



ПОСТРОЕНИЕ ИНТЕРНЕТ-ВИДЕОСИСТЕМ В УСЛОВИЯХ СУЩЕСТВЕННО ОГРАНИЧЕННОЙ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ КАНАЛОВ СВЯЗИ

В. В. ПРОХОРОВ,

доктор физико-математических наук, профессор, Уральский государственный аграрный университет (620075, г. Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, д. 42; тел.: 8 (343) 371-33-63),

И. П. МАНАКОВА,

аспирант, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина (620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 19)

Ключевые слова: дистанционное образование, видеоконференцсвязь, интернет-телевидение.

Эффективность специального профессионального и высшего образования, повышения квалификации специалистов реального аграрного производства принципиально возрастает при привлечении специалистов высокого уровня, вводящих в передовые технологии. Эффективность возрастает и при ознакомлении обучаемых с воочию видимыми прогрессивными техническими решениями, внедренными в реальных промышленных комплексах и технологических процессах, что можно реализовать только с использованием современных технологий «интернет-телеприсутствия». Например, с осуществлением видеотрансляций лекций, семинаров, а также лекций с возможностью обратной видеосвязи с любым участником, проведением туров по предприятиям, а также индивидуальных телезанятий. При внедрении таких систем для организации занятий в реальных условиях возникает проблема ограниченности пропускной способности звеньев интернет-сети, когда могут появляться перегрузки ее звеньев, влекущие крах качественной видеосвязи. В данной работе исследуется способ борьбы с перегрузками путем смены на ходу текущего потока для плееров зрителей, включая подключение плееров к потокам разного качества на конкретном сервере, или других серверах из множества серверов-репликаторов сети раздачи мультимедийного трафика. Рассматриваются различные постановки задач переподключения при наличии мультимедийных потоков разного качества, а также примеры их решения с использованием разработанного программного комплекса. Проведенное исследование показало, что предлагаемые решения могут использоваться для реальных интернет-видеосетей, позволяют бороться с перегрузками, что повышает эффективность работы интернет-видеосистем при задаче мультимедиа потоков.

BUILDING OF THE INTERNET VIDEO SYSTEMS IN THE CONDITIONS OF ESSENCIALLY LIMITED BANDWIDTH OF COMMUNICATION CHANNELS

V. V. PROKHOROV,

doctor of physics and mathematics science, professor, Ural State Agricultural University

(42 K. Libknehta Str., 620075, Ekaterinburg; tel: +7 (343) 371-33-63),

I. P. MANAKOVA,

postgraduate, Ural Federal University of the first President of Russia B. N. Yeltsin

(19 Mira Str., 620002, Russia, Ekaterinburg)

Keywords: distance education, videoconferencing, Internet-TV.

The efficiency of special vocational and higher education, and advanced training of professionals working in real agrarian production, improves in case of engagement of high-level professionals introducing them into state-of-the art technologies. Efficiency increases more if the students are made familiar with the advanced technical solutions implemented at real industrial facilities and production processes they can see with their own eyes. Achieving these goals is possible only on the basis of use of the current "Internet telepresence" technologies: video broadcast of lectures, holding seminars and lectures with the possibility of back video communication with any participant, holding tours around enterprises, as well as private tuitions. "Internet telepresence" technologies are used in current systems for distribution of real-time multimedia built on the basis of IP networks. When implementing such systems for arranging classes, one may face the real-life problem of the limited bandwidth of Internet network segments, when they may become overloaded which results in crash of quality video communication. The scientific paper is dedicated to the research of the method of coping with overloads by re-linking viewers' players to other servers from a large number of replicator servers of the multimedia traffic distribution network within an integrated Internet video system. Different formulations of the problem of re-linking in the environment of multimedia flows of different quality and the examples of their solution with the use of the developed software system are discussed. The conducted research has demonstrated that the proposed solutions may be used in real Internet video networks that they actually allow to cope with overloads, and also allow to increase the number of clients linked to the network, which, in its turn, allows improving the efficiency of the operation of Internet video systems in distribution of multimedia flows.

Положительная рецензия представлена А. Г. Кремлевым, доктором физико-математических наук, профессором Высшей школы экономики и менеджмента Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина.



Проблемы внедрения систем интернет-видеосвязи. Эффективность специального профессионального и высшего образования, повышения квалификации специалистов «на местах» качественно возрастает при привлечении российских и зарубежных специалистов высокого уровня. Наряду с этим важно ознакомление обучаемых с воочию видимыми ими техническими решениями, внедренными в промышленных комплексах, присутствие на реальных технологических процессах.

Для широкого привлечения высококвалифицированных специалистов, а также для «живого» знакомства с передовыми техническими решениями, внедряемыми в стране и за рубежом, весьма эффективно использование интернет-видеосистем реального времени, построенных на базе IP-сетей. Использование таких систем актуально для организации удаленного общения (например, для проведения круглых столов со специалистами), для видеотрансляции событий в реальном времени, организации многосторонних видеомостов: для проведения видеосовещаний руководителей, организации удаленных туров по предприятию и т. п.

Однако при повсеместном внедрении интернет-видеосистем в образовательный процесс можно столкнуться с возникающей в реальных условиях проблемой ограниченности пропускной способности звеньев интернет-сети, когда могут появляться перегрузки, ведущие к краху качественной видеосвязи. Проблема ограниченности пропускной способности связана с ненадежностью и неоднородностью каналов связи, а также с низкой пропускной способностью звеньев сети. В крупных городах скорость передачи данных конечному пользователю может достигать 100 Мбит/с и выше, однако в малых городах, селах и деревнях она значительно ниже. В «глубинке» часто отсутствует возможность расширить каналы, повысить скорость и надежность передачи данных. Проблема может решаться созданием сети узлов размножения (репликации) мультимедийных потоков на базе сети Интернет (рис. 1).

В системе, представленной на рис. 1, имеются узлы репликации, соединенные через Интернет. Эти сервера могут на основе входящих мультимедийных потоков создавать несколько копий этих потоков с разными уровнями качества видео. Узлы репликации образуют единую систему раздачи мультимедийного контента реального времени (Real-Time Multimedia Content Distribution System, RTMCDS) [4].

Современные сети доставки контента (Content Distribution Network, CDN) [5], в том числе сети RTMCDS [4], строятся с применением репликации потоков. Однако при организации такой сети для интернет-видеосистемы требуется решение определен-

ных проблем. Из-за использования публичных каналов связи сети разных провайдеров накладываются друг на друга, и появляется разнородный трафик. Из-за этого, а также из-за повышения спроса на мультимедийные услуги, узлы интернет-видеосистем могут оказываться перегруженными, что влияет на качество предоставляемых услуг.

Для повышения эффективности работы интернет-видеосистем и для увеличения количества подключенных к конкретной системе клиентов актуально решение задач борьбы с перегрузками узлов мультимедийной сети. В предшествующих исследованиях [3] были предложены некоторые способы борьбы с перегрузками, один из которых — переподключение — смена источников для плееров зрителей.

Смена источника для плеера как способ борьбы с перегрузками. В источниках [2] были приведены постановки некоторых типов задач смены источников (переподключения плееров). Рассмотрим задачи смены источников для плееров зрителей при условии существования потоков разного качества для одного внешнего источника. В данном случае методика управления загрузкой исходящих каналов сети заключается в понижении качества за счет выбора потока, который занимает меньший объем от пропускной способности канала, и связан с тем же внешним источником данных, что и поток, который зритель получал изначально.

Математическую постановку задачи можно представить в виде следующей системы ограничений:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^U (x_{ij} - y_{ij}) \rightarrow \min \\ (q_i^j - q_i^k) \rightarrow \min \\ \sum_{j=1}^U x_{ij} \times RD \times b_{ij} \times K_{ij} \leq R_{i,cb} \\ \sum_{i=1}^N x_{ij} = 1 \\ \sum_{j=1}^U x_{ij} \leq U_{i,max} \\ x_{ij} \in \{0, 1\}, i = \overline{1, N}, j = \overline{1, U}. \end{cases}$$

где N — количество узлов;
 U — количество плееров зрителей;
 y_{ij} — схема подключения плееров до момента анализа сети на предмет переподключения;
 x_{ij} — новая схема подключения плееров;
 $U_{i,max}$ — максимальное количество пользователей, которое можно подключить к узлу i ;
 $R_{i,cb}$ — остаточная пропускная способность исходящего канала узла i ;
 b_{ij} — поток, который получает клиент j на узле i (выражается через скорость передачи мультимедиа);
 K_{ij} — поток пользователя j «изменится»/«не изменится», если пользователя подключить к узлу i ;

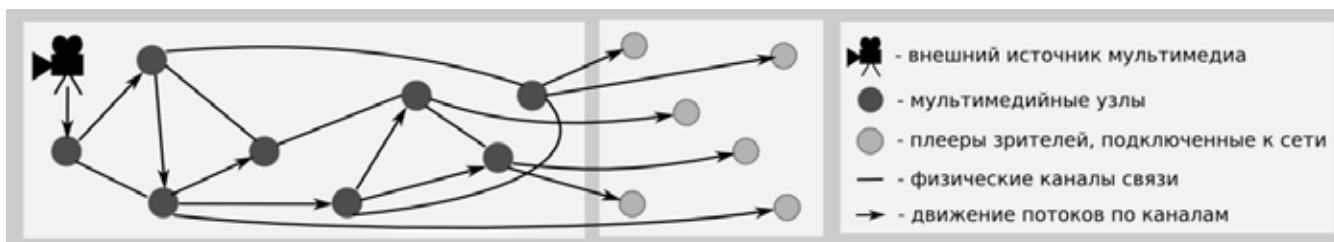


Рисунок 1
Пример сети репликации



q_j^y — качество обслуживания зрителя j на момент появления сигнала о том, что некоторый узел перегружен;

q_j^x — качество обслуживания зрителя j после переключения;

$K_{i,j}$ — пользователь j «может быть подключен» / «не может быть подключен» к узлу i ;

RD — коэффициент надежности раздачи мультимедийных потоков — функция, описывающая зависимость скорости передачи потоков от времени и загрузки каналов сети.

Если в качестве RD указать константу, то будет получена задача первого типа. Если в качестве коэффициента RD указать функцию времени, то будет получена задача второго типа. Таким образом, получаются комбинаторные задачи с ограничениями. Сформированные математические описания позволяют реализовать решения в виде компьютерной программы, реализующей заданные алгоритмы.

Для решения задач смены потоков был разработан программный класс, включающий в себя необходимые алгоритмы. Далее функционал был внедрен в разработанную среду MOMS (Models of Multimedia Systems) по моделированию систем RTMCDS для анализа эффективности работы таких систем с учетом предложенных возможностей по переключению (смены источника).

Программное решение задач смены источника. Рассмотрим на примере задачу смены источника, когда имеются потоки, соответствующие различным уровням качества.

Пусть имеются два «корневых» узла (стримера), которые подключены к внешним источникам данных (видеокамерам). Пусть эти узлы установлены в точках с малой шириной исходящего канала. В промежуточных узлах с достаточно широкой пропускной способностью каналов установлены транскодеры-репликаторы, которые могут перекодировать и раз-

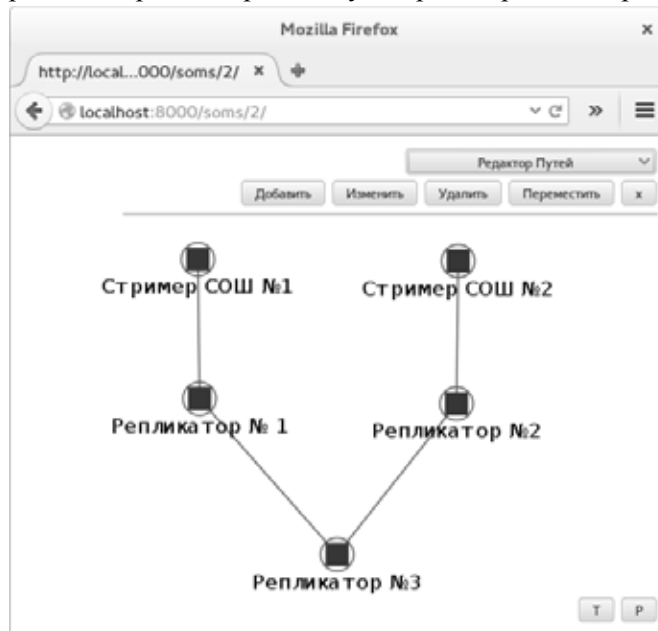


Рисунок 2
Модель общеобразовательной сети

Таблица 1
Характеристика узлов

Название узла	Мультимедийный поток			Максимум зрителей	Входящий канал (Мбит/с)	Исходящий канал (Мбит/с)
	Название исходящего потока	Средняя скорость передачи (Мбит/с)	Родительский поток			
Стример СОШ № 1	Актовый зал	5,0	Видеокамера	10	15	30
Стример СОШ № 2	Класс № 1	5,0	Видеокамера	10	15	30
Репликатор № 1	Актовый зал Копия № 1	5,0	Актовый зал	150	500	500
	Актовый зал Копия № 2	4,0	Актовый зал			
	Актовый зал Копия № 3	3,0	Актовый зал			
	Актовый зал Копия № 4	2,0	Актовый зал			
Репликатор № 2	Класс № 1 Копия № 1	5,0	Класс № 1	150	500	500
	Класс № 1 Копия № 2	4,0	Класс № 1			
	Класс № 1 Копия № 3	3,0	Класс № 1			
	Класс № 1 Копия № 4	2,0	Класс № 1			
Репликатор № 3	Актовый зал Копия № 5	4,0	Актовый зал Копия № 2	150	500	500
	Актовый зал Копия № 6	3,0	Актовый зал Копия № 2			
	Класс № 1 Копия № 5	4,0	Класс № 1 Копия № 2			
	Класс № 1 Копия № 6	3,0	Класс № 1 Копия № 2			



Таблица 2

Описание нагрузки на исходящие каналы узлов

Название узла	Данные о нагрузке
Репликатор № 1	«Актовый зал. Копия № 1» — подключено 35 человек, «Актовый зал. Копия № 2» — подключено 42 человека, «Актовый зал. Копия № 3» — подключено 30 человек, «Актовый зал. Копия № 4» — подключено 31 человек. Общая нагрузка на исходящий канал, вызванная генерацией потоков клиентам: 495 Мбит/с, общая нагрузка на исходящий канал, вызванная генерацией потоков для других репликаторов: 4 Мбит/с. Остаточная пропускная способность исходящего канала: 1 Мбит/с
Репликатор № 2	«Класс № 1. Копия № 1» — подключено 35 человек, «Класс № 1. Копия № 2» — подключено 42 человека, «Класс № 1. Копия № 3» — подключено 30 человек, «Класс № 1. Копия № 4» — подключено 31 человек. Общая нагрузка на исходящий канал, вызванная генерацией потоков клиентам: 495 Мбит/с, общая нагрузка на исходящий канал, вызванная генерацией потоков для других репликаторов: 4 Мбит/с. Остаточная пропускная способность исходящего канала: 1 Мбит/с
Репликатор № 3	«Актовый зал. Копия № 5» — подключено 35 человек, «Актовый зал. Копия № 6» — подключено 42 человека, «Класс № 1. Копия № 5» — подключено 35 человек, «Класс № 1. Копия № 6» — подключено 29 человека. Общая нагрузка на исходящий канал, вызванная генерацией потоков клиентам: 493 Мбит/с, общая нагрузка на исходящий канал, вызванная генерацией потоков для других репликаторов: 6 Мбит/с. Остаточная пропускная способность исходящего канала: 1 Мбит/с

```

ReconnectionAlgorithms x
manager = Manager(size=0)

point = Point(id=1, overload=-1, user_maximum=150)
point.add_stream(Stream(id=1, bandwidth=5))
point.add_stream(Stream(id=2, bandwidth=4, parent=1))
point.add_stream(Stream(id=3, bandwidth=3, parent=1))
point.add_stream(Stream(id=4, bandwidth=2, parent=1))
point.add_users(id=1, count=35)
point.add_users(id=2, count=42)
point.add_users(id=3, count=30)
point.add_users(id=4, count=3)
manager.add_point(point);

point = Point(id=3, overload=1, user_maximum=150)
point.add_stream(Stream(id=5, bandwidth=4, parent=1))
point.add_stream(Stream(id=6, bandwidth=3, parent=1))
point.add_users(id=5, count=35)
point.add_users(id=6, count=42)
manager.add_point(point);

manager.clear_with_decrease(manager.points, 1)
    
```

a

```

irina@laptop:~$ python ReconnectionAlgorithms
['from:1 to:1 value:5 decreased:4']
decreased
elapsed 0.000657081604004
id:1, overload:0, count:110, maximum:150
  id:1, bandwidth:5, count:34
  id:2, bandwidth:4, count:43
  id:3, bandwidth:3, count:30
  id:4, bandwidth:2, count:3
id:3, overload:1, count:77, maximum:150
  id:5, bandwidth:4, count:35
  id:6, bandwidth:3, count:42
irina@laptop ~]$
    
```

b

Рисунок 3

Пример решения задачи о переподключении: а — пример задание начальных установок; б — генерация ответа

множать потоки (например, репликатор может получать видеопоток в формате 3D, а отдавать в форматах 3D и 2D) (рис. 2).

Приведенная схема связи узлов составлена в разработанном генераторе моделей (его особенности отчасти описаны в других работах [1]). Начальные установки для узлов приведены в табл. 1.

В табл. 1 репликаторы 1–3, используют входящие потоки, создают копии с более низким качеством. Та-

ким образом, для одного внешнего устройства (видео камеры) имеется, скажем, по 4 потока с разным качеством. Например, для вещания события из класса № 1 СОШ № 2 существуют потоки с качеством 5 Мбит/с (СОШ № 2, репликатор № 2), качеством 4 Мбит/с (репликатор № 2, репликатор № 3), качеством 3 Мбит/с (репликатор № 2, репликатор № 3) и качеством 2 Мбит/с (репликатор № 2).

Если сеть оказывается в состоянии частичной перегрузки, то можно запустить алгоритм смены источников и проверить возможные пути уменьшения нагрузки на узлах для подключения новых клиентов. Пример ситуации с перегрузкой приведен в табл. 2.

Для примера рассмотрим следующую задачу: пусть к системе, представленной на рис. 2, с начальными установками, приведенными в табл. 1, в момент времени t с нагрузкой, описанной табл. 2, к потоку «Актовый зал» хочет подключиться один клиент; требуется определить возможные варианты подключения клиента. Переподключение зрителей на потоки с меньшим качеством разрешено. Непосредственно подключение к стримерам запрещено.

Решением задачи может стать следующий поиск. Поток «Актовый зал» раздается репликатором № 1 с уровнями качества 5 Мбит/с, 4 Мбит/с, 3 Мбит/с, 2 Мбит/с и репликатором № 3 с уровнями качества 4 Мбит/с, 3 Мбит/с. В запасе у каждого из этих узлов имеется по 1 Мбит/с остаточной пропускной способности исходящего канала, поэтому подключение зрителя без понижения уровня качества невозможно. Чтобы подключить зрителя с минимальным уровнем качества, необходимо предоставить 2 Мбит/с. Для этого нужно освободить 1 Мбит/с на репликаторе № 1.

Возможные решения:

- сменить у первого зрителя получение потока 5 Мбит/с на поток 4 Мбит/с;
- сменить у первого зрителя получение потока 4 Мбит/с на поток 3 Мбит/с;
- сменить у первого зрителя получение потока 3 Мбит/с на поток 2 Мбит/с.

В задаче не были заданы дополнительные условия отбора, поэтому хорош любой из указанных вариантов. Дополнительными условиями могут быть, например, указание для зрителей, к каким узлам они могут быть подключены или указание, насколько допустимо понижение уровня качества.



Пример описания модели методами разработанного программного класса представлен на рис. 3, а. На рис. 3, б приведен пример вывода ответа. При использовании среды моделирования MOMS все значения устанавливаются автоматически.

На этапе формирования схемы подключения зрителей (*manager*) (рис. 3, а) необходимо задать объекты типа «*point*» (мультимедийный узел) с начальными параметрами «*id*» — уникальный идентификатор узла, «*overload*» — нагрузка на исходящий канал узла (значение с минусом указывает на то, что узел перегружен), «*user_maximum*» — максимальное количество пользователей, которое можно подключить к узлу. Далее с использованием метода «*add_stream*» добавляются потоки с указанием: «*id*» — уникальный идентификатор потока, «*bandwidth*» — занимаемая ширина канала для передачи потока, «*parent*» — идентификатор потока-родителя.

С использованием метода «*add_users*» добавляется информация о подключенных к потокам зрителях с указанием: «*id*» — идентификатор потока, «*count*» — количество подключенных зрителей. При желании может быть указано, к каким узлам зрители могут подключаться, а к каким нет. Далее с использованием метода «*add_point*» происходит запись информации об узле. Так формируется схема подключения зрителей. Далее можно выбрать один из алгоритмов управления и запустить операцию перераспределения.

Ответ включает в себя информацию о возможности понижения нагрузки (*decreased/don't decreased*), о времени, затраченном на поиск решения (*elapsed*), о перераспределении нагрузки, а также включает окончательный вариант схемы подключения зрителей.

Аналогично рассмотренной модели в среде MOMS можно провести моделирование разные ситуации с перегрузками, решая разные задачи по управлению нагрузкой.

В ходе проведенных экспериментов на моделях интернет-видеосистем получены зависимости времени поиска решения о переключении от количества мультимедийных узлов, от мощности вычислительной машины, от количества мультимедийных

потоков, от методики поиска решения, от сложности задачи поиска и объема свободных ресурсов на узлах.

Выводы.

Эффективность специального профессионального и высшего образования, повышения квалификации специалистов «на местах» качественно возрастает при привлечении талантливых ведущих российских и зарубежных специалистов. Для широкого привлечения высококвалифицированных специалистов, а также для «живого» знакомства с передовыми техническими решениями, внедряемыми в стране и за рубежом, весьма эффективно использование интернет-видеосистем реального времени, построенных на базе IP-сетей.

Для повышения эффективности работы интернет-видеосистем и для увеличения количества подключенных к конкретной системе клиентов актуально решение задач борьбы с перегрузками узлов мультимедийной сети. Эти задачи актуальны для внедрения интернет-видеосистем в любых предприятиях (в том числе, агропромышленного комплекса) в существующих реалиях каналов связи.

В работе описан один из возможных способов борьбы с перегрузками узлов интернет-видеосистем — «переключением плееров зрителей» (смена источников для плееров зрителей), а также приведено реализованное программное решение задач переключений.

Проведенные эксперименты показали, что предлагаемые алгоритмы работоспособны и могут использоваться для реальных интернет-видеосистем, построенных по принципу репликации (рис. 1). Предложенные в работе подходы позволяют бороться с перегрузками мультимедийных узлов, а также позволяют увеличить количество подключенных к системе зрителей, поэтому могут использоваться для повышения эффективности работы реальных интернет-видеосистем во время раздачи мультимедиа потоков.

Полученные результаты используются в разработанной среде имитационного моделирования MOMS (Models of Multimedia Systems) для анализа эффективности работы реальных систем RTMCDS в условиях ограниченности их ресурсов.

Литература

1. Манакова И. П. Визуализатор моделей мультимедийных CDN // СПИСОК-2014 : материалы Всерос. науч. конф. по проблемам информатики 23–25 апр. 2014, Санкт-Петербург. СПб. : ВВМ, 2014. С. 319–325.
2. Манакова И. П. Об управлении загрузкой исходящих каналов сети RTMCDN во время перегрузок // Технические науки — от теории к практике : сб. ст. по материалам XXXVI Междунар. науч.-практ. конф. № 7 (32). Новосибирск : Изд. «СибАК», 2014. С. 30–42.
3. Петров К. Б., Манакова И. П. К вопросу о подключении пользователей к мультимедиа-сети // Инновации — науке : материалы XVI Междунар. заоч. науч.-практ. конф., 28 января 2013 г. Новосибирск : Изд. «СибАК», 2013. Ч. I. С. 94–108.
4. Прохоров В. В., Манакова И. П. Модель системы раздачи мультимедийных потоков // Фундаментальные исследования. 2014. № 8 (Ч. 2). С. 311–316.
5. Pathan A. M. K., Buyya R. A Taxonomy and Survey of Content Delivery Networks Technical Report. GRIDS-TR-2007-4. Australia : The University of Melbourne, 2007.

References

1. Manakova I. P. Visualizer of Multimedia CDN Models // SPISOK-2014 : proceedings of scientific conference, Saint Petersburg, 23–25 April, 2014. St. Petersburg : VVM, P. 319–325.
2. Manakova I. P. On the balancing of outbound channels during overload for RTMCDN // Engineering science : from theory to practice : proceedings of XXXVI International scientific and practical conference № 7 (32). Novosibirsk : SIBAK, 2013. P. 30–42.
3. Petrov K. B., Manakova I. P. About the connection of the users to the multimedia network // Innovations in science : proceedings of XVI International scientific and practical conference, Novosibirsk, 28 January, 2013. Novosibirsk : SIBAK, 2013. Vol. 1. P. 94–108.
4. Prokhorov V. V., Manakova I. P. Model of multimedia streams delivery system // Fundamental research. 2014. № 8 (P. 2). P. 311–316.
5. Pathan A. M. K., Buyya R. A Taxonomy and Survey of Content Delivery Networks Technical Report. GRIDS-TR-2007-4. Australia : The University of Melbourne, 2007.