

УДК 621.396

К.А. ПОЛЬЩИКОВ¹, О.Н. ОДАРУЩЕНКО²¹Военный институт телекоммуникаций и информатизации НТУУ «КПИ», Украина,²Полтавский национальный технический университет им. Ю.Кондратюка, Украина

МЕТОД ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫМИ ПОТОКАМИ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В работе предлагается метод оценки эффективности управления информационными потоками в телекоммуникационной сети специального назначения, который учитывает изменение ценности сообщений во времени.

управление информационными потоками, показатель эффективности, телекоммуникационная сеть специального назначения

Обзор литературы и обоснование актуальности исследований

При исследовании работы какой-либо технической системы необходимо производить оценку эффективности ее функционирования. Эта оценка производится исходя из целей функционирования системы и задач исследования. Цели функционирования различных телекоммуникационных сетей (ТКС), а также задачи, поставленные для их исследования, весьма разнообразны. Поэтому известно большое количество величин, используемых в качестве показателей оценки эффективности работы той или иной сети. Управление информационными потоками предназначено для ограничения загрузки сетевых ресурсов (буферных и канальных) и согласования скорости передачи информации источником со скоростью приема адресатом [1]. Характеристики функционирования сети во многом зависят от реализованных в ней алгоритмов управления информационными потоками. Поэтому часто эффективность работы ТКС и эффективность управления потоками в сети справедливо оценивается с помощью одних и тех же показателей.

Анализ литературы [1 – 7] показывает, что все множество показателей, используемых для оценки эффективности управления потоками информации в

ТКС, можно разделить на следующие группы:

1) показатели, характеризующие производительность сети (среднее время доставки сообщения или пакета, среднее значение задержки, джиттер, коэффициент вариации задержек, максимальная задержка, максимальная вариация задержки, время реакции сети, средняя, минимальная и пиковая скорости передачи данных);

2) показатели, характеризующие надежность доставки информации в сети (вероятность доставки адресату сообщения или пакета без ошибок, вероятность доставки сообщения или пакета с ошибками, вероятность доставки сообщения или пакета адресату, вероятность потери сообщения или пакета, вероятность доставки сообщения или пакета по неверному адресу);

3) показатели, характеризующие пропускную способность сети (абсолютная и относительная пропускная способность сети);

4) показатели, характеризующие экономическую выгоду, получаемую благодаря функционированию сети (доходы, получаемые поставщиком телекоммуникационных услуг, прибыль компании, получение которой обеспечивается сетью);

5) интегральные показатели, характеризующие сразу несколько свойств сети;

б) другие специфические показатели.

ТКС, как правило, обслуживают большое количество пользователей. Поставщику телекоммуникационных услуг необходимо найти такой баланс в распределении сетевых ресурсов между конкурирующими информационными потоками, чтобы с требуемым качеством обслуживания QoS (Quality of Service) удовлетворить запросы всех абонентов [2, 3]. Требования пользователей к работе сети зачастую противоречивы: одни нуждаются в высокой достоверности доставки данных, другие требуют высокую скорость передачи и т.д. Поэтому задачи оценки эффективности управления информационными потоками в ТКС существенно усложняются за счет своей многокритериальности.

Существует достаточное количество некоммерческих организаций, ведущих свою деятельность в сферах обороны государства, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, безопасности, охраны правопорядка и т.д. Целями их функционирования являются, например, выполнение боевой задачи, минимизация ущерба, предотвращение гибели и травматизма людей. Для оценки эффективности работы сетей специального назначения, функционирующих в интересах таких организаций, необходимо использовать соответствующие критерии и специфические количественные показатели. В работах [9, 10] предлагаются методики, которые можно применить для оценки эффективности управления потоками в подобных сетях. Однако используемые в них показатели эффективности отличаются недостаточно ясным физическим смыслом, а выражения для расчета этих показателей чрезмерно сложны.

Таким образом, выбор показателей для оценки эффективности управления информационными потоками в ТКС специального назначения, является актуальной задачей, требующей решения с учетом конечной цели функционирования сети и других специфических факторов.

Постановка задачи

Рассмотрим некоммерческую организацию, деятельность которой направлена на выполнение поставленной перед нею задачи. Управление в этой организации обеспечивается функционирующей в ее интересах ТКС специального назначения. По этой сети передаются сообщения N различных классов. Для каждого класса i известны значения интенсивности поступления сообщений λ_i . Известно, что класс, к которому относится то или иное сообщение, определяется количеством содержащейся в этом сообщении ценной информации. Кроме того, каждый класс характеризуется требованиями к качеству доставки QoS соответствующих сообщений.

Допустим, что сообщение принадлежит классу i , если вероятности выполнения задачи при своевременном получении и неполучении содержащейся в этом сообщении информации равны соответственно a_i и b_i . Таким образом, чем больший вклад в выполнение поставленной перед системой задачи вносят сведения, содержащиеся в сообщении i -го класса, тем больше в нем ценной информации.

Содержащиеся в сообщениях сведения постепенно устаревают, поэтому ценность информации со временем уменьшается. Допустим, что если с момента поступления в сеть сообщения i -го класса до момента его получения адресатом прошло время t , не превышающее значение τ_i , то количество потерянной в процессе доставки ценной информации равно 0.

Если время доставки сообщения находится в интервале $\tau_i < t \leq T_i$, то количество оставшейся в сообщении ценной информации убывает по линейному закону. Полная потеря ценной информации, которая содержалась в сообщении i -го класса, имеет место, если время доставки этого сообщения превышает значение T_i .

Допустим, в рассматриваемой сети реализованы алгоритмы управления информационными потоками, целью которых является увеличение количества доставленной по сети ценной информации за счет рационального распределения сетевых ресурсов. Требуется разработать метод, по которому целесообразно производить оценку эффективности управления информационными потоками в такой сети специального назначения.

Сущность предлагаемого метода

Как было отмечено выше, для оценки эффективности функционирования сетей и реализованных в них алгоритмов, в том числе алгоритмов управления информационными потоками, часто используют величину абсолютной пропускной способности сети, показывающей, какое количество сообщений доставляет сеть своим пользователям за единицу времени:

$$Q = \sum_{i=1}^N \lambda_i (1 - p_i),$$

где p_i – вероятность отказа в доставке сообщения i -го класса с требуемым QoS по причине перегрузки сети.

Чтобы оценить, какое количество ценной информации доставляет сеть своим пользователям за единицу времени, следует использовать выражение:

$$Q_{ц} = \sum_{i=1}^N \lambda_i (1 - p_i) \Pi_i(t_{cp}),$$

где $\Pi_i(t_{cp,i})$ – величина, показывающая, какое количество ценной информации доставляется адресату при получении им сообщения i -го класса, если среднее время доставки таких сообщений равно $t_{cp,i}$.

Исходя из условий, сформулированных при постановке задачи, значение $\Pi_i(t_{cp,i})$ определяется из выражения:

$$\Pi_i(t_{cp,i}) = \begin{cases} \Pi_{0i} & \text{при } t_{cp,i} \leq \tau_i; \\ \frac{\Pi_{0i}(\tau_i - t_{cp,i})}{T_i - \tau_i} & \text{при } \tau_i < t_{cp,i} \leq T_i; \\ 0 & \text{при } t_{cp,i} > T_i, \end{cases} \quad (1)$$

где Π_{0i} – величина, показывающая, какое количество ценной информации содержится в сообщении i -го класса в момент его поступления в сеть, т.е. исходное количество ценной информации в таком сообщении.

В работах [8 – 10] обосновано, что величину Π_{0i} следует определять по формуле:

$$\Pi_{0i} = \log_2 \frac{a_i}{b_i}. \quad (2)$$

Опыт показывает, что для оценки эффективности удобнее использовать не абсолютные, а относительные величины. Чтобы перейти от величины абсолютной пропускной способности к величине относительной пропускной способности (без учета ценности передаваемой по сети информации), необходимо первую разделить на суммарную интенсивность поступления в сеть сообщений:

$$C = \frac{Q}{\sum_{i=1}^N \lambda_i} = \frac{\sum_{i=1}^N \lambda_i (1 - p_i)}{\sum_{i=1}^N \lambda_i}. \quad (3)$$

Аналогично, с учетом ценности передаваемой информации, чтобы перейти от абсолютной величины $Q_{ц}$ к относительной, необходимо использовать выражение:

$$C_{ц} = \frac{\sum_{i=1}^N \lambda_i (1 - p_i) \cdot \Pi_i(t_{cp})}{\sum_{i=1}^N \lambda_i \cdot \Pi_{0i}}. \quad (4)$$

Как видно, знаменателем в выражении (4) выступает величина, численно равная суммарной ин-

тенсивности поступающей в сеть ценной информации.

Итак, в качестве показателя эффективности управления информационными потоками в ТКС специального назначения предлагается использовать величину $C_{ц}$. Анализ выражения (4) показывает, что значение этой величины изменяется в диапазоне $0 \leq C_{ц} \leq 1$. Минимальное значение данный показатель принимает, если все поступающие сообщения не доходят с требуемым QoS до своих адресатов, или информация по сети передается настолько медленно, что полностью обесценивается. Напротив, максимальное значение величины $C_{ц}$ будет наблюдаться в случае успешной и своевременной доставки всех сообщений. Видно, что эта характеристика показывает, какова доля всей доставленной по сети ценной информации по отношению ко всей поступившей ценной информации. Другими словами, величина $C_{ц}$ численно равна вероятности доставки по сети всей поступившей ценной информации и показывает, как с помощью реализации управления потоками сеть приспособляется к доставке ценной информации с минимальными потерями.

Чтобы окончательно убедиться в целесообразности использования показателя $C_{ц}$ для оценки эффективности управления информационными потоками в ТКС специального назначения, рассмотрим результаты применения данного метода для исследования достаточно простых и хорошо изученных сетей.

Обоснование целесообразности применения предлагаемого метода

Допустим, ТКС представлена в виде классической системы распределения информации – системы массового обслуживания (СМО) смешанного типа с ограничением по количеству сообщений, стоящих в очереди на передачу. Дисциплина обслуживания сообщений – FIFO (first input – first output) – обслу-

живание в порядке поступления. Емкость буферной памяти в системе такова, что максимальное количество сообщений, ожидающих в очереди свою отправку по сети, не превышает значения m . Известно, что по сети передаются сообщения первого и второго классов, поступающие в данную систему с интенсивностями λ_1 и λ_2 соответственно. Для упрощения анализа предположим, что в системе функционирует один работоспособный канал ($n = 1$), а интенсивности обслуживания всех сообщений одинаковы и равны μ . Значения указанных параметров, а также других характеристик приводятся таблице 1.

Таблица 1
Исходные данные для расчета $C_{ц}$

Параметры	Значения	Параметры	Значения
m	4	b_1	0,2
μ	$0,1 \text{ с}^{-1}$	b_2	0,2
λ_1	$0,02 \text{ с}^{-1}$	τ_1	20 с
λ_2	$0,005 \text{ с}^{-1} \dots$ $0,075 \text{ с}^{-1}$	τ_2	25 с
a_1	0,8	T_1	25 с
a_2	0,4	T_2	30 с

Из данных, содержащихся в табл. 1, видно, что поступающие сообщения первого класса содержат больше ценной информации, которая более чувствительна к задержкам. Примерами таких срочных сообщений, от своевременного получения которых во многом зависит успешность выполнения поставленной задачи, могут являться команды и целеуказания на уничтожение важных боевых объектов противника, передаваемые по ТКС военного назначения. В менее срочных сообщениях второго класса могут передаваться менее ценные сведения, которые сохраняют свою актуальность в

течение более длительного промежутка времени, чем информация, содержащаяся в сообщениях первого класса.

Для рассматриваемой СМО значение вероятности отказа в доставке какого-либо сообщения по причине перегрузки сети можно определить из выражения:

$$p = \frac{\frac{\alpha^n}{n!} \left(\frac{\alpha}{n}\right)^m}{\sum_{k=0}^n \frac{\alpha^k}{k!} + \frac{\alpha^n}{n!} \sum_{s=1}^m \left(\frac{\alpha}{n}\right)^s},$$

где $\alpha = \frac{\sum_{i=1}^N \lambda_i}{\mu}$ – коэффициент загрузки канала.

Среднее время доставки сообщения определяется как сумма среднего времени нахождения этого сообщения в очереди на передачу ($t_{ож}$) и среднего интервала времени, в течение которого это сообщение передается по сети:

$$t_{cp} = t_{ож} + \frac{1}{\mu}.$$

Величину $t_{ож}$ для такой системы можно определить из выражения:

$$t_{ож} = \frac{\pi}{n\mu} \sum_{s=0}^{m-1} \left(\frac{\alpha}{n}\right)^s - \left(\frac{\alpha}{n}\right)^m,$$

где величина π находится из формулы:

$$\pi = \frac{\frac{\alpha^n}{n!}}{\left(1 - \frac{\alpha}{n}\right) \left(\sum_{k=0}^n \frac{\alpha^k}{k!} + \frac{\alpha^n}{n!} \sum_{s=1}^m \left(\frac{\alpha}{n}\right)^s\right)}.$$

Для данных, содержащихся в таблице 1, с использованием выражений (1), (2) и (4) рассчитаны величины Π_i при различных значениях α . По результатам этих вычислений построены графики (рис. 1), показывающие, сколько ценной информации доставляется пользователям сети при получении ими сообщений 1-го класса (пунктирная кривая) и 2-го класса (сплошная кривая) в зависимости от величины загрузки канала.

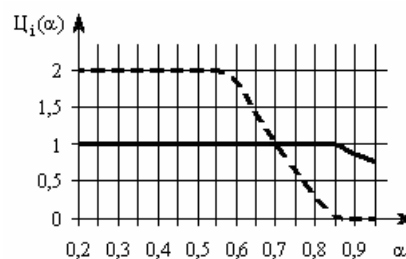


Рис. 1. Графики зависимости $\Pi_1(\alpha)$ и $\Pi_2(\alpha)$

Анализ графиков (рис. 1) показывает, что при увеличении загрузки канала уменьшается количество ценной информации, содержащейся в сообщениях, доставляемых пользователям сети. Этот факт объясняется тем, что увеличение значения α делает более продолжительным среднее время доставки сообщений, что приводит к уменьшению $\Pi_i(\alpha)$. Кроме того, вид этих зависимостей демонстрирует то, что с точки зрения потерь ценной информации трафик сообщений 1-го класса более чувствителен к перегрузкам, чем трафик сообщений 2-го класса.

По формуле (4) для исходных данных, содержащихся в таблице 1, рассчитаны значения $C_{ц}$ при различной загрузке канала. Соответствующий график зависимости изображен на рис. 2 (кривая 1).

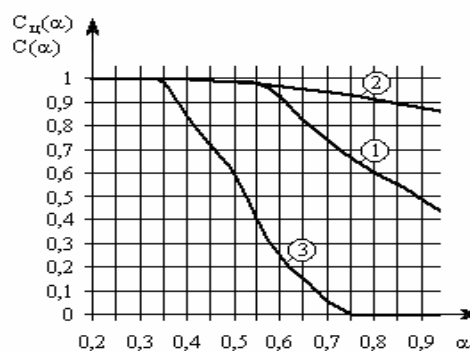


Рис. 2. Графики зависимостей $C_{ц}(\alpha)$ и $C(\alpha)$

На этом же рисунке показана кривая, отражающая зависимость величины относительной пропускной способности сети C от значений α (кривая 2). Напомним, что величина C не учитывает наличие в сообщениях ценной информации и рассчитывается по формуле (3).

Анализ кривых 1 и 2 (рис. 2) показывает, что значения C и $C_{ц}$ совпадают при $\alpha \leq 0,55$. Далее с увеличением коэффициента загрузки канала величина $C_{ц}$ убывает значительно быстрее, чем величина C . Это объясняется тем, что на интервале $\alpha \leq 0,55$ ценность информации, содержащаяся в доставленных сообщениях, является максимальной и не изменяется. Увеличение коэффициента загрузки канала на интервале $\alpha > 0,55$ уменьшает количество доставленной ценной информации, что приводит к существенному уменьшению значений показателя эффективности $C_{ц}$.

Предположим, что информация, содержащаяся в сообщениях, теряет свою ценность быстрее, чем в рассматриваемом выше примере. Для этого случая значения величин τ_i и T_i приведены в таблице 2.

Таблица 2

Значения величин

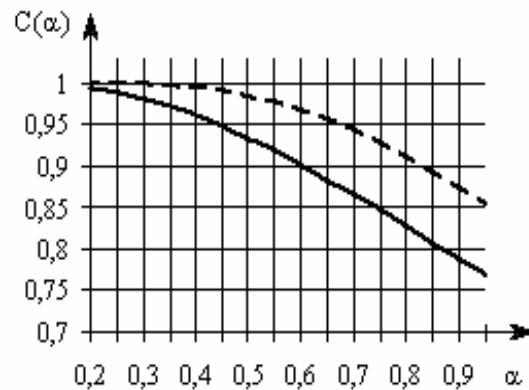
Параметры	Значения	Параметры	Значения
τ_1	15 с	T_1	20 с
τ_2	18 с	T_2	23 с

Зависимость $C_{ц}(\alpha)$ для этого случая представлена на рис. 2 в виде кривой 3. Из графика (рис. 2) видно, что в условиях существенной загрузки канала реализованное в сети управление информационными потоками при передаче более чувствительных к задержкам сообщений функционирует менее эффективно.

Рассмотрим более гибкое управление потоками, предполагающее адаптивное изменение емкости буферной памяти, в которую записываются сообщения, ожидающие передачу по сети. Исследуем два варианта управления информационными потоками. Первый вариант предполагает функционирование рассмотренной выше СМО с параметром $m=4$, а в качестве второго варианта используется такая же система, но с параметром $m=2$. Для расчетов будем

брать исходные данные, которые содержатся в таблице 1.

От емкости буферной памяти зависит пропускная способность системы. Понятно, что чем больше сообщений может быть записано в буферную память для ожидания передачи по сети, тем меньше вероятность отказа в доставке сообщений по причине перегрузки сети и, следовательно, выше пропускная способность ТКС. Эти рассуждения подтверждаются графическими зависимостями $C(\alpha)$, изображенными на рис. 3 (пунктирная кривая соответствует значению $m=4$, сплошная – $m=2$). Их анализ показывает, что величина относительной пропускной способности выше у системы, функционирующей с большей емкостью буферной памяти.

Рис. 3. Графики зависимости $C(\alpha)$ при различных значениях m

С другой стороны, от емкости буферной памяти зависит значение еще одной важной характеристики сети – среднего времени доставки сообщения. Чем больше сообщений будет записано в буферную память, тем дольше эти сообщения, находясь в канальной очереди, будут ожидать отправки по сети, что вызовет увеличение показателя t_{cp} . Доказать правильность этих утверждений позволяет анализ графических зависимостей, представленных на рис. 4 (пунктирная кривая соответствует значению $m=4$, сплошная – $m=2$).

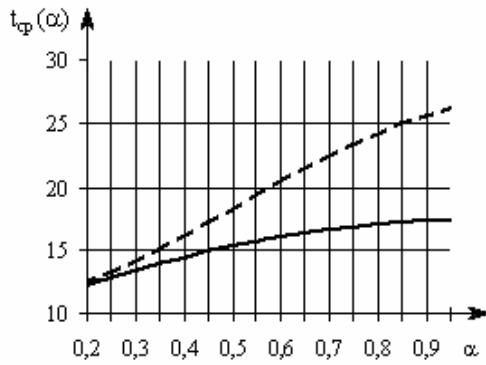


Рис. 4. Графики зависимости $t_{cp}(\alpha)$ при различных значениях m

Из графиков (рис. 4) видно, что с увеличением загрузки канала возрастает среднее время доставки сообщений. Система с параметром $m=4$ характеризуется более высокими значениями величины t_{cp} , чем система с параметром $m=2$.

Таким образом, результаты исследований показывают, что первый вариант управления информационными потоками в сети работает эффективнее, если эффективность оценивать с помощью показателя S . Если же в качестве показателя эффективности использовать величину t_{cp} , то можно сделать вывод, что эффективнее работает второй вариант управления информационными потоками.

Как видно, сформулированные выше выводы о том, какой вариант управления является более эффективным, носят противоречивый характер. Чтобы принять решение о том, какой из двух указанных вариантов целесообразно использовать в ТКС специального назначения, следует оценить эффективность управления информационными потоками в сети в соответствии с предложенным методом, применив при этом показатель $S_{ц}$.

С этой целью был произведен расчет зависимости $S_{ц}(\alpha)$ при различных значениях m , результаты которого представлены в виде соответствующих графиков, изображенных на рис. 5 (пунктирная кривая соответствует значению $m=4$, сплошная – $m=2$).

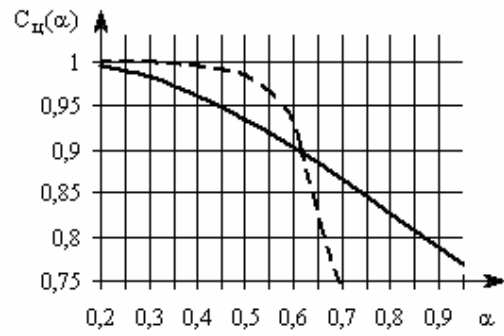


Рис. 5. Графики зависимости $S_{ц}(\alpha)$ при $m=4$ и $m=2$

Анализ этих графиков показывает, что если $\alpha < 0,62$, то управление информационными потоками в сети более эффективно при $m=4$. Если же сеть сильно загружена ($\alpha \geq 0,62$), то емкость буферной памяти, в которую записываются сообщения, ожидающие передачу по сети, целесообразно уменьшить, установив значение параметра $m=2$. Данный пример наглядно демонстрирует, что оценивая эффективность с помощью предложенного метода, можно выбрать такой вариант управления информационными потоками, который целесообразно применять в ТКС специального назначения.

Выводы

1. Разработан новый метод оценки эффективности управления информационными потоками в ТКС специального назначения. Данный метод предполагает для оценки эффективности использовать показатель $S_{ц}$.

2. Величина $S_{ц}$ имеет ясный физический смысл. Ее значение соответствует вероятности доставки по сети поступившей ценной информации и количественно характеризует приспособленность сети к доставке ценной информации с минимальными потерями с помощью реализации в ней управления потоками.

3. Предлагаемый метод отличается достаточно простым расчетом показателя $C_{ц}$, в основу которого положены вычисления относительной пропускной способности сети с учетом ценности передаваемой информации.

4. Данный метод был применен для исследования сетей, представленных в виде простых и хорошо изученных СМО. Полученные результаты оценки эффективности управления информационными потоками в таких системах не противоречат здравому смыслу и хорошо согласуются с известными теоретическими положениями.

5. Результаты выполнения расчетных экспериментов показали, что, оценивая эффективность с помощью предложенного метода, можно выбрать такой вариант управления информационными потоками, который целесообразно применять в ТКС специального назначения.

Литература

1. Вишнеvский В.М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей. – М.: Техносфера, 2003. – 512 с.
2. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. 3-е изд. – СПб.: Питер, 2006. – 958 с.
3. Вегенша Ш. Качество обслуживания в сетях IP: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 386 с.
4. Дымарский Я.С., Крутякова Н.П., Яновский Г.Г. Управление сетями связи: принципы, протоколы, прикладные задачи. – М.: ИТЦ «Мобильные коммуникации», 2003. – 384 с.
5. Шварц М. Сети связи: протоколы, моделирование и анализ. Ч.1: Пер. с англ. – М.: Наука, 1992. – 336 с.
6. Таненбаум Э. Компьютерные сети.: Пер. с англ. – СПб.: Питер, 2002. – 848 с.
7. Польщиков К.А., Струць В.А. Метод управления ресурсами буферной памяти телекоммуникационной сети с программируемыми услугами // Радиоэлектронные и компьютерные системы. – 2006. – № 5(17). – С.181-184.
8. Ефимов А.И. Информация: ценность, старение, рассеяние. – М.: Знание, 1978. – 286 с.
9. Лосев Ю.И., Невмержицкий И.М., Польщиков К.А. Дисциплина обслуживания сообщений при наличии перегрузки каналов // Радиотехника. – Х: ХНУРЭ, 2002. – Вып. 124. – С. 199-202.
10. Боровий В.І. Методика прийняття рішення по управлінню мережею обміну даними в умовах невизначеності інформації: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Х., 2004. – 20 с.

Поступила в редакцію 6.02.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Н.В. Галай, Полтавський національний технічний університет, Полтава.