

УДК 621.391

## Особенности обслуживания мультисервисного трафика при возникновении экстраординарных событий

### Peculiarities of servicing multiservice traffic when extraordinary events occur

**Федоров / Fedorov A.**

Александр Владимирович

(a.fedorov@loniir.ru)

ФГБУ Научно-исследовательский институт радио,

Санкт-Петербургский филиал,

начальник инженерно-технического отдела.

г. Санкт-Петербург

**Ключевые слова:** сеть связи общего пользования – public communication network; ресурсы – resources; качество обслуживания – quality of service; декомпозиция – decomposition.

Сеть связи общего пользования при возникновении экстраординарных событий передает часть своих ресурсов в сеть связи специального назначения. В подобных случаях возникает ряд задач по обеспечению качества обслуживания мультисервисного трафика в обеих сетях. В статье предложены методы решения возникающих задач при помощи моделей телетрафика и сформулированы направления дальнейших исследований.

The public communication network, when extraordinary events occur, transfers part of its resources to the special purpose communication network. In such cases, a number of tasks arise to ensure the quality of service of multiservice traffic in both networks. The article proposes methods for solving emerging problems using teletraffic models and formulates directions for further research.

### Введение

В условиях экстраординарных событий часть ресурсов сети связи общего пользования (ССОП) передается тем структурам, которые ликвидируют образующиеся отрицательные последствия [1]. При этом возникает ряд новых задач по обслуживанию мультисервисного трафика, которые должны быть решены для обеспечения приемлемого уровня качества поддерживаемых услуг.

Решения схожих задач предложены в [2] для ССОП, построенной на основе технологии «коммутиция каналов», которая не предусматривала обслуживания мультисервисного трафика. По этой причине в [2] был использован критерий, типичный для сетей телефонной связи – вероятность потери вызова (отказа в установлении соединения).

Для текущего этапа развития ССОП [3], основанного на представлении всех видов информации в виде последовательности IP-пакетов, показатели качества обслуживания заданы иначе [4]. Изменились также требования телекоммуникационной сети специального назначения (ТССН), которая создается в интересах сил и средств, занятых ликвидацией отрицательных последствий экстраординарных событий. Эти причины формируют ряд особенностей обслуживания мультисервисного трафика при возникновении экстраординарных событий. Подобные особенности порождают, как минимум, три задачи, решению которых посвящена настоящая статья.

### Изменение показателей качества обслуживания пакетного трафика

В штатных условиях эксплуатации ССОП показатели качества обслуживания мультисервисного трафика должны соответствовать нормам, приведенным в рекомендации ITU-T Y.1541 [4]. При передаче части ресурсов в состав ТССН [1] соблюдение некоторых норм в ССОП не всегда возможно. Кроме того, необходимо предложить совокупность показателей качества обслуживания мультисервисного трафика для пользователей ТССН.

В состав основных показателей, характеризующих качество поддерживаемых мультисервисных услуг между интерфейсами пользовательской сети (ИПС), входят следующие величины:

- *IPTD* – IP packet transfer delay (задержка переноса IP-пакетов),
- *IPDV* – IP packet delay variation (вариация задержки IP-пакетов),
- *IPLR* – IP packet loss ratio (доля потерянных IP-пакетов),
- *IPER* – IP packet error ratio (доля искаженных IP-пакетов).

Их численные значения для восьми классов обслуживания приведены в рекомендации ITU-T Y.1541.

Искажение пакета приводит к его потере. По этой причине, с учетом соображений, приведенных в [5], можно ограничиться тремя показателями: *IPTD*, *IPDV* и *IPLR*. Более того, многие Операторы связи не поддерживают все классы обслуживания. В условиях экстраординарных событий уместно ограничить численность классов обслуживания для упрощения процессов управления в ССОП и в ТССН.

Предлагаемые значения показателей *IPTD*, *IPDV* и *IPLR* для трех классов обслуживания приведены в таблице 1. Численные значения показателей, как и количество классов обслуживания, следует рассматривать как первоначальные оценки. Они будут уточняться по мере анализа опыта совместного функционирования ССОП и ТССН.

Следует напомнить, что величина *IPDV* определяется в [4] как разница между двумя величинами. Первой величиной служит значение квантиля для функции распределения длительности задержки IP-пакетов, при котором она равна 0,999 (в общем виде – вероятность  $p$ ). Вторая величина представляет собой минимальное значение времени задержки IP-пакетов между двумя ИПС.

Пользователям класса I предоставляются практически все виды инфокоммуникационных услуг за исключением доступа к развлекательным приложениям. Эти пользователи в основном принадлежат к перечню абонентов ТССН. Кроме них класс I используется небольшой группой абонентов ССОП, которые напрямую заняты ликвидацией отрицательных последствий, возникших вследствие экстраординарного события (органы охраны правопорядка, здравоохранения и им подобные структуры). Для обеспечения заданных показателей качества обслуживания соответствующим IP-пакетам присваивается первый относительный приоритет для их передачи и обработки.

Пользователям класса II доступны те же виды инфокоммуникационных услуг, но качество обслуживания будет ниже. Такое положение связано с тем, что соответствующие IP-пакеты имеют второй относительный приоритет для их передачи и обработки.

В состав пользователей класса II входят абоненты ССОП, которые косвенно вовлечены в ликвидацию отрицательных последствий, обусловленных экстраординарным событием. Перечень таких абонентов составляется заранее; он меняется в зависимости от характера экстраординарного события.

Пользователям класса III доступен ограниченный набор инфокоммуникационных услуг. Они направлены в первую очередь на обеспечение телефонной связи и на обмен сообщениями «электронной почты». Такие услуги предоставляются всем абонентам ССОП.

Численные значения показателей и количество классов обслуживания были названы выше первоначальными оценками по той причине, что использование средств искусственного интеллекта [6] позволит со временем (за счет анализа накопленного опыта совместной работы ССОП и ТССН) разработать более эффективные решения. Полезной может оказаться и идея построения сети цифровых двойников, предложенная в [7]. Такая сеть должна поддерживать обмен информацией между теми фрагментами ССОП и ТССН, которые были использованы для ликвидации отрицательных последствий экстраординарных событий.

### Декомпозиция показателей качества обслуживания пакетного трафика

Показатели, приведенные в таблице 1, определяют нормы на качество обслуживания мультисервисного трафика между двумя ИПС. Эти интерфейсы расположены на тех границах телекоммуникационной сети, в которых осуществляется подключение оборудования пользователей.

Во многих случаях необходимо задать нормы на отдельные фрагменты телекоммуникационной сети. Методика декомпозиции качественных показателей предложена в рекомендации ITU-T Y.1542 [8]. Модель, поясняющая основные принципы декомпозиции показателей качества обслуживания, показана на рисунке 1. Она основана на положениях рекомендации ITU-T Y.1542, но адаптирована к вопросам, рассматриваемым в данной статье.

Таблица 1

#### Показатели качества обслуживания для ТССН и ССОП

Класс обслуживания	<i>IPTD</i> , мс	<i>IPDV</i> , мс	<i>IPLR</i>
I (для ТССН и ССОП)	100	50	0,001
II (для ССОП)	150	100	0,01
III (для ССОП)	400	не нормируется	0,05

Предполагается, что ТССН создается в двух регионах, расположенных на отдельных друг от друга территориях. По этой причине выделяются два Оператора связи – «А» и «С». В телекоммуникационных сетях обоих Операторов связи создаются сегменты доступа «А» и «С». На границах этих сегментов расположены ИПС, через которые пользователи ТССН обмениваются мультимедийной информацией. Оператор связи «В», эксплуатирующий ресурсы ССОП, предоставляет транзитную сеть для взаимодействия двух фрагментов ТССН.

Показатель *IPTD* представляет собой математическое ожидание длительности задержки IP-пакетов между ИПС. Для обозначения величин *IPTD*, характерных для каждого Оператора связи, используются нижние индексы «А», «В» и «С». В силу аддитивности величин математического ожидания [9] справедливо следующее равенство:

$$IPTD = IPTD_A + IPTD_B + IPTD_C. \quad (1)$$

Используя методику, приведенную в общем виде в [8] и конкретизированную в [10, 11], можно провести декомпозицию показателя *IPTD* по трем компонентам, которые формируют тракт обмена IP-пакетами между двумя ИПС. При необходимости процедура декомпозиции может быть использована для распределения показателей *IPTD<sub>A</sub>*, *IPTD<sub>B</sub>* и *IPTD<sub>C</sub>* по элементам, образующим соответствующие фрагменты ССОП и ТССН. Данное утверждение справедливо и для других показателей качества обслуживания мультисервисного трафика.

Декомпозиция показателей *IPDV* и *IPLR* представляет собой более сложную задачу. Ее решение упрощается при введении гипотезы о взаимной

независимости процессов, касающихся задержки и потери IP-пакетов, в телекоммуникационных сетях всех Операторов связи. Проверка такой гипотезы может быть выполнена при помощи оценки коэффициентов корреляции [9] и имитационного моделирования. Исследование реальных структур телекоммуникационных сетей [12, 13] показало, что гипотеза о взаимной независимости рассматриваемых процессов вполне приемлема. Возникающие ошибки в расчете искомых характеристик, как правило, не превышают нескольких процентов.

Для разработки метода декомпозиции показателя *IPDV* рассмотрим простейшую модель телетрафика (пуассоновский входящий поток, экспоненциальное распределение длительности обработки заявок, один обслуживающий прибор, возможность организации сколь угодно большой очереди). Обозначим *p*-квантиль времени задержки заявок, проходящих через *N* простейших систем телетрафика, как *t<sub>p</sub>(N)*. Для расчета *p*-квантиля времени задержки в одной системе телетрафика используется соотношение, получаемое из формулы (левая часть приведенного ниже соотношения), которая приведена, например, в монографиях [14, 15]:

$$p = 1 - \exp[-(\mu - \lambda)t_p] \rightarrow t_p(1) = \frac{-\ln(1 - p)}{\mu - \lambda}. \quad (2)$$

Формула (2) включает два стандартных для теории телетрафика параметра:  $\lambda$  – интенсивность входящего потока заявок (ими служат IP-пакеты) и  $\mu$  – интенсивность обработки заявок. Иногда в подобных соотношениях используется величина нагрузки  $\rho$ , равная отношению  $\lambda$  к  $\mu$ . Если количество систем телетрафика в маршруте прохождения заявок равно

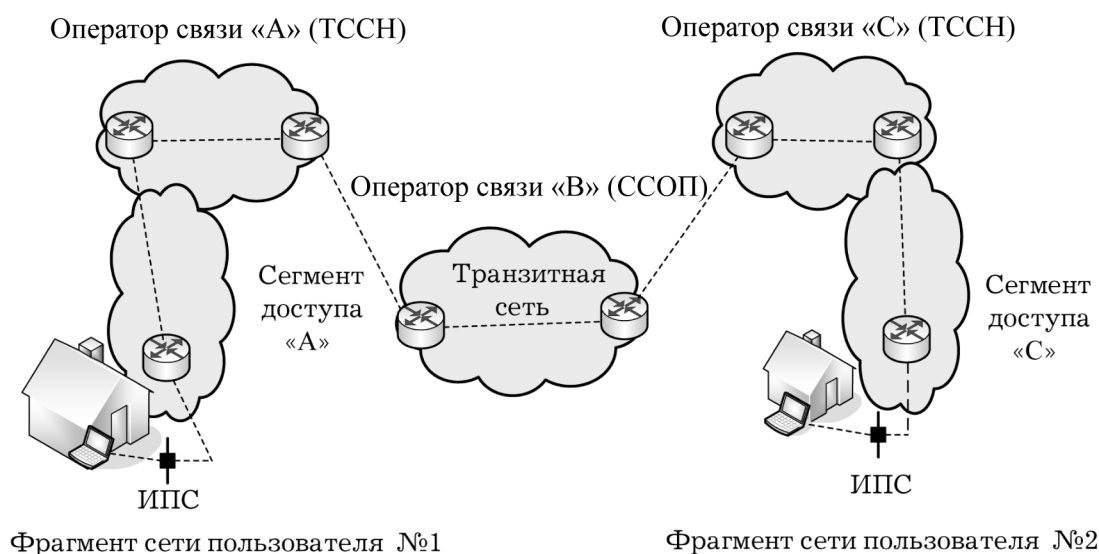


Рис. 1. Модель для декомпозиции показателей качества обслуживания

$N$ , то  $p$ -квантиль времени задержки  $t_p(N)$  находится численно из следующей формулы [12, 13]:

$$p = 1 - \exp[-(\mu - \lambda) \times t_p(N)] \times \sum_{k=0}^{N-1} \frac{[(\mu - \lambda) \times t_p(N)]^{N-k-1}}{(N - k - 1)!}. \quad (3)$$

Введем коэффициент  $\gamma$ , позволяющий судить о соотношении между значениями  $t_p(1)$  и  $t_p(N)$ . Этот коэффициент рассчитывается по такой формуле:

$$\gamma = \frac{t_p(N)}{N \times t_p(1)}. \quad (4)$$

Результаты вычислений по формулам (2) – (4) позволяют сделать два вывода:

- для исследуемой модели величина коэффициента  $\gamma$  не зависит от уровня нагрузки  $\rho$  (соотношения между параметрами  $\lambda$  и  $\mu$ );
- при увеличении значения  $N$  величина  $\gamma$  для исследуемой модели монотонно снижается.

Характер снижения величины  $\gamma$  с ростом  $N$  хорошо представим следующей зависимостью:

$$\gamma \approx \frac{\beta}{\sqrt{N}}. \quad (5)$$

Величина параметра  $\beta$  близка к единице. Зависимость коэффициента  $\gamma$  от  $N$  показана на рис. 2.

Следовательно, для декомпозиции показателя IPDV представляет практический интерес следующее неравенство:

$$IPDV \leq IPDV_A + IPDV_B + IPDV_C. \quad (6)$$

Замена знака « $\leq$ » на символ « $\approx$ » позволяет использовать подход, разработанный для декомпозиции пока-

зателя IPTD. Следует подчеркнуть, что для проверки справедливости неравенства (6) для некоторых более сложных моделей телетрафика необходимо провести дополнительные исследования. С этой целью должна быть разработана математическая модель, адекватная рассматриваемым объектам (конкретным фрагментам ССОП и ТССН). Ее исследование уместно проводить путем имитационного моделирования.

Для декомпозиции показателя IPLR также используется гипотеза о независимости рассматриваемого процесса. Следуя правилам теории вероятностей [9], можно записать очевидное соотношение:

$$IPLR = 1 - (1 - IPLR_A) \times (1 - IPLR_B) \times (1 - IPLR_C). \quad (7)$$

Используя упомянутые выше результаты [8, 10, 11], несложно выполнить процедуру декомпозиции показателя IPLR. Задача упрощается, если допустимо предположение о таком равенстве  $IPLR_A = IPLR_B = IPLR_C$ . В этом случае из (7) получаем такой результат:

$$IPLR_A = IPLR_B = IPLR_C = 1 - \sqrt[3]{1 - IPLR}. \quad (8)$$

Операции декомпозиции для всех качественных показателей при необходимости могут быть проведены для трех классов обслуживания мультисервисного трафика.

Оценка характеристик качества обслуживания Под характеристикой качества обслуживания далее понимается функция, позволяющая судить о поведении исследуемой величины в зависимости от набора аргументов. Эти аргументы влияют на поведение исследуемой функции. Нормируемый показатель может рассматриваться как значение функции при определенных величинах всех аргументов. Обычно нормируемый показатель представляет собой точечную оценку. Величина IPTD может быть представлена при помощи следующей функции:

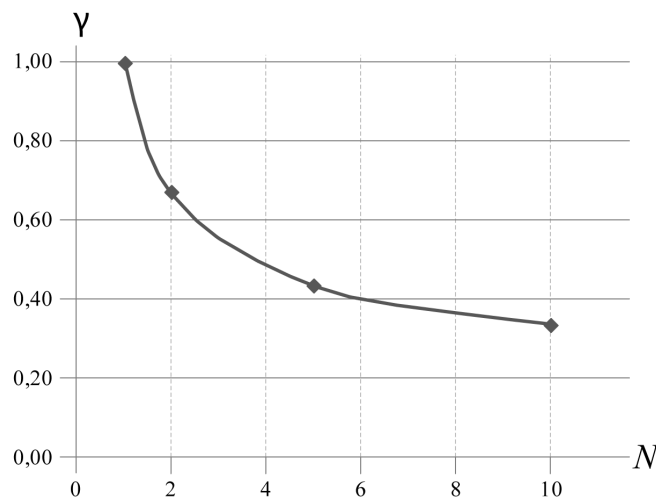


Рис. 2. Изменение коэффициента  $\gamma$  в зависимости от величины  $N$



$$IPTD = F(\lambda, \mu, x_1, x_2, \dots, x_L). \quad (9)$$

В правой части выражения (9) указаны два введенных выше параметра ( $\lambda$  и  $\mu$ ), а остальные аргументы, численность которых равна  $L$ , обозначены как  $x_i$  ( $i = 1, 2, \dots, L$ ).

В редких случаях функция (9) задана аналитически. Это затрудняет решение так называемой «обратной задачи» [16]: по нормированному значению  $IPTD$  найти требуемую интенсивность обработки заявок  $\mu$ . Поскольку необходимо выполнение всех трех критериев качества обслуживания, то искомые значения  $\mu$  уместно снабдить нижним индексом  $j$ , принимающим значения 1, 2 и 3. Для критерия  $IPTD$  величина  $\mu_1$ , в общем случае, находится численно из соотношения (9). Для упомянутой выше простейшей модели телеграфика поставленная задача решается аналитически [14, 15]:

$$IPTD = \frac{1}{\mu_1 - \lambda} \rightarrow \mu_1 = \frac{1 + IPTD \times \lambda}{IPTD}. \quad (10)$$

Для простейшей модели телеграфика несложно решить обратную задачу и для показателя  $IPDV$  [14]:

$$p = 1 - \exp[-(\mu_2 - \lambda) \times IPDV] \rightarrow \mu_2 = \frac{\lambda \times IPDV - \ln(1 - p)}{IPDV}. \quad (11)$$

Сложнее становится задача по оценке величины  $\mu_3$ , так как в рассматриваемой простейшей модели потери заявок отсутствуют. В работе [17] показано, что вероятность потери заявок в более сложной модели, для которой длина очереди ограничена сравнительно большой величиной  $r$ , может оцениваться приближенной формулой:

$$IPLR \approx \left(1 - \frac{\lambda}{\mu_3}\right) \times \left(\frac{\lambda}{\mu_3}\right)^{r+1}. \quad (12)$$

Логарифмируя левую и правую часть выражения (12), можно, после простых преобразований, получить оценку  $r$  в такой редакции:

$$r \approx \frac{\ln(IPLR) - \ln\left(1 - \frac{\lambda}{\mu_3}\right)}{\ln\left(1 - \frac{\lambda}{\mu_3}\right)} - 1 \quad (13)$$

Выражения (12) и (13) содержит две неизвестных величины –  $\mu_3$  и  $r$ . По этой причине для поиска значения  $\mu_3$  предлагается использовать следующий подход:

- из соотношений (10) и (11) находятся величины  $\mu_1$  и  $\mu_2$ ;
- выбирается начальное значение  $\mu_3$ , как максимальная величина из пары  $\mu_1$  и  $\mu_2$ ;

- по формуле (13) находится оценка величины  $r$ , которая сравнивается с аналогичной величиной, реализованной в исследуемом (или проектируемом) оборудовании –  $q$ ;

- если  $r \leq q$ , то начальное значение  $\mu_3$  выбрано корректно с точки зрения критерия  $IPLR$ ;

- если  $r > q$ , то величину  $\mu_3$  необходимо увеличить для выполнения условия  $r \leq q$ .

Предлагаемое решение обратной задачи приемлемо для самой простой модели телеграфика. На практике входящий поток может заметно отличаться от пуассоновского [18], а длительность обработки заявок близка к постоянной величине [12], то есть не подчиняется экспоненциальному закону распределения. Кроме того, обычно используются приоритетные дисциплины обработки заявок [15]. По этим причинам необходимо исследовать более сложные модели телеграфика. Тем не менее, приведенные выше результаты позволяют получить ряд оценок, полезных для дальнейшей работы.

### Заключение

При возникновении экстраординарных событий часть ресурсов ССОП передается в ТССН. Это приводит к изменению ряда принципов обслуживания мультисервисного трафика, что, в свою очередь, ставит ряд новых задач, значительная часть которых решается методами теории телеграфика.

В статье решен ряд задач на основе простейших моделей телеграфика. Приведенные результаты позволяют получить ряд качественных оценок. Они требуют уточнения за счет анализа более сложных математических моделей.

Дальнейшие исследования предполагают решение следующих задач. Во-первых, необходимо разработать детальные принципы назначения классов обслуживания IP-пакетов для разных групп пользователей ССОП и ТССН, а также уточнить численные значения рекомендуемых качественных показателей. Во-вторых, требуется численная оценка ошибок, возникающих при декомпозиции качественных показателей вследствие введения гипотезы о взаимной независимости процессов в разных фрагментах телекоммуникационной сети. В-третьих, должны быть сформулированы адекватные модели телеграфика, отражающие процессы работы ССОП и ТССН, а также проведено исследование их вероятностно-временных характеристик.

### Литература

1. Федоров, А. В. Задачи использования телекоммуникационных ресурсов при возникновении экстраординарных событий / А.В. Федоров, С.И. Тынянкин, М.М. Ступницкий // Электросвязь. – 2022. – № 10. – С. 31–34.
2. Соколов, Н. А. Управление емкостью пучка в цифровых кроссовых узлах / Н.А. Соколов, Р.Д. Рерле // Четвертый

международный семинар по теории телетрафика и компьютерному моделированию (МСТТКМ-4). Труды семинара. – Москва : ИРРИ РАН, 1992. – С. 148–154.

3. Ефимов, В. В. Вероятные направления эволюции телекоммуникационной системы / В.В. Ефимов, Н.А. Соколов, А.В. Федоров // Труды ЦНИИС. Санкт-Петербургский филиал. – 2016. – Т. 1, № 1 (2). – С. 11–23.

4. Telecommunication. Standardization sector of ITU. ITU-T Y.1541 (12/2011). Network performance objectives for IP-based services. – Geneva, 2012. – 60 p.

5. Леваков, А. К. Сеть связи следующего поколения в чрезвычайных ситуациях. Анализ моделей телетрафика / А.К. Леваков. – Москва : ИРИАС, 2019. – 124 с.

6. Стюарт, Р. Искусственный интеллект. Современный подход / Р. Стюарт, П. Норвиг. – Москва : Вильямс, 2016. – 1408 с.

7. The Concept of Building a Network of Digital Twins to Increase the Efficiency of Complex Telecommunication Systems / Sh. Zh. Seilov, A.T. Kuzbayev, A.A. Seilov [et al.] // Complexity. – Vol. 2021. – Article ID 9480235. – 9 p.

8. Telecommunication. Standardization sector of ITU. ITU-T Y.1542 (06/2010). Framework for achieving end-to-end IP performance objectives. – Geneva, 2010. – 24 p.

9. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель. – Москва : Академия, 2005. – 576 с.

10. Соколов, Н. А. Методы декомпозиции показателей QoS для NGN / Н.А. Соколов, А. Мохаммед // Вестник связи. – 2014. – № 6. – С. 44–45.

11. Мохаммед, А. Распределение доходов операторов мультисервисных услуг: Учет QoS / А. Мохаммед // Первая мила. – 2015. – № 1 (46). – С. 48–50.

12. Соколов, А. Н. Методы анализа задержек IP-пакетов в сети следующего поколения : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук : специальность 05.12.13 «Системы, сети и устройства телекоммуникаций» / Соколов Андрей Николаевич; Санкт-Петербург : СПбГУТ, 2011. – 20 с.

13. Соколов, Н. А. Задачи планирования сетей электро-связи / Н.А. Соколов. – Санкт-Петербург : Техника связи, 2012. – 432 с.

14. Степанов, С. Н. Теория телетрафика: концепции, модели, приложения / С.Н. Степанов. – Москва : Горячая линия – Телеком, 2015. – 867 с.

15. Клейнрок, Л. Теория массового обслуживания / Л. Клейнрок. – Москва : Машиностроение, 1979. – 432 с.

16. Aster, R. C. Parameter Estimation and Inverse Problems / R.C. Aster, В. Borchers, С.Н. Thurber. – Amsterdam : Elsevier, 2018. – 404 p.

17. Соколов, А. Н. Однолинейные системы телетрафика : учебное пособие / А.Н. Соколов, Н.А. Соколов, В.С. Зайцев. – Санкт-Петербург : СПбГУТ, 2019. – 118 с.

18. Шелухин, О. И. Фрактальные процессы в телекоммуникациях / О.И. Шелухин, А.М. Тенякшев, А.В. Осин. – Москва : Радиотехника, 2003. – 480 с.