



УДК 002.6; 004.3; 004.4; 004.7; 004.9
<https://doi.org/10.37661/1816-0301-2021-18-4-17-25>

Оригинальная статья
Original Paper

Выбор сервиса видео-конференц-связи и его адаптация для учреждения образования

А. Н. Марков[✉], Р. О. Игнатович, А. И. Парамонов

Центр информатизации и инновационных разработок
Белорусского государственного университета
информатики и радиоэлектроники,
ул. Платонова, 39, Минск, 220013, Беларусь
[✉]E-mail: a.n.markov@bsuir.by

Аннотация

Цели. Авторы преследовали цели показать необходимость внедрения сервиса видео-конференц-связи в процесс обучения, осуществить выбор сервиса видео-конференц-связи и провести компьютерный эксперимент с выбранным сервисом видео-конференц-связи BigBlueButton.

Методы. Рассмотрены проблемы выбора сервиса видео-конференц-связи из перечня программно-аппаратных видеоконференций и программного обеспечения видеоконференций. На этапе подбора программного обеспечения указаны особенности его работы, требования к аппаратному обеспечению и к интеграции во внутренние информационные системы. Нагрузочное тестирование сервиса видеоконференцсвязи проведено методом объемного тестирования и тестирования стабильности.

Результаты. Приведены графики нагрузки на аппаратные компоненты виртуального сервера в долгосрочном периоде. Описаны результаты анализа графиков на предмет выявления ключевых особенностей работы сервиса видео-конференц-связи в период тестовой и опытной эксплуатации.

Заключение. С учетом стоимости лицензирования, а также интеграции в систему электронного обучения осуществлен выбор сервиса видео-конференц-связи. Проведен компьютерный эксперимент с выбранным сервисом видео-конференц-связи BigBlueButton. Определены особенности работы аппаратного обеспечения виртуального сервера, на котором расположена система BigBlueButton. Представлены графики нагрузки на центральный процессор, оперативную память и локальную компьютерную сеть. Сформулированы проблемы эксплуатации сервиса на этапе прироста нагрузки.

Ключевые слова: видео-конференц-связь, программный комплекс, программное обеспечение, сервис BigBlueButton, учебный процесс, дистанционное образование

Для цитирования. Марков, А. Н. Выбор сервиса видео-конференц-связи и его адаптация для учреждения образования / А. Н. Марков, Р. О. Игнатович, А. И. Парамонов // Информатика. – 2021. – Т. 18, № 4. – С. 17–25. <https://doi.org/10.37661/1816-0301-2021-18-4-17-25>

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию | Received 27.09.2021
Подписана в печать | Accepted 27.10.2021
Опубликована | Published 29.12.2021

Choosing a video conferencing service and its adaptation for educational institution

Aleksey N. Markov[✉], Roman O. Ihnatovich, Anton I. Paramonov

*Center for Informatization and Innovation Development
of the Belarusian State University
of Informatics and Radioelectronics,
st. Platonova, 39, Minsk, 220013, Belarus
✉E-mail: a.n.markov@bsuir.by*

Abstract

Objectives. The authors aimed to demonstrate the need for implementation of video conferencing service into the learning process, to select a video conferencing service, and to conduct a computer experiment with the selected BigBlueButton video conferencing service.

Methods. The problems of choosing a video conferencing service from the list of video conferencing and video conferencing software are considered. At the stage of software selection, the features of its operation, requirements for hardware and for integration into internal information systems are indicated. Load testing of the video conferencing service was carried out by the method of volume and stability testing.

Results. The load graphs for hardware components of the virtual server in the long term period are presented. The article describes the results of the graphs analysis in order to identify the key features of the video conferencing service during the test and trial operations.

Conclusion. Taking into account the cost of licensing, as well as integration into the e-learning system, a choice of video conferencing service was made. A computer experiment was carried out with the selected BigBlueButton video conferencing service. The features of the hardware operation of the virtual server (on which the BigBlueButton system is located) have been determined. The load graphs for the central processing unit, random access memory and local computer network are presented. Problems of service operation at the stage of load increase are formulated.

Keywords: video conferencing, software systems, software solutions, service BigBlueButton, educational process, distance learning

For citation. Markov A. N., Ihnatovich R. O., Paramonov A. I. *Choosing a video conferencing service and its adaptation for educational institution*. Informatika [Informatics], 2021, vol. 18, no. 4, pp. 17–25 (In Russ.). <https://doi.org/10.37661/1816-0301-2021-18-4-17-25>

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

Введение. С ускоренным развитием и цифровизацией системы образования в целом, переходом на дистанционное обучение и организацией курсов повышения квалификации и курсов переподготовки специалистов на базе БГУИР остро стал вопрос реализации сервисов для качественной и бесперебойной видео-конференц-связи [1, 2]. Кроме того, рост цифровизации образования и внедрения смешанной модели обучения ускорился в 2020 г. с приходом всемирной пандемии COVID-19.

При реализации сервиса видео-конференц-связи учитывалось, что он должен удовлетворять следующим требованиям:

- обеспечивать бесперебойную работоспособность с количеством пользователей более 100 (поток группы студентов на лекционном занятии);
- обеспечивать гарантированную устойчивую и качественную связь для конечных пользователей (слушателей);
- иметь возможность аутентификации и идентификации пользователя посредством внутренних служб или систем. Данная функция обеспечивает автоматизированное создание учетных записей для вновь прибывших пользователей или возможность подключения к сервису существующих (ранее добавленных) пользователей системы.

Проблемы выбора сервиса видео-конференц-связи. В настоящей работе в качестве сервисов для решения обозначенной проблемы рассматривались следующие программные и программно-аппаратные комплексы: Skype for Business, MS Teams, TrueConf и др. При анализе во-

проса внедрения программно-аппаратных комплексов для проведения видео-конференц-связи в значительной степени учитывается ценовой фактор, так как для организации системы дистанционного обучения нецелесообразно использовать защищенные каналы, отдельное оборудование и т. д. Рассматривая сервис программно-аппаратной видеоконференции Cisco Webex, можно отметить множество его версий, например Meeting, Training, Events, Support (URL: <https://webex-russia.ru/products>). Практически все версии не имеют внутренних сервисов и предоставляются из облака без гарантии автономности, полноценное использование на базе существующего оборудования ограничено [3]. На 2020 г. ориентировочная стоимость Cisco Webex Meetings составляла около 300 \$. Однако в случае интеграции с дистанционным обучением ценовой фактор не являлся основополагающим, поскольку Cisco Webex Meeting не поддерживает полнофункциональную интеграцию с используемой системой дистанционного обучения. Это не позволяет выполнять контроль входа пользователей на видеоконференцию и создавать саму видеоконференцию в рамках преподаваемых дисциплин.

Программное обеспечение Skype for Business дает возможность создавать систему видео-конференц-связи на базе внутреннего развернутого сервера для системы. Вместе с тем в момент принятия решения по выбору программного обеспечения и при проведении нагрузочного тестирования данного сервиса был выявлен ряд недостатков:

1. Организация сервиса предусматривала выделение больших ресурсов серверного оборудования в целом. Так, для разворачивания Skype for Business server 2015 требуются следующие минимальные технические требования: процессор – 6 ядер, 2,25 ГГц, ОЗУ 32 Гб, 72 Гб пространства дискового массива, сеть от 1 Гбит (URL: <https://docs.microsoft.com/en-us/skypeforbusiness/plan-your-deployment/requirements-for-your-environment/server-requirements>). Для сервера Skype for Business 2019 требуется: процессор – от 6 ядер Xeon 2,4 ГГц, ОЗУ от 64 Гб, 72 Гб SSD для реализации серверов Standard Edition (URL: <https://docs.microsoft.com/en-us/skypeforbusiness/plan/system-requirements>).

2. Кроме аппаратного обеспечения требовалось наличие свободных, выделенных статических IP-адресов с прямым доступом на каждый сервер и доступом извне.

3. Имелись сложности с разворачиванием и сопровождением сервиса на базе учреждения образования.

С учетом технических требований к серверам, опыта эксплуатации серверов Lync Server 2010, а также после проведения нагрузочного тестирования на одном развернутом сервере с минимальными требованиями были определены критерии для качественной связи, а именно наличие высокопроизводительных аппаратных компонентов и высокоскоростного канала связи для доступа к серверу извне [4]. Кроме того, процесс логирования в сервисе реализован посредством интеграции с базами данных SQL, что при высокой нагрузке и наличии большого количества записей усложняет процесс аутентификации пользователя (студента, слушателя или преподавателя).

Сервис MS Teams реализован аналогично сервису Skype for Business за исключением нескольких факторов:

1. Не задействовано аппаратное обеспечение центра обработки данных. Весь трафик идет на центральные серверы региональных представителей компании Microsoft.

2. Процесс логирования автоматизирован с сервисом студенческой почты и сервисом Office365 по студенческим лицензиям. Имея лицензию и право пользования программным обеспечением Office365, студент автоматически обладает доступом к MS Teams. Однако существуют проблемы с созданием учетных записей новых студентов или слушателей ввиду некорректных выгрузок с внутренних информационных систем к сервисам компании Microsoft.

3. При проведении нагрузочного тестирования опытным путем сервиса MS Teams выяснено, что при наличии более 100 участников видеоконференции в значительной степени загружается внешний канал связи. Кроме того, обработка мультимедийного потока происходит в режиме реального времени не на серверах компании Microsoft, а на конечных устройствах пользователей, что значительно ухудшает качество видеоконференций и сервиса в целом.

Сервис TrueConf удалось подключить к системе электронного обучения. Он предоставляется бесплатно. Авторизация происходит через систему электронного обучения посредством учетных записей студентов. Однако ресурсы бесплатной версии слишком ограничены, поэтому после изучения функциональных возможностей программного обеспечения, а также технических требований, условий лицензирования и стоимости программного обеспечения от данного сервиса решено было отказаться.

В качестве основного сервиса для проведения внутренних конференций по научным направлениям, а также конференций управленческого характера были закуплены лицензии на программное обеспечение компании Zoom. Между тем согласно документам Оперативно-аналитического центра при Президенте Республики Беларусь, в частности пункту 2 Указа Президента Республики Беларусь от 1 февраля 2010 г. № 60 «О мерах по совершенствованию использования национального сегмента сети Интернет», с 1 июля 2010 г. деятельность по оказанию услуг на территории Республики Беларусь с использованием информационных сетей, систем и ресурсов, имеющих подключение к сети Интернет, осуществляется юридическими лицами, их филиалами и представителями, созданными в соответствии с законодательством Республики Беларусь, с местонахождением в Республике Беларусь, с использованием информационных сетей, систем и ресурсов национального сегмента сети Интернет, размещенных на территории Республики Беларусь и зарегистрированных в установленном порядке. Принимая во внимание вышеизложенный факт, применение программного обеспечения Zoom будет противоречить требованиям Указа № 60 при использовании в качестве программного обеспечения для видеоконференц-связи в образовательной деятельности.

Критерии выбора сервиса видео-конференц-связи. Исходя из особенностей использования сервисов сформировались общие критерии для программного обеспечения, которое позволит организовать видеоконференции на базе учреждений образования с целью проведения различных видов занятий: лекционных, практических и лабораторных работ. К таким критериям относятся:

- полную интеграцию с системой электронного обучения учреждения образования;
- открытый исходный код и бесплатное распространение;
- поддержку возможности проведения видеоконференций с большим количеством участников (более 100);
- обеспечение возможности проведения совместных презентаций, обмена документами, организации чатов, поддержки функций модерации видеоконференций.

На базе БГУИР в качестве системы электронного обучения используется платформа Moodle. Данная платформа свободно распространяется, имеет возможность интеграции с внутренними сервисами посредством плагинов и с внутренними информационными системами для автоматической авторизации и аутентификации пользователей.

Таким образом, на основе проведенного анализа сервисов видео-конференц-связи и в соответствии с обозначенными критериями в качестве решения был выбран сервис BBB (BigBlueButton) – открытое программное обеспечение для проведения веб-конференции. Сервис разработан в первую очередь для дистанционного обучения [5] с использованием HTML5 и реализует возможность интеграции в различные сервисы: Moodle, Sakai, Canvas и пр. BBB совместим с мобильными браузерами, поддерживает возможности работы с электронной доской, различными документами, презентациями, а также имеет функции разделения на зрителей и модераторов, что полностью удовлетворяет требованиям учреждения образования (URL: <https://docs.bigbluebutton.org/2.3/architecture.html>).

После разворачивания виртуального сервера для сервиса BBB в работе программного обеспечения был выявлен ряд ключевых особенностей:

1. Конечный мультимедийный поток обрабатывается на оборудовании пользователей, но загрузка аппаратных компонентов ниже (аналогично сервису MS Teams).
2. Доступна возможность настройки сжатия трафика для увеличения пропускной способности канала связи.
3. Есть возможность фиксировать процессы прохождения сессии студентами – проводить видеозапись конференции. Хранение видеозаписей было реализовано при проведении летней

экзаменационной сессии 2020 г. в связи с тяжелой эпидемиологической ситуацией. Благодаря фиксации видеоконференций и хранению записей в течение заданного периода времени сервис помог организовать качественный дистанционный учебный процесс, включая итоговые аттестации студентов.

4. Создание внутреннего сервера позволило организовать полноценный учебный процесс независимо от местоположения студентов. Дополнительно сервис ВВВ был задействован для проведения курсов по переподготовке.

5. С помощью сервера удобно создавать отдельные видеоконференции по предметам (лекции) для групповых занятий, а также для групп в пределах одной видеоконференции с целью разбиения потока по секциям.

6. Есть возможность организовать защищенный доступ через файрвол. При этом мультимедийный поток вне пределов учебного заведения может быть как шифрованным, так и нешифрованным. В пределах учебного заведения для увеличения пропускной способности потока используется нешифрованный мультимедийный поток (рис. 1).

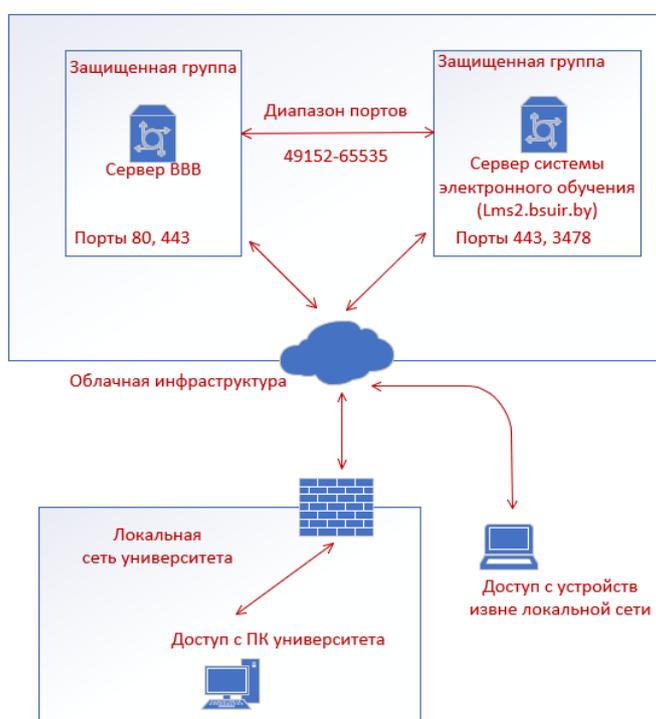


Рис. 1. Схема подключения учащихся к сервисам видео-конференц-связи на базе BigBlueButton

Fig. 1. Diagram of connecting students to video conferencing services based on BigBlueButton

Компьютерный эксперимент. Для проведения компьютерного эксперимента были использованы аппаратные ресурсы сервера ВВВ1 – Intel Xeon 4 core CPU, 8 Gb RAM. Эксперимент проводился на 30 клиентах. На оконечных устройствах клиенты загружали мультимедийный поток изображениями с веб-камер. На конференции в среднем загрузка процессора Intel i5-7400 составила 100 %, ОЗУ – 12 Гб, нагрузка на видеочип видеокарты AMD RX560 Series при декодировании мультимедиапотока – 40 %, нагрузка на локальную сеть – до 7 Мбит/с. Данные нагрузки оконечных устройств отслеживались с помощью встроенного средства Windows «диспетчер задач». Нагрузка на сервер ВВВ1 (30 клиентов и 7 Гб занятой оперативной памяти) составила 50 % в режиме средней нагрузки процессора (средство отслеживания нагрузки на сервер VMware Sphere является встроенным компонентом контроля виртуальных машин компании VMware). Следует отметить, что в момент подключения пользователей к конференции загрузка оперативной памяти была 100 %. Нагрузочное тестирование проходило в пределах аудиторного фонда учреждения образования. Данные для оценки загрузки аппаратных ресурсов представлены в разрезе нескольких дней (рис. 2).

Параметры графиков нагрузки усреднены и незначительно занижены, так как загрузка аппаратных ресурсов отслеживалась не программным обеспечением внутри виртуальной машины, а непосредственно гипервизором самой виртуальной машины с помощью средства отслеживания нагрузки VMware Sphere. Средний график нагрузки процессора (на рис. 2 салатная линия – CPU Usage Trend) не показывает ее объективных значений, и им условно можно пренебречь. Пики на графике обусловлены проведением преподавателями занятий в период с 19.10.2020 по 25.10.2020 дистанционно, причем пики максимальной нагрузки в четверг и пятницу обусловлены проведением поточных видеолекций с количеством участников более 60, что отражено и на графике нагрузки на оперативную память в текущий период (рис. 3).

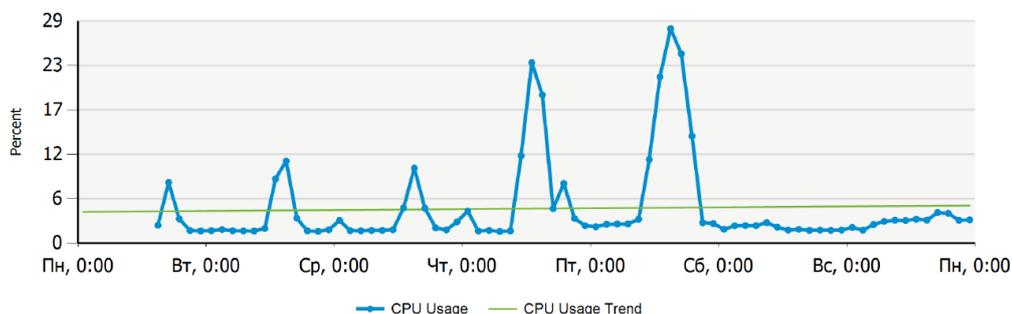


Рис. 2. График нагрузки CPU виртуального сервера BBB в период с 19.10.2020 по 25.10.2020

Fig. 2. BBB virtual server CPU load diagram in the period from 10.19.2020 to 10.25.2020

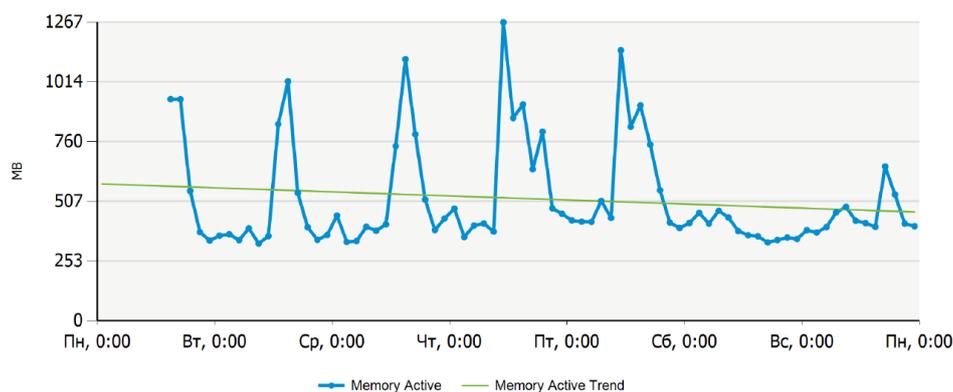


Рис. 3. График нагрузки RAM виртуального сервера BBB в период с 19.10.2020 по 25.10.2020

Fig. 3. BBB virtual server RAM load diagram in the period from 10.19.2020 to 10.25.2020

Нагрузка на сеть в разрезе выбранного временного интервала показана на рис. 4.

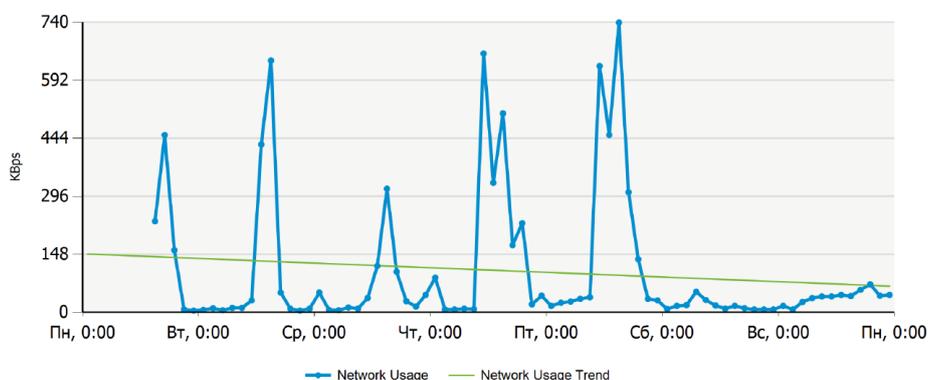


Рис. 4. График нагрузки локальной сети виртуального сервера BBB в период с 19.10.2020 по 25.10.2020

Fig. 4. The load diagram of the local network of the BBB virtual server in the period from 10.19.2020 to 10.25.2020

В период с 09.11.2020 по 15.11.2020 наблюдалось значительное увеличение нагрузки на аппаратные ресурсы, обусловленное внедрением сервиса для видеоконференций в опытную эксплуатацию. До периода ввода в эксплуатацию сервис работал в тестовом режиме с адаптацией под внутреннюю инфраструктуру без гарантии работоспособности. Максимальная нагрузка на CPU в период проведения видеоконференции повысилась до 57 % (рис. 5).

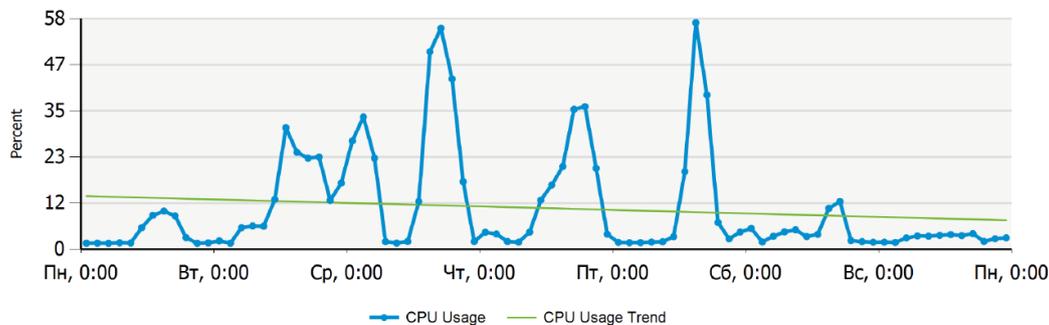


Рис. 5. График нагрузки CPU виртуального сервера BBB в период с 09.11.2020 по 15.11.2020
 Fig. 5. BBB virtual server RAM load diagram in the period from 11.09.2020 to 11.15.2020

Для дальнейшего компьютерного эксперимента было принято решение увеличить аппаратные ресурсы виртуального сервера. Процессор Intel Xeon был увеличен до 16 vCPU, память RAM – до 24 Гб. Рост нагрузки на оборудование обусловлен изменениями в организации учебного процесса, а именно переходом на формат удаленного обучения и проведением сессии по смешанной модели обучения. Нагрузки с 04.01.2021 по 10.01.2021 показаны на рис. 6–8.

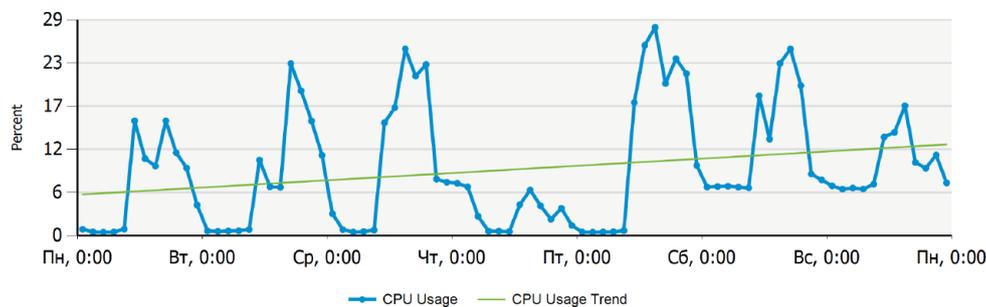


Рис. 6. График нагрузки CPU виртуального сервера BBB в период с 04.01.2021 по 10.01.2021
 Fig. 6. BBB virtual server RAM load diagram in the period from 01.04.2021 to 01.10.2021

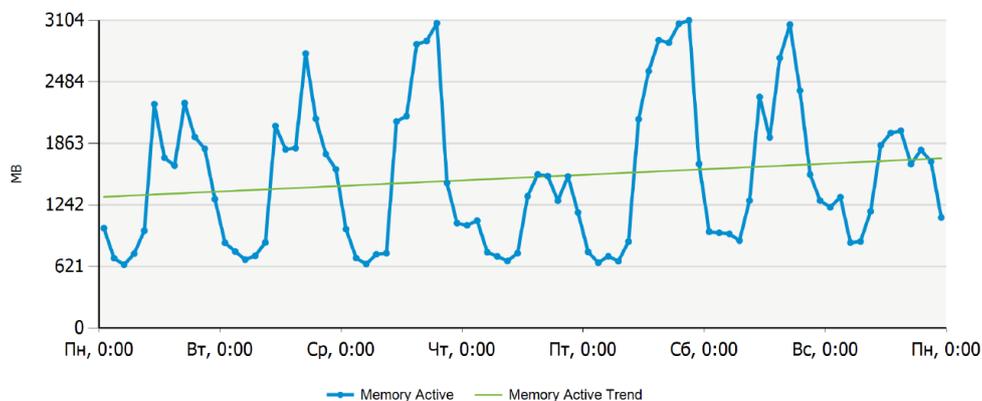


Рис. 7. График нагрузки RAM виртуального сервера BBB в период с 04.01.2021 по 10.01.2021
 Fig. 7. BBB virtual server RAM load diagram in the period from 01.04.2021 to 01.10.2021

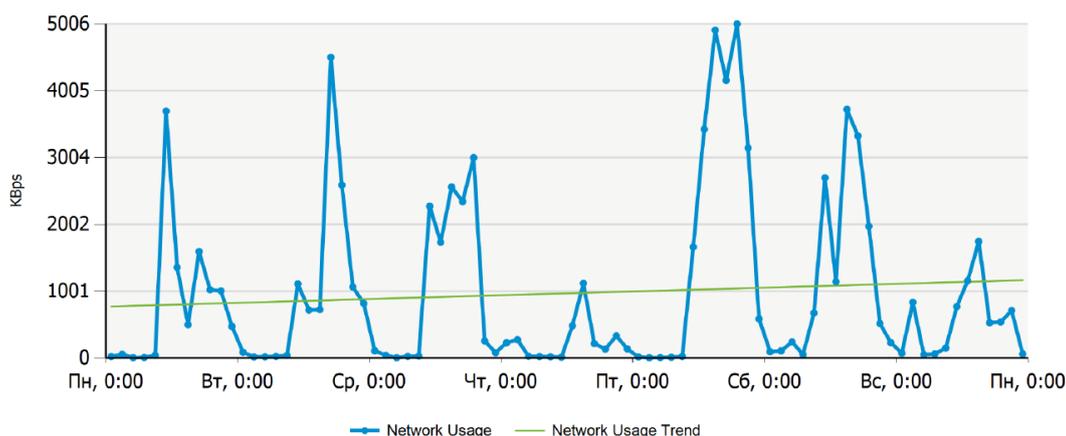


Рис. 8. График нагрузки локальной сети виртуального сервера ВВВ в период с 04.01.2021 по 10.01.2021

Fig. 8. The load diagram of the local network of the BBB virtual server in the period from 01.04.2021 to 01.10.2021

Тенденция увеличения нагрузки прослеживалась до окончания сессии 24.01.2021. Нагрузка на CPU и оперативную память выросла относительно первоначальных графиков. Пропускная способность внешнего канала связи с ростом нагрузки на локальную сеть также была увеличена с 250 до 500 Мбит/с.

Проблемы эксплуатации сервиса видео-конференц-связи на этапе прироста нагрузки. С ростом нагрузки на сервис возникла необходимость обойти ограничения на количество участников одной конференции. Поток учащихся и слушателей превысили возможности сервиса. Для обхода ограничения по количеству пользователей конференции требуется увеличение аппаратных ресурсов оборудования относительно первоначально выделенных. При входе в сервис пользователи зачастую нагружали подсистему распределения по видеоконференциям, что усложняло подключение к самой видеоконференции: возникали ошибки синхронизации звукового и видеопотоков, временные задержки, различные сторонние ошибки подключения. Для корректного распределения участников конференции и предотвращения ошибок необходима организация вычислительного кластера серверов ВВВ и установка единой точки входа в вычислительный кластер.

Закключение. Итогом настоящей работы стало определение ключевых аспектов при подборе сервиса видео-конференц-связи и выбор системы видео-конференц-связи.

Были выявлены особенности работы сервиса в долгосрочном периоде. Использование сервиса ВВВ позволило полноценно организовать учебный процесс и образовательную деятельность в учреждении образования. Сервис является условно бесплатным с открытым исходным кодом и полноценной интеграцией в системы электронного обучения.

В результате компьютерного эксперимента была определена нагрузка на аппаратные компоненты сервера: центральный процессор, память, производительность локальной сети. Загрузка рассмотрена в динамике. Определены особенности работы сервера при увеличении аппаратных ресурсов, сформулированы проблемы эксплуатации сервиса видео-конференц-связи на этапе прироста нагрузки.

Вклад авторов. А. Н. Марков проанализировал проблемы внедрения видео-конференц-связи, определил и описал специфику выбора сервиса видео-конференц-связи, осуществил сбор статистических данных компьютерного эксперимента и сформулировал результаты исследования. Р. О. Игнатович выполнил внедрение сервиса видео-конференц-связи в учебный процесс. Обзор средств видео-конференц-связи осуществлен авторами совместно. Все авторы участвовали в интерпретации и анализе полученных данных компьютерного эксперимента. А. И. Парамонов сформулировал ключевые цели и задачи исследования, определил план статьи и структуру эксперимента.

Список использованных источников

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 Междунар. науч.-метод. конф., Минск, 26 нояб. 2020 г. / 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. – Р. 64–68.
3. Gough, M. Video Conferencing over IP: Configure, Secure, and Troubleshoot / M. Gough. – Syngress, 2006. – 336 p.
4. Barlow, J. Smart Videoconferencing: New Habits for Virtual Meetings / J. Barlow, P. Peter, L. Barlow. – Berrett-Koehler Publishers, 2002. – 273 с.
5. Яремчук, С. Проект BIGBLUEBUTTON. Платформа для видеоконференций и дистанционного обучения / С. Яремчук // Системный администратор. – 2012. – № 5(114). – С. 98–101.

References

1. Paramonov A. I. *Distance education problems and their applied solutions in educational technologies*. Vyssee tehnikeskoe obrazovanie: problemy i puti razvitiya : materialy X Mezhdunarodnoj nauchno-metodicheskoy konferencii, Minsk, 26 nojabrja 2020 g. Ministerstvo obrazovaniya 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, Belorusskij gosudarstvennyj universitet informatiki i radiojelektroniki, 2020, pp. 182–187 (In Russ.).
2. Markov A. N., Migalevich S. A. *Readiness of higher education institutions for digital transformation processes*. Cifrovaja transformacija [Digital Transformation], 2021, no. 2, pp. 64–68 (In Russ.).
3. Gough M. *Video Conferencing over IP: Configure, Secure, and Troubleshoot*. Syngress, 2006, 336 p.
4. Barlow J., Peter P., Barlow L. *Smart Videoconferencing: New Habits for Virtual Meetings*. – Berrett-Koehler Publishers, 2002, 273 p.
5. Yaremchuk S. *Project BIGBLUEBUTTON. Platform for video conferencing and distance learning*. Sistemnyj administrator [System Administrator], 2012, no. 5(114), pp. 98–101 (In Russ.).

Информация об авторах

Марков Алексей Николаевич, аспирант, заместитель начальника Центра информатизации и инновационных разработок Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.
<https://orcid.org/0000-0001-8508-1812>
E-mail: a.n.markov@bsuir.by

Игнатович Роман Олегович, начальник отдела системного и технического обслуживания Центра информатизации и инновационных разработок Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.
<https://orcid.org/0000-0001-7233-6521>
E-mail: r.ihnатович@bsuir.by

Парамонов Антон Иванович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой информационных систем и технологий Института информационных технологий Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.
<https://orcid.org/0000-0001-6616-2481>
E-mail: a.paramonov@bsuir.by

Information about the authors

Aleksey N. Markov, Postgraduate Student, Deputy Head of the Center for Informatization and Innovative Development, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.
<https://orcid.org/0000-0001-8508-1812>
E-mail: a.n.markov@bsuir.by

Roman O. Ihnatovich, Head of the Department of System and Technical Services of the Center for Informatization and Innovative Development, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.
<https://orcid.org/0000-0001-7233-6521>
E-mail: r.ihnатович@bsuir.by @bsuir.by

Anton I. Paramonov, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Head of the Department of Information Systems and Technologies of the Institute of Information Technologies, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.
<https://orcid.org/0000-0001-6616-2481>
E-mail: a.paramonov@bsuir.by