

УДК 37.046:004.89

DOI: 10.25559/SITITO.15.201904.846-854

Разработка и исследование имитационной модели для оценки эффективности интеллектуальной облачной образовательной среды

В.В. Запорожко, Д. И. Парфёнов*, Л. С. Забродина, В. М. Шардаков

Оренбургский государственный университет, г. Оренбург, Россия

460018, Россия, г. Оренбург, пр. Победы, д. 13

* parfenovdi@mail.ru

Аннотация

В статье отражена модель облачной образовательной среды, структура которой представлена онлайн-курсами и гибридной интеллектуальной системой, позволяющей формировать и в режиме реального времени корректировать индивидуальные траектории освоения данных курсов. Установлено, что, не смотря на ее сложность, динамичность, а порой и неопределенность, она должна обеспечивать своевременный и непрерывный доступ каждому слушателю к стартовым онлайн-курсам, к их мультимедийному контенту и функционировать стабильно при любых нагрузках. Показано, что коллаборативная работа обучающихся также предполагает совместное использование различных учебных объектов онлайн-курса (например, вебинаров, видеолекций, виртуальных моделей), каждый из которых требует определенного качества обслуживания (QoS), производительности, возможности планирования процесса, управления ресурсами. Описывается возможность использования аппарата теории массового обслуживания для создания модели интеллектуальной облачной образовательной среды. Приводятся результаты экспериментального исследования построенной имитационной модели. Сделан вывод, что искомая модель является адекватной и способна справляться с большим потоком заявок обучающихся. Предложенная модель является универсальной и может быть использована при разработке облачной платформы онлайн-обучения, программно-технологическая инфраструктура которой должна отвечать запросам быстро растущей массы слушателей курсов.

Ключевые слова: облачная образовательная среда, онлайн-курс, гибридная интеллектуальная система, имитационная модель, система массового обслуживания, облачные вычисления.

Финансирование: Исследование выполнено при финансовой поддержке Правительства Оренбургской области и Российского фонда фундаментальных исследований в рамках научных проектов № 18-37-00400 мол_а «Разработка и исследование эффективных методов и алгоритмов интеллектуальной обработки больших массивов данных для персонализации облачной образовательной среды» и № 19-47-560011 р_а «Интеллектуальные методы разработки и сопровождения электронных учебных курсов на основе машинного обучения».

Для цитирования: Запорожко В. В., Парфёнов Д. И., Забродина Л. С., Шардаков В. М. Разработка и исследование имитационной модели для оценки эффективности интеллектуальной облачной образовательной среды // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2019. Т. 15, № 4. С. 846-854. DOI: 10.25559/SITITO.15.201904.846-854

© Запорожко В. В., Парфёнов Д. И., Забродина Л. С., Шардаков В. М., 2019



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.



Development and Research of a Simulation Model to Evaluate the Effectiveness of the Intelligent Cloud Educational Environment

V. V. Zaporozhko, D. I. Parfenov*, L. S. Zabrodina, V. M. Shardakov

Orenburg State University, Orenburg, Russia

13 Pobeda Av., Orenburg 460018, Russia

* parfenovdi@mail.ru

Abstract

The article reflects a model of the cloud educational environment, the structure of which is represented by online courses and a hybrid intelligent system that allows you to create and adjust real-time individual trajectories of studying these courses. It was established that, despite its complexity, dynamism, and sometimes uncertainty, it should provide timely and continuous access for each student to starting online courses, their multimedia content and function stably under any load. It is shown that the collaborative work of students also involves the sharing of various educational objects of an online course (for example, webinars, video lectures, and virtual models), each of which requires a certain quality of service (QoS), productivity, the possibility of process planning, resource management. The possibility of using the queuing theory apparatus to create a model of the intelligent cloud educational environment is described. The results of an experimental study of the constructed simulation model are presented. It is concluded that the desired model is adequate and is able to cope with a large flow of students' requests. The proposed model is universal and can be used to develop a cloud-based online learning platform, the software and technology infrastructure of which must meet the needs of a rapidly growing mass of students of online courses.

Keywords: Cloud educational environment, online course, hybrid intelligent system, simulation model, queuing system, cloud computing.

Funding: The study was carried out with the financial support of the Government of the Orenburg region and the Russian Foundation for Basic Research within the framework of scientific projects № 18-37-00400 мол_a «Development and Research of Efficient Methods and Algorithms of Intelligent Processing of Large Data Sets for Personalization of Cloud Educational Environment» and № 19-47-560011 p_a «Intelligent Methods for the Development and Maintenance of Electronic Training Courses Based on Machine Learning».

For citation: Zaporozhko V.V., Parfenov D.I., Zabrodina L.S., Shardakov V.M. Development and Research of a Simulation Model to Evaluate the Effectiveness of the Intelligent Cloud Educational Environment. *Sovremennye informacionnye tehnologii i IT-obrazovanie* = Modern Information Technologies and IT-Education. 2019; 15(4):846-854. DOI: 10.25559/SITITO.15.201904.846-854



Введение

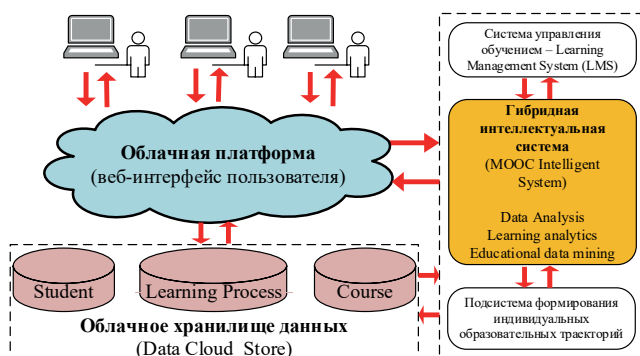
Открытая регистрация и свободная запись на доступные онлайн-курсы привлекает большое количество обучающихся со всего мира. Облачные образовательные среды – это новая парадигма, которая предлагает ряд преимуществ с точки зрения масштабируемости, высокой доступности, удобства обслуживания и эффективности обработки данных [5, 16]. Облачные технологии позволяют переносить онлайн-курсы в облако, предоставляя авторизованный доступ огромному количеству пользователей [8, 15]. У слушателей онлайн-курсов появляется возможность получать услуги в любое время, с любого устройства с максимальной надежностью и стабильной вычислительной мощностью для одновременного выполнения параллельных рабочих нагрузок [1-3].

Цель исследования

При проектировании высоконагруженной инфраструктуры, составляющую интеллектуальную облачную образовательную среду, важно заранее убедиться, что система сможет предложить желаемый уровень качества обслуживания, производительности, возможности планирования процесса, управления ресурсами и т.п. [17-21]. Одним из методов, призванных решить данную проблему, является имитационное моделирование [6, 9, 23-25]. В связи с этим цель исследования заключается в разработке и исследовании имитационной модели для оценки эффективности работы спроектированной интеллектуальной облачной образовательной среды.

Формальное описание модели интеллектуальной облачной образовательной среды

Облачная образовательная среда представлена онлайн-курсами и гибридной интеллектуальной системой, позволяющей формировать и в режиме реального времени корректировать индивидуальные траектории освоения данных курсов. Архитектура интеллектуальной облачной образовательной среды представлена на рисунке 1.



Р и с. 1. Архитектура интеллектуальной облачной образовательной среды

Fig. 1. Intelligent cloud education architecture

Один из подходов создания, устойчивого функционирования и развития современной облачной образовательной среды, заключается в перемещении **системы управления обучением** (Learning Management Systems – LMS) в «облако». Сервисы облачных вычислений представляют участникам образовательного процесса программное и аппаратное обеспечение, которое обеспечивают обработку и исполнение заявок

пользователей через веб-интерфейс.

Student Data Cloud Store представляет собой наборы данных об обучающихся.

Course Data Cloud Store – наборы данных о курсах (об учебных объектах и их метаданных).

Data Cloud Store Learning Process – наборы данных, описывающих процесс обучения на онлайн-курсах, в том числе учебные достижения обучающихся.

MOOC Intelligent System – гибридная интеллектуальная система облачной платформы, отвечающая за адаптацию онлайн-курсов к потребностям, предпочтениям и возможностям конкретного обучающегося. Функционирование интеллектуальной облачной образовательной среды осуществляется на основе обработки и анализа больших данных (Big Data) с использованием методов анализа данных (Data Analysis), образовательной аналитики (Learning Analytics), образовательного интеллектуального анализа данных (Educational Data Mining – EDM). Гибридная интеллектуальная система, используя арсенал методов моделирования интеллектуальной деятельности человека (кластерный анализ, искусственные нейронные сети, а также набор биоинспирированных алгоритмов, включая генетический алгоритм), позволяет решать задачу формирования индивидуальных образовательных траекторий слушателей онлайн-курсов в облачной образовательной среде.

Как правило, в состав данной среды входят несколько разнородных компонентов, отвечающих за взаимодействие с обучающимися – слушателями онлайн-курсов. Каждый из компонентов искомой среды может быть реализован в виде учебных объектов двух типов. В первом случае – в виде простого объекта, который является самостоятельной автономной единицей, существующей в рамках облачной образовательной среды. Во втором случае объект представляет собой многоуровневую систему, включающую в себя взаимосвязанные простые учебные объекты. Такой сложный учебный объект представляет собой совокупность элементов электронного образовательного контента облачной образовательной среды (видео, текста, тестов, заданий), которые объединены одной целью обучения. На практике компоненты второго типа используют компоненты первого типа для организации базовой структуры.

Построение индивидуальной образовательной траектории обеспечивается модульной структурой курса и представляет собой последовательность чередования и предъявления учебных объектов обучающемуся.

Рассмотрим реализацию взаимосвязанных объектов курса, размещенного в интеллектуальной облачной образовательной среде. Структурно-содержательную модель онлайн-курса можно представить в виде ориентированного графа M :

$$M = (Theme, SeqT),$$

где $Themes$ – набор тем курса, $SeqT$ – дуги, которые представляют собой зависимости между темами и определяют порядок их изучения.

Для того чтобы формализовать структуру онлайн-курса, детализируем понятие темы курса $Themes=(Theme)$. Опишем $Theme_i$ в виде ориентированного графа:

$$Theme_i = (ThemeObj, SeqO, C),$$

где $ThemeLO$ – вершины, представленные четырьмя разными объектами курса $ThemeLO_j=(Video, Text, Test, Practice)$; дуги $SeqO$ формализуют зависимости между объектами курса в пределах темы; дуги C – непосредственное следование объектов курса друг за другом в процессе изучения (например, фрагмент учеб-



ного видео – текстовое пояснение к нему или материалы для прочтения – тест для самоконтроля – задание).

Каждый учебный объект курса $ThemeLO_j$ характеризуется рядом параметров:

$$ThemeLO_j = (K, R),$$

где K – сложность (трудоемкость изучения); R – значимость (степень влияния на результат обучения).

Предложенный подход реализует принцип персонализации процесса обучения, обеспечивая возможность прохождения обучающимися только тех учебных объектов курсов, которые им рекомендуют с учетом их образовательных потребностей и возможностей. Сложность и значимость каждого объекта может быть задана автором курса вручную или рассчитана автоматически (первоначальная оценка при создании курса с последующим уточнением на основе статистики работы обучающихся с данным онлайн-курсом). Также в любой момент времени автор курса может корректировать автоматически рассчитанные значения данных параметров. В рамках настоящего исследования предлагается использовать параметры сложности и значимости учебных объектов курса с целью их ранжирования в пределах каждой темы. Данное распределение делает возможным определение наилучшей последовательности предъявления электронного образовательного контента конкретному обучающемуся в рамках отдельно взятого курса. Соответственно, построенная модель позволяет сформировать несколько альтернативных вариантов индивидуальных образовательных траекторий.

Приведенная структуризация объектов курса облегчит проведение последующей обработки полученных данных гибридной интеллектуальной системой, что значительно сократит время обработки запросов пользователей и снизит объем требуемых вычислительных мощностей и ресурсов.

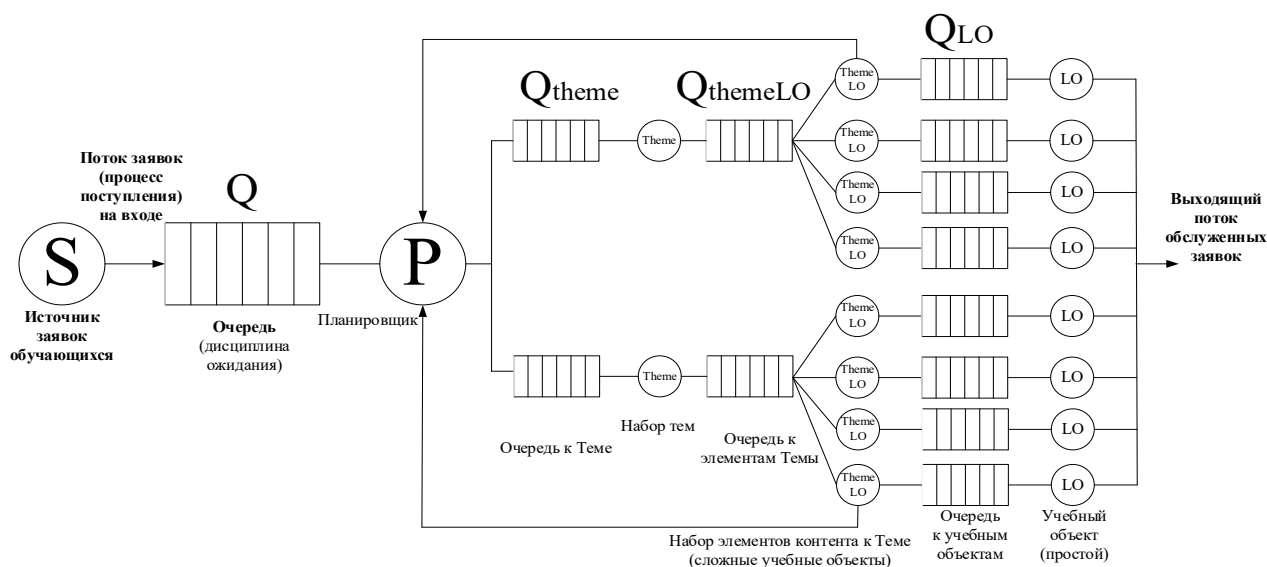
Имитационная модель интеллектуальной облачной образовательной среды

Для оптимизации структуры курса, генерируемой каждому обучающемуся в отдельности, необходимо провести оценку ресурсоемкости каждого из учебных объектов курса с учетом его динамических характеристик. Для проведения исследования таких систем эффективнее всего применять методы имитационного моделирования [4, 7, 14, 22]. Как отмечалось ранее, каждый из учебных объектов курса характеризуется множеством параметров, необходимых для выполнения поставленных задач обучения.

Представим имитационную модель интеллектуальной облачной образовательной среды как многоканальную систему массового обслуживания (СМО) [10, 11].

В состав СМО входят следующие элементы:

- 1) источник входного потока заявок обучающихся (S), желающих изучить конкретный онлайн-курс;
 - 2) очередь к планировщику (Q), в которой накапливаются заявки от обучающихся;
 - 3) планировщик (P), управляющий процессами формирования структуры курса для каждого обучающегося и, соответственно, управляющий индивидуальными образовательными траекториями;
 - 4) каналы обслуживания и пул тем курса ($Themes$), элементов контента конкретной темы ($ThemeLO$), учебных объектов (LO);
 - 5) выходящий поток обслуженных заявок обучающихся.
- Схема СМО в интеллектуальной облачной образовательной среде представлена на рисунке 2.



Р и с. 2. Схема системы массового обслуживания в интеллектуальной облачной образовательной среде

Fig. 2. Mass service scheme in intelligent cloud education environment



Имитационная модель СМО в интеллектуальной облачной образовательной среде представляет собой алгоритм, состоящий из упорядоченных обращений к моделям элементов. Принципиальная схема имитации системы массового обслуживания в интеллектуальной облачной образовательной среде представлена на рисунке 3 [12, 13].



Р и с. 3. Схема имитации системы массового обслуживания в интеллектуальной облачной образовательной среде

Fig. 3. The scheme to simulate a service system in an intelligent cloud-based educational environment

Модель СМО с ожиданием (очередью) в интеллектуальной облачной образовательной среде носит стохастический характер. Поведение стохастического (случайного) процесса не является детерминированным, поэтому последующее состояние исследуемой СМО описывается как величинами, которые могут быть предсказаны, так и случайными. Для ее работы необходимо создать поток запросов обучающихся к контенту курса, при этом учитывая интенсивность поступления заявок к каждому классу объектов курса.

Заявки обучающихся, желающих изучить конкретный онлайн-курс, образуют следующие потоки: поток заявок на входе системы и выходящий поток обслуженных заявок. Поток характеризуется количеством заявок слушателей курса, наблюдаемым в некотором месте СМО за единицу времени (час, сутки, месяц), то есть поток есть величина статистическая. Порождаются заявки обучающихся с помощью генератора случайных чисел согласно заданному пользователем статистическому закону. Случайные числа имитируют случайные моменты появления заявок и время их обслуживания в каналах. В СМО с ожиданием заявка, пришедшая в момент, когда все каналы заняты, не уходит, а становится в очередь на обслуживание. Очереди характеризуются правилами стояния в очереди (дисциплиной ожидания или обслуживания), количеством мест в очереди (сколько обучающихся максимум может находиться в очереди), структурой очереди (связь между местами в очереди). В процессе имитационного моделирования происходит изменение дискретного времени. На основе полученных данных можно определить востребованность каждого из объектов курса на временном интервале $T = [t_1, t_2]$, и построить прогнозную модель следующего этапа формирования индивидуальных образовательных траекторий.

На основе характеристик индивидуальных образовательных траекторий обучающихся формируется глобальное расписание гибридной интеллектуальной системой, при этом учитываются следующие показатели:

- вычисленные затраты времени обучающихся на освоение отдельных тем и выполнение заданий;
- временные ограничения на выполнение каждого из заданий в рамках конкретной темы курсы;
- наличие групп обучающихся на каждом курсе для обеспечения коллаборативной работы, а также проведения совместных лекций и практических занятий с преподавателем;

- необходимость развертывания сервисов SaaS (Software as a Service – программное обеспечение в качестве сервиса) или DaaS (Desktop as a Service – рабочий стол в качестве сервиса) для организации дистантного выполнения практических заданий (например, с использованием определенного класса программного обеспечения или виртуальных моделей), коллаборативной работы слушателей (например, выполнения совместных проектов), проведения вебинаров, онлайн-лекций, онлайн-консультаций, видеоконференций и т.п.

В построенной имитационной модели интеллектуальной облачной образовательной среды предусмотрены средства сбора и средства последующей статистической обработки данных, полученных в ходе моделирования прохождения отдельных тем слушателями онлайн-курса. Следовательно, модель позволяет сделать оценку качества освоения содержания курса, сгенерированного в рамках индивидуальной образовательной траектории, более прозрачной, а также собрать данные для составления рекомендаций авторам курса по корректировке материалов с учетом выявленных проблем:

- необходимости изменения оценок сложности и значимости учебных объектов курса в большую или меньшую сторону;
- новых зависимостей между учебными объектами курса, определяющий порядок их следования;
- ошибок при ручном оценивании сложности объектов курса;
- необходимости добавления дополнительных или альтернативных по уровню сложности объектов курса.

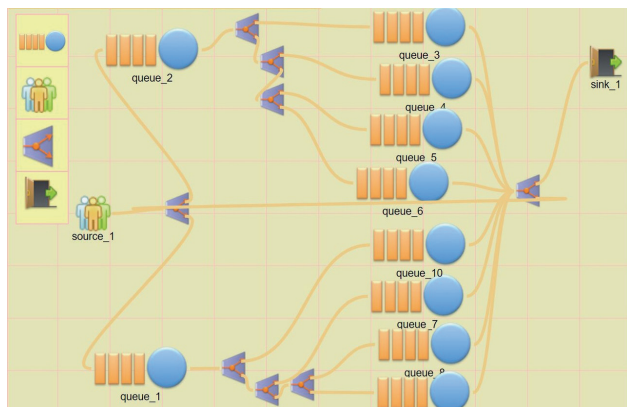
Результаты экспериментального исследования

Предложенная СМО обладает определенной эффективностью функционирования (пропускной способностью), позволяющей успешно справляться с потоком заявок обучающихся. Для проведения оценки эффективности функционирования СМО исследовано изменение следующих параметров, описывающие характер потока заявок, число каналов обслуживания и их производительность, правила организации работы СМО:

1. Коэффициент загрузки СМО (Server Utilization) $\rho = \lambda / \mu$.
2. Среднее время ожидания заявки обучающихся в очереди (Time spent in queue) $= \rho / (\mu - \lambda)$.
3. Среднее время, потраченное обучающимися на получение услуги (время ожидания в очереди + время, потраченное на получение услуги с сервера) (Time spent in system) $= 1 / (\mu - \lambda)$.
4. Средняя длина очереди (Length of queue) $= \rho * \rho / (1 - \rho)$.
5. Среднее число заявок обучающихся, находящихся в СМО (обслуживаемых или ожидающих в очереди) (Customers in system) $= \rho / (1 - \rho)$.

Объектно-ориентированный подход, реализованный в среде имитационного моделирования M/M/1 Queuing Simulator, позволяет представить структуру сложной системы массового обслуживания в интеллектуальной облачной образовательной среде (рисунок 4).





Р и с. 4. Структура модели работы СМО в интеллектуальной облачной образовательной среде

Fig. 4. The structure of the model of the service system in an intelligent cloud educational environment

Построенная модель отражает функционирование интеллектуальной облачной образовательной среды, в которой обучающиеся осваивают разные темы одного онлайн-курса. При исследовании имитационной модели было выполнено несколько серий экспериментов, разница в которых заключалась в количестве заявок слушателей курсов (100, 1000, 10 000). Исходными данными являлись интенсивность входного потока, т.е. поступления в СМО заявок (λ) и интенсивность обслуживания заявок (μ).

Анализ полученных данных позволяет сделать вывод, что при увеличении числа заявок можно более точно оценить работу спроектированной СМО (рисунок 5).

Большинство заявок, при их количестве равным 10 000, поступают на обслуживание без дополнительного времени, что обусловлено невысоким значением удельной загрузки СМО. Приведенные данные позволяют оценить оперативность процессов обслуживания заявок СМО в интеллектуальной облачной образовательной среде и обосновать характеристики ее производительности.

Закключение

Анализ результатов исследования имитационной модели интеллектуальной облачной образовательной среды как системы массового обслуживания позволил сделать вывод, что искомая модель является адекватной и способна справляться с большим потоком заявок обучающихся. Вычислительный эксперимент показал, что затраты компьютерного времени не являются критичными при реальных параметрах построенной системы массового обслуживания. Полученные результаты подтверждают адекватность методов компьютерного имитационного моделирования для оценки эффективности функционирования интеллектуальной облачной образовательной среды. Высоконагруженная интеллектуальная программно-технологическая система, построенная на базе концепции облачных вычислений, эффективно использует вычислительные ресурсы и отвечает запросам быстро растущей массы слушателей онлайн-курсов.

В дальнейшем будут исследованы другие параметры оценки эффективности функционирования спроектированной имитационной модели. Результаты настоящего исследования планируется использовать для расширения и уточнения модели ин-

queue_1	sink_1	queue_2	queue_3
Metric Mean Std Dev	Metric Mean Std Dev	Metric Mean Std Dev	Metric Mean Std Dev
Arrivals 48 -	Departures 43 -	Arrivals 52 -	Arrivals 14 -
Dropped 0 -	Population 0.056 0.230	Dropped 0 -	Dropped 0 -
Server Utilization 1.4%	Stay duration 4.618 3.386	Server Utilization 1.5%	Server Utilization 0.3%
Time spent in queue 0.000 0.000		Time spent in queue 0.003 0.023	Time spent in queue 0.000 0.000
Time spent in system 1.040 0.894		Time spent in system 1.052 1.303	Time spent in system 0.744 0.662
Length of queue 0.000 0.000		Length of queue 0.000 0.007	Length of queue 0.000 0.000
Customers in system 0.014 0.117		Customers in system 0.016 0.124	Customers in system 0.003 0.055

a)

queue_1	sink_1	queue_2	queue_3
Metric Mean Std Dev	Metric Mean Std Dev	Metric Mean Std Dev	Metric Mean Std Dev
Arrivals 498 -	Departures 455 -	Arrivals 502 -	Arrivals 134 -
Dropped 0 -	Population 0.616 0.486	Dropped 0 -	Dropped 0 -
Server Utilization 13.6%	Stay duration 4.826 4.359	Server Utilization 12.8%	Server Utilization 3.6%
Time spent in queue 0.000 0.526		Time spent in queue 0.127 0.477	Time spent in queue 0.031 0.166
Time spent in system 1.146 1.039		Time spent in system 1.028 1.000	Time spent in system 1.002 0.965
Length of queue 0.024 0.174		Length of queue 0.018 0.151	Length of queue 0.001 0.029
Customers in system 0.160 0.434		Customers in system 0.146 0.408	Customers in system 0.038 0.197

b)

queue_1	sink_1	queue_2	queue_3
Metric Mean Std Dev	Metric Mean Std Dev	Metric Mean Std Dev	Metric Mean Std Dev
Arrivals 5070 -	Departures 5030 -	Arrivals 4930 -	Arrivals 1202 -
Dropped 0 -	Population 9.069 NaN	Dropped 0 -	Dropped 0 -
Server Utilization 68.5%	Stay duration 6.490 5.675	Server Utilization 69.3%	Server Utilization 32.6%
Time spent in queue 0.889 1.174		Time spent in queue 1.069 1.350	Time spent in queue 0.393 0.869
Time spent in system 1.375 1.269		Time spent in system 1.576 1.437	Time spent in system 1.370 1.301
Length of queue 1.252 1.903		Length of queue 1.468 2.167	Length of queue 0.131 0.450
Customers in system 1.936 2.151		Customers in system 2.163 2.409	Customers in system 0.457 0.774

в)

Р и с. 5. Результаты серии экспериментов, разница в которых заключалась в количестве поступающих заявок слушателей курсов:

a) 100; б) 1000; в) 10 000

Fig. 5. Results of a series of experiments, the difference being the number of dumb applications from course participants:

a) 100; б) 1000; в) 10,000



теллектуальной облачной образовательной среды. В частности, должны быть внесены изменения в стратегию формирования индивидуальной образовательной траектории за счет:

- добавления дополнительных тем или индивидуальных заданий при выявлении значительных пробелов в знаниях, умениях и опыте деятельности обучающегося (присутствуют низкие значения показателей соответствующих индикаторов освоенных компетенций);
- сокращения количества простых заданий и добавления заданий более сложного уровня при выявлении у слушателя высоких значений показателей соответствующих индикаторов компетенций;
- исключения дополнительных курсов из глобального расписания при отставании от графика обучения и нехватки резервного времени на освоение образовательной программы;
- возможности внесения изменений в глобальное расписание с целью приостановления обучения по некоторым курсам для успешного завершения начатых (при категоричной нехватке времени на освоение всех курсов очередного семестра образовательной программы);
- выполнения регулярных корректировок в глобальном и индивидуальном расписании обучающегося в связи с получением достаточно полных и точных оценок скорости прохождения тем курса.

Список использованных источников

- [1] *Нагаева И. А.* Моделирование системы дистанционного обучения как системы массового обслуживания // Информатизация и связь. 2012. № 1. С. 61-64. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17312114> (дата обращения: 10.08.2019).
- [2] *Любимова М. А.* Моделирование системы дистанционного обучения как системы массового обслуживания // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета Серия: Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. 2016. № 1(7). С. 29-31. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27243304> (дата обращения: 10.08.2019).
- [3] *Кузнецова И. А.* Дистанционное обучение как система массового обслуживания // Интернет-журнал «Науковедение». 2011. № 2(7). С. 21. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17074500> (дата обращения: 10.08.2019).
- [4] *Мокров Е. В., Самуйлов К. Е.* Модель облачных вычислений в виде системы массового обслуживания // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2012. № 8. С. 685-689. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23020452> (дата обращения: 10.08.2019).
- [5] *Нетес В. А.* Виртуализация, облачные услуги и надежность // Вестник связи. 2016. № 8. С. 7-9. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27469225> (дата обращения: 10.08.2019).
- [6] *Мокров Е. В., Самуйлов К. Е.* Модель системы облачных вычислений в виде системы массового обслуживания с несколькими очередями и с групповым поступлением заявок // Т-Comm - Телекоммуникации и Транспорт. 2013. Т. 7, № 11. С. 139-141. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21273188> (дата обращения: 10.08.2019).
- [7] *Шеннон Р.* Имитационное моделирование систем – искусство и наука. М.: Мир, 1978. 420 с.
- [8] *Запорожко В. В., Парфёнов Д. И.* Разработка структурной модели массовых открытых онлайн-курсов на базе современных облачных образовательных платформ // Современные наукоемкие технологии. 2017. № 3. С. 12-17. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28926265> (дата обращения: 10.08.2019).
- [9] *Власов С. А., Девятков В. В., Кобелев Н. Б.* Имитационные исследования: от классических технологий до облачных вычислений // Сборник трудов 5-й Всероссийской научно-практической конференции по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2011, Санкт-Петербург). СПб.: ОАО «Центр технологии и судостроения», 2011. Т. 1. С. 42-50. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23397010> (дата обращения: 10.08.2019).
- [10] *Горбунова А. В.* Оценка времени отклика обработки запросов в системе облачных вычислений // Труды Второй молодежной научной конференции «Задачи современной информатики». М.: ФИЦ ИУ РАН, 2015. С. 79-85. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25753861> (дата обращения: 10.08.2019).
- [11] *Доррер А. Г., Доррер М. Г., Ланцев Е. А.* Построение агентной имитационной модели процесса дистанционного обучения с помощью методов Process Mining // Информатизация и связь. 2013. № 5. С. 27-32. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21179686> (дата обращения: 10.08.2019).
- [12] *Осинов Г. С.* Математическое и имитационное моделирование систем массового обслуживания: моногр. М.: Изд-во Академии Естествознания, 2017. 56 с. DOI: 10.17513/np.234
- [13] *Бояршинова И. Н., Исмагилов Т. Р., Потанова И. А.* Моделирование и оптимизация работы системы массового обслуживания // Фундаментальные исследования. 2015. № 9-1. С. 9-13. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24137140> (дата обращения: 10.08.2019).
- [14] *Каратун С. М., Скочин А. В.* Информационно-образовательная среда для исследования систем массового обслуживания с помощью имитационных моделей // Educational Technology & Society. 2005. Т. 8, № 4. С. 347-354. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=9165061> (дата обращения: 10.08.2019).
- [15] *Zaporozhko V., Parfenov D., Anciferova L.* Approaches to the use of mass open online courses in the construction of adaptive trajectories in the information and communication educational space // EMIT 2018 Internationalization of Education in Applied Mathematics and Informatics for HighTech Applications: proceedings of the workshop, 27-29 March, Leipzig, Germany / edited by I. Bolodurina, K. Haensgen, 2018. EUR Workshop Proceedings. 2018. Vol. 2093. Pp. 47-52. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-2093/paper6.pdf> (дата обращения: 10.08.2019).
- [16] *Bolodurina I. P., Shukhman A. E., Parfenov D. I.* Request Stream Control for the Access to Broadband Multimedia Educational Resources in the Distance Learning System // International Journal of Engineering Pedagogy. 2013. Vol. 3, Issue 4. Pp. 23-26. DOI: 10.3991/ijep.v3i4.2874
- [17] *Vilaplana J., Solsona F., Teixido I.* A performance model for scalable cloud computing // Proceedings of the 13th Australasian Symposium on Parallel and Distributed Computing (AusPDC 2015), Sydney, Australia, 27 - 30 January 2015.



- Vol. 163. Pp. 51-60. URL: <https://crpit.scem.westernsydney.edu.au/confpapers/CRPITV163Vilaplana.pdf> (дата обращения: 10.08.2019).
- [18] Vilaplana J., Solsona F., Teixidó L., Mateo J., Abella F., Rius J. A queuing theory model for cloud computing // *Supercomputing*. 2014. Vol. 69, Issue 1. Pp. 492-507. DOI: 10.1007/s11227-014-1177-y
- [19] Rajendran V., Swamynathan S. Queuing model for improving QoS in cloud service discovery // *Proceedings of the 4th International Conference on Frontiers in Intelligent Computing: Theory and Applications (FICTA)*, 2015. Pp. 647-656. DOI: 10.1007/978-81-322-2695-6_55
- [20] Liu X., Li S., Tong W. A queuing model considering resources sharing for cloud service performance // *Supercomputing*. 2015. Vol. 71, Issue 11. Pp. 4042-4055. DOI:10.1007/s11227-015-1503-z
- [21] Shorgin S. Y., Pechinkin A. V., Samouylov K. E., Gaidamaka Y. V., Gudkova I. A., Sopin E. S. Threshold-based Queuing System for Performance Analysis of Cloud Computing System with Dynamic Scaling // *Proceedings of the 12th International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics ICNAAM-2014*. Rhodes, Greece, 2014, United States: AIP Publishing, 2015. Vol. 1648. Pp. 1-3. DOI: 10.1063/1.4912509
- [22] Senthil Kumar T., Ohm Prakash K. I. A Queueing Model for e-Learning System // *Artificial Intelligence and Evolutionary Algorithms in Engineering Systems. Advances in Intelligent Systems and Computing / Suresh L., Dash S., Panigrahi B. (Eds.) Springer, New Delhi, 2015. Vol. 325. Pp. 89-94. DOI: 10.1007/978-81-322-2135-7_11*
- [23] Khomonenko A. D., Gindin S. I., Khalil M. M. A Cloud Computing Model Using Multi-channel Queuing System with Cooling // *2016 XIX IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM)*, St. Petersburg, 2016. Pp. 103-106. DOI: 10.1109/SCM.2016.7519697
- [24] Khomonenko A., Gindin A. Performance Evaluation of Cloud Computing Accounting for Expenses on Information Security // *18th Conference of Open Innovations Association and Seminar on Information Security and Protection of Information Technology (FRUCT-ISPIT)*, St. Petersburg, 2016. Pp. 100-105. DOI: 10.1109/FRUCT-ISPIT.2016.7561514
- [25] Nobel R. A Mixed Discrete-Time Delay/Retrial Queueing Model for Handover Calls and New Calls Competing for a Target Channel // *QTNA 2015: Queueing Theory and Network Applications*, Springer International Publishing Switzerland, 2016. Pp. 173-185. DOI: 10.1007/978-3-319-22267-7_16

Поступила 10.08.2019; принята к публикации 14.11.2019;
опубликована онлайн 23.12.2019.

Об авторах:

Запорожко Вероника Вячеславовна, доцент кафедры информатики, Оренбургский государственный университет (460018, Россия, г. Оренбург, пр. Победы, д. 13), кандидат педагогических наук, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2193-9389>, zaporozhko_vv@mail.osu.ru

Парфёнов Денис Игоревич, заведующий сектором программно-технической поддержки дистанционного обучения, Оренбургский государственный университет (460018, Россия, г. Оренбург, пр. Победы, д. 13), кандидат технических наук, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1146-1270>, parfenovdi@mail.ru

Забродина Любовь Сергеевна, ассистент кафедры прикладной математики, Оренбургский государственный университет (460018, Россия, г. Оренбург, пр. Победы, д. 13), ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2752-7198>, prmat@mail.osu.ru

Шардаков Владимир Михайлович, младший научный сотрудник научно-образовательного центра математических проблем теории управления и обработки информации, Оренбургский государственный университет (460018, Россия, г. Оренбург, пр. Победы, д. 13), ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6151-6236>, shardakov_vm@mail.osu.ru

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

References

- [1] Nagaeva I.A. Simulation of the system of distance learning as a Queue system. *Informatizaciya i svyaz' = Informatization and communication*. 2012; 1:64. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17312114> (accessed 10.08.2019). (In Russ., abstract in Eng.)
- [2] Lyubimova M.A. Modelling of system of distance learning as systems of mass service. *Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta Seriya: Informacionnye tekhnologii v stroitel'nyh, social'nyh i ekonomicheskikh sistemah*. 2016; (1):29-31. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27243304> (accessed 10.08.2019). (In Russ., abstract in Eng.)
- [3] Kuznecova I.A. *Distancionnoe obuchenie kak sistema massovogo obsluzhivaniya* [Distance Learning as a Queuing System]. *Internet-zhurnal "Naukovedenie"*. 2011; (2):21. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17074500> (accessed 10.08.2019). (In Russ.)
- [4] Mokrov E. B., Samujlov K. E. *Model' oblachnyh vychislenij v vide sistemy massovogo obsluzhivaniya* [Cloud computing model as a queuing system]. *Sovremennye informacionnye tekhnologii i IT-obrazovanie = Modern Information Technologies and IT-Education*. 2012; 8:685-689. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23020452> (accessed 10.08.2019). (In Russ.)
- [5] Netes V.A. Virtualization, cloud services and reliability. *Vestnik Svyazi*. 2016; 8:7-9. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27469225> (accessed 10.08.2019). (In Russ.)
- [6] Mokrov E. V., Samujlov K. E. Modeling of cloud computing as a queuing system with batch arrivals. *T-Comm*. 2013; 7(11):139-141. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21273188> (accessed 10.08.2019). (In Russ., abstract in Eng.)
- [7] Shannon R. *Systems Simulation: The Art and Science*. Prentice - Hall publishing, Englewood Cliffs, 1975. (In Eng.)
- [8] Zaporozhko V.V., Parfyonov D.I. Developing a structural model massive open online course based on the modern educational cloud platform. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii = Modern high technologies*. 2017; 3:12-17. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28926265> (accessed 10.08.2019). (In Russ., abstract in Eng.)
- [9] Vlasov S.A., Devyatkov V.V., Kobelev N.B. Imitacionnye issledovaniya: ot klassicheskikh tekhnologij do oblachnyh vychislenij. In: *Proceedings of the All-Russian scientific-practical conference «Simulation. Theory and Practice» (IM-MOD-2011)*. Centr tekhnologii i sudostroeniya, Saint-Pe-



- tersburg, 2011; 1:42-50. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23397010> (accessed 10.08.2019). (In Russ.)
- [10] Gorbunova A.V. *Ocenka vremeni otklika obrabotki zaprosov v sisteme oblachnyh vychislenij* [Estimation of the response time of query processing in the cloud computing system]. In: *Proceedings of the Transactions of the Second Youth Scientific Conference "Tasks of Modern Informatics"*. FRCCSC, Moscow, 2015, pp. 79-85. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25753861> (accessed 10.08.2019). (In Russ.)
- [11] Dorrer A.G., Dorrer M.G., Lancev E.A. Creating of agent-based simulation model of e-learning process with process PROCESS MINING. *Informatizaciya i svyaz' = Informatization and communication*. 2013; (5):27-32. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21179686> (accessed 10.08.2019). (In Russ., abstract in Eng.)
- [12] Osipov G.S. *Matematicheskoe i imitacionnoe modelirovanie sistem massovogo obsluzhivaniya* [Mathematical and simulation modeling of queuing systems]. Akad. Estestvoznaniya Publ., Moscow, 2017. (In Russ.) DOI: 10.17513/np.234
- [13] Boyarshinova I.N., Ismagilov T.R., Potapova I.A. Simulation and optimization of queuing systems. *Fundamental'nye issledovaniya = Fundamental research*. 2015; (9-1):9-13. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24137140> (accessed 10.08.2019). (In Russ., abstract in Eng.)
- [14] Karatun S.M., Skochin A.V. Informacionno-obrazovatel'naya sreda dlya issledovaniya sistem massovogo obsluzhivaniya s pomoshch'yu imitacionnyh modelej [Information and educational environment for the study of queuing systems using simulation models]. *Educational Technology & Society*. 2005; 8(4):347-354. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=9165061> (accessed 10.08.2019). (In Russ.)
- [15] Zaporozhko V., Parfenov D., Anciferova L. Approaches to the use of mass open online courses in the construction of adaptive trajectories in the information and communication educational space. In: Bolodurina I., Haenssger K. *EMIT 2018 Internationalization of Education in Applied Mathematics and Informatics for HighTech Applications: proceedings of the workshop, 27-29 March, Leipzig, Germany, 2018. CEUR Workshop Proceedings*. 2018; 2093:47-52. Available at: <http://ceur-ws.org/Vol-2093/paper6.pdf> (accessed 10.08.2019). (In Eng.)
- [16] Bolodurina I.P., Shukhman A.E., Parfenov D.I. Request Stream Control for the Access to Broadband Multimedia Educational Resources in the Distance Learning System. *International Journal of Engineering Pedagogy*. 2013; 3(4):23-26. (In Eng.) DOI: 10.3991/ijep.v3i4.2874
- [17] Vilaplana J., Solsona F., Teixido I. A performance model for scalable cloud computing. In: *Proceedings of the 13th Australasian Symposium on Parallel and Distributed Computing, (AusPDC 2015)*, Sydney, Australia, 27 - 30 January 2015, vol. 163, pp. 51-60. Available at: <https://crpit.scem.western-sydney.edu.au/confpapers/CRPITV163Vilaplana.pdf> (accessed 10.08.2019). (In Eng.)
- [18] Vilaplana J., Solsona F., Teixidó I., Mateo J., Abella F., Rius J. A queuing theory model for cloud computing. *Supercomputing*. 2014; 69(1):492-507. (In Eng.) DOI: 10.1007/s11227-014-1177-y
- [19] Rajendran V., Swamynathan S. Queuing model for improving QoS in cloud service discovery. In: *Proceedings of the 4th International Conference on Frontiers in Intelligent Computing: Theory and Applications (FICTA)*, 2015, pp. 647-656. (In Eng.) DOI: 10.1007/978-81-322-2695-6_55
- [20] Liu X., Li S., Tong W. A queuing model considering resources sharing for cloud service performance. *Supercomputing*. 2015; 71(11):4042-4055. (In Eng.) DOI:10.1007/s11227-015-1503-z
- [21] Shorgin S.Y., Pechinkin A.V., Samouylov K.E., Gaidamaka Y.V., Gudkova I.A., Sopin E.S. Threshold-based Queuing System for Performance Analysis of Cloud Computing System with Dynamic Scaling. In: *Proceedings of the 12th International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics ICNAAM-2014*. Rhodes, Greece, 2014, United States: AIP Publishing, 2015, vol. 1648, pp. 1-3. (In Eng.) DOI: 10.1063/1.4912509
- [22] Senthil Kumar T., Ohm Prakash K. I. A Queueing Model for e-Learning System. In: Suresh L., Dash S., Panigrahi B. (eds) *Artificial Intelligence and Evolutionary Algorithms in Engineering Systems. Advances in Intelligent Systems and Computing*. Springer, New Delhi, 2015, vol. 325, pp. 89-94. (In Eng.) DOI: 10.1007/978-81-322-2135-7_11
- [23] Khomonenko A.D., Gindin S.I., Khalil M.M. A Cloud Computing Model Using Multi-channel Queuing System with Cooling. In: *2016 XIX IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM)*, St. Petersburg, 2016, pp. 103-106. (In Eng.) DOI: 10.1109/SCM.2016.7519697
- [24] Khomonenko A., Gindin A. Performance Evaluation of Cloud Computing Accounting for Expenses on Information Security. In: *18th Conference of Open Innovations Association and Seminar on Information Security and Protection of Information Technology (FRUCT-ISPIT)*, St. Petersburg, 2016, pp. 100-105. (In Eng.) DOI: 10.1109/FRUCT-ISPIT.2016.7561514
- [25] Nobel R. A Mixed Discrete-Time Delay/Retrial Queueing Model for Handover Calls and New Calls Competing for a Target Channel. In: van Do T., Takahashi Y., Yue W., Nguyen V.H. (eds) *Queueing Theory and Network Applications. QNTA 2015. Advances in Intelligent Systems and Computing*. Springer, Cham, 2016, vol. 383, pp. 173-185. (In Eng.) DOI: 10.1007/978-3-319-22267-7_16

Submitted 10.08.2019; revised 14.11.2019;
published online 23.12.2019.

About the authors:

Veronika V. Zaporozhko, Associate Professor of the Department of Informatics, Orenburg State University (13 Pobeda Av., Orenburg 460018, Russia), Ph.D. (Pedagogy), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2193-9389>, zaporozhko_vv@mail.osu.ru

Denis I. Parfenov, Head of the Department Software and Technical Support of Distance Learning, Orenburg State University (13 Pobeda Av., Orenburg 460018, Russia), Ph.D. (Engineering), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1146-1270>, parfenovdi@mail.ru

Lyubov S. Zabrodina, Assistant of the Department Applied Mathematics, Orenburg State University (13 Pobeda Av., Orenburg 460018, Russia), ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2752-7198>, prmat@mail.osu.ru

Vladimir M. Shardakov, Junior Researcher, Scientific and Educational Center for Mathematical Problems of Control and Information Processing Theory, Orenburg State University (13 Pobeda Av., Orenburg 460018, Russia), ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6151-6236>, shardakov_vm@mail.osu.ru

All authors have read and approved the final manuscript.

