ISSN 2306-1561
Automation and Control in Technical Systems (ACTS)
2015, No 3, pp. 104-116.
DOI: 10.12731/2306-1561-2015-3-10

Dynamic Computing Resources Scaling Analysis in Remote Cloud Infrastructure

Dmitry Olegovich Gusenitsa

Russian Federation, Postgraduate Student, Department «Automated Control Systems».

State Technical University – MADI, 125319, Russian Federation, Moscow, Leningradsky prospekt, 64. Tel.: +7 (499) 151-64-12. http://www.madi.ru

zwerty.il@yandex.ru

Peter Franzevich Yurchik

Russian Federation, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department «Automated Control Systems».

State Technical University – MADI, 125319, Russian Federation, Moscow, Leningradsky prospekt, 64. Tel.: +7 (499) 151-64-12. http://www.madi.ru

upf.madi@mail.ru

Aleksey Nikolaevich Shilin

Russian Federation, Undergraduate Student, Department «Automated Control Systems».

State Technical University – MADI, 125319, Russian Federation, Moscow, Leningradsky prospekt, 64. Tel.: +7 (499) 151-64-12. http://www.madi.ru

shilinpost@gmail.com

Valentina Borisovna Golubkova

Russian Federation, Ph. D., Associate Professor, Department «Automated Control Systems».

State Technical University – MADI, 125319, Russian Federation, Moscow, Leningradsky prospekt, 64. Tel.: +7 (499) 151-64-12. http://www.madi.ru

vb.citrus@mail.ru

Abstract. Currently, the scalability of computer systems on the cloud platform is critical to the successful processing and presentation of constantly changing information on the Internet, in consequence of the fact that maintaining adequate resources to handle peak loads on infrastructure significantly increases the high cost of its maintenance. In such circumstances, the scalability of cloud computing technology provides its users with real-time access to computing resources, depending on the required load. This article studies the architecture of the dynamic scaling Web applications based on thresholds in a virtualized cloud environment. The use of technology scaling load demonstrates compelling advantages, including the ability

to handle sudden load on the system, provide resources based on user demand and maintaining more efficient use of resources, thus reducing the material costs of infrastructure maintenance and its management.

Keywords: cloud computing, scalability, virtualization, virtual machine.

ISSN 2306-1561
Автоматизация и управление в технических системах (АУТС)
2015. – № 3. – С. 104-116.
DOI: 10.12731/2306-1561-2015-3-10

УДК 004.9:681.3

Исследование масштабируемости загрузки на удалённых вычислительных ресурсах в облачной инфраструктуре

Гусеница Дмитрий Олегович

Российская Федерация, аспирант кафедры «Автоматизированные системы управления».

ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», 125319, Российская Федерация, г. Москва, Ленинградский проспект, д.64, Тел.: +7 (499) 151-64-12, http://www.madi.ru

zwerty.il@yandex.ru

Юрчик Петр Францевич

Российская Федерация, доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматизированные системы управления».

ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», 125319, Российская Федерация, г. Москва, Ленинградский проспект, д.64, Тел.: +7 (499) 151-64-12, http://www.madi.ru

upf.madi@mail.ru

Шилин Алексей Николаевич

Российская Федерация, магистрант кафедры «Автоматизированные системы управления».

ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», 125319, Российская Федерация, г. Москва, Ленинградский проспект, д.64, Тел.: +7 (499) 151-64-12, http://www.madi.ru

shilinpost@gmail.com

Голубкова Валентина Борисовна

Российская Федерация, кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизированные системы управления».

ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», 125319, Российская Федерация, г. Москва, Ленинградский проспект, д.64, Тел.: +7 (499) 151-64-12, http://www.madi.ru

vb.citrus@mail.ru

Аннотация. В настоящее время масштабируемость компьютерных систем на облачной платформе имеет решающее значение для успешной обработки и представления, постоянно изменяющейся информации в Интернете. Это происходит вследствие того, что поддержание достаточных ресурсов для обработки пиковых нагрузок на инфраструктуру существенно повышает дороговизну её эксплуатации и поддержки, при этом всё острее встает проблема работы с огромными объемами данных и большими нагрузками. Технологии масштабируемости облачных вычислений позволяют предоставлять пользователям доступ к вычислительным ресурсам в режиме реального времени в зависимости от требуемой нагрузки. В таких условиях большое количество пользователей одновременно получают и записывают информацию, что требует от веб-приложений не только большой пропускной способности и низких задержек, но и масштабируемость, надежность и определённых гарантий согласованности данных. В данной статье проводится исследование архитектуры динамического масштабирования веб-приложений на основе пороговых значений в виртуализированной облачной среде. Применение технологий масштабирование нагрузки демонстрирует убедительные преимущества, включая возможность обработки внезапных нагрузок на систему, предоставление ресурсов по требованию пользователей и поддержание большей эффективности использования ресурсов, таким образом уменьшая материальные затраты на поддержание инфраструктуры и её управление.

Ключевые слова: облачные вычисления; масштабируемость; виртуализация; виртуальная машина.

1. Введение

Размещение вычислительных ресурсов предприятия в облачной инфраструктуре [1, 7 … 10] становится всё более популярной моделью, в котором ресурсы становятся доступны пользователям лишь по мере необходимости. Облачные вычисления по существу являются парадигмой, в которой задачи для обработки передаются программному обеспечению через комбинацию сервисов через сеть. Огромная потенциальная мощность для обработки информации реализуется за счёт применения распределенных, крупномасштабных кластеров в связке с программным обеспечением для виртуализации серверов [18] и параллельных вычислений. Подобная сеть серверов и их соединений обычно называется "Облако". Вычислительные ресурсы могут поддерживаться непосредственно клиентом или предоставляться поставщиком облачных услуг. Вычисления в масштабе облака позволяют пользователям получат доступ к уровню вычислительной мощности суперкомпьютеров мгновенно, согласно текущим потребностям. Подобная модель обработки информации была разработана для преодоления задачи эффективного использования пользовательских ресурсов в условиях постоянно изменяющихся в них потребностей [11 … 18].

"Масштабируемость" может быть определена по-разному. Например, как "способность конкретной системы решить требуемую задачу при условии увеличения

её рамок (рост количества элементов, объектов или объёма работы и т.д.)" или как "свойство системы, которое обеспечивает её способность обрабатывать растущий объём рабочей нагрузки без значительного ухудшения соответствующих атрибутов качества". Также определением может являться "способность приложения к масштабированию для выполнения задач за счёт репликации и распределения загрузки по кластеру серверов".

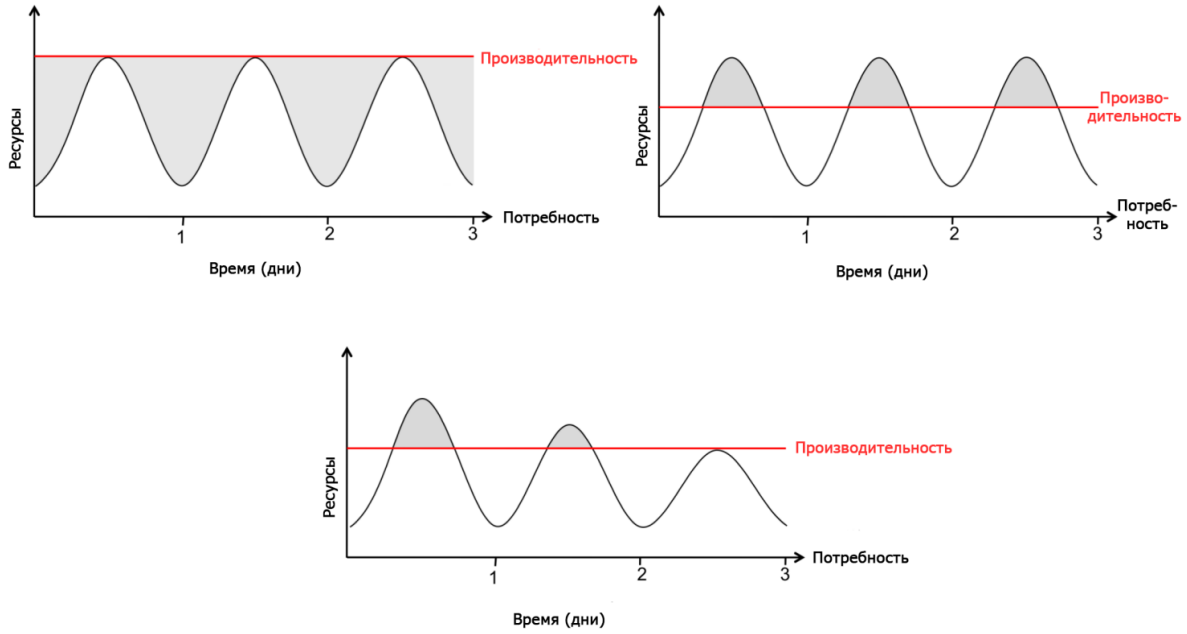

Рисунок 1 – Графики производительности и требуемой загрузки облачной инфраструктуры

Вследствие того, что запросы пользователя в вычислительных мощностях могут резко варьироваться в течение времени, поддержание достаточного их количества для удовлетворения пиковых требований может быть очень затратным [2]. И наоборот, если пользователь поддерживает затраты на поддержание только минимального количества ресурсов, их может быть недостаточно для удовлетворения пиковых потребностей. В свою очередь, масштабируемость, т.е. возможность расширения и добавления ресурсов динамически в реальном времени позволяет решить данные задачи, особенно для предприятий-пользователей, в настоящее время участвующих в ведении своих операций в сети Интернет. Облачные технологии предоставляют обширную среду для бесшовного масштабирования веб-приложений и их архитектуры, не требуя дополнительного времени на инсталляцию и запуск дополнительных вычислительных мощностей или изменения их программного кода.

2. Облачные технологии

Облачные технологии представляют собой метод предоставления цифровых услуг и сервисов через сетевую инфраструктуру. Их реализация стала возможной благодаря комбинации последних разработок в областях виртуализации, процессоров, дисковых

хранилищ, широкополосного доступа в Интернет и создания быстрых, но недорогих серверов. По сути облачные технологии используют методы виртуализации для преобразования вычислительных ресурсов в виртуальные машины. Эти виртуальные машины, как правило, расположены на некотором сетевом физическом сервере в среде хостинга. Однако, виртуальные машины могут быть перемещены, таким образом, нарушая прямую аппаратную зависимость от физических машин. С решением проблемы аппаратной зависимости система, расположенная на виртуальной машине может быть изолирована от аппаратных сбоев и автоматически перемещена на другое имеющееся оборудование. Схема типичной платформы для облачных вычислений с автоматизированными мощностными резервами, передовыми технологиями виртуализации и виртуальными машинами, расположенными на физических серверах, напрямую обеспечивающих пользователей облачными приложениями и сервисами, представлена на рисунке 2.

Рисунок 2 – Схема типичной облачной платформы

В среде облачных вычислений, приложения и сервисы становятся доступны пользователям с помощью высокоэффективных виртуализированных вычислительных ресурсов с поддержкой вертикального масштабирования в реальном времени. Пользователи могут получить к ним доступ из любой части мира, имея доступ только к сервису, а не архитектуре и инфраструктуре, необходимой для его реализации. Примерами использования облачных услуг включают хранение и защиту данных, приложений, бизнес-процессов, а также различных услуг, таких как обеспечение электронной почты и офисных приложений. Облачные технологии позволяет пользователям и компаниям пользоваться подобными услугами и хранить в них свои данные, получая к ним доступ, когда они в них нуждаются через выбранные ими

методы связи (беспроводное соединение/широкополосный доступ и т.д.). При этом пользователи оплачивают вычислительные мощности и трафик, которые были использованы непосредственно ими.

В перспективе, облачные технологии имеют потенциал полностью изменить индустрию программного обеспечения, благодаря тому, что приложения будут приобретаться, лицензироваться и функционировать по сети, а не на рабочей станции пользователей [3]. Этот сдвиг поставит центры обработки данных и их администраторов в центр распределённой сети, в то время как, управление всей вычислительной мощностью, пропускной способностью и хранением данных будет осуществляться удалённо.

Типичные виды облачных сервисов в зависимости от предоставляемых ими услуг, включают в себя:

- **Сервисы приложений.** Любое веб-приложение является облачным в том смысле, что его инфраструктура располагается в облаке, как например Google, Amazon, Facebook, Twitter и любое другое Web 2.0 приложение;
- **Сервисы платформы.** На одну ступень выше, чем просто вычислительные ресурсы на облачной платформе, например, Google Apps и Google AppsEngine, которые поддерживают работу виртуальных машин за API-интерфейсами высокого уровня;
- **Сервисы инфраструктуры.** Как например Amazon Elastic Compute Cloud (EC2), представляющее собой типичный сервис с облачной инфраструктурой, который предоставляет ресурсы для хранения и работы виртуальных машин с оплатой по мере использования их ресурсов. Основными пользователями этого вида облачных услуг являются разработчики [4].

3. Виртуализация

Технология виртуализации является ключевым компонентом облачных технологий [18]. В облачной среде под виртуализацией в первую очередь понимается виртуализация аппаратной платформы, или абстракции физических ИТ-ресурсов от пользователей и приложений, их использующих. Виртуализация позволяет рассматривать сервера, накопители информации и другое оборудование как пул ресурсов, а не дискретные системы, позволяя выделять эти ресурсы по требованию. Виртуализация платформы осуществляется на аппаратных ресурсах с помощью управляющего программного обеспечения, называющегося гипервизор или монитор виртуальной машина. Это программное обеспечение создает искусственную компьютерную среду, называемую виртуальной машиной, для гостевого программного обеспечения, которое часто само по себе является полноценной операционной системой, функционирующей так, как если бы она была установлена на автономном "железе". В настоящее время ведущими провайдерами средств и ПО для виртуализации являются VMware, Xen, KVM и Microsoft Virtualization [5].

Виртуализация решает несколько важнейших задач в качестве средства изоляции физических ресурсов в центрах обработки данных и обеспечивает конкретные преимущества, в том числе:

- **Более эффективное использование ресурсов.** С помощью виртуализации вычислительная нагрузка может быть инкапсулирована и передана на обработку незанятым или недозагруженным компонентам системы. Это означает, что уже существующие ресурсы могут быть объединены, так что затрат на приобретение дополнительных серверных мощностей можно избежать или отложить их;
- **Консолидация ресурсов.** Виртуализация позволяет консолидировать несколько дискретных ИТ-ресурсов, как например, серверов и хранилищ данных, а также системную архитектуру, инфраструктуру приложений, интерфейсы, базы данных и даже бизнес-процессов, экономя материальные ресурсы и повышая эффективность их использования;
- **Пониженной потребление энергии / Расходы.** Использование виртуализации для консолидации вычислительных мощностей сократить суммарную мощность потребления энергии и сэкономить на них значительные расходы;
- **Экономия пространства.** Физическое разрастание серверов является серьезной проблемой в большинстве центров обработки данных, но их расширение не всегда является оптимальным вариантом, вследствие дорогих затрат на строительство и расходов на охлаждение. Виртуализация может облегчить нагрузку с помощью объединения нескольких виртуальных систем на меньшем физическом пространстве.

4. Масштабируемость приложений

Масштабируемость имеет важное значение для успешной работы многих предприятий в настоящее время, ведущих свой бизнес в Интернете и в предоставлении информации, которая может потребоваться внезапно. В таких условиях масштабируемость является мерой способности приложения к расширению для удовлетворения потребностей пользователей. Как правило, приложение можно масштабировать путём добавления к нему больших вычислительных ресурсов. Ими могут являтся множество аппаратных средств, в том числе сервера, процессоры, накопители данных, а также расширение пропускной способности каналов связи. Масштабируемые приложения продолжают нормальное функционирование во время расширения в любой момент времени, одновременно обслуживая потребности клиентов. Приложения, которые не масштабируются могут столкнуться с проблемами в производительности и доступности своих услуг, т.к. потребности к ним возрастают, однако они не могут воспользоваться большим количеством ресурсов.

Несмотря на то что различные веб-приложения могут функционировать по-разному, существуют распространённые "бутылочные горлошки" масштабирования где

ресурсы, выделенные для приложения становятся ограниченными. Например, очень маловероятно, что веб-приложение может достаточно разростись, чтобы удовлетворить нужды своих пользователей на одном сервере. В какой-то момент времени, потребуется добавить дополнительные сервера для удовлетворения растущих потребностей для того, чтобы отвечать требованиям качества обслуживания и позволить приложению эффективно выполнять свои задачи. То же самое в целом справедливо, для хранения данных и пропускной способности сети [6].

Чтобы поддерживать желаемую производительность веб-приложения важно понимать, как оно потребляет ресурсы, как ведет себя в условиях высокой нагрузки и что происходит на потенциальных точках масштабирования всей системы. Одним из способов исследования того как приложение функционирует под повышенной нагрузкой, является изучение точек масштабирования и использование возможностей планирования для измерения нагрузки на этих точках, чтобы при необходимости добавить требуемое количество ресурсов. Грамотно спроектированные веб-приложения позволяют управляющей системе добавлять ресурсы к каждой точке масштабирования по мере того как на ней возрастает вычислительная нагрузка, таким образом, сохраняя её способность к удовлетворению запросов клиентов.

Для того, чтобы масштабировать приложение динамически, обычно система следит за определёнными показателями на точках масштабирования для мониторинга и отслеживания эффективности работы. Для веб-приложений, типичные показатели масштабирования на веб-сервере могут включать в себя:

- количество одновременных пользователей;
- количество активных соединений;
- количество запросов в секунду;
- среднее время реагирования на запрос.

После того, как был выбран индикатор масштабирования для использования системой, в режиме реального времени собираются его выборки и периодически рассчитываются статистика. Исходя из прошлых тенденций и прогнозов, полученных от сохранённой статистики от индикаторов масштабирования, могут быть определены условия для вертикального масштабирования.

5. Масштабирование приложений в облаке

При функционировании веб-приложения через Интернет в любой момент времени оно может иметь непредсказуемое потенциально неограниченное количество пользователей, которым требуется получить к нему доступ. Такой тип нагрузки, как правило, требует от приложения короткого времени отклика, высокого уровня надёжности и доступности от приложения. Следовательно, веб-приложение должно быть доступно без простоев и должно обеспечить быстрое время реагирования на запросы к нему независимо от количества одновременных пользователей, подключающихся к нему.

Основная проблемой таких веб-приложений является их неспособность предсказать количество пользователей, которые будут запрашивать доступ к приложению в будущем. Решение заключается в динамическом масштабировании приложения, давая возможность вычислительным ресурсам веб-серверов и компонентам самого приложения расти (или уменьшаться) в ответ на требуемую нагрузку. Пример масштабируемой архитектуры, которая эффективно работает при таком сценарии с применением платформы облачных вычислений приведён на рисунке 3. Дизайн архитектуры включает в себя балансировщик нагрузки, ряд виртуальных машин с веб-приложением, резервную подсистему и динамический алгоритм масштабирования.

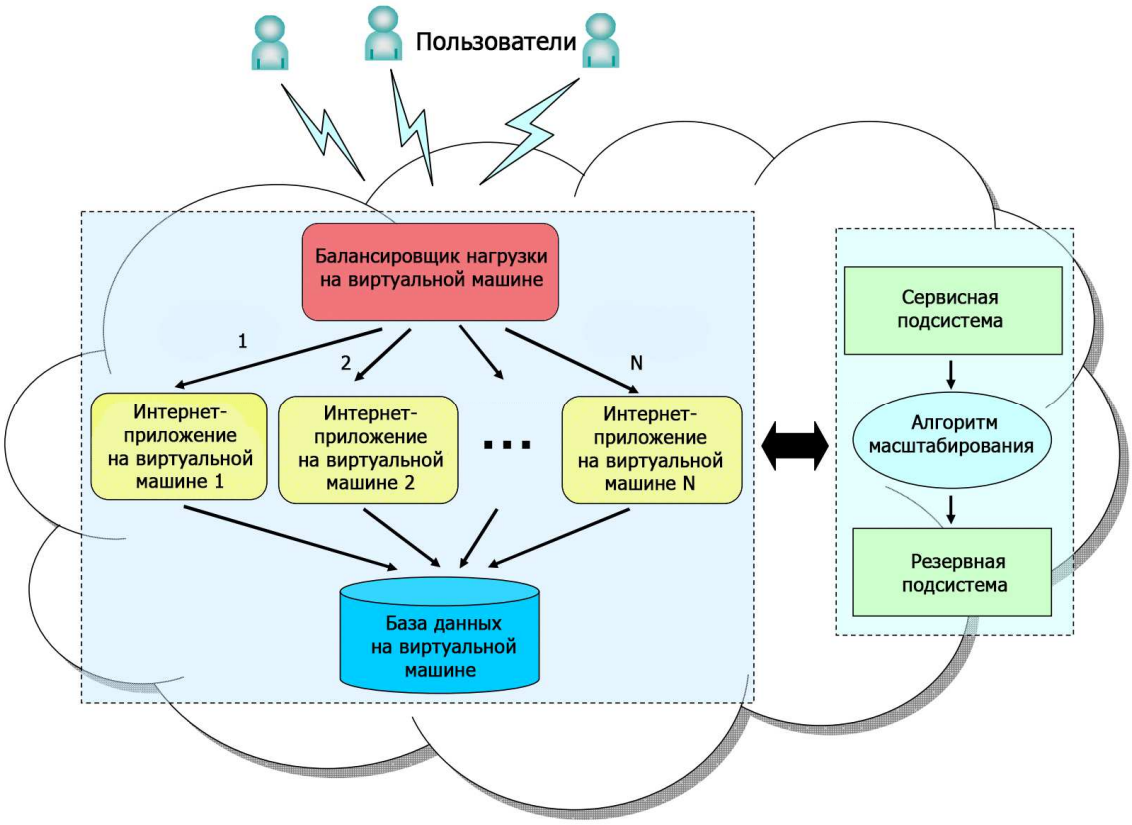

Рисунок 3 – Архитектура масштабируемого веб-приложения, размещённого в облачной инфраструктуре

По-сути, балансировщик нагрузки служит в качестве единой точки входа в систему для запросов из Интернета и используется для их маршрутизации к другим серверам, на виртуальных машинах которых размещены копии веб-приложения. Эти виртуальные машины предоставляются и запускаются под управлением сервисной подсистемы в облачной инфраструктуре. Для управления вычислительными резервами служит алгоритм динамического масштабирования, основанный на одном из индикаторов масштабирования, например, количество активных подключений/сессий в каждом веб-приложении. Этот индикатор является решающим для поддержки работоспособности приложений в сети Интернет, вследствие того, что при увеличении

количества подключений за определённым пороговым значением, система не может вовремя ответить на запросы пользователей и в конце концов зависает.

В таком случае, использование балансировщика нагрузки позволяет направлять входящие запросы на другие сервера с данным приложением. Т.к. конфигурация балансировщика может быть обновлена одновременно с работой системы, это позволяет автоматически и динамически добавлять в инфраструктуру новые экземпляры веб-приложения для доступа к ним пользователей. Дополнительные сервера обеспечивают масштабируемость системы и, следовательно, обеспечивают быстрое время отклика для входящих веб-запросов.

Для упрощения предоставления системе дополнительных ресурсов, веб-приложение и его соответствующий веб-сервер уже установлены в шаблоне образа виртуальной машины, который доступен в базе данных виртуальных машин в облачной инфраструктуре. Благодаря этому, по команде управляющей системы новые экземпляры веб-приложения могут быть с лёгкостью созданы и добавлены по требованию.

Сервисная подсистема отвечает за сбор индивидуальных индикаторов масштабирования у веб-приложения, а затем расчёта их средних значений. Агент мониторинга установлен в каждой копии веб-приложения для отслеживания количества активных сессий и периодической передаче данных сервисной подсистеме. На основании среднего значения индикатора масштабируемости динамический алгоритм определяет осуществление вертикального масштабирования приложения. Это означает, что алгоритм будет запрашивать у сервисной подсистемы подключение или выключение дополнительных виртуальных машин, запущенных на веб-сервере в облаке. В случае расширения требуемых ресурсов веб-приложения, запущенная новая виртуальная машина подключиться к веб-приложению, а файл конфигурации балансировщика нагрузки будет обновлён и машина будет размещена для использования в инфраструктуре. Подобная развёртка виртуальных машин с копиями веб-приложения заключается в клонировании "золотого" образа виртуальной машины. Одной из проблем связанных с клонированием виртуальных образов, является обращение с её операционной системой и конкретными настройками приложения [7]. Автоматизация предоставления новых виртуальных машин из "золотого" образа может быть достигнута путём добавления возможностей автоматизации в сам образ шаблона в сочетании с внешними скриптами автоматизации, которые непосредственно управляют самим развертыванием.

Динамической алгоритм вначале определяет количество запущенных веб-приложений с количеством активных сессий выше или ниже определённого порогового значения. Если во всех копиях приложения количество сессий его превышает, будет подготовлена, запущена, а затем добавлена к балансировщику нагрузки, свежая копия приложения. В случае, если количество активных сессий ниже заданного порогового значения и по меньше мере у одной копии приложения нет активных сессий, простаивающий экземпляр будет удалён из балансировщика нагрузки и отключён от системы. В каждом случае, коэффициенты нагрузки для всех активных экземпляров

пересчитывается, а затем передаются на балансировщик нагрузки, чтобы перераспределять нагрузку равномерно.

6. Заключение

В статье был рассмотрен сценарий динамического масштабирования веб-приложения на основе виртуализированной окружающей среды в облачной инфраструктуре. Система включает в себя балансировщик нагрузки для маршрутизации запросов пользователей к веб-приложениям, расположенным на веб-серверах в облачных виртуальных машинах, а динамический алгоритм масштабирования в автоматическом режиме управляет предоставлением ресурсов для виртуальных машин на основе количества активных сессий. В работе были продемонстрированы убедительные преимущества облачных технологий, которые способны обрабатывать внезапные всплески нагрузки на приложения и предоставливать ИТ-ресурсы пользователям по требованию в режиме реального времени. Автоматизированная инициализация, динамическое распределение и высокопроизводительные возможности для масштабирования облаке являются важными элементами в работе современных приложений, обеспечивая более высокую эффективность использования ресурсов, тем самым уменьшая инфраструктурные и управленческие расходов.

Список информационных источников

[1] Erickson, D., Gibb, G., Heller, B., Naous, J., Underhill, D., Appenzeller, G., Parulkar, G., McKeown, N., and Al., E. A demonstration of virtual machine mobility in an openflow network. Proceedings of ACM SIGCOMM Demo (2008), 513.

[2] Eckerson, Wayne W. "Three Tier Client/Server Architecture: Achieving Scalability, Performance, and Efficiency in Client Server Applications." Open Information Systems 10, 1 (January 1995): 3-20.

[3] Табаков В.В. Облачные вычисления – технологическая инновация // Сборник материалов Второй международной научно-практической конференции «Проблемы развития инновационно-креативной экономики». [Электронный ресурс]. – Электрон. ст. – Режим доступа к ст.: http://econference.ru/blog/conf06/227.html Дата обращения: 31.01.2015.

[4] Аветисов М. А. Библиотеки АПК в облачных технологиях / М. А. Аветисов, В. И. Стеллецкий: [Электронный ресурс]. – Электрон. ст. – Режим доступа к ст.: http://gpntb.ru/win/inter-events/crimea2011/disk/048.pdf. Дата обращения: 30.01.2015.

[5] K. H. Kim, A. Beloglazov, and R. Buyya, “Power-aware provisioning of cloud resources for real-time services,” in Proceedings of the 7th International Workshop on Middleware for Grids, Clouds and e-Science, ser. MGC ’09. New York, NY, USA: ACM, 2009, pp. 1:1–1:6.

[6] Q. Wang and C. A. Varela, “Impact of cloud computing virtualization strategies on workloads’ performance,” in 4th IEEE/ACM International Conference on Utility and Cloud Computing(UCC 2011), Melbourne, Australia, December 2011.

[7] Dr.K. Chitra, B. Jeevarani, “Transaction Processing on Cloud Computing”, International Journal of Scientific and Research in Computer Science Applications and Management Studies, Volume 2, Issue 5, ISSN: 2319-1953, November 2013.

[8] Гусеница Д.О., Юрчик П.Ф., Голубкова В.Б. Увеличение эффективности работы систем поддержки принятия решений с помощью интеграции прикладных информационных систем // Автоматизация и управление в технических системах. – 2013. – № 4.1. – С. 62-67. DOI: 10.12731/2306-1561-2013-4-11.

[9] Голубкова В.Б., Юрчик П.Ф., Гусеница Д.О. Применение интегрированных систем поддержки принятия решений для предотвращения сбоёв в работе прикладных информационных систем // Автоматизация и управление в технических системах. – 2013. – № 3(5). – С. 48-52.

[10] Пастухов Д.А., Юрчик П.Ф., Остроух А.В. Сравнительный анализ гипервизоров // Международный журнал экспериментального образования. – 2015. – № 3-3. – С. 346-350.

[11] Ostroukh A.V., Gusenitsa D.O., Golubkova V.B., Yurchik P.F. Integration of PDM and ERP systems within a unified information space of an enterprise // IOSR Journal of Computer Engineering (IOSR-JCE). 2014. Vol. 16. Issue 02. V6. pp. 31-33. DOI: 10.9790/0661-16263133. ANED: 11.0661/iosr-jce-E016263133.

[12] Остроух А.В. Интеллектуальные системы в науке и производстве / А.В. Остроух, А.Б. Николаев. – Saarbrucken, Germany: Palmarium Academic Publishing, 2012. – 312 p. – ISBN 978-3-659-98006-0.

[13] Остроух А.В. Ввод и обработка цифровой информации: учебник для нач. проф. образования / А.В. Остроух. – М.: Издательский центр «Академия», 2012. – 288 с. – ISBN 978-5-7695-9457-1.

[14] Остроух А.В. Системы искусственного интеллекта в промышленности, робототехнике и транспортном комплексе: монография / А.В. Остроух – Красноярск: Научно-инновационный центр, 2013. – 326 с. – ISBN 978-5-906314-10-9.

[15] Остроух А.В. Основы информационных технологий: учебник для сред. проф. образования / А.В. Остроух. – М.: Издательский центр «Академия», 2014. – 208 с. – ISBN 978-5-4468-0588-4.

[16] Остроух А.В. Автоматизация управления автотранспортными предприятиями. Новый подход на основе интеллектуальных мультиагентных систем / А.В. Остроух, А.В. Воробьева, Н.Е. Суркова. – Saarbrucken, Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015. – 117 p. – ISBN 978-3-659-47576-4.

[17] Остроух А.В. Интеллектуальные информационные системы и технологии: монография / А.В. Остроух, Н.Е. Суркова. – Красноярск: Научно-инновационный центр, 2015. – 370 с. ISBN 978-5-906314-35-2.

[18] Брагинский А.И., Гапшин Н.В., Голубкова В.Б., Виноградов В.А. ПРИМЕНЕНИЕ ВИРТУАЛЬНЫХ МАШИН ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА НА КАФЕДРЕ ВУЗА // Автоматизация и управление в технических системах. – 2014. – № 1.1. – С. 14-24. DOI: 10.12731/2306-1561-2014-1-2.