

УДК 658.012.011:656.2.001.57+06

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЕТЕВОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ НА ТРАНСПОРТЕ В УСЛОВИЯХ ПРЕДЕЛЬНЫХ НАГРУЗОК*

М.А. БУТАКОВА, А.Н. ГУДА, С.В. ЧУБЕЙКО

(Ростовский государственный университет путей сообщения)

Рассмотрены вопросы оценки качества функционирования сетевого программного обеспечения, представляемого в виде системы, функционирующей в условиях возникновения предельных информационных нагрузок. Предложен функционал пиковости информационных нагрузок, позволяющий выполнять моделирование и числовую оценку соотношения вариативности поступающей и обрабатываемой сетевым программным обеспечением информации.

Ключевые слова: качество функционирования, программное обеспечение, телекоммуникационный трафик, пиковые факторы.

Введение. Программируемые информационно-управляющие системы (ИУС) на железнодорожном транспорте задействованы в ответственном технологическом процессе доставки пассажиров и грузов. Несмотря на то, что большинство из ИУС на транспорте предназначены для организации электронного документооборота, продажи билетов и обработки финансово-экономической информации, существуют системы, которые непосредственно участвуют в управлении движением поездов. К ним относятся, например, микропроцессорные горочные комплексы, средства микропроцессорной диспетчерской централизации и другие системы автоматизации на железнодорожном транспорте. Очевидно, что ИУС такого назначения являются критичными к безопасности функционирования как аппаратного, так и программного обеспечения (ПО). В связи с динамичностью технологических процессов организации движения, меняющейся интенсивностью обслуживания пассажиров существенным обстоятельством является поддержка качества функционирования ИУС в условиях изменения нагрузок. Нагрузки в ИУС могут достигать предельных значений из-за возникновения пиковых факторов. Качество функционирования ИУС зависит, в частности, от качества ПО. Структура и интенсивность информационных потоков должны учитываться при разработке ПО такого класса. Распространенными математическими моделями описания ИУС и информационных потоков в них являются методы теории очередей. В данной статье рассматривается подход, который, по мнению авторов, может быть использован для оценки качества сетевого ПО ИУС, основанный на изучении информационных потоков с предельными и пиковыми нагрузками, описываемых в терминах теории очередей.

Предельные нагрузки и пиковые факторы в оценке качества функционирования ИУС.

Одним из главных требований к ИУС является обеспечение высокого качества обслуживания пользователей. Задачи, связанные с моделированием качества обслуживания ИУС на железнодорожном транспорте, рассматривались в работах [1–4]. Выбор системы показателей, характеризующих качество их обслуживания, относится к числу наиболее важных и сложных проблем нормирования параметров функционирования как всей ИУС, так и ее элементов, что будет далее обсуждаться для оценки качества сетевого ПО ИУС. В общем, качество обслуживания ИУС зависит от среды её функционирования, которой в нашем случае является единая корпоративная сеть передачи данных на железнодорожном транспорте, поэтому во многом качество определяется степенью удовлетворенности пользователя получением услуг, предоставляемых телекоммуникационной сетью. Качество обслуживания в телекоммуникационной сети составляет совокупность

* Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 09-08-00097-а).

таких свойств, как обеспеченность обслуживанием, эксплуатационная пригодность обслуживания, эффективность и целостность обслуживания (рис. 1). Данное определение, на наш взгляд, необходимо дополнить следующими требованиями: регламентированный доступ к информационным ресурсам, обеспечение необходимого уровня защищенности от помех в каналах передачи данных и пунктах обработки информации, невосприимчивость к аварийно значимым внутренним и внешним возмущениям системы.



Рис. 1. Свойства, составляющие качество обслуживания информационно-управляющей системы

Предметом исследования данной статьи является влияние пограничных режимов, нарушающих работоспособность ПО ИУС. Причинами, приводящими к этому состоянию, являются предельные информационные нагрузки, которые снижают качество обслуживания, но не нарушают работоспособности ПО ИУС, и пиковые факторы – явления, действие которых может привести к нарушению работоспособности ПО ИУС или ее элементов, а следовательно, к резкому снижению качества обслуживания. Эти явления для транспортных систем ранее рассматривались в работах [5–6]. Пиковые факторы могут влиять как на всю сеть, так и на какой-либо ее элемент или группу элементов.

Источники пиковых факторов многочисленны и разнообразны. Часто обобщением пиковых факторов являются дестабилизирующие факторы, однако подчеркнем, что в такой термин во многих случаях вкладывается смысл преднамеренного нарушения работоспособности телекоммуникационной инфраструктуры, хотя в данном случае исследование этого вопроса, по мнению авторов, относится к компетенциям информационной безопасности. В данной работе основное внимание уделяется непреднамеренным воздействиям, которые могут существенно повлиять на работоспособность ПО ИУС. Вопросы классификации пиковых факторов еще требуют проработки. Одними из существенных признаков классификации являются:

- 1) место расположения источника дестабилизирующих факторов относительно ИУС, определяющее возможности сети в части его ликвидации или уменьшения его влияния (внутренние или внешние);
- 2) пространственно-временные показатели воздействий, характеризующие масштабы возможных одновременных разрушений или нарушений работоспособности элементов сети (локальные или массовые);

3) характер воздействий, определяющий «интеллект» источника и, следовательно, методы борьбы с его влияниями (преднамеренные или непреднамеренные).

Можно предложить вариант классификации пиковых факторов (рис. 2) на основе перечисленных признаков с указанием свойств ИУС, на которые влияют эти факторы. Такая или подобные классификации источников пиковых факторов позволяют выявить стратегические направления формирования и использования ресурсов телекоммуникационной сети для обеспечения ее функционирования в условиях, создаваемых деятельностью этих источников.

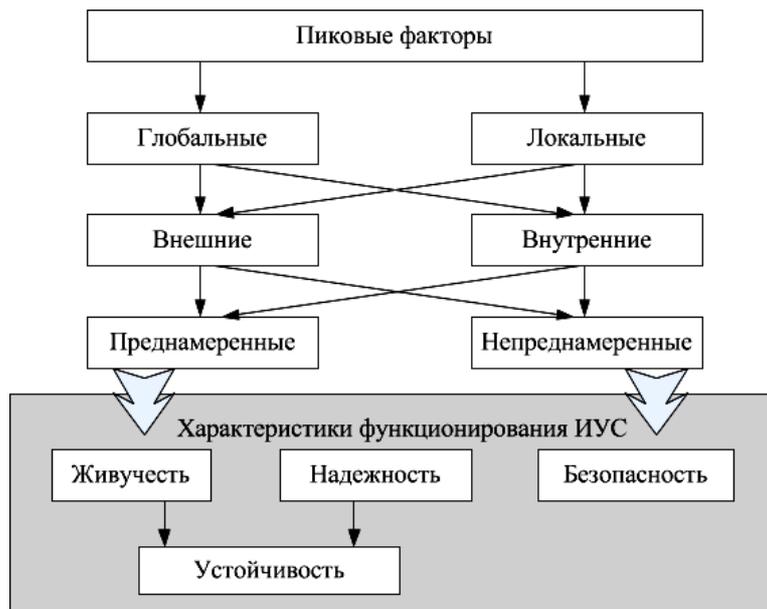


Рис. 2. Классификация пиковых факторов

Задача исследования качества обслуживания и зависящего от него качества ПО без учета предельных нагрузок в ИУС хорошо изучена. Однако сетевое ПО ИУС на железнодорожном транспорте имеет свои особенности и содержит целый ряд показателей, оказывающих существенное влияние на качество ПО в целом.

Показатели оценки функционирования сетевого ПО ИУС. За основу оценки качества функционирования ПО в рассматриваемых системах целесообразно принять структуру показателей, соответствующих уровням базовой эталонной модели взаимодействия открытых систем *ISO/OSI*: физического, логического, сетевого, транспортного, сессионного, представительного, прикладного [7]. Первые три уровня этой модели определяют базовый коммуникационный механизм, коммуникационные подсети, которые обеспечивают возможность передачи данных от одного физического сетевого устройства к другому. Транспортный уровень обеспечивает интерфейс, который гарантирует в целом некоторый уровень сервиса для пользователей сети с помощью механизма логической адресации, избавляющего пользователей от необходимости сохранения информации о физически подключаемых сетевых ресурсах. Следующие уровни обеспечивают операционным системам и их пользователям общую идеологию работы с сетевым окружением: именование сетевых ресурсов, сетевых потоков, целостность, защищенность и доступность данных.

Заметим, что большинство исследований функционирования сетевого ПО основываются лишь на некоторых, как правило, наиболее очевидных показателях, например, скорости передачи данных на физическом уровне и т. д. Однако для каждого из перечисленных уровней существует целый комплекс показателей, зачастую коррелированных между собой. Поэтому для получения целостной картины и объективной оценки качества сетевого ПО необходим учет всей их

совокупности и выявление наиболее значимых в условиях конкретной задачи. Процессы сбора и обработки данных зависят от показателей работы телекоммуникационных систем на всех перечисленных уровнях. Например, формирование статистических выборок не может производиться без учета показателей физического уровня интерфейсов и сети, для которого насчитывается около 30 различных характеристик, разделенных на группы. Далее предлагается классификация показателей, подходящих для оценки качества функционирования ПО ИУС на каждом уровне представления информации в телекоммуникационной сети.

1. Физический уровень (на данном и следующем уровнях под фреймом понимается блок битов некоторого размера. Например, средняя величина фрейма в сети *Ethernet* – 1536 байтов).

Показатели назначения сигналов: передача данных, передача разрешена, ошибка передачи, синхронизация передачи, прием данных, прием данных верный, ошибка приема, синхронизация приема, обнаружение коллизий, чувствительность коллизий.

Показатели конфигурации сетевого интерфейса (виды сетевого кабеля): витая пара, оптоволокно.

Показатели режима работы: дуплекс, полудуплекс, скорость передачи данных.

Временные показатели трансивера: величина джиттера (вариация временной задержки между попытками передачи), время потери связи, время обнаружения связи, период передачи данных, период приема данных.

Показатели топологии сети: вид топологии; длина сегмента; количество узлов; количество повторителей в сегментах сети; величина затухания в сегменте сети.

Временные показатели сети: величина битового интервала, задержка на распространение сигнала в сегменте сети, величина междумрежмового интервала, время двойного оборота в сегменте сети.

2. Логический или уровень установления канала связи между сетевыми устройствами. На этом уровне особое внимание уделяется обеспечению безошибочности обмена данными, поддержанию заданной полосы пропускания (по возможности, максимальной). Эти показатели существенно влияют на качество функционирования в пределах сегментов и сети в целом.

Показатели полосы пропускания: минимальная, максимальная, средняя полоса пропускания для битовой и фреймовой скорости.

Показатели задержки: среднее время задержки предоставления фрейма, задержка готовности (отношение времени безошибочной передачи к общему времени соединения), задержка отклика (время от начала поступления запроса до получения отклика на него), показатели джиттера (вариация задержки между фреймами в пределах одного логического соединения).

Показатели безошибочности соединения: корректность (число корректно переданных фреймов по отношению к общему количеству фреймов за одно логическое соединение), уровень ошибок (число некорректных фреймов к общему их количеству), время ошибочности приемопередач (время нахождения приемника или передатчика в состоянии обработки ошибочных фреймов).

Показатели потерь фреймов (классифицируются по типу ошибок, по причине которых возникают): ошибки контрольных сумм, коллизий, некорректных длин фреймов и т. д.

Эксплуатационные показатели: среднее время предоставления корректного (некорректного) соединения, готовности соединения, восстановления соединения.

3. Сетевой уровень характеризуется тем, что фреймы объединяются в пакеты (дейтаграммы), к которым добавляется *IP* -заголовок, и возможна маршрутизация по разным путям их доставки. Выделим следующие группы показателей.

Показатели времени доставки и задержки: межпакетное время прибытия, время доставки пакета от источника к приемнику, складывающееся из времени проверки доступности приемника и времени доставки значащих битов пакета (этот показатель также называют задержкой доставки

по одному направлению); текущая вариация задержки пакета, рассматриваемая в двух видах: для пары следующих друг за другом пакетов – это разность величин по вышеуказанному показателю, для потока пакетов – это разность между первым и последующими пакетами в одном потоке; величина окна приема-передачи пакетов.

Показатель потерь пакетов, измеряемый как число пакетов, не принятых или принятых приемником с ошибкой.

Приведенные показатели потерь: коэффициент потерь пакетов, приведенный к Пуассоновскому процессу; Леви-процессу (с большими «выбросами»); к Марковскому процессу (фазового типа).

Показатели полосы пропускания: максимальная передаваемая длина пакета *MTU* – *Maximum Transmission Unit*; пиковая пропускная способность; число пакетов одного типа в общем числе пакетов, передаваемых в трафике одного направления; время «жизни» пакета – число передач его через маршрутизирующие узлы сети.

Показатели изменения производительности в зависимости от полосы пропускания: временные интервалы увеличения *MTU* при увеличении полосы пропускания и при уменьшении полосы пропускания.

4. Транспортный уровень выполняет функции установления и разрыва транспортного соединения, передачи и управления потоком данных, а также принимаются соглашения о пропускной способности каналов и достоверности передаваемых потоков информации.

Временные показатели потоковых соединений: время работы потокового соединения, временная задержка подтверждения приема потока, минимальный тайм-аут для синхронизации потока, минимальное и максимальное время работы потокового соединения по умолчанию, межпакетное время ожидания в пределах потока.

Количественные показатели потоковых соединений, влияющие на производительность: величина скользящего окна приема данных, величина сегмента данных.

Показатели объема информации потокового соединения: объем трафика одного потокового соединения, суммарный объем трафика *TCP*-соединений.

Показатели очереди соединения: длина очереди одного сетевого сокета (виртуального логического соединения по приложению одного уровня), характеризующая количество принципиально возможных подключений к одному сетевому порту; объем памяти для описателей характеристик соединения.

5. Сессионный уровень. Показатели данного уровня формально трудно определить по той причине, что они «перехвачены» функциями предыдущего уровня. Основным показателем этого уровня является *время сессии (сеанса)*.

Время сессии складывается из следующих двух показателей:

– *время установления (завершения) соединения*, состоящее из времени передачи метки запроса информации о соединении; времени синхронизации (ресинхронизации); времени нахождения в состоянии завершения (обрыва) соединения;

– *время передачи блока данных (SPDU – Session Protocol Data Unit)*.

6. Уровень представления данных, на котором выполняется преобразование различного вида данных, кодирование (точнее, приведение) к единой структуре данных *ASN.1 (Abstract Syntax Notation)*. Очевидно, это время определяется рядом факторов: аппаратной платформой, центральным процессором, операционной системой, версией реализации стека протоколов. Таким образом, на уровне представления данных следует определять такой показатель, как *общее время преобразования к ASN.1*.

7. Уровень приложений, на котором происходит установление, поддержание, разрыв соединения между логическими объектами административного управления, контроль состояния, сбор статистики, защита от ошибок. На этом уровне существует около 30 протоколов прикладного уровня, пользующихся услугами *IP*-сети, поэтому построение полной структуры показателей для

этого уровня представляет весьма трудоемкую задачу. Наиболее важным является *показатель интегрального времени выполнения функций программных интерфейсов сетевых протоколов*.

Среди всех представленных показателей для оценки качества ПО ИУС методами теории очередей особое значение имеют различные временные показатели. Из представленной классификации можно выделить четыре группы показателей, влияющих на время реакции ПО:

- 1) время распространения сигнала T_1 ;
- 2) время доставки данных в одном направлении T_2 ;
- 3) время коррекции ошибок и ретрансляции данных T_3 ;
- 4) временные задержки операционной системы и программного окружения T_4 .

Далее можно получить одну из важнейших характеристик – время реакции ПО на обработку сообщения $T_0 = \sum_{j=1}^4 T_j$, где j – номер группы показателей.

Моделирование предельных информационных нагрузок средствами теории очередей.

Одним из распространенных способов моделирования информационных потоков в сетевых ИУС, в частности системах на транспорте, является теория очередей (теория массового обслуживания) [4]. Предметом изучения в данном контексте исследования являются пиковые факторы, возникающие в моделируемых информационных потоках, которые, как уже ранее указывалось, могут приводить к возникновению пиковых и предельных информационных нагрузок. Исследованию подходов к моделированию и измерению пиковых факторов в информационных потоках на нынешнее время посвящено не так уж много научных работ, что свидетельствует, по нашему мнению, скорее не об отсутствии интереса к данной тематике, а об отрыве разрабатываемых в теории методов от задач исследования реальных систем. Тем не менее, элементы моделирования и оценки пиковых факторов в информационных потоках присутствуют в современных монографиях по математическим методам в инженерии [8, п. 6.8.2], по моделированию и оценке производительности компьютерных сетей [9, п. 5.11.1] и в научных работах, например, в работе [10] с обширной библиографией по данной тематике.

Одним из способов оценки пиковых факторов в информационных потоках на основе теории очередей является подход, называемый *peakedness functional* (функционал пиковости нагрузки) [11]. При этом рассматривается процесс поступления заявок на обслуживание $X(t)$, в соответствии с которым некоторое количество элементов обслуживания $S(t)$ оказываются занятыми в момент времени t . Очевидно, что процесс обслуживания можно описать распределением времени обслуживания $F(x)$. Функционал пиковости нагрузки $z_x[F]$ представляет собой отображение $F(x)$ в скалярную величину

$$z_x[F] = \frac{Var[S(t)]}{E[S(t)]}. \quad (1)$$

В (1) накладывается ограничение на независимость дисперсии $Var[S(t)]$ и математического ожидания $E[S(t)]$ от времени t в связи со стационарностью $X(t)$ и инвариантностью временных сдвигов. Очевидно, что соотношение (1) является довольно простой и эффективной мерой оценки пиковых факторов, но эта мера не лишена недостатков. Во-первых, в рассматриваемом функционале никак не отражается структура информационного потока поступления заявок на обслуживание, которая может существенно влиять на оценку пиковости информационной загрузки ПО ИУС. Во-вторых, из контекста работы [11] становится понятным, что исходной моделью входного потока все же является случайный точечный процесс с восстановлениями, который накладывает ограничения, связанные с необходимостью учета во входном потоке некоторого распределения времени поступления информации.

Для преодоления этих ограничений предлагается следующий подход. Рассмотрим подробнее математические аспекты оценки пиковых факторов в информационных потоках. Одним из адекватных способов моделирования в нашем случае будет использование случайного точечного процесса, который подходящим образом описывает поступление пакетного трафика [12], обрабатываемого сетевым ПО ИУС. Случайный точечный процесс имеет вид

$$X(t) = \sum_{i=0}^{+\infty} \delta(t - T_i),$$

где $\{T_i\}$, $i = 0, 1, \dots$ обозначает последовательность времени поступления пакетов с информацией, $\delta(\cdot)$ - дельта-функция Дирака. $X(t)$ в некоторый момент времени равен 0, если информация не поступала. Также принимается $T_0 = 0$.

Соответствующий точечному процессу $X(t)$ считающий процесс

$$N(t) = \sum_{i=0}^{+\infty} u(t - T_i),$$

где $u(t)$ является единичной ступенчатой функцией:

$$u(t) = \begin{cases} 0, & \text{если } t < 0; \\ 1 & \text{в остальных случаях.} \end{cases}$$

$N(t)$ имеет смысл, трактуемый как количество сетевых пакетов, поступивших на обработку ПО на интервале времени $(0, t]$, $t \geq 0$. Обозначим количество поступивших сетевых пакетов на интервале $(t_1, t_2]$ как $N_X(t_1, t_2) = N(t_2) - N(t_1)$, $\forall t_1, t_2 \in \mathbb{R}$. Интенсивность процесса поступления сетевых пакетов обозначим $\lambda_X \frac{1}{E[A_n]}$, где последовательность $\{A_n = T_n - T_{n-1}\}$ является последовательностью времени поступления между сетевыми пакетами. Если наложить на последовательность $\{A_n\}$ условие стационарности, то считающий процесс $N_\Delta(\tau, \tau + t)$ будет эквивалентным по распределению ранее указанному процессу $N_X(t_1, t_2)$. При таких условиях ковариационная плотность точечного процесса $X(t)$ [13] определяется

$$k_{\Delta X}(t_1, t_2) = \lim_{\Delta t_1, \Delta t_2 \rightarrow 0} \frac{Cov[N_\Delta(t_1, t_1 + \Delta t_1), N_\Delta(t_2, t_2 + \Delta t_2)]}{\Delta t_1 \Delta t_2}. \quad (2)$$

В связи с тем, что предел (2) может не существовать, ковариационная плотность точечного процесса может быть определена как обобщенная функция из соотношения

$$Cov[N_\Delta(t_1, t_1 + \Delta t_1), N_\Delta(t_2, t_2 + \Delta t_2)] = \int_{t_1}^{t_1 + \Delta t_1} \int_{t_2}^{t_2 + \Delta t_2} k_{\Delta X}(\tau_1, \tau_2) d\tau_2 d\tau_1,$$

где $t_1, t_2, \Delta t_1, \Delta t_2, \tau_1, \tau_2 \in \mathbb{R}$.

Характеристики λ_X и $k_{\Delta X}$ являются существенными для моделирования информационной загрузки ПО ИУС. В соответствии с описанным выше стационарным точечным процессом $X(t)$ с интенсивностью информационной загрузки λ_X и ковариационной плотностью $k_{\Delta X}$ рассмотрим обслуживание поступающих сетевых пакетов информации. Пусть для каждого поступления некоторого объема сетевых данных выделяются ресурсы, и $S(t)$ обозначает некоторое количество таких ресурсов, например, сетевых сокетов ПО. Связанный с этим процесс

обслуживания обозначим в смысле распределения времени обслуживания через $F_S(x)$ со средней интенсивностью обслуживания μ_{F_S} .

Обратим теперь внимание на факт, что выражение (1) для функционала пиковости имеет смысл общей вариативности процесса обслуживания поступающих сетевых пакетов трафика (в нашем контексте – изменение усредненных соотношений обработанной и поступившей информации на данный момент времени). Для того чтобы учитывать вариабельность процесса поступления сетевого трафика в некоторый момент времени t , предлагается уточнение формулы (1), и функционал пиковости нагрузки записывается в более общей форме:

$$z(X, F_X, t) = \frac{\text{Var}[S(X, F_X, t)]}{E[S(X, F_X, t)]}, \quad (3)$$

где $S(X, F_X, t)$ – объем трафика (в байтах, в сетевых пакетах и т.п.), который поступает в соответствии с точечным процессом $X(t)$ и подлежит обработке ПО в соответствии с законом обслуживания F_X в момент времени t .

Заключение. В статье предложен отличающийся от известных способ оценки качества функционирования сетевого ПО, основывающийся на моделировании и измерении интенсивности информационной нагрузки, поступающей в ИУС в виде сетевого трафика. Выполнен анализ причин возникновения пиковых нагрузок и их роли в изменении качества функционирования системы в целом. Дана детальная классификация временных показателей сетевого ПО ИУС, на основе которой можно проводить практические измерения объемов поступившего и обработанного трафика. В качестве меры информационной нагрузки ИУС предложен функционал пиковости общего вида (3), позволяющий в динамических режимах и для различных законов обслуживания поступающей информации, обрабатываемой сетевым ПО, оценивать факторы, влияющие на качество его функционирования.

Библиографический список

1. Бутакова М.А. Классификация потоков данных и метод статистического моделирования в системах и сетях телекоммуникаций на транспорте / М.А. Бутакова // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2005. – № 2. – С. 38–43.
2. Бутакова М.А. К вопросу анализа информационных потоков в телекоммуникационных системах железнодорожного транспорта / М.А. Бутакова // III Междунар. науч.-практ. конф. «Телекоммуникационные технологии на транспорте России»: сб. докладов, г. Сочи. – 2005. – С. 329–242.
3. Гуда А.Н. Модели потоков в системах и сетях с пакетной коммутацией данных / А.Н. Гуда, М.А. Бутакова // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2006. – № 3. – С. 36–40.
4. Бутакова М.А. Модели информационных потоков в системах массового обслуживания на транспорте / М.А. Бутакова. – Ростов н/Д: Изд-во Рост. гос. ун-та, 2006. – 228 с.
5. Бутакова М.А. Анализ критических ситуаций в транспортных системах / М.А. Бутакова, Н.Н. Лябах // Известия вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2004. – № 2. – С. 70–72.
6. Бутакова М.А. Стохастические модели потоков с пиковыми нагрузками / М.А. Бутакова // Обзорение прикладной и промышленной математики. – 2006. – Т. 13, вып. 2. – С. 216–220.
7. Галкин В.А. Телекоммуникации и сети: учеб. пособие для вузов / В.А. Галкин, Ю.А. Григорьев. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003.
8. Fische G. Mathematics for Engineers / G. Fische, G. Hebuterne. – Wiley, 2008.
9. Giambene G. Queueing Theory and Communications: Networks and Applications / G. Giambene // Springer. – 2005.
10. Molnar S. Peakedness Characterization in Teletraffic / S. Molnar, G. Miklos // PICS'98 Proceedings of the IFIP TC6/WG6.3 Seventh International Conference on Performance of Information and Communication Systems. [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=716540>. – P. 97–110.

11. Eckberg A.E. Generalized Peakedness of Teletraffic Processes / A.E. Eckberg // Proceeding of the 10th International Teletraffic Congress. – Montreal, Canada, 1983.
12. Шелухин О.И. Самоподобие и фракталы. Телекоммуникационные приложения / О.И. Шелухин, А.В. Осин, С.М. Смольский. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 368 с.
13. Бартлетт М.С. Введение в теорию случайных процессов / М.С. Бартлетт. – М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1958.

Материал поступил в редакцию 06.06.11.

References

1. Butakova M.A. Klassifikaciya potokov danny`x i metod statisticheskogo modelirovaniya v sistemax i setyax telekommunikacij na transporte / M.A. Butakova // Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshheniya. – 2005. – # 2. – S. 38–43. – In Russian.
2. Butakova M.A. K voprosu analiza informacionny`x potokov v telekommunikacionny`x sistemax zhelezнодорожного транспорта / M.A. Butakova // III Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Telekommunikacionny`e tehnologii na transporte Rossii»: sb. dokladov, g. Sochi. – 2005. – S. 329–242. – In Russian.
3. Guda A.N. Modeli potokov v sistemax i setyax s paketnoj kommutaciej danny`x / A.N. Guda, M.A. Butakova // Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshheniya. – 2006. – # 3. – S. 36–40. – In Russian.
4. Butakova M.A. Modeli informacionny`x potokov v sistemax massovogo obsluzhivaniya na transporte / M.A. Butakova. – Rostov n/D: Izd-vo Rost. gos. un-ta, 2006. – 228 s. – In Russian.
5. Butakova M.A. Analiz kriticheskix situacij v transportny`x sistemax / M.A. Butakova, N.N. Lyabax // Izvestiya vuzov. Sev.-Kavk. region. Texn. nauki. – 2004. – # 2. – S. 70–72. – In Russian.
6. Butakova M.A. Stoxasticheskie modeli potokov s pikovy`mi nagruzkami / M.A. Butakova // Obozrenie prikladnoj i promy`shlennoj matematiki. – 2006. – T. 13, vy`p. 2. – S. 216–220. – In Russian.
7. Galkin V.A. Telekommunikacii i seti : ucheb. posobie dlya vuzov / V.A. Galkin, Yu.A. Grigor`ev. – М.: Изд-во MGTU im. N.E` . Bauman, 2003. – In Russian.
8. Fische G. Mathematics for Engineers / G. Fische, G. Hebuterne. – Wiley, 2008.
9. Giambene G. Queueing Theory and Communications: Networks and Applications / G. Giambene // Springer. – 2005.
10. Molnar S. Peakedness Characterization in Teletraffic / S. Molnar, G. Miklos // PICS'98 Proceedings of the IFIP TC6/WG6.3 Seventh International Conference on Performance of Information and Communication Systems. [Electronic resource]. – URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=716540>. – P. 97–110.
11. Eckberg A.E. Generalized Peakedness of Teletraffic Processes / A.E. Eckberg // Proceeding of the 10th International Teletraffic Congress. – Montreal, Canada, 1983.
12. Sheluxin O.I. Samopodobie i fraktaly`. Telekommunikacionny`e prilozheniya / O.I. Sheluxin, A.V. Osin, S.M. Smol`skij. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 368 с. – In Russian.
13. Bartlett M.S. Vvedenie v teoriyu sluchajny`x processov / M.S. Bartlett. – М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1958. – In Russian.

MODELING AND PERFORMANCE EVALUATION OF NETWORK SOFTWARE FOR MANAGEMENT INFORMATION SYSTEMS ON TRANSPORT AT LOAD LIMIT CONDITIONS

M.A. BUTAKOVA, A.N. GUDA, S.V. CHUBEIKO
(Rostov State Transport University)

Some matters of the performance evaluation of the network software presented as a system functioning at the information load limit conditions are considered. The peakedness functional of the information load is offered. It permits to carry out modeling and numerical estimation of the variability ratio of the incoming and processing by the network software information.

Keywords: performance, software, teletraffic, peak factors.