

ПРИМЕНЕНИЕ СРЕДСТВ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

А. В. Подсадников¹, К. В. Розов¹, С. В. Кратов²

¹ *Новосибирский государственный педагогический университет*
630126, Россия, г. Новосибирск, ул. Вилюйская, д. 28

² *Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения РАН*
630090, Россия, г. Новосибирск, пр-т Академика Лаврентьева, д. 6

Аннотация

Статья посвящена проблеме профессиональной подготовки студентов вуза в области компьютерных сетей в условиях отсутствия специализированных лабораторий. Решением данной проблемы является применение средств имитационного моделирования (симуляции) компьютерных сетей. Авторами представлен тематический план для изучения дисциплины «Компьютерные сети и интернет». Рассматривается отечественный и зарубежный опыт применения средств имитационного моделирования компьютерных сетей. На основе восьми выделенных авторами критериев был проведен анализ наиболее популярного в академической среде программного обеспечения для моделирования компьютерных сетей: Cisco Packet Tracer, GNS3, NS-3, EVE-NG, OMNeT++. В результате анализа и сравнения был сделан вывод, что программный продукт Cisco Packet Tracer является наиболее предпочтительной средой моделирования в условиях педагогического вуза. Приведен пример использования системы моделирования Cisco Packet Tracer в рамках учебного курса «Компьютерные сети и интернет», демонстрирующий решение практико-ориентированной задачи. В примере показаны возможность моделирования в среде Cisco Packet Tracer коммутационного, серверного, пользовательского оборудования; возможность работы с беспроводными сетями. Рассматриваются принципы настройки серверного оборудования и соответствующего программного обеспечения.

Ключевые слова: компьютерные сети, моделирование компьютерных сетей, Cisco Packet Tracer, виртуальная лаборатория, профессиональная подготовка.

DOI: 10.32517/0234-0453-2021-36-1-47-56

Для цитирования:

Подсадников А. В., Розов К. В., Кратов С. В. Применение средств имитационного моделирования компьютерных сетей в учебном процессе // Информатика и образование. 2021. № 1. С. 47–56.

Статья поступила в редакцию: 17 января 2021 года.

Статья принята к печати: 9 февраля 2021 года.

Финансирование

Обзор программных средств моделирования сетей выполнялся при поддержке бюджетного проекта ИВМиМГ СО РАН № 0315-2019-0006.

Сведения об авторах

Подсадников Алексей Владимирович, старший преподаватель кафедры информационных систем и цифрового образования, Новосибирский государственный педагогический университет, Россия; cite2006@mail.ru; ORCID: 0000-0001-5145-7746

Розов Константин Владимирович, аспирант кафедры педагогики и психологии Института физико-математического, информационного и технологического образования, ассистент кафедры информационных систем и цифрового образования, Новосибирский государственный педагогический университет, Россия; konstantin_dubrava@mail.ru; ORCID: 0000-0001-5231-8035

Кратов Сергей Викторович, научный сотрудник, Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения РАН, г. Новосибирск, Россия; kratov@sscc.ru; ORCID: 0000-0001-9068-9267

1. Анализ проблемы технологического сопровождения учебного процесса при организации профессиональной подготовки в области компьютерных сетей

Компьютерные сети являются важным объектом изучения в процессе подготовки специалистов в области информационных технологий. В области сетевых технологий студенты должны уметь настраивать сеть, управлять ею, диагностировать ее неисправности. Лабораторные работы, проводимые с использованием реальных устройств, дают возможность студентам приобрести навыки работы с оборудованием, с аналогами которого им придется иметь дело в профессиональной деятельности.

Однако проведение сетевых лабораторных занятий на специализированном оборудовании для преподавателей в области компьютерных сетей не всегда возможно. Для организации и проведения лабораторных работ необходимы полный спектр оборудования (сетевая инфраструктура, коммутаторы, концентраторы, маршрутизаторы, точки доступа), стационарные компьютеры или ноутбуки, специализированные аудитории, обслуживающий инженерный персонал и пр. В работе [1] автор также указывает на необходимость обеспечения каждого студента несколькими комплектами оборудования для полноценной реализации лабораторной работы. Кроме того, автор отмечает и проблему физического размещения большого количества оборудования в одной учебной аудитории. В качестве решения

проблемы предлагается либо упростить лабораторные работы до частичного решения задач, либо организовать групповое выполнение лабораторной работы. Но групповое выполнение работ, как правило, не приносит желаемого результата, так как работу обычно выполняет один человек, а остальные только наблюдают за процессом. Отмечается, что оба предложенных способа решения проблемы не дают желаемого результата, и в качестве альтернативы предлагается использование программных комплексов для программного моделирования сетевой среды. В работе [2] авторы указывают на проблемы в восприятии обучаемыми работы сетевых протоколов при теоретическом обучении. Теоретически сложно объяснить принципы передачи пакетов между устройствами и принципы маршрутизации. В качестве решения проблемы предлагается использование инструментов моделирования компьютерных сетей. П. В. Стащук справедливо замечает, что «при изучении сложного учебного материала дидактика рекомендует использовать, по возможности, сочетание наглядного и практического обучающих подходов, которое в контексте рассматриваемой проблемы может быть успешно реализовано с помощью графических компьютерных программ моделирования КС» [3, с. 544].

Зачастую возникает задача построения распределенных сетей сложной структуры, причем при создании сети нужно учитывать факторы, влияющие на ее работоспособность. К таким факторам можно отнести различные препятствия, нагрузки, наложение сигналов и другие помехи. Особенно это актуально при работе с беспроводными сетями Wi-Fi. В условиях обычной лаборатории сложно смоделировать весь описанный процесс.

Кроме проблемы с размещением оборудования существует и проблема физического размещения обучающихся в аудитории. В связи с тем что количество студентов в учебной группе вуза может быть довольно большим (20 человек и более), не представляется возможным проведение занятия для всей группы одновременно. Это приводит к необходимости разделения группы на части при организации обучения. При таком подходе преподаватель вынужден проводить несколько одинаковых занятий для одной группы, что не является оптимальным решением проблемы с точки зрения временных затрат. Это в очередной раз наталкивает на идею использования на занятиях программных комплексов для моделирования компьютерных сетей.

Еще одним немаловажным фактором, влияющим на необходимость рассмотрения варианта использования компьютерных средств моделирования при обучении, является актуальность и активное развитие форм дистанционного обучения. Ситуация с пандемией COVID-19 внесла свои коррективы в образовательный процесс, в связи с чем образование в вузах и не только практически полностью перешло в дистанционный формат. У преподавателей компьютерных технологий, изучение которых предполагает работу со специальным оборудованием, фактически

не остается другого выбора, кроме как использовать для обучения программные комплексы имитационного моделирования.

2. Структура и содержание курса моделирования компьютерных сетей

Исходя из современных реалий, каждому учебному заведению необходимо иметь возможность использования общих сетевых ресурсов на уровне учебного заведения и ресурсов интернета. Кроме того, сейчас каждое учебное заведение имеет собственный веб-сайт. Использование дистанционных средств для работы становится все более востребованным в современном мире. Возникает вопрос: **каким должно быть содержание дисциплины «Компьютерные сети и интернет» в университете и какими знаниями и умениями должен обладать студент после изучения данного предмета?**

В некоторых случаях предлагается рассматривать курс, посвященный компьютерным сетям и интернет-технологиям, в совокупности с другими информационными технологиями.

К примеру, в учебном пособии «Компьютерные сети, интернет и мультимедиа технологии» [4] уделяется внимание основам теории информации, локальным сетям, интернету и мультимедийным технологиям. За счет большого количества тем каждая из них рассматривается в большей степени поверхностно.

В работе «Методические особенности обучения будущих учителей информатики на дисциплине “Компьютерные сети, Интернет и мультимедиа технологии”» [5] авторы также придерживаются идеи расширения курса за счет изучения мультимедийных технологий. Предлагается объединить такие направления, как: теоретические основы информатики (измерение, кодирование различных видов информации и т. п.), верстка веб-сайтов и веб-программирование (HTML, XML, CSS, Less, JavaScript, ActionScript и т. п.), мультимедийные технологии (графика, аудио, видео и т. п.), сетевые технологии (JBC, Wi-Fi, Wi-MAX, HTTP, TCP/IP, POP и т. п.).

В работе «Развитие информационной компетенции студентов средствами интерактивного модульного курса “Компьютерные сети”» [6] авторы выделяют следующие темы курса:

1. Основы построения компьютерных сетей.
2. Технологии локальных сетей.
3. Сети TCP/IP.
4. Технологии глобальных сетей.
5. Службы интернета.

Внимание уделяется именно изучению технологий работы с сетями, что в большей степени позволяет подготовить специалиста именно в области администрирования сетей.

Кроме изучения тем, связанных непосредственно с компьютерной сетью, С. В. Кручинин [7] предлагает включать в курс и темы, связанные с администрированием серверных операционных систем (GNU/Linux, FreeBSD), а также темы, связанные с сетевой безопасностью.

В процессе изучения дисциплины «Компьютерные сети и интернет» необходимо осветить вопросы архитектуры и управления компьютерными сетями.

На наш взгляд, оптимальной является следующая структура дисциплины «Компьютерные сети и интернет» для педагогического университета:

1. Классификация компьютерных сетей.
2. Топологии компьютерных сетей.
3. Сетевое оборудование.
4. Адресация в компьютерных сетях.
5. Веб-сервер, DNS-сервер и DHCP-сервер.
6. Маршрутизация в компьютерных сетях.
7. Беспроводные сети.
8. Основы разметки веб-страниц, HTML, CSS.

На формирование такой структуры и выбор тем оказал существенное влияние тот факт, что на данную дисциплину в Новосибирском государственном педагогическом университете выделяется только две или четыре зачетные единицы в зависимости от профиля подготовки (72 или 144 академических часа соответственно). Этого количества часов явно недостаточно для изучения дисциплины в контексте «Компьютерные сети, интернет и мультимедиа-технологии». По нашему мнению, ни одна из трех частей подобного курса не может быть в полной мере освоена обучающимися за такое количество часов. По этой причине предлагается основной упор сделать на рассмотрение сетевых технологий, а интернет-технологии рассматривать в ознакомительном порядке. Тем более что, как правило, интернет-технологии подробно рассматриваются в курсах по созданию электронных учебных пособий и электронных образовательных ресурсов.

Обеспечение теоретическим материалом обучающихся при изучении данного курса не является проблемой. Если литературы недостаточно в библиотеках, то в настоящее время существует большое количество электронных изданий, а в интернете можно найти огромное количество различных тематических статей.

Однако **рассмотрение всех вышеперечисленных тем на практике вызывает ряд проблем.**

Аппаратное обеспечение для проведения лабораторных занятий дорогостояще и недоступно в необходимом объеме. В связи с высокой стоимостью сетевого оборудования зачастую невозможно создать полноценные сетевые лаборатории в университете, что в свою очередь затрудняет для студентов понимание теоретического материала курса.

Кроме того, проблемы возникают и при размещении лабораторий в аудиториях учебного заведения. Размещение большого количества оборудования требует наличия аудиторий соответствующих размеров, что зачастую является нерешаемой задачей.

Одновременно с этим для освоения дисциплины «Компьютерные сети и интернет» решающее значение имеют именно лабораторные работы. В связи с тем что сетевая инфраструктура как отдельных учреждений, так и глобальной сети в целом становится все более сложной, а также появляется все больше нового оборудования, использующего более

сложные технологии и протоколы, обучающимся при получении теоретического материала становится все труднее понимать на абстрактном уровне принципы работы и общие концепции компьютерных сетей, такие как форматы протоколов, процессы передачи пакетов по сети, способы объединения оборудования в сети.

Решением данной проблемы является **использование средств моделирования компьютерных сетей.** В настоящее время существует различное бесплатное программное обеспечение для создания виртуальных компьютерных сетей, обеспечивающее ту же конфигурационную среду, что и настоящее сетевое оборудование. Использование программных комплексов для моделирования компьютерных сетей во время обучения помогает обучающимся улучшить качество восприятия теоретического материала, а также позволяет оттачивать навыки работы с сетевым оборудованием без использования реального оборудования. Для работы достаточно наличие персонального компьютера с установленным необходимым программным обеспечением. Для большей наглядности в качестве упражнений студенты могут моделировать известные или доступные им в данный момент сети. Например, можно смоделировать сеть того института или факультета, на котором обучается студент. При создании модели обучающийся не только занимается объединением устройств в сеть, но и на практике изучает работу таких сервисов, как DHCP, DNS, e-mail, более подробно вникает в понятия и назначение различных протоколов. Изучение маршрутизации пакетов данных, как одного из базовых процессов в интернете, является очень важным. Протоколы маршрутизации определяют способы связи между маршрутизаторами, используемые при межсетевом соединении сетей. Существует ряд протоколов маршрутизации, применяемых в интернете, таких как OSPF, RIP, EIGRP, OPNET, IGRP и т. д. Каждый протокол имеет свою особенность маршрутизации пакетов, которая требует детального рассмотрения на учебных занятиях.

3. Сравнение различного ПО для моделирования компьютерных сетей

Интеграция практических лабораторных занятий с традиционными методами обучения позволяет преподавателям в области информационных технологий повысить качество своих курсов путем применения теоретических знаний к реальным профессиональным сценариям.

Возможны три разные модели проведения лабораторных работ:

- реализация физической аппаратной инфраструктуры;
- сочетание физического аппаратного и программного обеспечения;
- работа в полностью виртуализированной среде.

В последние годы было разработано множество новых программных реализаций виртуализированных компьютерных сетевых сред. Программные

средства моделирования сетей часто делят на два основных типа: симуляторы и эмуляторы. «Эмуляторы моделируют поведение реальных устройств на уровне их машинных команд, реализуя трансляцию кода образа/прошивки. Симуляторы имитируют заданный набор пользовательских команд, используя для этого собственные алгоритмы» [8, с. 229].

Наиболее популярными являются следующие программные продукты: Cisco Packet Tracer, GNS3, NS-3, EVE-NG, OMNeT++ [8, 9]. В процессе выбора виртуализированной среды необходимо произвести оценку моделей виртуальных лабораторий, сопоставить их с точки зрения функциональных возможностей. В исследованиях [10–12] производится сравнение многих из перечисленных выше и некоторых других сред моделирования компьютерных сетей по различным критериям, приводятся их достоинства и недостатки. В зависимости от целей, стоящих перед разработчиками учебных курсов, делаются выводы о преимуществе той или иной программы или о необходимости их комбинирования в процессе обучения.

В работе [13] автор обращает внимание на проблему изучения клиент-серверной работы в компьютерной сети. При изучении клиент-серверной технологии необходимо рассмотреть как минимум DNS, DHCP, HTTP, FTP, NTP и почтовые серверы. В связи с дороговизной реального оборудования для этой цели предлагается использовать программный комплекс Cisco Packet Tracer. Для изучения основ маршрутизации в статье [2] также предлагается использовать программу Cisco Packet Tracer. В исследовании [14] показана эффективность использования средств симуляции в профессиональной подготовке на примере применения Cisco Packet Tracer для моделирования беспроводной сети.

Для решения проблемы наглядности при изучении передачи пакетов между устройствами в работе [15] авторы предлагают использовать программный комплекс GNS3. Кроме того, среда моделирования GNS3 используется для тестирования производительности сетей сложных конфигураций. Исходя из полученных результатов, делаются соответствующие выводы о способе дальнейшего расширения сети [16].

Вопросу применения программного продукта NS-3 для имитационного моделирования компьютерных сетей посвящена работа [17]. В ней авторы характеризуют NS-3 как достаточно сложный в освоении инструмент, который, однако, обладает большим функционалом для моделирования физической среды взаимодействия беспроводных мобильных устройств. В статье [18] симулятор NS-3 рассматривается в качестве инструмента для тестирования модели сети IoT (Internet of Things). Кроме моделирования работы самого сетевого оборудования большой интерес вызывает визуализация перемещения пакетов от устройства к устройству посредством компьютерной сети. Альтернативным средством моделирования беспроводных сетей может выступать среда OMNeT++, особенности применения которой рассмотрены в работах [19, 20].

С целью выбора подходящего программного продукта для проведения лабораторных занятий в условиях педагогического вуза нами **был проведен анализ симуляторов и эмуляторов компьютерных сетей: Cisco Packet Tracer, GNS3, NS-3, EVE-NG, OMNeT++.**

Выбор программы для моделирования компьютерных сетей осуществлялся на основе следующих критериев:

- 1) свободное распространение/наличие бесплатной версии;
- 2) базовая одновременная поддержка операционных систем семейства Linux и Windows;
- 3) интуитивно понятный графический интерфейс;
- 4) наличие инструмента для создания шаблонов архитектуры сети, которые можно было бы использовать для разработки заданий;
- 5) возможность моделирования беспроводных сетей;
- 6) возможность моделирования IoT;
- 7) возможность интеграции с реальной сетью;
- 8) нетребовательность к системным ресурсам.

В результате анализа и последующего сравнения (см. табл.) было принято решение, что с учетом наших целей и возможностей применения в условиях университета наиболее рационально будет использовать Cisco Packet Tracer. Кроме соответствия большинству выделенных нами критериев данная система моделирования компьютерных сетей, на наш взгляд, обладает гораздо более простым интерфейсом при достаточном функционале, нежели другие альтернативные системы.

Таблица

Сравнение систем моделирования компьютерных сетей

№ критерия	Системы моделирования компьютерных сетей				
	Cisco Packet Tracer	GNS 3	NS-3	EVE-NG	OMNeT++
1	+	+	+	+	+
2	+	+	–	+	+
3	+	+	–	–	–
4	+	–	–	–	–
5	+	+	+	+	+
6	+	+	+	+	+
7	–	+	–	+	–
8	+	–	+	+	+

4. Применение среды моделирования Cisco Packet Tracer в учебном процессе

Симулятор Cisco Packet Tracer в полной мере подходит для организации учебного процесса на практических занятиях курса «Компьютерные сети».

и интернет», соответствующего представленной ранее структуре. Возможность создания в виртуальной среде отдельных кабинетов, зданий, городов позволяет осуществлять моделирование как локальных, так и глобальных сетей, реализовать на одной рабочей области большое количество различных сегментов сети, что облегчает визуальное восприятие всей модели создаваемой сетевой инфраструктуры.

Рассмотрим принципы использования комплекса Cisco Packet Tracer при изучении каждой темы курса «Компьютерные сети и интернет».

Тема «Классификация компьютерных сетей» подразумевает изучение таких понятий, как локальные, городские, глобальные компьютерные сети. Именно реализованная возможность создания в Cisco Packet Tracer кабинетов, зданий, городов и т. д. прекрасно подходит для визуальной демонстрации различий данных сетей и взаимодействий между ними. Реализованный режим *Simulation* позволяет визуально показать процесс перемещения пакетов между устройствами посредством компьютерной сети. Данная особенность позволяет наиболее наглядно продемонстрировать обучающимся работу широкополосной сети. Для организации одно-ранговых и клиент-серверных сетей в программном комплексе используются модели персональных компьютеров и серверных машин, а также различных типов соединительных кабелей.

При изучении темы «Топологии компьютерных сетей» для обеспечения наибольшей наглядности и наиболее полного понимания изучаемых объектов и процессов также необходимо использование специального оборудования: сетевые кабели, коннекторы, коммутаторы (switch), концентраторы (hub) и т. д. Необходимы и свободные персональные (стационарные) компьютеры или ноутбуки для объединения их в сеть. Причем, очевидно, требуется несколько комплектов такого оборудования, чтобы в построении сети мог участвовать индивидуально каждый студент либо небольшие группы студентов. Программа Cisco Packet Tracer обладает всем необходимым набором компонентов для демонстрации соединения оборудования в различных топологиях.

Тема «Сетевое оборудование» требует использования большого количества сетевого оборудования разного уровня. При этом для полноценной работы необходимо несколько видов оборудования каждого класса: сетевые кабели, устройства коммутации, маршрутизаторы, устройства для проводного и беспроводного соединения и т. д. Даже если образовательная организация имеет финансовую возможность приобрести все необходимое оборудование, то по естественным причинам возникает проблема его физического размещения в учебных аудиториях. Здесь использование среды имитационного моделирования становится целесообразнее использования реальных устройств. Среда Cisco Packet Tracer позволяет смоделировать работу достаточного количества сетевого оборудования. В самой программе хорошо реализовано распределение оборудования по классам для более быстрого поиска. Так, для

пользовательских устройств и серверов создан блок *End Devices*. Все виды маршрутизаторов, коммутаторов, концентраторов, беспроводных устройств расположены в блоке *Network Devices*. Различные типы соединительных кабелей находятся в блоке *Connections*. Кроме того, в каждом блоке устройства дополнительно классифицируются по типу и назначению.

При изучении темы «Адресация в компьютерных сетях» нет острой необходимости в использовании специализированного оборудования. Здесь работа в большей степени направлена на выполнение различных расчетов и совершенствование навыков подбора и описания сетевых параметров при разбиении сетей на подсети. Но после выполнения расчетов возникает необходимость проверки правильности выполнения работы на практике. Для выполнения практической работы каждому обучающемуся необходимо построить несколько сегментов сетей. В рамках обычной «компьютерной» аудитории выполнение данной процедуры затруднено в связи со всеми теми же проблемами как со стороны количества оборудования, так и со стороны рабочего пространства. Cisco Packet Tracer позволяет в рамках одной рабочей области создать большое количество сегментов подсетей и проверить работоспособность как отдельного сегмента, так и всей сети в целом.

В рассмотренных выше темах программа для моделирования компьютерной сети используется как альтернатива классическим лабораториям. Но в некоторых ситуациях программы для моделирования оказываются гораздо более эффективными для обеспечения большей наглядности какого-либо процесса. Изучение темы «Маршрутизация в компьютерных сетях» вызывает у обучающихся определенные сложности как в связи с пониманием теоретической части, так и с недостаточной наглядностью самого процесса передачи пакетов между подсетями. В некоторых случаях достаточно объяснения процесса «на пальцах», но все же, как показала практика, у большей части обучающихся без достаточной наглядности процесс понимания проходит достаточно медленно. Конечно, в операционных системах есть специальные утилиты для проверки маршрута до конкретного адреса. Но, используя их, можно посмотреть только промежуточные точки. Для более полного понимания изучаемых процессов необходимо видеть, каким образом пакет дошел до той или иной промежуточной точки, по какому соединению, через какое коммутирующее устройство и т. д. В среде Cisco Packet Tracer реализована система графического отображения процесса прохождения пакета от одного устройства к другому. При отправке и на протяжении всего пути пакет визуально отображается в виде почтового конверта. Если пакет где-то останавливается и не может дойти до адресата, программа также отображает это в виде соответствующей пиктограммы. В пакете Cisco Packet Tracer реализована работа с основными протоколами динамической маршрутизации: RIP; EIGRP, BGP, OSPF. Также возможна работа со статической маршрутизацией.

Изучение темы «Беспроводные сети» в настоящее время не вызывает особых трудностей. Практически каждый обучающийся владеет смартфоном с поддержкой работы по протоколу беспроводной сети Wi-Fi и может его использовать как пользовательское устройство при подключении к сети. Но, когда речь идет о беспроводной точке доступа или беспроводном маршрутизаторе, возникают проблемы в обеспечении каждого обучающегося таким устройством. Тем не менее наличие такого устройства необходимо для понимания настройки доступа в беспроводной сети. В связи с тем что в среде моделирования есть все необходимое оборудование для работы с беспроводными сетями, эту среду вполне можно использовать для изучения принципов работы и настройки оборудования в беспроводных сетях.

С точки зрения обеспечения сетевым оборудованием определенную сложность вызывает и тема «Веб-сервер, DNS-сервер, DHCP-сервер». Для полноценной демонстрации работы данных серверов и дальнейшего выполнения практических заданий обучающимися необходимо, чтобы каждый студент имел возможность использовать большое количество оборудования. Ввиду понятных причин обеспечить каждого обучающегося оборудованием и рабочим пространством не представляется возможным. В связи с этим снова целесообразно воспользоваться средствами компьютерного моделирования. Все указанные серверы реализованы в программе Cisco Packet Tracer при помощи одного компонента *Server-PT*. В сервер изначально заложены соответствующие роли, а пользователю остается только активировать необходимую роль и затем выполнить необходимые настройки.

Все вышесказанное указывает на возможность использования программного продукта Cisco Packet Tracer при изучении всех тем курса «Компьютерные сети и интернет», связанных непосредственно с компьютерными сетями, в качестве альтернативы реальному оборудованию, используемому при построении компьютерных сетей.

5. Примеры моделирования сетей с использованием Cisco Packet Tracer

Приведем пример использования программы Cisco Packet Tracer для решения конкретной задачи из обучающего курса — моделирование сети по заданным входным данным.

В организации есть три подразделения. Назовем их условно «подразделение 1», «подразделение 2» и «подразделение 3». Подразделение 1 и подразделение 2 находятся в одном здании, а подразделение 3 — в соседнем. В здании 1 находится маршрутизатор («маршрутизатор 1»), обеспечивающий доступ всех устройств организации в интернет. Для подразделения 2 и подразделения 3 выделены собственные подсети — «подсеть 2» и «подсеть 3» соответственно. Все устройства подразделения 1 рассредоточены по двум подсетям в зависимости от выполняемой задачи: «подсеть 1.1» и «подсеть 1.2». В подразделении

находится собственный дополнительный маршрутизатор, назовем его «маршрутизатор 2», который подключен к общему маршрутизатору через подсеть 2. Все компьютеры подразделений, кроме серверного оборудования, получают автоматические настройки сети, а в серверах настройки прописываются вручную. Для третьего подразделения установлена точка доступа для подключения к сети беспроводных устройств. В подразделении 3 установлен веб-сервер, на котором размещен внутренний ресурс *document.ru* для нужд организации. На этом же компьютере установлен DNS-сервер, обслуживающий данный сайт. При построении сети следует учесть, что для компьютеров разных подсетей должен быть реализован взаимный доступ.

Теоретически задача не несет в себе особых сложностей, однако практическая реализация в классической компьютерной лаборатории не то что сложна, она нерешаема. Для решения подобных задач необходимо прибегать к программной симуляции компьютерных сетей.

Для решения данной задачи выбраны следующие параметры настройки сетей:

Подразделение 1.

Сеть 1.1:

Адрес сети: 192.168.1.0/24

IP-адрес маршрутизатора: 192.168.1.1

IP-адрес DHCP-сервера: 192.168.1.2

Сеть 1.2:

Адрес сети: 192.168.2.0/24

IP-адрес маршрутизатора: 192.168.2.1

IP-адрес DHCP-сервера: 192.168.2.2

Все пользовательские компьютеры обеих сетей получают автоматические параметры сети от DHCP-сервера. Используется вся подсеть.

Подразделение 2.

Адрес сети: 192.168.3.0/24

IP-адрес маршрутизатора: 192.168.3.2

IP-адрес DHCP-сервера: 192.168.3.3

Все пользовательские компьютеры сети получают автоматические параметры сети от DHCP-сервера. Используется вся подсеть.

Подразделение 3.

Адрес сети: 192.168.4.0/24

IP-адрес маршрутизатора: 192.168.4.1

IP-адрес DHCP-сервера: 192.168.4.2

IP-адрес DNS и Web сервера: 192.168.4.3

Все пользовательские компьютеры сети получают автоматические параметры сети от DHCP-сервера. Используется вся подсеть.

Сеть «маршрутизатор 1, маршрутизатор 2».

Адрес сети: 192.168.3.0/24

Маршрутизатор 1: 192.168.3.2

Маршрутизатор 2: 192.168.3.1

Для реализации доступности всех устройств из разных подсетей на обоих маршрутизаторах необходимо настроить динамическую маршрутизацию. В нашем случае используем протокол RIPv1.

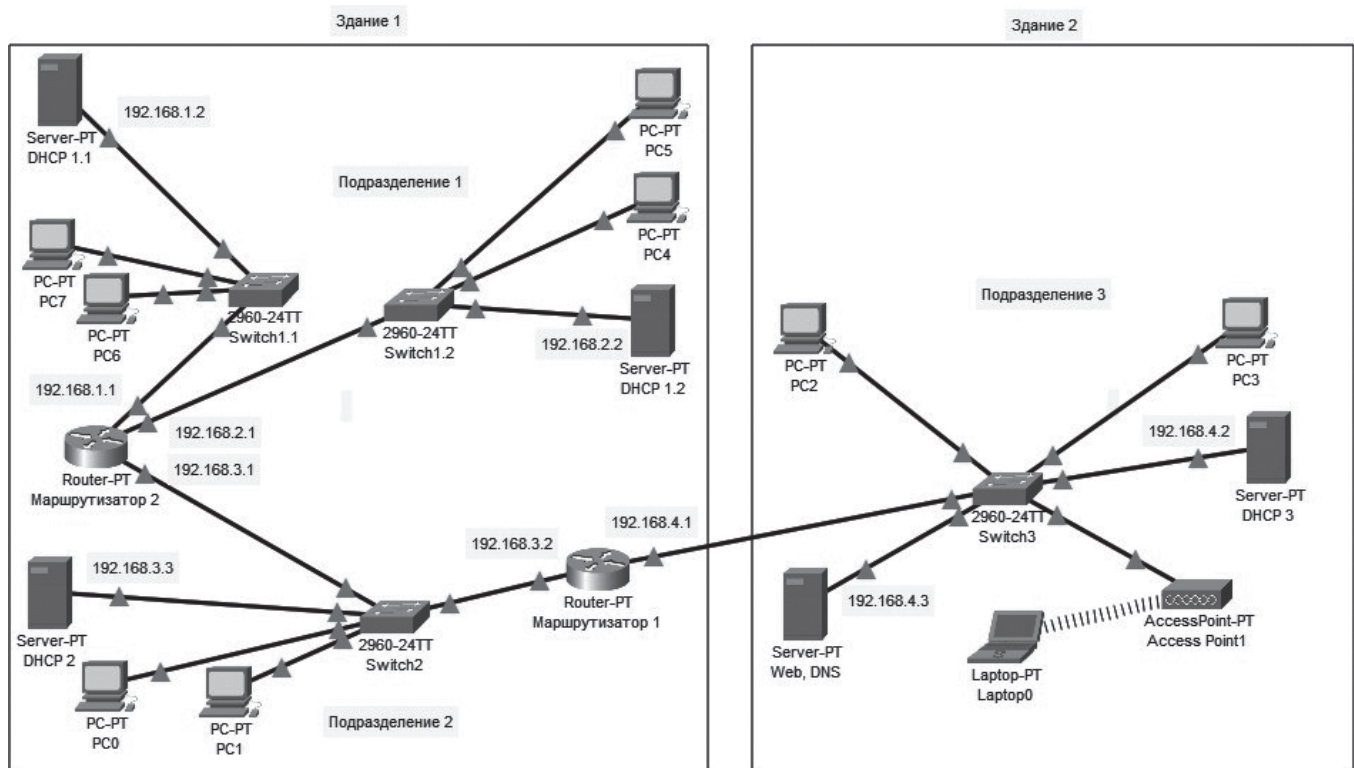


Рис. 1. Полная схема сети с выходом в интернет

Для моделирования подразделений и демонстрации работы кроме серверного и коммутационного оборудования достаточно одного-двух устройств с проводным соединением и одного устройства с беспроводным соединением. В данном примере будем для каждого подразделения использовать по два дополнительных проводных устройства, а для третьего подразделения, кроме проводных, одно беспроводное устройство.

Исходя из условия задачи и принятого соглашения для реализации модели сети подразделений, нам понадобятся:

- два маршрутизатора;
- пять серверных компьютеров;
- четыре коммутатора;
- восемь персональных компьютеров;
- одна точка доступа для беспроводной сети;
- один ноутбук с беспроводным интерфейсом Wi-Fi.

Все настройки оборудования делаем соответственно требованию задачи.

Общий вид модели в программе Cisco Packet Tracer выглядит так, как представлено на рисунке 1.

После соединения устройств необходимо выполнить все настройки в нашей реализуемой мо-

дели. Если при работе за компьютером обычный пользователь для настройки параметров использует визуальный интерфейс, то при работе с маршрутизатором системный администратор зачастую прибегает к помощи command line interface (CLI). В программе реализована возможность выполнять настройки как при помощи визуального интерфейса, так и при помощи командной строки.

После выполнения всех настроек остается проверить работоспособность сети. Как уже было сказано выше, для проверки работоспособности сети в программе реализован визуальный интерфейс, позволяющий выполнить отправку пакетов от одного устройства к другому, что делает еще более наглядным процесс реализации модели компьютерной сети.

Результатом, указывающим на работоспособность данной модели сети, является выполнение двух критериев:

- доступность компьютеров всех подразделений по принципу «каждый из любой»;
- доступность сайта *document.ru* по доменному имени из сетей всех подразделений.

Для проверки возможности передачи данных между сетями можно воспользоваться визуализацией отправки пакета от устройства к устройству. При

Fire	Last Status	Source	Destination	Type	Color	Time(sec)	Periodic	Num	Edit	Delete
	Successful	DHCP...	PC7	ICMP		0.000	N	0	(edit)	(delete)
	Successful	PC6	Web, DNS	ICMP		0.000	N	1	(edit)	(delete)
	Successful	Web, ...	DHCP 2	ICMP		0.000	N	2	(edit)	(delete)

Рис. 2. Подтверждение доступности устройств

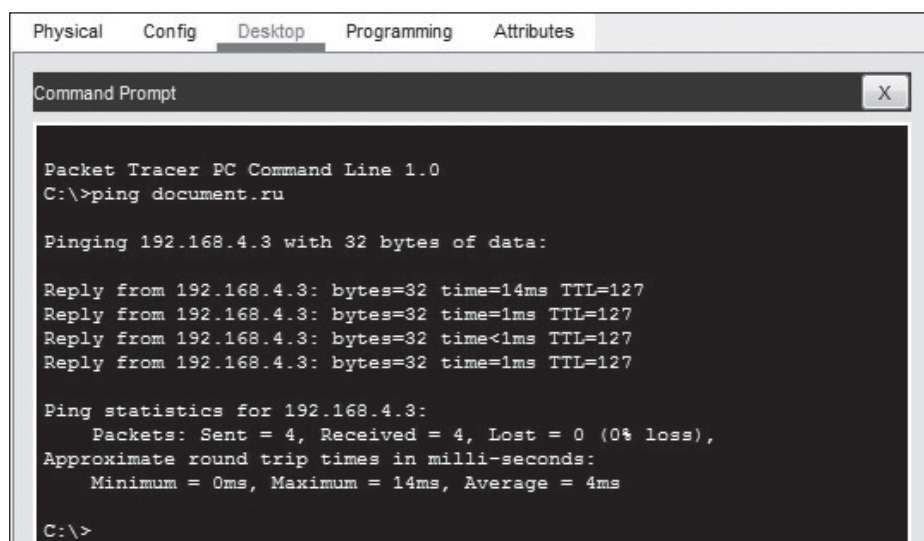


Рис. 3. Подтверждение доступности сайта

каждом отправлении должен получиться результат Successful (рис. 2). Это говорит о том, что устройства доступны.

Для проверки доступности сайта *document.ru* выполним команду «ping document.ru» из командной строки каждого устройства. На рисунке 3 приведен результат одной проверки, все остальные аналогичны.

На рисунке 3 видно, что все пакеты доставлены успешно. Это говорит о том, что и имя *document.ru* разрешилось правильно, и сервер с сайтом доступен.

Рассмотренный пример показывает, что в программе Cisco Packet Tracer можно создать достаточно наглядную модель сети.

6. Заключение

Практика проведения лабораторных занятий по моделированию компьютерных сетей с использованием программы Cisco Packet Tracer показала, что ее возможностей достаточно для полного покрытия потребности в использовании специализированных лабораторий и оборудования. Для практического обучения в вузе достаточно иметь в распоряжении лабораторию, оборудованную компьютерами под управлением операционной системы Microsoft Windows.

Использование программы Cisco Packet Tracer делает возможным выполнение лабораторных работ студентами не только на занятиях, но и дома, что является неоспоримым преимуществом виртуальной лаборатории при организации самостоятельной работы студентов.

Список использованных источников

1. Титовский С. Н. Организация полигона для изучения компьютерных сетей // Проблемы современной аграрной науки. Материалы международной заочной научной конференции. Красноярск: КГАУ, 2017. С. 143–146. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30697109>
2. Yang S.-K., Liu C.-G. Promoting the efficiency of learning Computer network course with the use of Cisco network devices // IEEE International Conference on Architecture,

Construction, Environment and Hydraulics (ICACEN). IEEE, 2019. P. 82–85. DOI: 10.1109/ICACEN48424.2019.9042140

3. Стащук П. В. Использование программного симулятора при изучении компьютерных сетей студентами нетехнических специальностей // Новые информационные технологии в образовании и науке. Материалы X международной научно-практической конференции. Екатеринбург: РГППУ, 2017. С. 543–546. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29255882>

4. Груздева Л. М., Дмитриев А. И., Лобачев С. Л., Малыгин О. А. Компьютерные сети, интернет и мультимедиа технологии. М.: Юридический институт МИИТа, 2018. 171 с. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36437039>

5. Никитин П. В., Мельникова А. И., Горохова Р. И. Методические особенности обучения будущих учителей информатики на дисциплине «Компьютерные сети, Интернет и мультимедиа технологии» // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 4. С. 58. <https://science-education.ru/ru/article/view?id=14054>

6. Табачук Н. П., Мельникова В. В. Развитие информационной компетенции студентов средствами интерактивного модульного курса «Компьютерные сети» // Вестник Омского государственного педагогического университета. Гуманитарные исследования. 2017. № 3. С. 169–171. [https://omsk.edu/volume/download/3_\(16\)_2017.pdf](https://omsk.edu/volume/download/3_(16)_2017.pdf)

7. Кручинин С. В. Особенности разработки методических материалов по курсам «Стек TCP/IP» и «Основы построения компьютерных сетей» // Научные дискуссии. 2017. № 1. С. 17–31. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29761263>

8. Стащук П. В. Визуальное моделирование организации и функционирования компьютерных сетей // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. 2017. Т. 1. С. 228–231. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29929901>

9. Хрулева О. Д., Яковенко Л. В. Сетевые симуляторы как инструмент моделирования компьютерных сетей // Стратегия предприятия в контексте повышения его конкурентоспособности. 2016. № 5-2. С. 90–93. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26290854>

10. Золотухин М. С., Симонова Е. С. Сетевые симуляторы и эмуляторы оборудования Cisco // Современные наукоемкие технологии. 2020. № 7. С. 57–61. <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=38134>

11. Порохненко Ю. С., Полежаев П. Н. Сравнительный анализ эмуляторов компьютерных сетей // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры. Материалы Всероссийской научно-методи-

ческой конференции. Оренбург: ОГУ, 2017. С. 3194–3199. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28977477>

12. *Суслин А. В.* Опыт использования эмулятора компьютерных сетей Cisco Packet Tracer при подготовке специалистов по направлению администрирование вычислительных систем // Информационные технологии в современном инженерном образовании. Материалы межвузовской научно-практической конференции. СПб.: Военный институт (ЖДВ и ВОСО), 2020. С. 224–230. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42967869>

13. *Purnama I. B. I.* Role of packet tracer in simulating server services on the client-server computer network // Journal of Physics: Conference Series. 2020. Vol. 1511. DOI: 10.1088/1742-6596/1511/1/012007

14. *Muniasamy V., Ejlan I. M., Anadhavalli M.* Student's performance assessment and learning skill towards wireless network simulation tool — Cisco Packet Tracer // International Journal of Emerging Technologies in Learning. 2019. Vol. 14. No. 7. P. 196–208. DOI: 10.3991/ijet.v14i07.10351

15. *Catal C., Tcholtchev N., Höfig E., Hoffmann A.* Visualization of traffic flows in a Simulated Network Environment to investigate abnormal Network Behavior in complex Network Infrastructures // Procedia Computer Science. 2019. Vol. 151. P. 279–286. DOI: 10.1016/j.procs.2019.04.040

16. *Castillo-Velazquez J.-I., Muñoz-Martínez I., Díaz-Ramírez J.-A., Ordoñez-Morales E. F.* Management emulation for GEANT advanced network: 2020 topology under IPv6 // IEEE ANDESCON. IEEE, 2020. P. 1–6. DOI: 10.1109/ANDESCON50619.2020.9271972

17. *Шуницин С. П., Кавалеров М. В.* Особенности моделирования городской среды в сетевом симуляторе NS-3 // Автоматизированные системы управления и информационные технологии. Материалы всероссийской научно-технической конференции. Пермь: ПНИПУ, 2018. С. 265–269. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36859026>

18. *Kodali R. K., Kirti B.* NS-3 Model of an IoT network // IEEE 5th Int. Conf. on Computing Communication and Automation (ICCCA). IEEE, 2020. P. 699–702. DOI: 10.1109/ICCCA49541.2020.9250808

19. *Степконой А. С., Туровский А. В.* Особенности моделирования мобильных клиентов Wi-Fi сетей в среде OMNeT++ // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2017. № 2. С. 97–100. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29737010>

20. *Думов М. И., Хабаров С. П.* Использование OMNeT++ для моделирования беспроводных Wi-Fi сетей // Информационные системы и технологии: теория и практика. Сборник научных трудов. СПб.: СПбГЛТУ, 2018. С. 44–53. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35324461>

APPLYING NETWORK SIMULATION TOOLS IN LEARNING PROCESS

A. V. Podsadnikov¹, K. V. Rozov¹, S. V. Kratov²

¹ *Novosibirsk State Pedagogical University*
630126, Russia, Novosibirsk, Vilyuiskaya ul., 28

² *Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS*
630090, Russia, Novosibirsk, prospect Akademika Lavrent'eva, 6

Abstract

The article is devoted to the problem of professional training of university students in the field of computer networks in the absence of specialized laboratories. The solution to this problem is the use of computer networks simulation tools. The authors presented thematic plan for studying the discipline «Computer networks and the Internet». The article considers domestic and foreign experience of using computer networks simulation tools. Based on the eight criteria identified by the authors, the analysis was carried out of the most popular software in the academic environment for computer networks modeling: Cisco Packet Tracer, GNS3, NS-3, EVE-NG, OMNeT++. As a result of the analysis and comparison, it was concluded that the Cisco Packet Tracer software product is the most preferred modeling environment in the conditions of a pedagogical university. The example of using the Cisco Packet Tracer modeling system within the training course «Computer networks and the Internet» is given, demonstrating the solution of a practice-oriented problem. The example shows the possibility of simulating switching, server, user equipment in the Cisco Packet Tracer environment; the ability to work with wireless networks. The principles of setting up server hardware and related software are considered.

Keywords: computer networks, computer network modeling, Cisco Packet Tracer, virtual laboratory, professional training.

DOI: 10.32517/0234-0453-2021-36-1-47-56

For citation:

Podsadnikov A. V., Rozov K. V., Kratov S. V. Primenenie sredstv imitatsionnogo modelirovaniya komp'yuternykh setej v uchebnom protsesse [Applying network simulation tools in learning process]. *Informatika i obrazovanie — Informatics and Education*, 2021, no. 1, p. 47–56. (In Russian.)

Received: January 17, 2021.

Accepted: February 9, 2021.

Acknowledgments

The overview of network modelling software was supported by the budget project of the ICM&MG SB RAS No. 0315-2019-0006.

About the authors

Alexey V. Podsadnikov, Senior Lecturer at the Department of Information Systems and Digital Education, Novosibirsk State Pedagogical University, Russia; cite2006@mail.ru; ORCID: 0000-0001-5145-7746

Konstantin V. Rozov, Postgraduate Student at the Department of Pedagogy and Psychology, Institute of Physics and Mathematics, Information and Technological Education, Assistant at the Department of Information Systems and Digital Education, Novosibirsk State Pedagogical University, Russia; konstantin_dubrava@mail.ru; ORCID: 0000-0001-5231-8035

Sergey V. Kratov, Researcher, Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russia; kratov@sscc.ru; ORCID: 0000-0001-9068-9267

References

1. Titovsky S. N. Organizatsiya poligona dlya izucheniya komp'yuternykh setej [The organization of the site for computer networks studying]. *Problemy sovremennoy agrarnoy nauki. Materialy mezhdunarodnoy zaochnoy nauchnoy konferentsii* [Problems of modern agrarian science. Materials of the international correspondence scientific conference]. Krasnoyarsk, KSAU, 2017, p. 143–146. (In Russian.)
2. Yang S.-K., Liu C.-G. Promoting the efficiency of learning Computer network course with the use of Cisco network devices. *IEEE International Conference on Architecture, Construction, Environment and Hydraulics (ICACEH)*. IEEE, 2019, p. 82–85. DOI: 10.1109/ICACEH48424.2019.9042140
3. Stashuk P. V. Ispol'zovanie programmnoy simulyatora pri izuchenii komp'yuternykh setej studentami ne tekhnicheskikh spetsial'nostej [Use of the program simulator when studying computer networks by students of nontechnical specialties of higher education institutions]. *Novye informatsionnye tekhnologii v obrazovanii i nauke. Materialy X mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [New information technologies in education and science. Proc. 10th Int. Scientific and Practical Conf.]. Ekaterinburg, RSVPU, 2017, p. 543–546. (In Russian.)
4. Gruzdeva L. M., Dmitriev A. I., Lobachev S. L., Malygin O. A. Komp'yuternye seti, internet i mul'timedia tekhnologii [Computer networks, Internet and multimedia technologies]. Moscow, Yuridicheskij institut MIITa, 2018. 171 p. (In Russian.)
5. Nikitin P. V., Melnikova A. I., Gorokhova R. I. Metodicheskie osobennosti obucheniya budushchih uchitelej informatiki na discipline "Komp'yuternye seti, Internet i mul'timedia tekhnologii" [Methodological features of training future teachers of computer science on discipline "Computer networks, Internet and multimedia technologies"]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya — Modern Problems of Science and Education*, 2014, no. 4, p. 58. (In Russian.) Available at: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=14054>
6. Tabachuk N. P., Melnikova V. V. Razvitie informatsionnoy kompetentsii studentov sredstvami interaktivnogo modul'nogo kursa "Komp'yuternye seti" [Development of information competence of students by means of interactive modular course "Computer networks"]. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta. Gumanitarnye issledovaniya — Review Omsk State Pedagogical University. Humanitarian research*, 2017, no. 3, p. 169–171. (In Russian.) Available at: [https://omsk.edu/volume/download/3_\(16\)_2017.pdf](https://omsk.edu/volume/download/3_(16)_2017.pdf)
7. Kruchinin S. V. Osobennosti razrabotki metodicheskikh materialov po kursam "Stek TCP/IP" i "Osnovy postroeniya komp'yuternykh setej" [Features of the development of methodological materials for courses "TCP/IP stack" and "Fundamentals of building computer networks"]. *Nauchnye diskussii — Scientific Discussions*, 2017, no. 1, p. 17–31. (In Russian.)
8. Stashuk P. V. Vizual'noe modelirovanie organizatsii i funktsionirovaniya komp'yuternykh setej [Visual modeling of the organization and functioning of computer networks]. *Aktual'nye problemy sovremennoy nauki, tekhniki i obrazovaniya — Actual Problems of Modern Science, Technology and Education*, 2017, vol. 1, p. 228–231. (In Russian.)
9. Khruleva O. D., Yakovenko L. V. Setevye simulatory kak instrument modelirovaniya komp'yuternykh setej [Network simulators as a tool for modeling computer networks]. *Strategiya predpriyatiya v kontekste povysheniya ego konkurentosposobnosti — Enterprise strategy in the context of increasing its competitiveness*, 2016, no. 5-2, p. 90–93. (In Russian.)
10. Zolotukhin M. S., Simonova E. S. Setevye simulatory i ehmulatory oborudovaniya Cisco [Network simulators and emulators of Cisco hardware]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii — Modern High Technologies*, 2020, no. 7, p. 57–61. (In Russian.) Available at: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=38134>
11. Porokhnenko Yu. S., Polezhaev P. N. Sravnitel'nyy analiz ehmulyatorov komp'yuternykh setej [Comparative analysis of computer network emulators]. *Universitetskij kompleks kak regional'nyy tsentr obrazovaniya, nauki i kul'tury. Materialy Vserossiyskoy nauchno-metodicheskoy konferentsii* [The university complex as a regional center for education, science and culture. Proc. All-Russ. Scientific and Methodological Conf.]. Orenburg, OSU, 2017, p. 3194–3199. (In Russian.)
12. Suslin A. V. Opyt ispol'zovaniya ehmulyatora komp'yuternykh setej Cisco Packet Tracer pri podgotovke spetsialistov po napravleniyu administrirovaniya vychislitel'nykh sistem [Experience of using the emulator of computer networks Cisco Packet Tracer in training specialists in the direction of administration of computer systems]. *Informatsionnye tekhnologii v sovremennoy inzhenernom obrazovanii. Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Information technology in modern engineering education. Materials of the interuniversity scientific-practical conference]. Saint Petersburg, Voennyj institut (ZHDV i VOSO), 2020, p. 224–230. (In Russian.)
13. Purnama I. B. I. Role of packet tracer in simulating server services on the client-server computer network. *Journal of Physics: Conference Series*, 2020, vol. 1511. DOI: 10.1088/1742-6596/1511/1/012007
14. Muniasamy V., Ejilani I. M., Anadhavalli M. Student's performance assessment and learning skill towards wireless network simulation tool — Cisco Packet Tracer. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 2019, vol. 14, no. 7, p. 196–208. DOI: 10.3991/ijet.v14i07.10351
15. Catal C., Tcholtchev N., Höfig E., Hoffmann A. Visualization of traffic flows in a Simulated Network Environment to investigate abnormal Network Behavior in complex Network Infrastructures. *Procedia Computer Science*, 2019, vol. 151, p. 279–286. DOI: 10.1016/j.procs.2019.04.040
16. Castillo-Velazquez J.-I., Muñoz-Martínez I., Díaz-Ramírez J.-A., Ordoñez-Morales E. F. Management emulation for GEANT advanced network: 2020 topology under IPv6. *IEEE ANDESCON*. IEEE, 2020, p. 1–6. DOI: 10.1109/ANDESCON50619.2020.9271972
17. Shipitsin S. P., Kavalero M. V. Osobennosti modelirovaniya gorodskoy sredy v setevom simulatore NS-3 [Features of urban environment simulating in network simulator NS-3]. *Avtomatizirovannye sistemy upravleniya i informatsionnye tekhnologii. Materialy vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Automated control systems and information technology. Proc. All-Russ. Scientific and Technical Conf.]. Permian, PNRPU, 2018, p. 265–269. (In Russian.)
18. Kodali R. K., Kirti B. NS-3 Model of an IoT network. *IEEE 5th Int. Conf. on Computing Communication and Automation (ICCCA)*. IEEE, 2020, p. 699–702. DOI: 10.1109/ICCCA49541.2020.9250808
19. Steshkovoy A. S., Turovsky A. V. Osobennosti modelirovaniya mobil'nykh klientov Wi-Fi setej v srede OMNeT++ [Features of modeling mobile clients of Wi-Fi networks in the OMNeT++ environment]. *Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy — Bulletin of the Voronezh Institute of High Technologies*, 2017, no. 2, p. 97–100. (In Russian.)
20. Dumov M. I., Habarov S. P. Ispol'zovanie OMNeT++ dlya modelirovaniya besprovodnykh Wi-Fi setej [Using OMNeT++ to simulate wireless Wi-Fi networks]. *Informatsionnye sistemy i tekhnologii: teoriya i praktika. Sbornik nauchnykh trudov* [Information systems and technologies: Theory and practice. Collection of scientific papers]. Saint Petersburg, SPSFU, 2018, p. 44–53. (In Russian.)