



<http://doi.org/10.35596/2522-9613-2022-28-2-43-51>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 004.75

АНАЛИЗ РАБОТЫ БАЛАНСИРОВЩИКА НАГРУЗКИ СЕРВИСА ВИДЕО-КОНФЕРЕНЦ-СВЯЗИ

А. Н. МАРКОВ, А. И. ПАРАМОНОВ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
(г. Минск, Республика Беларусь)

Поступила в редакцию 11 апреля 2022

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2022

Аннотация. Показывается необходимость внедрения балансировки сервиса видео-конференц-связи (ВКС) при использовании в образовательных процессах. Рассматривается структура построения сервиса ВКС с балансировщиком нагрузки. Проводится компьютерный эксперимент на сервис ВКС. По результатам компьютерного эксперимента на выбранный сервис ВКС BigBlueButton с балансировщиком нагрузки сформированы графики. Приводятся графики нагрузки на аппаратные компоненты виртуального сервера на трех этапах тестирования для центрального процессора, а также оперативную память и сетевые интерфейсы как в пределах сервиса, так и в структуре локальной компьютерной сети. Описываются результаты анализа графиков на предмет выявления ключевых особенностей работы сервиса ВКС с балансировщиком нагрузки. Определяются наиболее загруженные аппаратные компоненты виртуального сервера. Формулируются проблемы эксплуатации сервиса с выбранным алгоритмом балансировки.

Ключевые слова: видео-конференц-связь, BigBlueButton, программно-аппаратный комплекс, балансировка нагрузки в кластере, нагрузочное тестирование, дистанционное образование.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Марков А. Н., Парамонов А. И. Анализ работы балансировщика нагрузки сервиса видео-конференц-связи. *Цифровая трансформация*. 2022; 28(2): 43-51.

LOAD BALANCER OPERATION ANALYSES OF VIDEO-CONFERENCE SERVICE

ALEKSEY N. MARKOV, ANTON I. PARAMONOV

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (Minsk, Republic of Belarus)

Submitted 11 April 2022

© Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2022

Abstract. The need to implement balancing of the video conferencing service (VCS) when used in educational processes is shown. The structure of building a VCS with a load balancer is considered. A computer experiment is being conducted on the VCS. Based on the results of a computer experiment, graphs were generated for the

selected BigBlueButton VCS with a load balancer. The graphs of the load on the hardware components of the virtual server at three stages of testing for the central processor, RAM, and network interfaces both within the service and in the structure of the local computer network are given. The results of the analysis of graphs are described in order to identify the key features of the operation of the video conferencing service with a load balancer. The most loaded hardware components of the virtual server are determined. The problems of service operation with the chosen balancing algorithm are formulated.

Keywords: video conferencing, BigBlueButton, hardware and software system, cluster load balancing, load testing, distance education.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests.

For citation. Markov A. N., Paramonov A. I. Load Balancer Operation Analyses of Video-Conference Service. *Digital Transformation*. 2022; 28(2): 43-51.

Введение

В ходе реализации проекта цифровой трансформации образования, на этапе перехода к смешанной модели обучения в рамках системы электронного обучения в УО БГУИР был внедрен сервис видео-конференц-связи (ВКС) BigBlueButton (BBB) [1, 2]. Однако в процессе интеграции видеосервиса в учебный процесс БГУИР была выявлена проблема повышенной нагрузки на единичный сервер, которая описана в работе [3]. На этапе тестовой эксплуатации эмпирическим путем было установлено, что увеличение аппаратных ресурсов сервера BigBlueButton относительно первоначально заданных параметров не приносит значительного прироста производительности сервиса в целом. Так, например, при проведении видеоконференции в формате «один спикер (лектор) и более пятидесяти участников» возникает ряд проблем: неустойчивая трансляция изображения в потоке и на оконечных устройствах, трудности с подключением новых пользователей к видеоконференции, рассинхронизация мультимедийного потока и другие. Также возникают ошибки синхронизации по времени, ошибки входа новых пользователей, ошибки при добавлении видеопотока. После прохождения этапа тестовой эксплуатации необходимо гарантировать стабильность подключения к сервису и качество видеопотока видеоконференции независимо от оконечных устройств пользователей. Одной из главных причин нестабильности подключений и ненадлежащего качества видеопотока является превышение допустимого числа подключений к сервису. Один из путей решения данной проблемы лежит в организации кластера серверов для распределения пользователей в зависимости от загрузки каждого сервера и устранения задержек на этапах подключения к видеоконференции.

Организация балансировки нагрузки сервиса видео-конференц-связи

Для обеспечения качественного сервиса видео-конференц-связи было принято решение по объединению вычислительных мощностей нескольких серверов в единый вычислительный кластер. С целью распределения потоков слушателей, а соответственно и нагрузки на серверы, был внедрен балансировщик нагрузки на сервис ВКС. Балансировщик предоставляет доступ к большему объему ресурсов и распределяет нагрузку по подключенным в кластер серверам в зависимости от количества пользователей на хосте. В основе работы балансировщика применен алгоритм Round Robin DNS (*RR DNS*) – алгоритм распределения нескольких задач (потока запросов) или/и нагрузки распределенных вычислительных систем методом перебора и упорядочения элементов по круговому циклу [4]. В простейшем случае *RR DNS* работает, отвечая на запросы не только одним *IP*-адресом, а списком из нескольких адресов серверов, предоставляющих идентичный сервис. Порядок, в котором возвращаются *IP*-адреса из списка, основан на алгоритме *RR*. С каждым ответом последовательность *ip*-адресов меняется. Как правило, простые клиенты пытаются устанавливать соединения с первым адресом из списка, таким образом разным клиентам будут выданы адреса разных серверов, что распределит общую нагрузку между серверами. В системах ВКС *RR DNS* является распространенным методом балансировки и используется в реализации веб-сервисов и сервисов ВКС (например Skype for Business (URL: <https://docs.microsoft.com/ru-ru/skypeforbusiness/plan-your-deployment/network-requirements/load-balancing>)).

В свою очередь, аппаратная реализация балансировки хоть и весьма эффективное, но очень дорогостоящее решение, которое рекомендуется к применению в условиях высоконагруженных кластерных систем. Для подсистемы дистанционного обучения любого учреждения образования такой подход экономически нецелесообразен в силу небольшого (до 5000) количества одновременных пользователей системы. Следует отметить, что попытка балансировки ресурсов на клиентской стороне, при которой непосредственно пользователь при недоступности ресурса (сервера) выбирает другой из перечня возможных, приводит к усложнению процессов подключения к системе видео-конференц-связи и администрирования самой конференции, а также к невозможности организации кабинетов в самой системе.

Предлагаемая в работе схема реализации балансировщика нагрузки в пределах вычислительного кластера представлена на рис. 1.

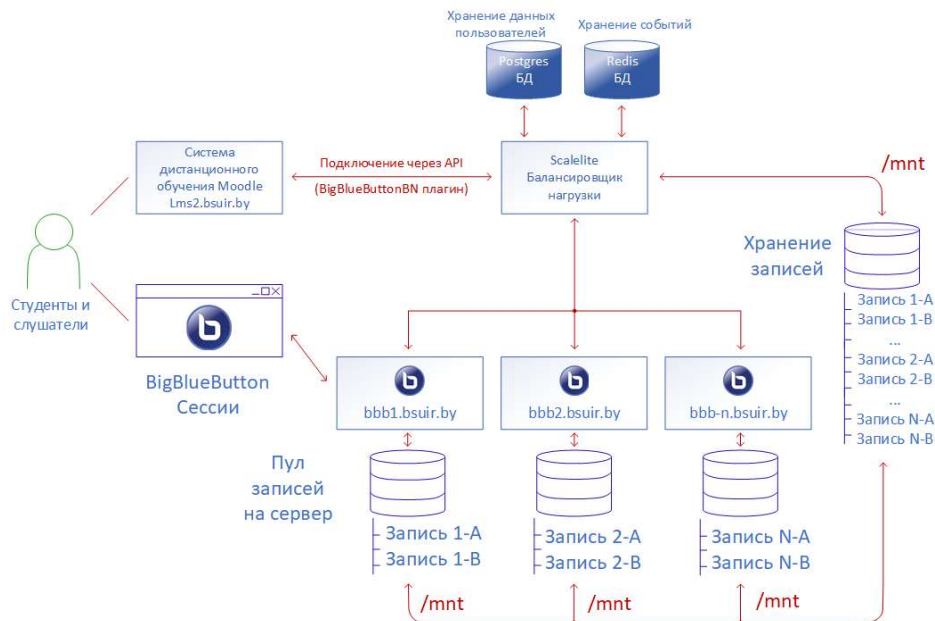


Рис. 1. Схема организации вычислительного кластера видео-конференц-связи
Fig. 1. Scheme of organizing a computing cluster of videoconferencing

Компьютерный эксперимент

Проверка балансировщика нагрузки проводилась методом нагрузочного тестирования с использованием внешних и внутренних сетей и каналов связи. Методика проведения тестов заключалась в оценке параметров работоспособности как по контрольным точкам – времени задержки и отклика входа пользователя в конференцию, времени подключения к кабинету, контроля загрузки процессора, памяти, нагрузки на сеть (как в целом, так и по интерфейсам локальной сети и провайдера), занятости кеш-памяти с выгрузкой на дисковый массив, так и в визуальном контроле качества работоспособности системы, который включает в себя контроль за рассинхронизацией аудио- и видеопотока на момент проведения видеоконференции, задержки при декодировании конечного мультимедийного потока на оконечных устройствах пользователей, контроль за пропуском пакетов на этапе передачи мультимедиа потока в режиме реального времени по сети. В связи с тем, что количественные показатели работы сервиса в целом не дают достоверной оценки работоспособности ВКС, для большей объективности в данном эксперименте рекомендуется не пренебрегать качественными характеристиками видеоконференции.

Составлен общий план проведения тестирования в рамках эксперимента, который включает следующие шаги.

1. Формируются три видеоконференции.
2. Каждая из конференций запускается поочередно и начинается подключение участников.
3. В процессе подключения новых участников и на этапе проведения всей конференции демонстрируется видеопоток для выявления рассинхронизации мультимедиа.

4. На этапах подключения пользователей периодически воспроизводится поток с веб-камеры спикера с демонстрацией экрана.

5. После подключения более сотни пользователей поток начинает нагружаться включенными видеотрансляциями участников конференций (демонстрация изображений с веб-камер пользователей).

6. Определяются проблемы подключения, отслеживаются показатели нагрузки на аппаратные компоненты сервера в кластере, оконечного оборудования пользователей и каналов связи.

Тестирование организовано на различных по конфигурации серверах в кластере, для которых выделены следующие ресурсы: *BBB1* (4 core CPU, 12 Gb RAM), *BBB2* (8 core CPU, 14 Gb RAM) и *BBB3* (12 core CPU, 16 Gb RAM).

После проведения нагрузочного тестирования были получены данные для анализа работоспособности вычислительного кластера в целом и балансировщика в кластере системы ВКС. Данные, полученные в результате тестирования, включают распределение числа пользователей по времени и распределение нагрузки на ресурсы серверов в кластере в зависимости от загруженности.

Оценивая временные графики модели нагрузочного тестирования на трех этапах, можно отметить плавный рост количества пользователей за единицу времени (рис. 2).

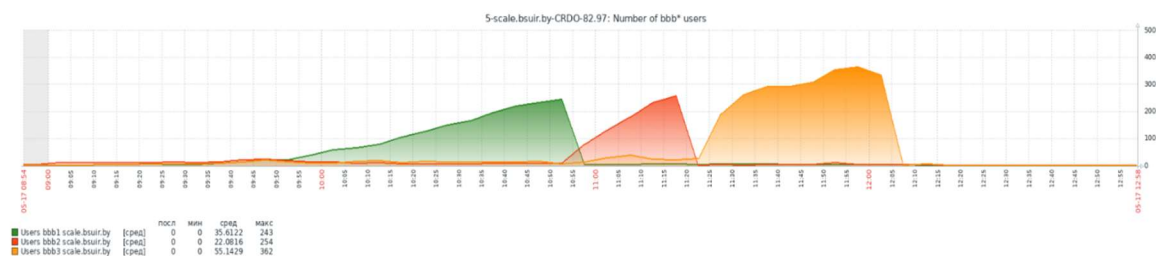


Рис. 2. Графики нагрузки количества пользователей на вычислительный кластер ВКС (график слева – нагрузка по количеству пользователей на этапе тестирования *BBB1*, график по центру – *BBB2*, график справа – *BBB3*)

Fig. 2. Graphs of the load of the number of users on the computing cluster of the video conferencing network (graph on the left – load by the number of users at the *BBB1* testing stage, graph on the center – *BBB2*, graph on the right – *BBB3*)

При организации вычислительного кластера предельные значения гарантированной работоспособности системы ВКС значительно превышают номинальные в полтора раза, а в некоторых случаях – при расширении сервера *BBB3* – более чем в два раза с учетом выделенных ресурсов оборудования.

Рост количества пользователей в единицу времени пропорционально загружает вычислительные мощности. Так, для сервера *BBB1* при подключении более двухсот пользователей параметры нагрузки на центральный процессор выросли и превысили 100%-ную загрузку. Параметр использования центрального процессора количественный, по оценке данного параметра можно судить только о превышении предельных значений выделенных ресурсных мощностей (рис. 3, а).

При оценке качества видеоконференции в совокупности с загрузкой аппаратных ресурсов можно отметить, что при превышении загрузки центрального процессора более, чем на 70%, появляются значительные временные задержки на этапе подключения к видеоконференции. Рост нагрузки свыше 100% обусловлен повышенным числом запросов за короткий промежуток времени к сервису ВКС для распределения и подключения к конференции. Вследствие малого временного интервала нет возможности моментально распределить пользователей. Стоит отметить, что загрузка выше 100% наблюдается и на сервере *BBB2* с увеличенными аппаратными ресурсами (рис. 3, б).

При расширении мощностей на третьем сервере *BBB3* до 12 ядер нагрузка, превышающая 100% на момент подключения, обусловлена проведением нагрузочного тестирования до момента максимальной загрузки сервера пользователями, при котором без подключения видеопотока сохранялось качество связи (рис. 3, в).

Стоит отметить, что при превышении отметки в 273 пользователя уже наблюдались значительные задержки на подключении пользователей к конференции, задержки при демонстрации мультимедийного потока и спикера через веб-камеру.

Максимальное же количество пользователей превысило отметку 350, но стабильная работоспособность сервиса при таком количестве не гарантируется.

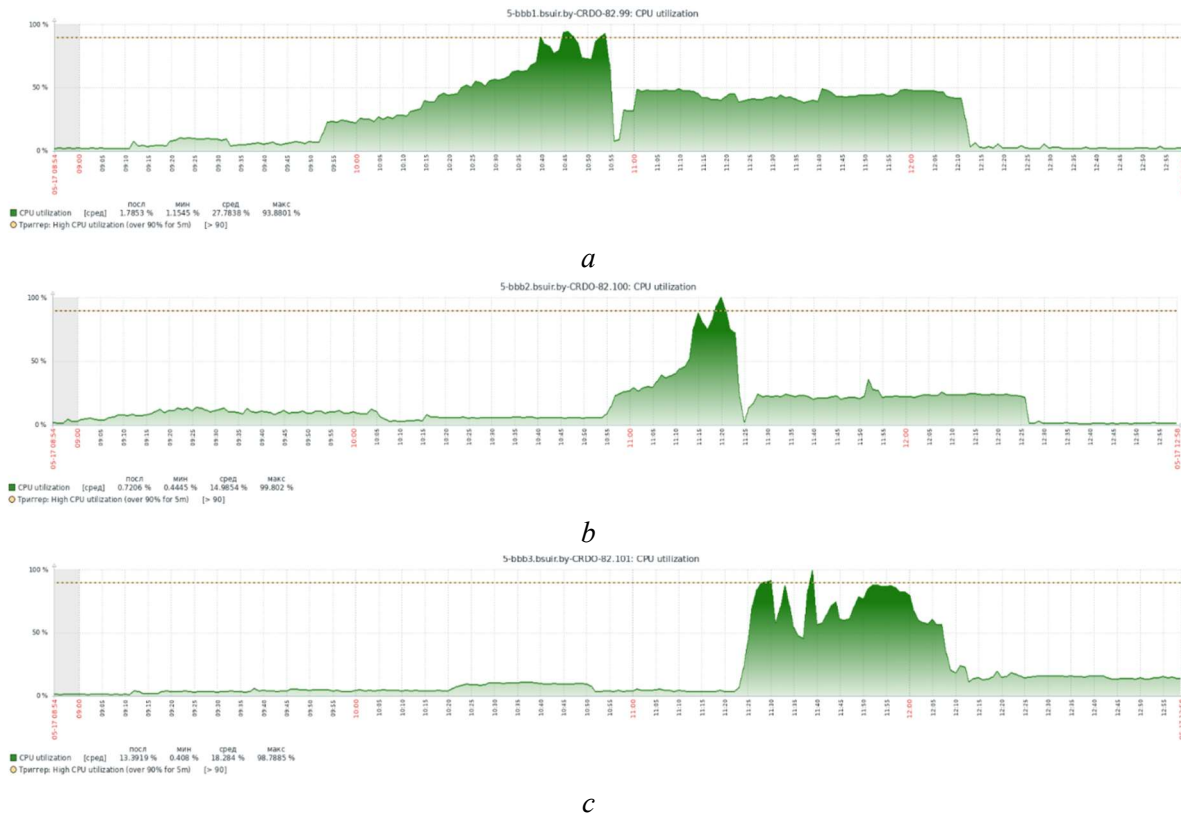


Рис. 3. График нагрузки центрального процессора сервера: *a* – *BBB1*; *b* – *BBB2*; *c* – *BBB3*
Fig. 3. Server CPU load graph: *a* – *BBB1*; *b* – *BBB2*; *c* – *BBB3*

К вопросу о загрузке оперативной памяти на кластере можно отметить, что превышение отметки загрузки в 50 % связано только с процессом кеширования промежуточных данных пользователей. Однако, учитывая столь незначительную загрузку на всех тестируемых кластерах *BBB1* и *BBB2*, можно нагрузку считать минимальной.

При этом следует учесть, что на этапах тестирования кластеров *BBB1* и *BBB2* не тестировался мультимедийный поток с веб-камер пользователей. Графики полученных нагрузок представлены на рисунках 4, *a* и 4, *b*.

На рис. 4, *c* представлен график нагрузки при эксперименте, когда на этапах тестирования в мультимедийный поток добавился еще поток от веб-камер пользователей. В этом случае можно увидеть, что процент прироста загрузки на оперативную память имеет пиковое значение 65% (что составляет около 10 Gb при максимальном ресурсе 16 Gb).

На сервере *BBB3* на этапе тестирования отслеживались также параметры загрузки локальной вычислительной сети. Мониторинг загрузки кластера по сети осуществлялся по внутреннему и внешнему каналам связи, которые подключены к 192 и 160 интерфейсам (подсетям) соответственно. При этом нагрузка сети при трансляции видео с веб-камер пользователей идет по внутренней сети. Графики загрузки интерфейсов представлены на рис. 5, *a* и 5, *b*.

Видеопоток в случае внутренней сети достигает загрузки сети около 150 Мбит/с, что критично при построении сети на неуправляемых коммутаторах из-за пропускной способности матрицы и объединяющего канала. В случае выхода во внешнюю сеть провайдера, а также вход из внешней сети, нагрузка в средних значениях не превышает 7 Мбит/с. Таких показателей производительности компьютерной сети достаточно для стабильной работы ВКС даже при ограниченном канале связи со скоростями до 20 Мбит/с.

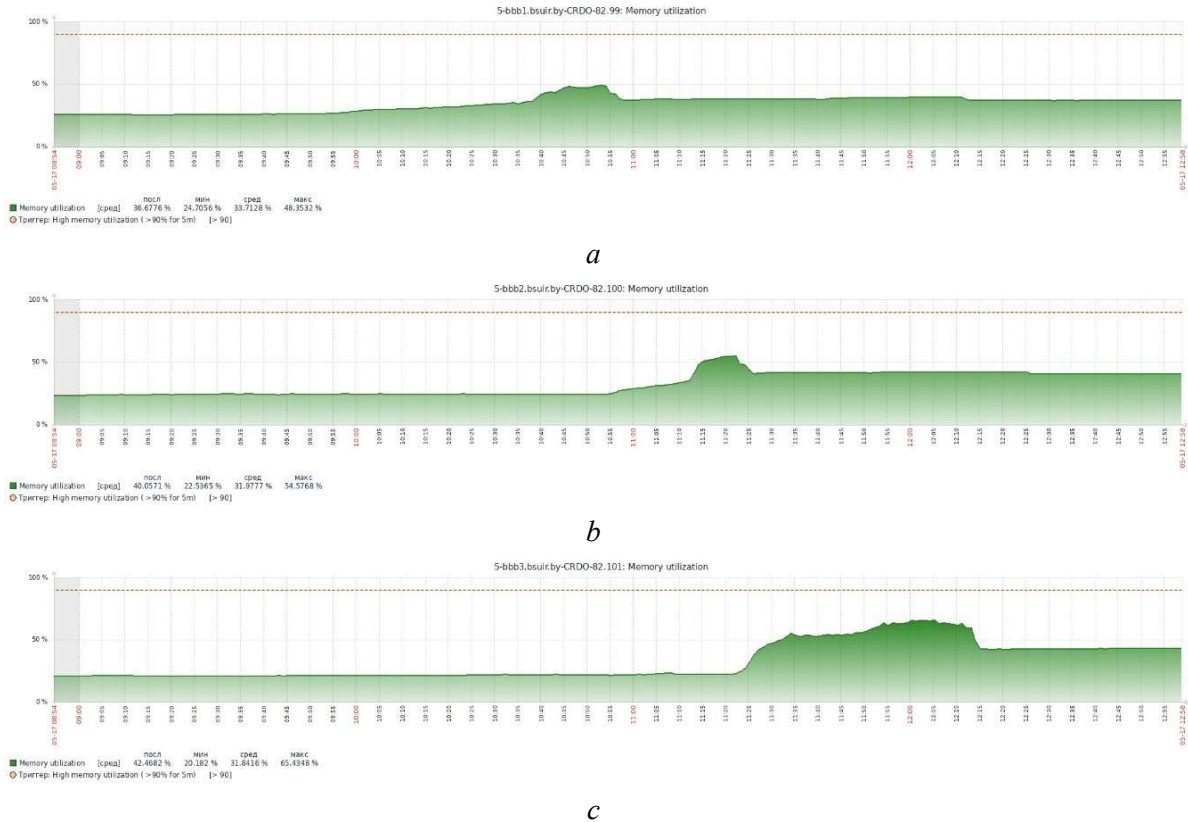


Рис. 4. График нагрузки оперативной памяти сервера: *a* – *BBB1*; *b* – *BBB2*; *c* – *BBB3*
 Fig. 4. Server RAM load graph: *a* – *BBB1*; *b* – *BBB2*; *c* – *BBB3*

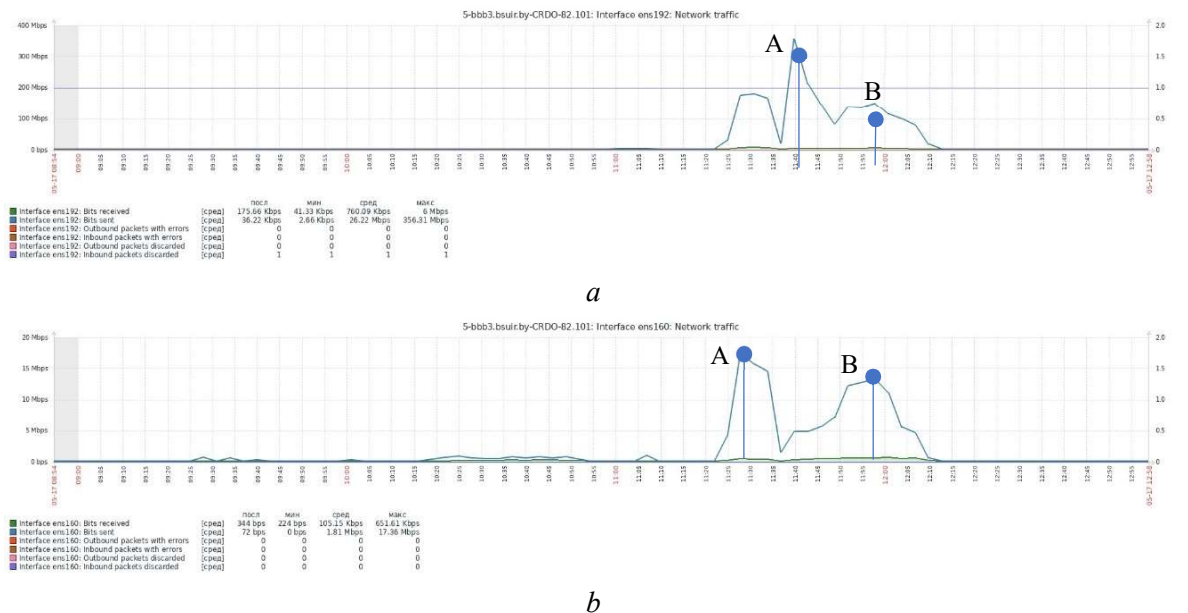


Рис. 5. График нагрузки интерфейса: *a* – сети Интернет на сервере *BBB3*; *b* – внутренней локальной сети на сервере *BBB3*

Fig. 5. Load graph of the interface: *a* – of the Internet on the *BBB3* server; *b* – internal LAN on the *BBB3* server

Выделенные пики графика загрузки сети (на рис. 5, *a* и 5, *b* обозначены точками А и В) связаны с подключением внешнего сервиса хранения видео с трансляцией видео в видео-конференц-связи (в данном эксперименте было подключение к YouTube). Стоит отметить, что видео со стороннего сервиса кешируется в поток, но не оказывает на оперативную память критического влияния, а работает как веб-трансляция, тем самым не перегружая поток.

На этапе проведения тестирования сервера *BBB3* при задействовании веб-камер на оконечных устройствах был достигнут стабильный режим работы ВКС в пределах до 270 пользователей. Дальнейшее повышение нагрузок сервер обработал, но качество конференции ухудшилось (возникли ошибки передачи мультимедиа потока, пропуск пакетов видеоизображения, что сказывается на итоговой картинке для пользователя, однако не отображено на графиках нагрузки).

Тестирование вычислительного кластера проводилось как внутренними пользователями (внутри локальной вычислительной сети учреждения образования), так и внешними пользователями, подключенными через провайдеров. На этапе тестирования были задействованы компьютерные классы, расположенные в разных учебных корпусах (1-й учебный корпус, кафедральные аудитории и 8-й учебный корпус), и опорный коммутатор, который расположен отдельно от классов (в пятом учебном корпусе). Нагрузка на опорный коммутатор крыла первого корпуса (кафедральные аудитории) представлена на рис. 6, *a*.

При сопоставлении графика нагрузки на пропускную способность коммутатора с графиком нагрузочного тестирования, пики на графике нагрузки обусловлены моментами подключения большого количества пользователей к видеоконференции. Однако даже в момент подключения средняя нагрузка на пропускную способность коммутатора составила 40 Мбит/с.

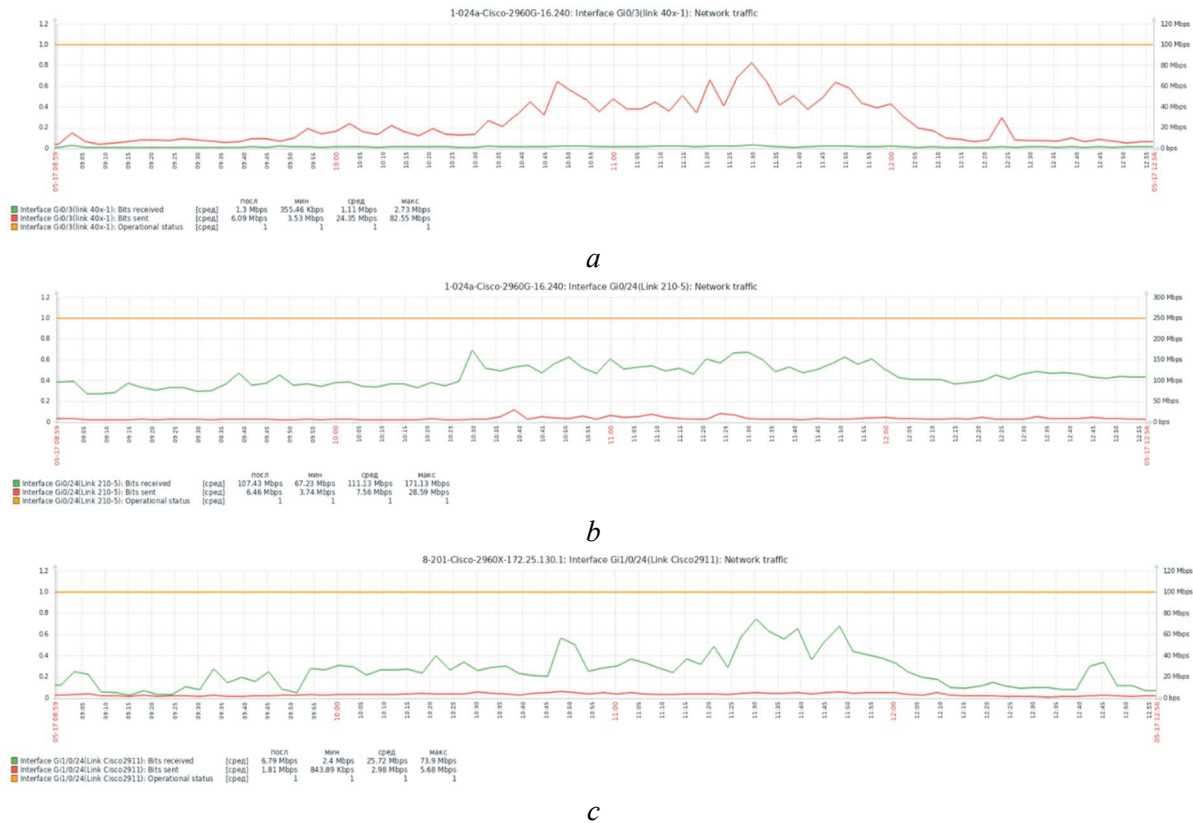


Рис. 6. График нагрузки на пропускную способность коммутатора *a* – 4 этажа 1 корпуса; *b* – между 1 и 5 корпусами

Fig. 6. Switch Bandwidth Graph *a* – 4 floor of building 1; *b* – between buildings 1 and 5; *c* – between buildings 5 and 8

Графики нагрузки пропускной способности опорных межкорпусных коммутаторов демонстрируют отсутствие значительного влияния ВКС на производительность сети. Это отражено отсутствием четко выделенных пиков в моменты времени проведения нагрузочного тестирования (рис. 6, *b*, *c*), что обусловлено средней загрузкой локальной сети на период проведения нагрузочного тестирования.

Однако при оценке графика нагрузки на пропускную способность локальной сети от провайдера (опорный коммутатор в 5-м корпусе с выходом на провайдера МТС) можно выделить два явных пика в нагрузке (моменты в точках А и В на рис. 7).

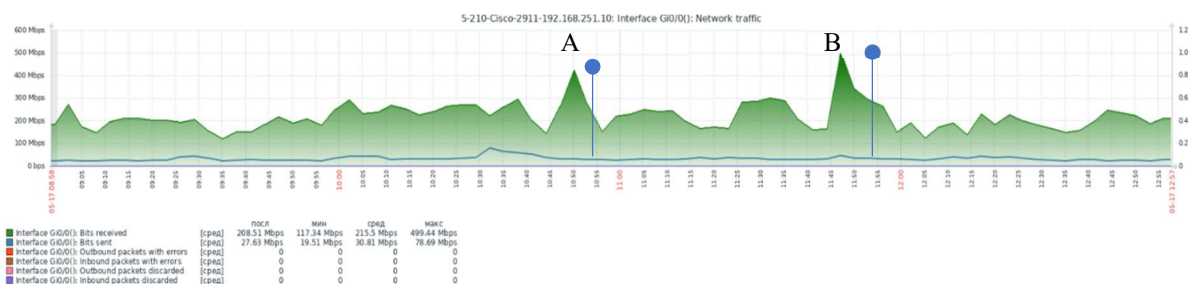


Рис. 7. График нагрузки на пропускную способность входного коммутатора от провайдера Интернета
Fig. 7. Graph of the load on the bandwidth of the incoming switch from the Internet provider

Эти пики (точки А и В на рис. 7) возникают в моменты включения в конференцию потокового видео высокого качества со стороннего сервиса хранения видеозаписей (например YouTube). При этом одновременно идет демонстрация экрана пользователя-лектора и трансляция видео. Можно наблюдать, что пики кратковременные (непродолжительны), так как видео загружается в оперативную память (кешируется) и воспроизводится уже с памяти.

Заключение

Реализация кластерного вычисления с организацией балансировки нагрузки в значительной степени позволяет увеличить количество пользователей конференции относительно документированных значений сервиса BigBlueButton и зависит напрямую от производительности кластера.

Алгоритм балансировки нагрузки с применением балансировки на уровне *DNS* позволяет распределять пользователей только в зависимости от доступности ресурса (хоста), но не позволяет учитывать загруженность аппаратных ресурсов.

Определены наиболее загруженные компоненты кластера (центральный процессор, задействованный на этапе подключения пользователей для выполнения алгоритма балансировки нагрузки). Нагрузка на оставшиеся аппаратные ресурсы вычислительного кластера в пределах допустимых значений. Нагрузка на аппаратные ресурсы другого оборудования будет зависеть от производительности кластера и выделенных серверов в кластере, а именно – алгоритм балансировки задействует вычислительные мощности процессора, тем самым чем производительнее будет процессор в ином кластере, тем производительнее будет работать сервис балансировки нагрузки.

Для оптимального распределения больших потоков пользователей видеоконференции требуется изменение и доработка алгоритма балансировки нагрузки, учитывающего загрузку аппаратных ресурсов выделенных серверов в вычислительном кластере.

Список литературы

1. Парамонов, А. И. Проблемы дистанционного образования и их прикладные решения в образовательных технологиях / А. И. Парамонов // Высшее техническое образование : проблемы и пути развития = Engineering education: challenges and developments : материалы X Международной научно-методической конференции, Минск, 26 ноября 2020 года / Министерство образования Республики Беларусь, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск : БГУИР; 2020. – С. 182–187.
2. Марков, А. Н. Готовность учреждений высшего образования к цифровой трансформации процессов / А. Н. Марков., С. А. Мигалевич // Цифровая трансформация. – 2021. – №2. – С. 64–68.
3. Марков, А. Н. Выбор сервиса видеоконференцсвязи и его адаптация под учреждение образования / А. Н. Марков, Р. О. Игнатович, А. И. Парамонов // Информатика. – 2021. – Т. 18, № 4. – С. 17–25. doi.org/ 10.37661/1816-0301-2021-18-4-17-25.
4. Cricket, Lui. DNS and BIND (5th Edition) Fifth Edition / Cricket Lui, Paul Albitz.: O'Reilly Media, Inc., 2006.

References

1. Paramonov, A. I. Distance education problems and their applied solutions in educational technologies. / A. I. Paramonov // Vysshee tehnikeskoe obrazovanie: problemy i puti razvitija : materialy X Mezhdunarodnoj nauchno-metodicheskoy konferencii, Minsk, 26 nojabrja 2020 g. Ministerstvo obrazovanija Respubliki Belarus', Belorusskij gosudarstvennyj universitet informatiki i radiojelektroniki [Engineering Education: Challenges and Developments: Materials of the X International Scientific and Methodological Conference, Minsk, 26 November 2020. Ministry of Education of the Republic of Belarus, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics]. – Minsk, BSUIR; 2020. – P. 182–187. (In Russ.).
2. Markov, A. N. Readiness of higher education institutions for digital transformation processes. / A. N. Markov, S. A. Migalevich. // Digital Transformation. – 2021. – No 2. – P. 64–68 (In Russ.).
3. Markov, A. N. Choosing a video conferencing service and its adaptation for educational institution. / A. N. Markov., R. O. Ihnatovich., A. I. Paramonov. // Informatics. – 2021. – Vol. 18, No 4. – P. 17–25. (In Russ.)
4. Cricket, Lui. DNS and BIND (5th Edition) Fifth Edition / Cricket Lui, Paul Albitz.: O'Reilly Media, Inc., 2006.

Вклад авторов

Марков А. Н. проанализировал проблемы внедрения видео-конференц-связи, определил и описал специфику внедрения балансировщика нагрузки сервиса видео-конференц-связи, осуществил сбор статистических данных компьютерного эксперимента и сформулировал результаты исследования.

Парамонов А. И. сформулировал ключевые цели и задачи исследования, определил план статьи и структуру эксперимента. Оба автора участвовали в интерпретации и анализе полученных данных компьютерного эксперимента.

Authors' contribution

Markov A. N. analyzed the problems of implementing videoconferencing, identified and described the specifics of implementing a videoconferencing service load balancer, collected statistical data of a computer experiment and formulated the results of the study.

Paramonov A. I. formulated the key goals and objectives of the study, determined the plan of the article and the structure of the experiment. Both authors participated in the interpretation and analysis of the data obtained from the computer experiment.

Сведения об авторах

Марков А. Н., аспирант, заместитель начальника Центра информатизации и инновационных разработок Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Парамонов А. И., к. т. н., доцент, заведующий кафедрой информационных систем и технологий Института информационных технологий Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Information about the authors

Markov A. N., Postgraduate, Deputy Head of the Center for Informatization and Innovative Development of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

Paramonov A. I., Cand. of Sci., Associate Professor, Head of the Department of Information Systems and Technologies of the Institute of Information Technologies of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,
г. Минск, ул. Платонова, 39,
Центр информатизации и инновационных
разработок Белорусского государственного
университета информатики и радиоэлектроники;
тел. +37517-293-86-04 (раб.);
e-mail: a.n.markov@bsuir.by
Марков Алексей Николаевич

Address for correspondence

220013, Republic of Belarus,
Minsk, Platonova St., 39,
Center for Informatization and Innovative
Developments of the Belarusian State University
of Informatics and Radioelectronics;
tel. +37517-293-86-04;
e-mail: a.n.markov@bsuir.by
Markov Aleksey Nikolaevich