

УДК 004.942

DOI: 10.12737/article\_5a02fa00087d52.69916122

А.С. Пузанов, К.А. Батенков, А.Е. Миронов, М.В. Илюшин

## ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕТИ СВЯЗИ В УСЛОВИЯХ ВЛИЯНИЯ ОТКАЗОВ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММЫ RIVERBED

Рассмотрено имитационное моделирование протокола маршрутизации *RIP* на базе сети связи с коммутацией пакетов. В программе *Riverbed* смоделирован фрагмент сети связи с пакетной коммутацией, произведены измерения вероятностных характеристик трафика протокола маршрутизации, проведен анализ результатов и сделаны выводы по

применению протокола при построении сетей связи.

**Ключевые слова:** имитационное моделирование, сеть связи, протоколы маршрутизации, вероятностные характеристики трафика, программный продукт *Riverbed*.

A.S. Puzanov, K.A. Batenkov, A.E. Mironov, M.V. Ilyushin

## COMMUNICATIONS NETWORK SIMULATION UNDER CONDITIONS OF FAILURE IMPACT USING RIVERBED PROGRAM

At present high demands are made to communication services. A lot of different factors, for example, a failure of communication lines and nodes, affect quality of services offered. At the new network development or updating of already existing one it is necessary to take into account this factor. For this problem solution one resorts to a simulation.

The paper reports the analysis of *RIP* routing protocol simulation on the basis of a communication network with package switching. In *Riverbed* program there is modeled a fragment of the communication network with the package switching, the probability characteristics measurements of the routing protocol

traffic are carried out, the results analysis is fulfilled and conclusions for the protocol application at the communication network formation are drawn.

The results presented in the paper may be used for new solutions substantiation at traffic routing in communication networks affected by various sorts of destabilizing factors.

The analysis of *RIP* routing protocol traffic presented in the paper may be used for the application updating in communication networks of *RIP* protocol.

**Key words:** simulation, communications network, routing protocols, traffic probability characteristics, Riverbed software product.

### Введение

В настоящее время к услугам связи предъявляются высокие требования. На качество предоставляемых услуг влияет множество различных факторов, например выход из строя линий и узлов связи. При разработке новой сети или модернизации уже существующей необходимо учесть этот фактор. Для решения этой задачи прибегают к имитационному моделированию.

Цель работы - исследование вероятностных характеристик трафика протоколов маршрутизации на основе имитационного моделирования.

Задачами работы являются построение имитационной модели сети связи, ис-

пользующей протокол маршрутизации *RIP*, исследование статистических зависимостей трафика в условиях отказа линий связи, анализ полученных результатов исследований трафика протокола маршрутизации *RIP*. Результаты, представленные в статье, могут быть использованы для обоснования новых решений при маршрутизации трафика в сетях связи, на которые воздействуют различного рода дестабилизирующие факторы. Представленный в работе анализ трафика протокола маршрутизации *RIP* может быть использован для совершенствования применения на сетях связи протокола *RIP*.

### Создание модели сети связи

Для анализа статистических зависимостей трафика в условиях отказа линий связи создана небольшая сеть на основе стека протоколов *TCP/IP*, которая включает в себя два компьютера, восемь маршрутизаторов, линии связи между этими элементами с учетом резервирования для надежной работы в условиях влияния на них дестабилизирующих факторов. В качестве программного продукта для имитационного моделирования сети связи будет использоваться программа *Riverbed*. Она опирается в своей работе на информацию о расположении сети, количестве линий и узлов связи, настройке элементов сети, скоростях передачи данных, используемых протоколах и типе оборудования. После настройки созданной модели будут смоделированы отказы линий связи, возникающие в случайные моменты времени. Будут проанализированы такие характеристики, как задержка передачи *IP*-пакетов, коэф-

фициент потерь *IP*-пакетов, время сходимости сети при использовании различных протоколов маршрутизации. Имитационная модель сети связи с отказами представлена на рис. 1.

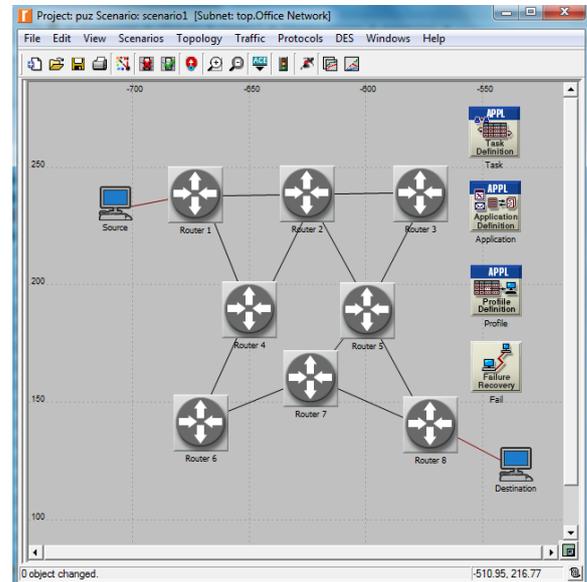


Рис. 1. Модель сети связи с отказами

### Исследование статистических зависимостей трафика потока информации в сети связи с отказами, использующей протокол RIP

С помощью построенной имитационной модели, изображенной на рис. 1, проведен анализ влияния среднего времени между отказами линий связи  $\tau$  и среднего времени восстановления линий связи  $\theta$  на задержку передачи *IP*-пакетов  $t$ , коэффициент потерь *IP*-пакетов  $p$ , время сходимости сети связи  $T$ , скорость  $V$  передаваемого протоколом маршрутизации *RIP* трафика. Среднее время между отказами линий связи  $\tau$  в ходе проведения экспериментов составляло 30, 100, 300, 1000, 3000,

10000 с, а среднее время восстановления линий связи  $\theta$  - 3, 30, 300, 3000 с. В имитационной модели на фрагменте сети связи в качестве протокола маршрутизации использовался протокол *RIP*. В качестве транспортного протокола использовались протоколы *TCP* и *UDP*. Размер передаваемого *IP*-пакета составлял 10 кбайт. Результаты измерений задержки передачи *IP*-пакетов  $t$  при использовании транспортного протокола *UDP* представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты измерений задержки передачи *IP*-пакетов ( $t$ , с) при использовании транспортного протокола *UDP*

$\theta$ , с	$\tau$ , с					
	30	100	300	1000	3000	10000
3	–	0,08381	0,0713	0,0717	0,07068	0,07063
30	–	0,1191	0,1305	0,071	0,07662	0,07118
300	–	0,0751	0,0747	0,0723	0,07215	0,0708
3000	–	–	–	–	0,0746	0,073

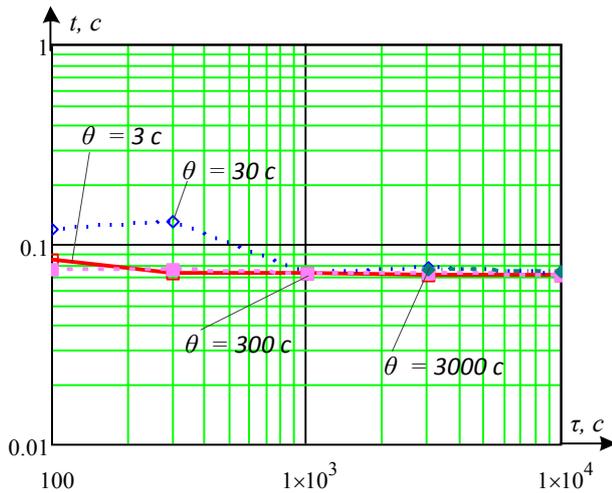


Рис. 2. Зависимость задержки передачи IP-пакетов  $t$  от среднего времени между отказами линий связи  $\tau$  при различных значениях среднего времени восстановления линий связи  $\theta$  и использовании транспортного протокола  $UDP$

Зависимость задержки передачи IP-

пакетов  $t$  от среднего времени между отказами линий связи  $\tau$  при различных значениях среднего времени восстановления линий связи  $\theta$  и использовании транспортного протокола  $UDP$  изображена на рис. 2.

При анализе графиков, изображенных на рис. 2, видно, что при увеличении среднего времени между отказами линий связи  $\tau$ , среднего времени восстановления линий связи  $\theta$  значения задержки передачи IP-пакетов  $t$  почти не изменяются. Это связано с тем, что использование транспортного протокола  $UDP$  не предполагает гарантированной доставки IP-пакетов до необходимого адресата, вследствие чего IP-пакеты теряются в сети и не дублируются протоколом  $UDP$ .

Результаты измерений задержки передачи IP-пакетов  $t$  при использовании транспортного протокола  $TCP$  представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты измерений задержки передачи IP-пакетов ( $t$ , с) при использовании транспортного протокола  $TCP$

$\theta$ , с	$\tau$ , с					
	30	100	300	1000	3000	10000
3	–	8,41	3,57	1,04	0,51	0,178
30	–	4,1	3,2	0,7849	0,70224	0,28
300	–	0,12	0,12	1,36	0,33	0,1042
3000	–	–	–	–	0,81	0,116

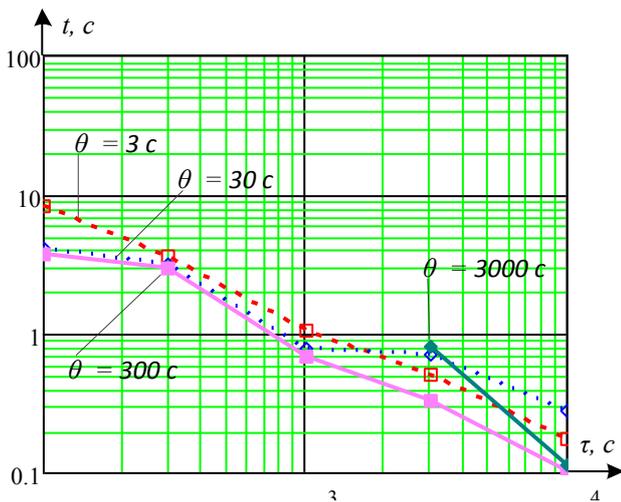


Рис. 3. Зависимость задержки передачи IP-пакетов  $t$  от среднего времени между отказами линий связи  $\tau$  при различных значениях среднего времени восстановления линий связи  $\theta$  и использовании транспортного протокола  $TCP$

Зависимость задержки передачи IP-пакетов  $t$  от среднего времени между отка-

зами линий связи  $\tau$  и среднего времени восстановления линий связи  $\theta$  при использовании транспортного протокола  $TCP$  изображена на рис. 3.

При анализе графиков, изображенных на рис. 3, видно, что при увеличении среднего времени между отказами линий связи  $\tau$  при различных значениях среднего времени восстановления линий связи  $\theta$  значения задержки передачи IP-пакетов  $t$  уменьшаются. Это связано с тем, что использование транспортного протокола  $TCP$  предполагает гарантированную доставку IP-пакетов до адресата, вследствие чего транспортный протокол  $TCP$  повторно дублирует передачу потерянных пакетов в сети.

Результаты измерений коэффициента потерь IP-пакетов  $p$  при использовании транспортного протокола  $UDP$  представлены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты измерений коэффициента потерь  $IP$ -пакетов ( $p$ ) при использовании транспортного протокола  $UDP$

$\theta, c$	$\tau, c$					
	30	100	300	1000	3000	10000
3	0	0,345	0,1447	0,0539	0,032	0,0135
30	0	0,683	0,2924	0,1106	0,03843	0,026
300	0	0,786	0,9573	0,589	0,1152	0,033
3000	1	1	1	1	0,1402	0,0204

Зависимость коэффициента потерь  $IP$ -пакетов  $p$  от среднего времени между отказами линий связи  $\tau$  при различных значениях среднего времени восстановления линий связи  $\theta$  и использовании транспортного протокола  $UDP$  изображена на рис. 4.

При анализе графиков, изображенных на рисунке 4, наблюдается тенденция уменьшения коэффициента потерь  $IP$ -пакетов  $p$  при увеличении среднего времени между отказами линий связи  $\tau$  при различных значениях среднего времени восстановления линий связи  $\theta$ . Это связано с тем, что при увеличении среднего времени

между отказами линий связи  $\tau$  увеличивается время нормального функционирования сети, следовательно, количество отброшенных  $IP$ -пакетов снижается. Также следует отметить увеличение значений коэффициента потерь  $IP$ -пакетов  $p$  при возрастании среднего времени восстановления линий связи  $\theta$ , что свидетельствует об уменьшении времени нормального функционирования сети связи.

Результаты измерений коэффициента потерь  $IP$ -пакетов  $p$  при использовании транспортного протокола  $TCP$  представлены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты измерений коэффициента потерь  $IP$ -пакетов ( $p$ ) при использовании транспортного протокола  $TCP$

$\theta, c$	$\tau, c$					
	30	100	300	1000	3000	10000
3	1	0,2927	0,0338	0,00002	0,0000312	0,000021
30	1	0,2579	0,245	0,0552	0,000083	0,00712
300	1	0,4580	0,5377	0,0967	0,0073	0,00191
3000	1	1	1	1	0,0325	0,00907

Зависимость коэффициента потерь  $IP$ -пакетов  $p$  от среднего времени между отказами линий связи  $\tau$  при различных значениях среднего времени восстановления линий связи  $\theta$  и использовании транспортного протокола  $TCP$  изображена на рис. 5.

При анализе графиков, изображенных на рис. 5, наблюдается тенденция уменьшения коэффициента потерь  $IP$ -пакетов  $p$  при увеличении среднего времени между отказами линий связи  $\tau$ , как и на рис. 4.

При сравнении графиков, изображенных на рис. 4 и 5, отчетливо видно, что значения коэффициента потерь  $IP$ -пакетов  $p$  меньше при использовании транспортного протокола  $TCP$ , чем при протоколе  $UDP$ . Этот факт подтверждает контроль доставки  $IP$ -пакетов протоколом  $TCP$  до конечного адресата. Следует также отметить факт наличия порога работоспособности транспортного протокола  $TCP$ , что объясняется невозможностью доставки  $IP$ -пакетов до адресата, даже с использованием повторных запросов, при значительном времени простоя сети связи.

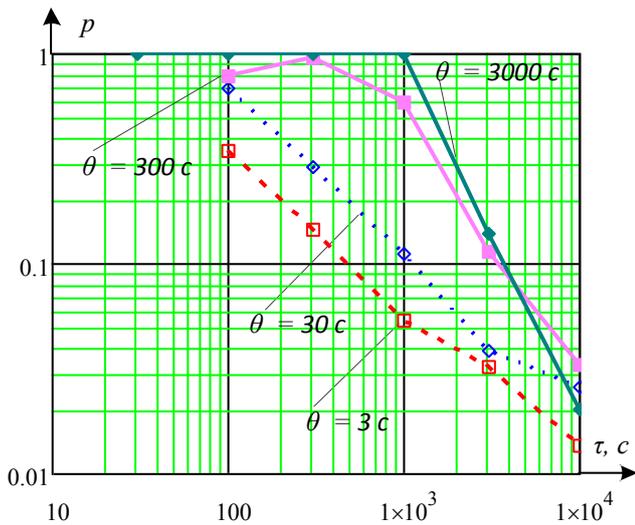


Рис. 4. Зависимость коэффициента потерь IP-пакетов  $p$  от среднего времени между отказами линий связи  $\tau$  при различных значениях среднего времени восстановления линий связи  $\theta$  и использовании транспортного протокола UDP

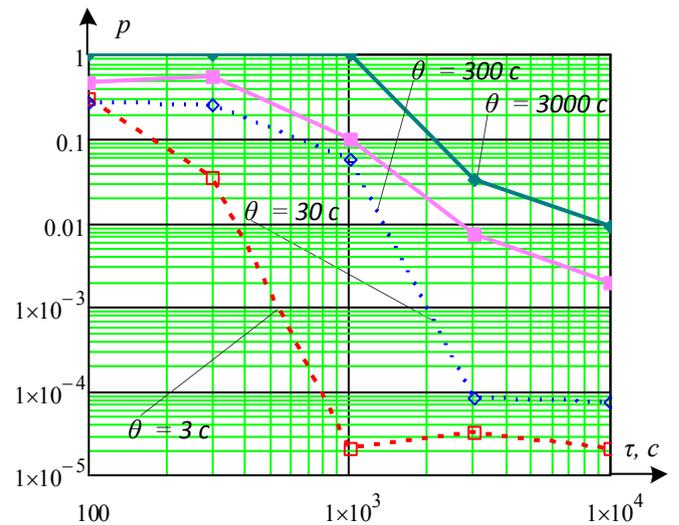


Рис. 5. Зависимость коэффициента потерь IP-пакетов  $p$  от среднего времени между отказами линий связи  $\tau$  при различных значениях среднего времени восстановления линий связи  $\theta$  и использовании транспортного протокола TCP

Результаты измерений времени сходимости сети  $T$  при использовании транспортного протокола UDP представлены в табл. 5.

Зависимость времени сходимости сети  $T$  от среднего времени между отказами

линий связи  $\tau$  при различных значениях среднего времени восстановления линий связи  $\theta$  и использовании транспортного протокола UDP изображена на рис. 6.

Таблица 5

Результаты измерений времени сходимости сети ( $T$ , с) при использовании транспортного протокола UDP

$\theta$ , с	$\tau$ , с					
	30	100	300	1000	3000	10000
3	0	489	61,4	19	15,6	11,8
30	0	650	110,7	37,9	27,41	19,4
300	0	41	35,8	26,2	16,5	16
3000	1,8	5,3	7,9	6,81	11,5	11,15

При анализе графиков, изображенных на рис. 6, видно, что увеличение среднего времени между отказами линий связи  $\tau$  при значениях среднего времени восстановления  $\theta = 3, 30, 300$  с приводит к уменьшению времени сходимости сети  $T$ . Данное явление объясняется тем, что маршрутизаторы успевают обновить свои маршрутные таблицы до того момента, когда возникают все реже появляющиеся отказы линий связи. При среднем времени восстановления линий связи  $\theta = 3000$  с значения времени сходимости сети  $T$  меньше, чем при значениях среднего времени восстановления линий связи  $\theta = 3,$

$30, 300$  с. Это объясняется тем, что при среднем времени восстановления линий связи  $\theta = 3000$  с количество сходимостей сети мало, оно начинает расти при увеличении среднего времени между отказами линий связи  $\tau$ . При малых значениях среднего времени между отказами линий связи  $\tau$  время сходимости сети  $T$  вычисляется на основе результатов, полученных при инициализации работы сети связи, которые существенно ниже значений времени сходимости сети при эксплуатации сети связи.

Отсутствие некоторых значений на рис. 6, например значений времени сходимости сети при среднем времени между

отказами линий связи  $\tau = 30$  с и среднем времени восстановления линий связи  $\theta = 3, 30, 300$  с, говорит о том, что маршрутизаторы не успевают обновлять маршрутные таблицы, как уже снова появляются отказы линий связи.

Результаты измерений времени сходимости сети  $T$  при использовании транспортного протокола  $TCP$  представлены в табл. 6.

Таблица 6

Результаты измерений времени сходимости сети ( $T, c$ ) при использовании транспортного протокола  $TCP$

$\theta, c$	$\tau, c$					
	30	100	300	1000	3000	10000
3	0	550	62,6	17,58	19,12	12,5
30	0	546	124	35,4	24,25	18,75
300	0	29,1	28,4	26,9	19,25	14
3000	2,61	3,5	4,21	7	9,94	11,08

Зависимость времени сходимости сети  $T$  от среднего времени между отказами линий связи  $\tau$  при различных значениях среднего времени восстановления линий связи  $\theta$  и использовании транспортного протокола  $TCP$  изображена на рис. 7.

При анализе графиков, изображенных на рис. 7, наблюдается такая же тенденция уменьшения времени сходимости сети  $T$  при увеличении среднего времени между отказами линий связи  $\tau$  при значениях среднего времени восстановления  $\theta = 3, 30, 300$  с, как на рис. 6.

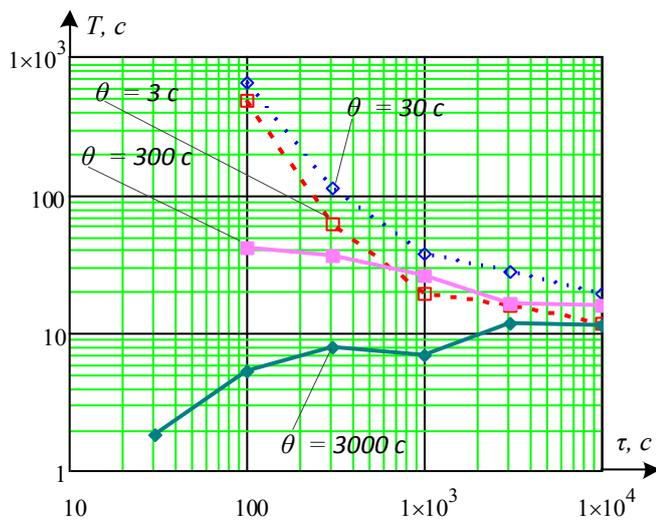


Рис. 6. Зависимость времени сходимости сети  $T$  от среднего времени между отказами линий связи  $\tau$  при различных значениях среднего времени восстановления линий связи  $\theta$  и использовании транспортного протокола  $UDP$

Данное явление объясняется тем, что транспортные протоколы  $UDP$  и  $TCP$  в малой степени влияют на процесс сходимости сети, что подтверждается почти одинаковыми значениями времени сходимости

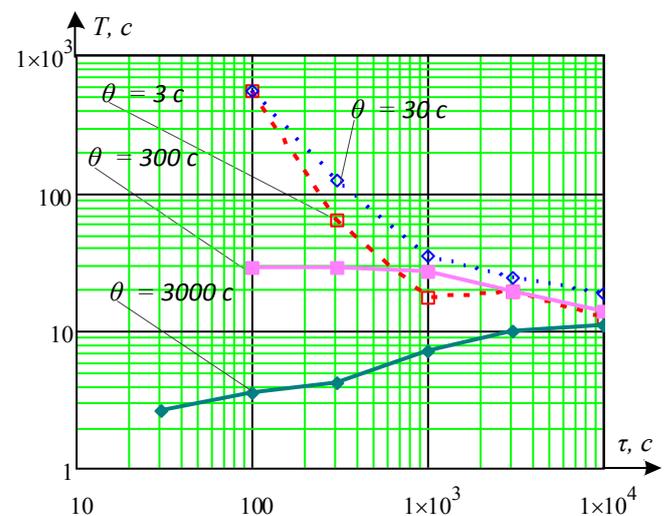


Рис. 7. Зависимость времени сходимости сети  $T$  от среднего времени между отказами линий связи  $\tau$  при различных значениях среднего времени восстановления линий связи  $\theta$  и использовании транспортного протокола  $TCP$

сети  $T$  при реализации этих транспортных протоколов.

Результаты измерений скорости передаваемого протоколом  $RIP$  трафика  $V$  при использовании транспортного протокола  $UDP$  представлены в табл. 7.

Таблица 7

Результаты измерений скорости передаваемого протоколом *RIP* трафика ( $V$ , байт/с) при использовании транспортного протокола *UDP*

$\theta$ , с	$\tau$ , с					
	30	100	300	1000	3000	10000
3	0	2977	2162	1830	1742	1700
30	0	3103	2310	1894	1771	1705
300	0	1900	1938	1845	1752	1703
3000	1714	1714	1717	1720	1715	1699

Зависимость скорости передаваемого трафика  $V$  от среднего времени между отказами линий связи  $\tau$  при различных значениях среднего времени восстановления линий связи  $\theta$  и использовании транспортного протокола *UDP* изображена на рис. 8.

При анализе графиков, изображенных на рис. 8, наблюдается снижение скорости передаваемого протоколом *RIP* трафика  $V$  при увеличении среднего времени между отказами линий связи  $\tau$ . Это явление отражает тот факт, что при увеличении среднего времени между отказами линий связи  $\tau$  маршрутизаторам приходится реже

обновлять свои маршрутные таблицы, тем самым уменьшается количество передаваемых *IP*-пакетов.

При среднем времени восстановления линий связи  $\theta = 3000$  с скорость передаваемого протоколом *RIP* трафика  $V$  почти не изменяется и колеблется около значения 1700 байт/с, что объясняется невозможностью передачи трафика из-за длительного простоя сети связи.

Результаты измерений скорости передаваемого протоколом *RIP* трафика  $V$  при использовании транспортного протокола *TCP* представлены в табл. 8.

Таблица 8

Результаты измерений скорости передаваемого протоколом *RIP* трафика ( $V$ , байт/с) при использовании транспортного протокола *TCP*

$\theta$ , с	$\tau$ , с					
	30	100	300	1000	3000	10000
3	0	2973	2148	1840	1738	1700
30	0	3100	2309	1890	1770	1709
300	0	1900	1962	1850	1754	1700
3000	1711	1711	1711	1714	1716	1701

Зависимость скорости передаваемого трафика  $V$  от среднего времени между отказами линий связи  $\tau$  при различных значениях среднего времени восстановления линий связи  $\theta$  и использовании транспортного протокола *TCP* изображена на рис. 9.

При анализе графиков, изображенных на рис. 9, наблюдается тенденция снижения скорости передаваемого протоколом *RIP* трафика  $V$  при увеличении среднего времени между отказами линий

связи  $\tau$ , как и на рис. 8. Значения скорости  $V$  передаваемого протоколом *RIP* трафика при использовании транспортного протокола *TCP* почти идентичны значениям скорости  $V$  передаваемого протоколом *RIP* трафика при использовании транспортного протокола *UDP*, что свидетельствует об отсутствии влияния транспортных протоколов на скорость передаваемого протоколом *RIP* трафика  $V$ .

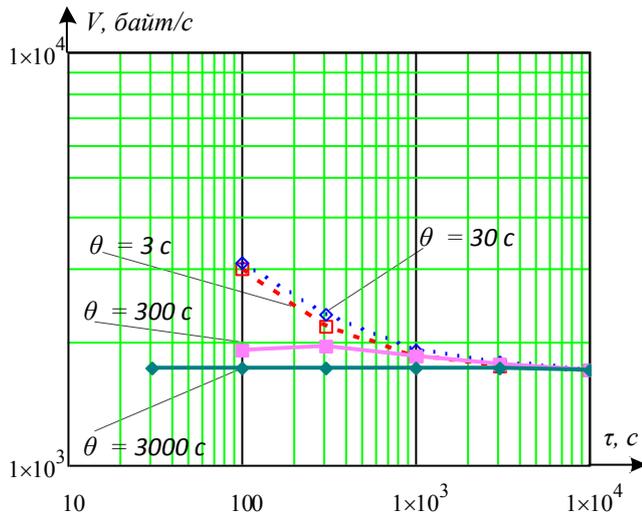


Рис. 8. Зависимость скорости передаваемого протоколом *RIP* трафика  $V$  от среднего времени между отказами линий связи  $\tau$  при различных значениях среднего времени восстановления линий связи  $\theta$  и использовании транспортного протокола *UDP*

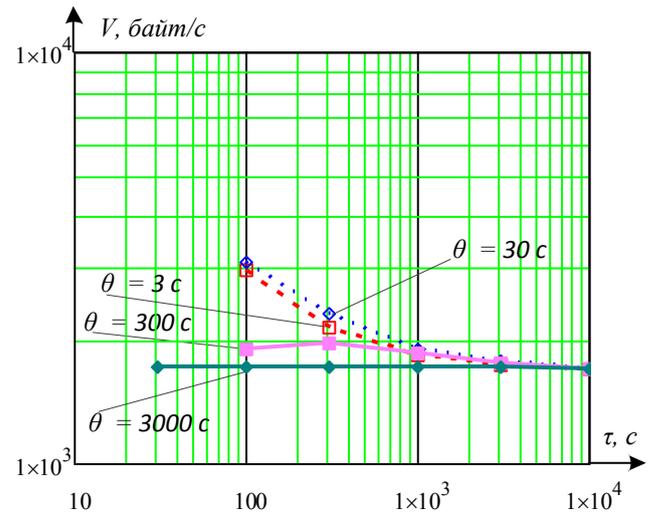


Рис. 9. Зависимость скорости передаваемого протоколом *RIP* трафика  $V$  от среднего времени между отказами линий связи  $\tau$  при различных значениях среднего времени восстановления линий связи  $\theta$  и использовании транспортного протокола *TCP*

## Заключение

На основе результатов, полученных при снятии статистических данных с имитационной модели протокола маршрутизации *RIP*, был проведен анализ статистических данных трафика и сформулированы следующие выводы:

- для трафика реального времени отказы в сети связи не оказывают влияния на его временные параметры качества функционирования, что позволяет не учитывать особенности деструктивных воздействий на сети связи при прогнозировании временных характеристик сквозного качества обслуживания;

- для трафика протокола *TCP*, наоборот, наблюдается прямая линейная зависимость временных параметров качества функционирования от интенсивности деструктивных воздействий, что предполагает использование в качестве исходных данных при проектировании сетей связи, предназначенных для передачи трафика, критичного к потерям, статистических

данных о виде и параметрах распределения времени между отказами и восстановлениями;

- передача на сети связи трафика реального времени приводит к существенным потерям данных даже при малых значениях деструктивных воздействий, поэтому, несмотря на нечувствительность временных параметров, дестабилизирующие факторы оказывают губительное воздействие на сквозное качество обслуживания конечного пользователя;

- при передаче сообщений с гарантиями доставки протокол *TCP* справляется со своим предназначением лишь при относительно низких интенсивностях восстановления линий связи, поэтому при эксплуатации сети связи необходимо проводить серьезную работу с техническим персоналом по подготовке к ремонтным работам по восстановлению линий связи в кратчайшие сроки.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рыжиков, Ю.И. Имитационное моделирование / Ю.И. Рыжиков. - СПб.: Корона Принт; М.: Альтекс-А, 2004. - 380 с.
2. Sethi, Adarshpal S. The Practical OPNET User Guide for Computer Network Simulation / Adarshpal S. Sethi, Vasil Y. Hnatyshin. - CRC Press Taylor & Francis Group, 2013. - 480 с.
1. Ryzhikov, Yu.I. *Simulation* / Yu.I. Ryzhikov. - S-Pb.: Korona Print; M.: Altex-A, 2004. - pp. 380.
2. Sethi, Adarshpal S. The Practical OPNET User Guide for Computer Network Simulation / Adarshpal S. Sethi, Vasil Y. Hnatyshin. - CRC Press Taylor & Francis Group, 2013. - pp. 480.
3. Чечик, В.В. Имитационное моделирование трафика HTTP с помощью программной среды Riverbed / В.В. Чечик, К.А. Батенков // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. - 2016. - Т. 1. - № 9. - С. 273-277.
3. Chechik, V.V. NTTR traffic simulation by means of Riverbed software environment / V.V. Chechik, K.A. Batenkov // *Proceedings of Northern-Caucasus Branch of Moscow Technical University of Communication and Informatics*. - 2016. - Vol. - No.9 - pp. 273-277.

Статья поступила в редколлегию 9.06.17.  
Рецензент: д.т.н., доцент Академии ФСО РФ  
Лусичкин В.Г.

## Сведения об авторах:

**Пузанов Алексей Станиславович**, сотрудник Академии ФСО России, e-mail: [lescha.puzanov@yandex.ru](mailto:lescha.puzanov@yandex.ru).  
**Батенков Кирилл Александрович**, сотрудник Академии ФСО России, e-mail: [pustur@yandex.ru](mailto:pustur@yandex.ru).

**Puzanov Alexey Stanislavovich**, Employee of the Academy of FGS of Russia, e-mail: [lescha.puzanov@yandex.ru](mailto:lescha.puzanov@yandex.ru).  
**Batenkov Kirill Alexandrovich**, Employee of the Academy of FGS of Russia, e-mail: [pustur@yandex.ru](mailto:pustur@yandex.ru).

**Миронов Александр Егорович**, сотрудник Академии ФСО России.  
**Илюшин Михаил Владимирович**, сотрудник Академии ФСО России.

**Mironov Alexander Yegorovich**, Employee of the Academy of FGS of Russia.  
**Ilyushin Mikhail Vladimirovich**, Employee of the Academy of FGS of Russia.