемых методов маршрутизации в МСС, предложено описывать (в общем случае) полиномиальной зависимостью:

$$R^{(ROUT)} = a_n \cdot x^n + a_{n-1} \cdot x^{n-1} + \dots + a_1 \cdot x + a_0. \quad (1)$$

$a_i; i = \overline{0, n}$  – коэффициенты, значения которых зависят от применения метода маршрутизации (ROUT) на сети связи.

$0 \leq x \leq 1$  – переменная, которая определяет степень недоступности общих сетевых ресурсов. Здесь под общим сетевым ресурсом МСС, содержащей  $S$  узлов коммутации,

$$R_o = \sum_{i, j=1; i \neq j}^S r_{ij} \text{ [бит/с]} \quad (2)$$

понимается совокупность средних пропускных способностей линий связи за время наблюдения  $T$

$$r_{ij} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T r_{ij}(t) dt; i, j = \overline{1, S}; i \neq j \text{ [бит/с]}.$$

Переменная  $x$  имеет следующий физический смысл.

1. Влияет на величину средних сетевых ресурсов, необходимых для организации маршрутизации. Действительно,

$$\text{а́ñèè} \begin{cases} x=0, \text{ òí èñí î èüçòř ðñü ì èí èì àèüí ù á ñáðááú á ðáñòðñü ì ðè ì ðí òááòðá ROUT; } \\ x=1, \text{ òí èñí î èüçòř ðñü ì àèñèì àèüí ù á ñáðááú á ðáñòðñü ì ðè ì ðí òááòðá ROUT. } \end{cases}$$

2. Определяет часть сетевых ресурсов, которые подвержены внешним деструктивным воздействиям  $\Psi_-(t)$ . В этом случае средние сетевые ресурсы, оставшиеся после воздействия  $\Psi_-(t)$  на МСС, определяются выражением:

$$R'_o = (1 - x) \cdot R_o = (1 - x) \cdot \sum_{i, j=1; i \neq j}^S r_{ij} \text{ [бит/с]} \quad (3)$$

В этом случае средние сетевые ресурсы, доступные для передачи информации того или иного приложения МСС, определяются выражением:

$$R_{\Pi} = R'_o - R^{(ROUT)} \text{ [бит/с]} \quad (4)$$

В результате, подставляя (1), (2), (3) в выражение (4) и преобразуя с учетом особенностей OSPF и MPLS, был получен теоретический результат, утверждающий, что в условиях внешнего деструктивного воздействия, при котором примерно 30 % сетевых ресурсов МСС выходит из строя, целесообразно применять «лавинные» методы формирования ПРИ (например, OSPF) по сравнению со «статистическим».

Однако предложенный подход имеет значительное ограничение – не учитывается структура сети. В этой связи представляет интерес проведение дополнительного исследования данного результата.

## 2. Выбор среды имитационного моделирования МСС в условиях влияния внешних деструктивных воздействий

В условиях отсутствия возможности проведения натурального эксперимента влияния внешних деструктивных воздействий в качестве инструментария выберем имитационное моделирование и проведем анализ существующих программных средств моделирования МСС.

В табл. 1 приводятся функциональные возможности и особенности некоторых из известных коммерческих и свободно распространяющихся программных продуктов имитационного моделирования телекоммуникационных систем (ТКС).

Таблица 1. Сравнение функциональных возможностей и особенностей некоторых из известных программных средств имитационного моделирования ТКС

Продукт	Реализация OSPF и MPLS	Настройка библиотеки устройств	Мониторинг пакетов сети	Построение графиков	Генерация отчетов	Написание и подключение собственных модулей	Развитый графический интерфейс	Простота освоения	Стоимость, USD
Opnet Modeler	ДА	-	ДА	ДА	ДА	-	ДА	-	~ 20 000
SES/Strategizer	ДА	ДА	ДА	ДА	ДА	ДА	-	ДА	~ 10 000
NetMaker XA	ДА	ДА	ДА	ДА	ДА	ДА	ДА	-	~ 10 000
COMNET III	ДА	ДА	ДА	ДА	ДА	ДА	-	-	~ 20 000
GPSS World Student Version	-	ДА	-	ДА	ДА	-	-	-	Бесплатно
NET-Simulator	-	-	ДА	-	ДА	-	ДА	ДА	Бесплатно
Network Simulator-2	ДА	-	ДА	ДА	ДА	ДА	-	-	Бесплатно
Cisco Packet Tracer Student	Только OSPF	ДА	ДА	-	-	-	ДА	ДА	Условно бесплатно*
Graphical Network Simulator 3	ДА	ДА	ДА	-	-	ДА	ДА	ДА	Бесплатно
OMNeT++ INET Framework	ДА	ДА	ДА	ДА	ДА	ДА	ДА	-	Бесплатно
AnyLogic PLE	-	ДА	-	ДА	ДА	ДА	ДА	ДА	Бесплатно

\* Программа распространяется бесплатно, но доступна только зарегистрированным слушателям и инструкторам Сетевых академий Cisco, а также выпускникам программы Cisco Networking Academy.

Анализ функциональных возможностей средств моделирования ТКС, представленных в табл. 1, позволяет сделать вывод, что наиболее приемлемыми программными продуктами для решения поставленной задачи является Opnet Modeler v 14.0 [5] и Graphical Network Simulator 3 v 1.3.13 (GNS3) [6].

Opnet Modeler позволяет моделировать МСС, обладает всем необходимым для достижения поставленной цели функционалом и является бесплатной в рамках версии Academic Edition, свободно распространяющейся компанией OPNET Technologies по программе University Program.

Однако Opnet Modeler имеет недостаток – настройки сетевого трафика и сетевых элементов в этой программе закрыты от пользователя.

В отличие от Opnet Modeler, GNS3 позволяет проводить и контролировать настройки всех сетевых элементов моделируемой сети связи.

### 3. Выбор структуры мультисервисной сети связи

Для имитационного моделирования выбрана характерная для МСС «ячеистая» структура (рис. 1 а). В ее составе пять локальных сетей связи (LAN 1 ÷ LAN 5), десять маршрутизаторов (Router1 ÷ Router10) и один сервер (Server).

Каждая локальная сеть:

- организована на базе технологии Fast Ethernet;
- на транспортном уровне поддерживается протоколами TCP и UDP;
- содержит 10 компьютеров, подключенных к коммутатору по принципу «звезда»;
- генерирует трафик видеоконференции (Video Conferencing, VC) со скоростью 1350 кбит/с (размер кадра 128\*120 пикселей, частота 10 кадров/сек, разрешение 9 бит на пиксель).

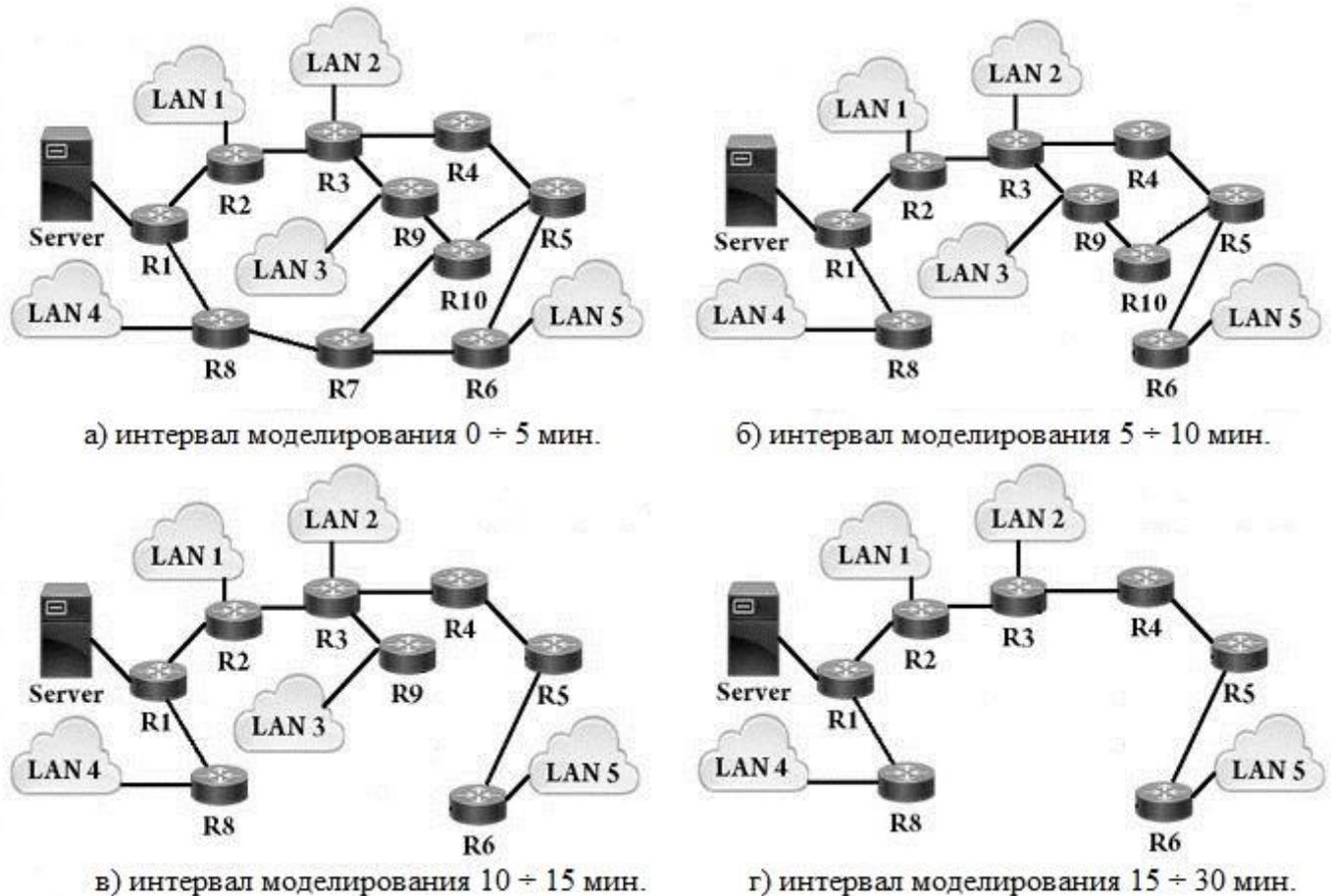


Рис. 1. Изменение общего сетевого ресурса в ходе одного имитационного испытания

Выбор видеоконференции обоснован тем, что именно данное приложение является характерным для МСС и предъявляет высокие требования к QoS.

Локальные сети и сервер подключены к соответствующим маршрутизаторам с помощью кабелей, поддерживающих семейство технологий Ethernet, 100 Мбит/с.

В качестве сервера в Opnet Modeler v 14.0 выступал сервер Sun Ultra. Учитывая, что в качестве приложения выбрана только видеоконференция, организованная на базе клиент-серверной архитектуры, то характеристики сервера Sun Ultra выбраны минимальными: одноядерный процессор с частотой 333 МГц с поддержкой операционной системы Solaris.

В программе GNS3 в качестве сервера выступал виртуальный сервер, созданный в программном продукте виртуализации VirtualBox от компании Oracle на базе операционной системы Windows Server 2012 R2.

#### 4. Описание функционирования анализируемой мультисервисной сети связи в условиях внешних деструктивных воздействий

Процесс исследования влияния внешних деструктивных воздействий на элементы МСС подразумевает следующий сценарий испытаний имитационного моделирования. В одном испытании сеть функционирует в течение 30 минут. Первые 5 минут сеть работает в штатном режиме. На 5-й, 10-й и 15-й минутах последовательно выводятся из строя (в настройках используемых программ) соответственно 9-й (Router9), 5-й (Router5) и 6-й (Router6) маршрутизаторы.

Маршрутизаторы взаимодействуют между собой на канальном уровне по протоколу PPP (Point-to-Point Protocol) и соединены сетевым кабелем с одинаковой, заранее определенной (в каждом имитационном испытании) пропускной способностью  $r = 1$  Гбит/с,  $r = 100$  Мбит/с и  $r = 10$  Мбит/с. Таким образом, последовательный вывод из строя маршрутизаторов и постепенное снижение пропускной способности сетевого кабеля имитирует процесс внешнего деструктивного воздействия. В каждом испытании маршрутизаторы поддерживают только один из двух протоколов: OSPF либо MPLS. Сценарий 30-минутного испытания одинаков для обоих протоколов.

Порядок выхода маршрутизаторов из строя представлен на рис. 2.

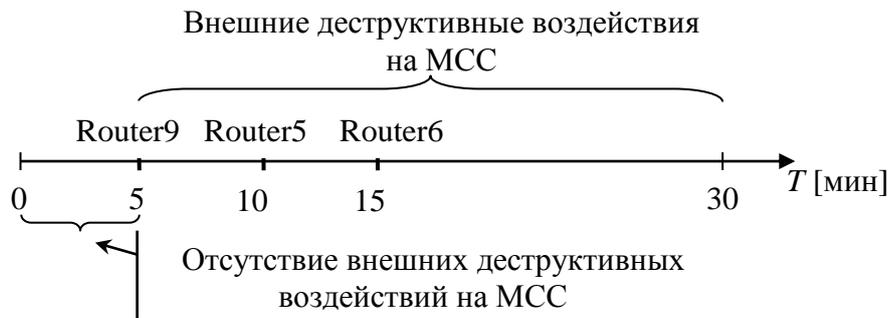


Рис. 2. Порядок выхода маршрутизаторов из строя

Учитывая заданную структуру МСС и одинаковые пропускные способности сетевых кабелей (в каждом имитационном испытании), соединяющих маршрутизаторы, общий сетевой ресурс анализируемой структуры МСС в отсутствие внешних деструктивных воздействий определяется:

$$R_0 = 12 \cdot r. \quad (5)$$

Введем следующие обозначения:

$R_0^{(i)}$ ;  $i = \overline{1,4}$  – общий сетевой ресурс анализируемой МСС в одном имитационном испытании на соответствующем интервале времени, который определяется:

$$\left\{ \begin{array}{ll} R_0^{(1)} = 12 \cdot r & \text{интервал моделирования } 0 \div 5 \text{ минут;} \\ R_0^{(2)} = 9 \cdot r & \text{интервал моделирования } 5 \div 10 \text{ минут;} \\ R_0^{(3)} = 7 \cdot r & \text{интервал моделирования } 10 \div 15 \text{ минут;} \\ R_0^{(4)} = 6 \cdot r & \text{интервал моделирования } 15 \div 30 \text{ минут.} \end{array} \right. \quad (6)$$

На рис. 3 представлено изменение структуры анализируемой МСС и соответствующего общего сетевого ресурса в ходе одного имитационного испытания на интервалах моделирования: а)  $0 \div 5$  минут, б)  $5 \div 10$  минут, в)  $10 \div 15$  минут, г)  $15 \div 30$  минут.

## 5. Анализ результатов имитационного моделирования

На рис. 3–5 представлены результаты имитационного моделирования анализируемой MCC с поддержкой протоколов MPLS и OSPF с использованием Opnet Modeler v 14.0 при пропускных способностях сетевого кабеля  $r = 1$  Гбит/с,  $r = 100$  Мбит/с и  $r = 10$  Мбит/с. Здесь  $N_{\text{потерь}}$  – количество потерянных пакетов VC за единицу времени.



Рис. 3. Пропускная способность  $r = 1$  Гбит/с

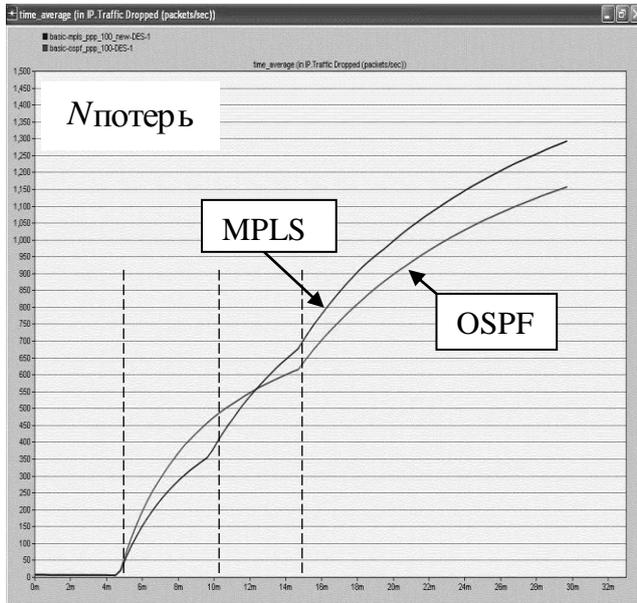


Рис. 4. Пропускная способность  $r = 100$  Мбит/с

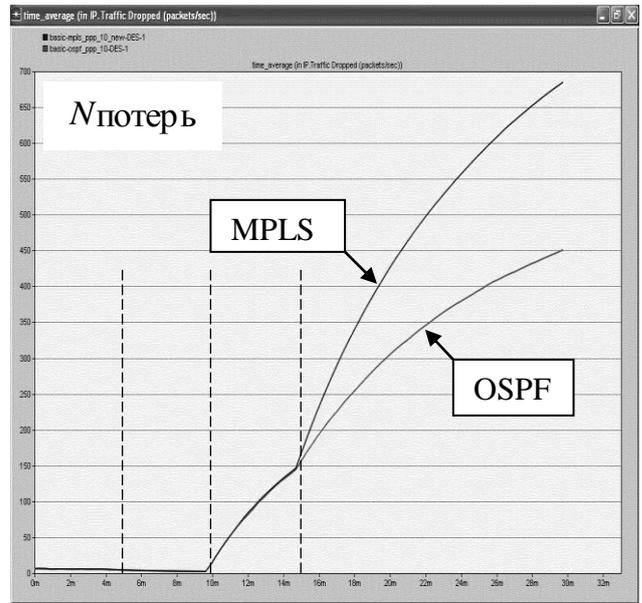
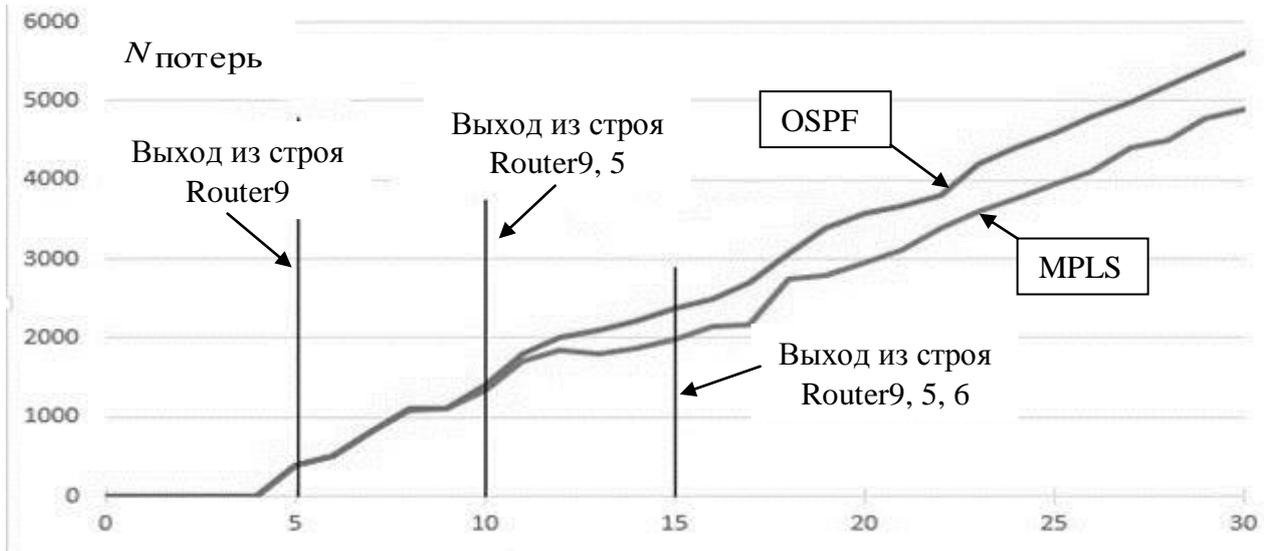
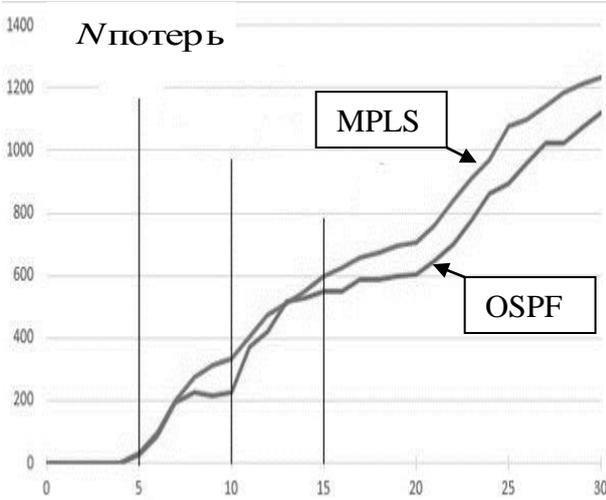
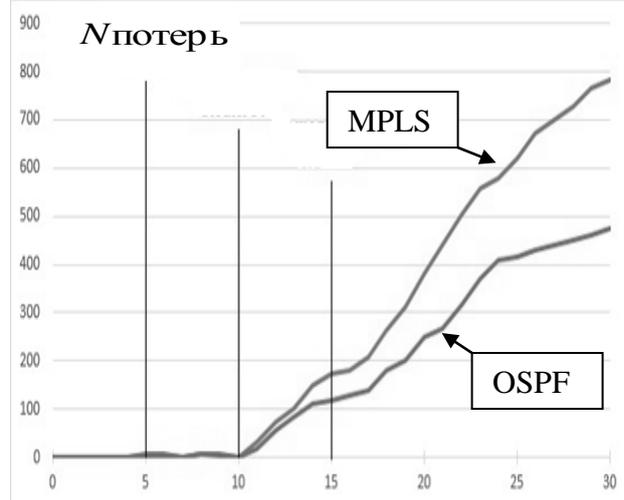


Рис. 5. Пропускная способность  $r = 10$  Мбит/с

На рис. 6–8 представлены результаты имитационного моделирования анализируемой MCC с поддержкой протоколов MPLS и OSPF с использованием GNS3 v 1.3.13 при пропускных способностях сетевого кабеля  $r = 1$  Гбит/с,  $r = 100$  Мбит/с и  $r = 10$  Мбит/с.

Рис. 6. Пропускная способность  $r = 1$  Гбит/сРис. 7. Пропускная способность  $r = 100$  Мбит/сРис. 8. Пропускная способность  $r = 10$  Мбит/с

С учетом (6) рассчитаем значение коэффициента неопределенности состояния сетевых ресурсов  $x$  в (1) (степень недоступности общих сетевых ресурсов анализируемой сети) [1] по следующему правилу:

$$x_i = \frac{R_0 - R_i^{(i)}}{R_0}; i = \overline{1, 4}.$$

Опустим индекс  $i$  при  $x_i$  и проведем нормирование результатов моделирования:

$$\bar{N} = 1 - \frac{N_{\text{потерь}}}{N_{\text{потерь}}^{(j)}(\text{max})}; j = \overline{1, 3},$$

где  $N_{\text{потерь}}^{(j)}(\text{max}); j = \overline{1, 3}$  – максимальное значение  $N_{\text{потерь}}$  в каждом из трех испытаний имитационного моделирования.

Полученные результаты расчетов представлены соответственно на рис. 9–14.

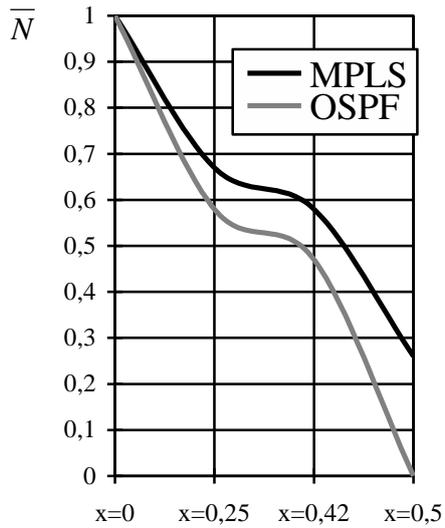


Рис. 9. Нормированные результаты моделирования в Opnet Modeler v 14.0 при  $r = 1000$  Мбит/с

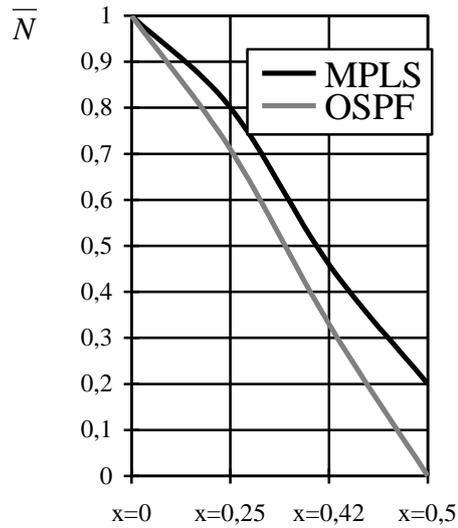


Рис. 10. Нормированные результаты моделирования в GNS3 v 1.3.13 при  $r = 1000$  Мбит/с

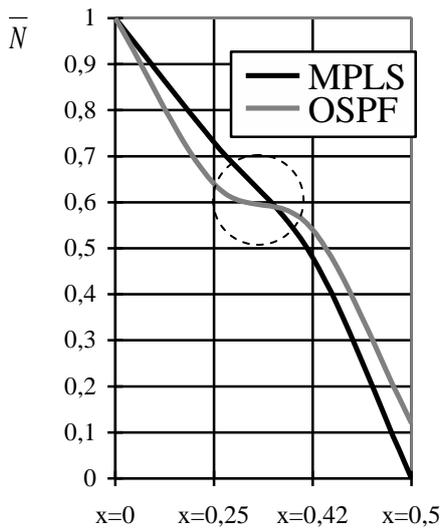


Рис. 11. Нормированные результаты моделирования в Opnet Modeler v 14.0 при  $r = 100$  Мбит/с

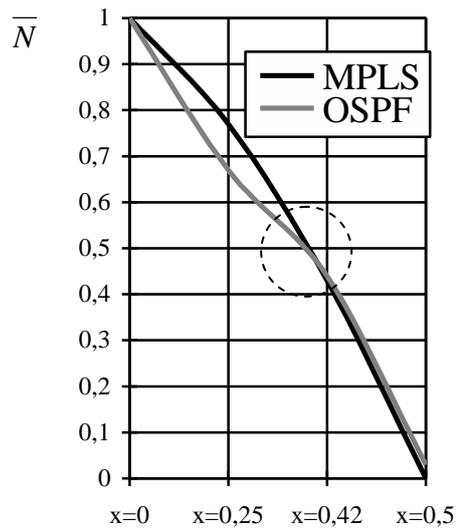


Рис. 12. Нормированные результаты моделирования в GNS3 v 1.3.13 при  $r = 100$  Мбит/с

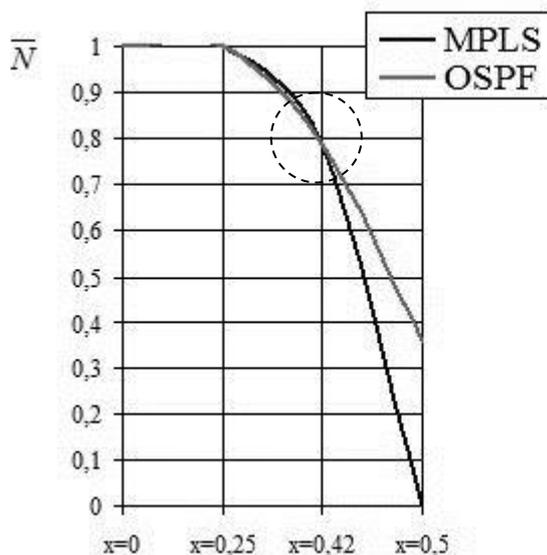


Рис. 13. Нормированные результаты моделирования в Opnet Modeler v 14.0 при  $r = 10$  Мбит/с

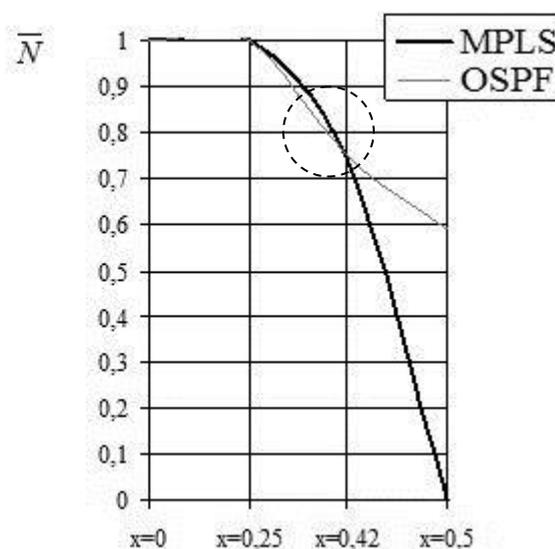


Рис. 14. Нормированные результаты моделирования в GNS3 1.3.13 при  $r = 10$  Мбит/с

## 6. Заключение

Результаты имитационного моделирования подтверждают, что в условиях внешних деструктивных воздействий, при которых примерно 30 % сетевых ресурсов МСС выходит из строя, целесообразно применять «лавинный» метод формирования ПРИ по сравнению со «статистическим».

## Литература

1. RFC 3031. Multiprotocol Label Switching Architecture, January 2001.
2. Новиков С. Н. Классификация методов маршрутизации в мультисервисных сетях связи // Вестник СибГУТИ. 2013. № 2 (25). С. 92–96.
3. Новиков С. Н. Анализ влияния методов маршрутизации на объем доступных сетевых ресурсов // Науч.-техн. ведомости СПбГПУ. 2009. С. 41–47.
4. RFC 5340. OSPF for IPv6, July 2008.
5. OPNET is now part of Riverbed Steel Central. Внутренний ресурс официального сайт компании Riverbed Technology. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.riverbed.com/products/steelcentral/opnet.html?redirect=opnet> (дата обращения: 9.10.2015).
6. GNS3. The software that empowers network professionals. Внутренний ресурс официального сайта компании GNS3 Technologies. [Электронный ресурс]. URL: <https://community.gns3.com/software> (дата обращения: 21.08.2015).

Статья поступила в редакцию 08.02.2016

**Новиков Сергей Николаевич**

к.т.н., профессор кафедры БиУТ СибГУТИ (630102, Новосибирск, ул. Кирова, 86)  
тел. (383) 2-698-245, e-mail: snovikov@ngs.ru

**Петров Сергей Анатольевич**

специалист по информационной безопасности (630102, Новосибирск, ул. Кирова, 86) тел.  
8-983-312-60-40, e-mail: iamsergey9@mail.ru

**Investigation of external destructive influence on the elements of multiservice communication network**

**S. Novikov, S. Petrov**

In this article, the results of MPLS and OSPF simulation routing protocol in external destructive influence environment on the elements of multiservice communication network are presented. While simulating, Opnet Modeler v 14.0 and Graphical Network Simulator 3 v 1.313 (GNS3) software products were used.

*Keywords:* multiservice, communication network, routing, MPLS, OSPF, external destructive influence, simulation