

ИЗУЧЕНИЕ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ С ПОМОЩЬЮ СЕТЕВЫХ СИМУЛЯТОРОВ

Е.В. Кокорева, к.т.н., доцент, Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, elen.vik@gmail.com.

УДК 004.94

Аннотация. В статье рассматриваются способы применения систем имитационного моделирования в цифровой образовательной среде высшего учебного заведения с целью получения практических навыков профессиональной деятельности. Дана характеристика программным пакетам *NS-2*, *NS-3*, *Cisco Packet Tracer*, *OMNeT++* и *AnyLogic*, рассматриваемым и рекомендуемым в качестве основы для разработки лабораторных и практических занятий, посвященных изучению сетевых технологий.

Ключевые слова: *Cisco Packet Tracer*; *NS-2*; *NS-3*; *AnyLogic*; моделирование; симуляция; образовательная среда.

THE STUDY OF TELECOMMUNICATION TECHNOLOGY USING NETWORK SIMULATORS

Elena Kokoreva, Ph.D., Associate Professor, Siberian State University of Telecommunications and Information Science.

Annotation. The article discusses ways of using simulation systems in the digital educational environment of a higher educational institution in order to obtain practical skills in professional activities. Network simulators serve as a good tool for studying various types of telecommunication technologies in the absence of real, expensive network equipment.

Keywords: *Cisco Packet Tracer*; *NS-2*; *NS-3*; *AnyLogic*; modeling; simulation; educational environment.

Введение

Процесс цифровой трансформации затронул все сферы человеческой деятельности. В отрасли образования этот процесс происходит в рамках федерального проекта «Цифровая образовательная среда», являющегося составной частью национального проекта «ОБРАЗОВАНИЕ» [1]. Преобразование образовательной системы требует от преподавателей высшей школы перехода на новые методы реализации образовательных программ, предлагая, в том числе работу со специализированными электронными образовательными ресурсами.

Сетевые симуляторы представляют собой программное средство, наилучшим образом подходящее для изучения в вузах дисциплин, связанных с телекоммуникационными процессами. Различные сетевые технологии: проводные и беспроводные; низкоскоростные и высокоскоростные; централизованные и распределенные могут быть представлены в виде программных моделей при выполнении лабораторных, практических и курсовых работ [2].

На рынке программного обеспечения сегодня существует множество продуктов, содержащих в своем составе специализированные модули для моделирования коммуникационных устройств и систем. Среди них можно найти полностью бесплатные симуляторы (*NS-2*, *NS-3*, *OMNeT++* и т.п.), которые подходят для вузов в условиях ограниченного финансового обеспечения или коммерческие программы, бесплатный доступ к которым предоставляется для

образовательных целей, такие, например, как *Riverbed Modeler Academic Edition* [3]. Рассмотрим некоторые из программных продуктов более подробно.

Симуляторы NS-2 и NS-3

NS-2 (англ. *Network Simulator version 2*) представляет собой симулятор, реализующий дискретно-событийный подход к моделированию, распространяемый бесплатно на условиях лицензии *GPL* (англ. *GNU Public License*). Основу моделей симулятора составляют два языка программирования: C++, на котором реализовано ядро программы, и *oTcl* – объектно-ориентированный язык для построения (скрипта) модели из имеющихся в NS-2 готовых модулей, описывающих сетевые объекты и протоколы: узлы, звенья, очереди, генераторы трафика, протоколы передачи данных или маршрутизации и т.д. [4].

Изменения состояний модели связано с событиями, происходящими с пакетами данных (англ. *Packet Data Unit*), например, выход из узла; постановка в очередь; блокировка; выход из очереди и пр. Происходящие события фиксируются в файлах трассировки, которые затем подвергаются статистической обработке для получения вероятностно-временных характеристик исследуемой системы.

В составе NS-2 имеются объекты и методы для имитационного моделирования как проводных, так и беспроводных систем связи, например, *TCP/IP*, *Wi-Fi*, *ZigBee*, а также спутниковых и сотовых сетей. Для визуального отображения результатов симуляции пакет NS-2 содержит следующие компоненты:

- аниматор *NAM* (англ. *Network Animator*) – средство для трассировки пакетов в сети в виде анимации (рис. 1);
- графический пакет *Xgraph* – средство для наглядной иллюстрации собранной в процессе симуляции статистики задержек, потерь и пропускной способности в виде зависимостей измеренных показателей от времени (рис. 2).

В настоящее время разработчики отказались от поддержки сетевого симулятора NS-2 в связи с переходом к новой версии. Следующая версия симулятора NS-3 также обладает открытым исходным кодом с лицензией *GNU GPLv2*, но не является обратно совместимой с NS-2. В отличие от предыдущей версии NS-3 реализован на языке C++ с возможностью разработки сценариев на языке *Python*. Данный симулятор имеет в своем составе классы и методы для исследования современных инфокоммуникационных систем, таких как *LTE*, *WiMAX* или сети *5G* [5].

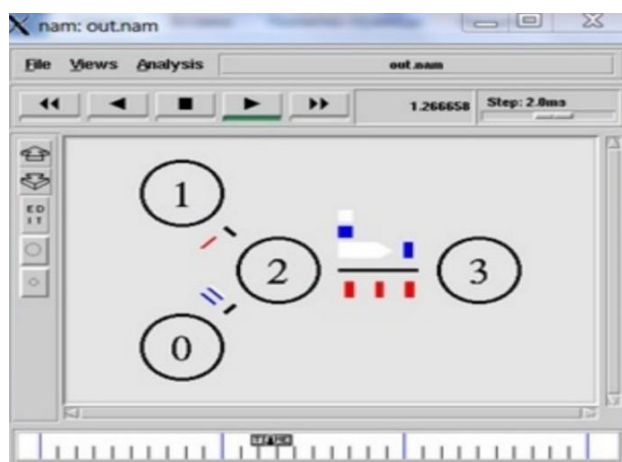


Рисунок 1

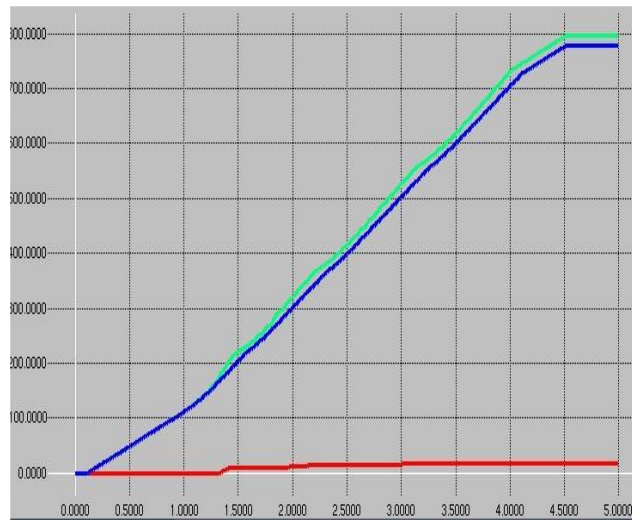


Рисунок 2

Cisco Packet Tracer

Для студентов, изучающих инфокоммуникационные технологии, представляет особый интерес симулятор сетей передачи данных *Cisco Packet Tracer Student version*. Данная версия программного продукта выбрана из-за того, что она не требует регистрации в сетевой академии *Cisco*, недоступной сегодня для российских пользователей. Несмотря на то, что симулятор в первую очередь предназначен для ознакомления с работой коммуникационных устройств компании *Cisco*, его функционал позволяет изучать передачу данных в телекоммуникационной сети на разных уровнях эталонной модели взаимодействия открытых систем *OSI* [6].

Packet Tracer имеет простой интуитивно понятный визуальный интерфейс с возможностью построения проводных и беспроводных сетей различного уровня сложности и масштаба. Рис. 3 отображает пример *IP*-сети с простой конфигурацией.

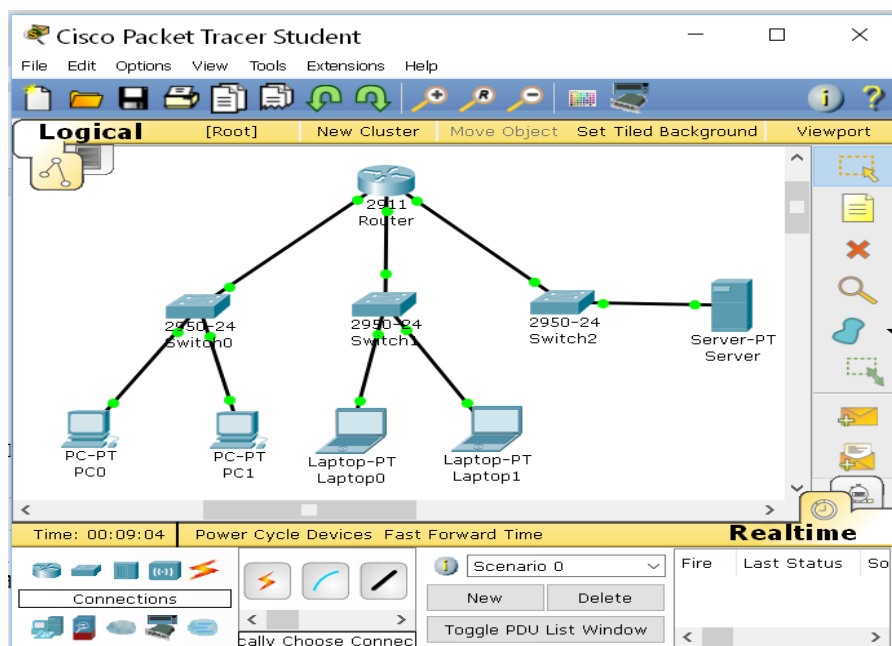


Рисунок 3

Имеется два режима работы в симуляторе: *Realtime* и *Simulation*, в первом случае передача пакетов происходит в реальном времени, во втором – можно проследить передачу избранного пакета по шагам, а также просмотреть место пакета в эталонной модели *OSI* определенного сетевого устройства (рис. 4а) и структуру пакетов на разных уровнях модели (рис. 4б). На рис 4. показана передача пакета: а – информация о пакете в определенном интерфейсе; б – форматы пакетов на разных уровнях модели *OSI*.

Cisco Packet Tracer позволяет оценить работоспособность проектируемой системы связи, а также доступность всех входящих в сеть коммуникационных устройств с помощью управляющих сообщений протокола *ICMP* (англ. *Internet Control Message Protocol*). Возможны как физическая настройка устройства, так и логическое конфигурирование его интерфейсов.

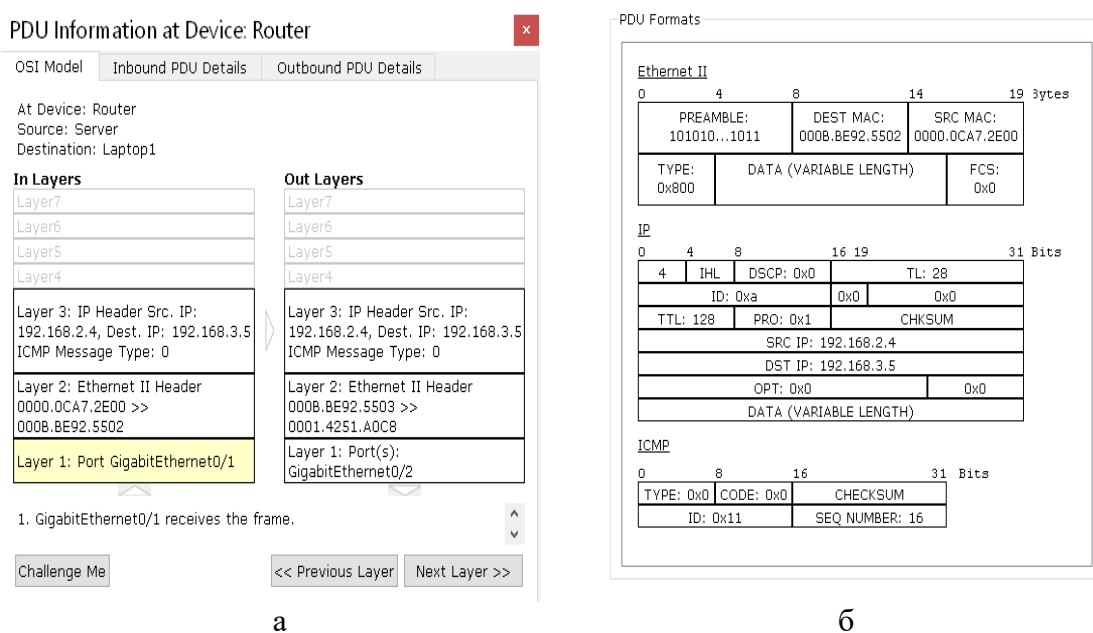


Рисунок 4

OMNeT++

Важное место в процессе практического обучения студентов занимает система дискретно-событийного имитационного моделирования *OMNeT++*, которая помогает изучать работу таких систем как *Ethernet*, *TCP/IP*, *MPLS*, мобильных, спутниковых и сенсорных сетей и пр. На официальном сайте доступно множество фреймворков, содержащих демонстрационные модели различных инфокоммуникаций (*INET*, *SimLTE*, *Sim5G*) [7].

В отличие от ранее рассмотренных программных продуктов интегрированная среда разработки *IDE* (англ. *Integrated Development Environment*) *OMNeT++* основана на *Eclipse* и содержит средства для запуска симуляции, редактор топологий, библиотеки модулей, компоненты статистической обработки результатов симуляции, анимации событий, а также графические средства для вывода различного вида результатов – векторов, скаляров и гистограмм и другие расширения. Пример создания примитивной сетевой топологии в *IDE OMNeT++* представлен на рис. 5.

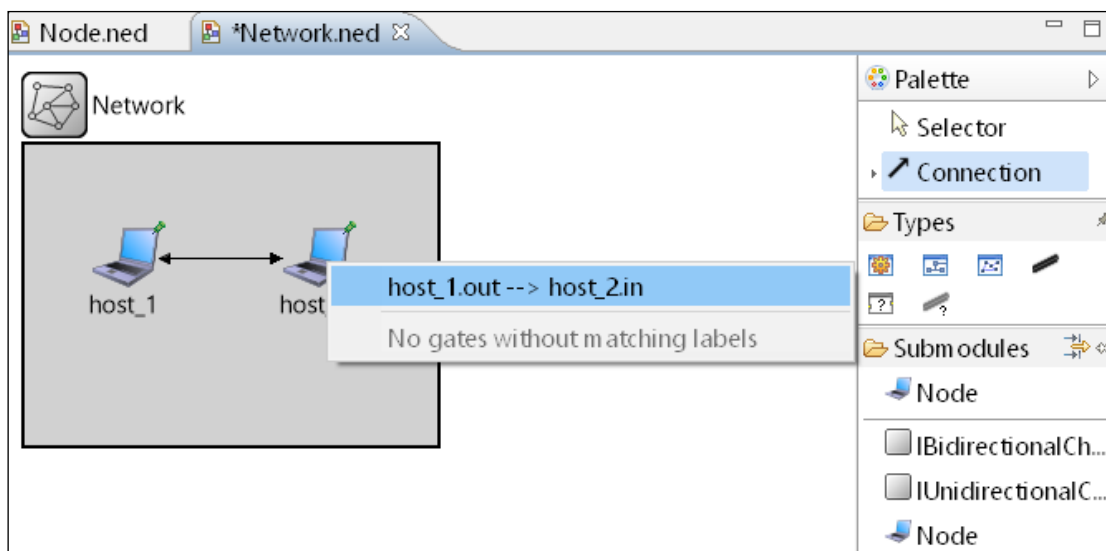


Рисунок 5

Для создания топологий в программном пакете имеется язык (редактор) *NED* (англ. *Network Editor*), с помощью которого разрабатываются простые модули (англ. *Simple Module*) имитационной модели, из которых формируются более сложные составные модули (англ. *Compound Module*). Модель сети складывается из простых и составных модулей, и сама представляет собой составной модуль. Все модули общаются друг с другом посредством сообщений (англ. *messages*), передаваемых через соединения (англ. *connections*), примыкающие к портам (англ. *gates*), являющимися частью модулей. Разработка возможна в графическом (англ. *Design*) или текстовом (англ. *Source*) режиме. Рис. 6 содержит тот же пример сети, что и на рис. 5, представленный в виде кода *NED*.

На рис. 6 изображен пример сетевой топологии на языке *NED*.

```

network Network
{
  @display("bgb=249,181");
  submodules:
    host_1: Node {
      @display("p=61,68");
    }
    host_2: Node {
      @display("p=176,68");
    }
  connections:
    host_1.out --> host_2.in;
    host_2.out --> host_1.in;
}

```

Рисунок 6

Динамика моделируемой сети реализуется с помощью компонентов библиотеки *C++*. Для этой цели служат следующие методы:

- *initialize()* – инициализация – вызывается сразу при запуске симуляции;
- *finish()* – окончание – вызывается автоматически при успешном завершении

симуляции и может использовать для записи статистики;

- `handleMessage(cMessage *msg)` – обработка сообщения – вызывается с параметром `msg` всякий раз, когда происходит прием или передача сообщения.

Запись трассировки событий симуляции позволяет собрать статистику параметров сети и оценить показатели качества обслуживания. Интегрированная оболочка *OMNeT++* дает возможность просмотреть файлы трассировки как в текстовом, так и в графическом виде (рис. 7).

AnyLogic

Совсем другой подход к симуляции предлагает система имитационного моделирования *AnyLogic* от изначально российского производителя *The AnyLogic Company*, ставшего в настоящее время многонациональной командой разработчиков из России, Европы и США [8]. В отличие от большинства современных сетевых симуляторов, реализующих дискретно-событийный подход к моделированию, *AnyLogic* позиционируется как продукт, объединяющий три известных подхода: системная динамика; дискретно-событийное и агентное моделирование.

На рис. 7 показаны зависимости количества переданных и принятых сообщений от времени.

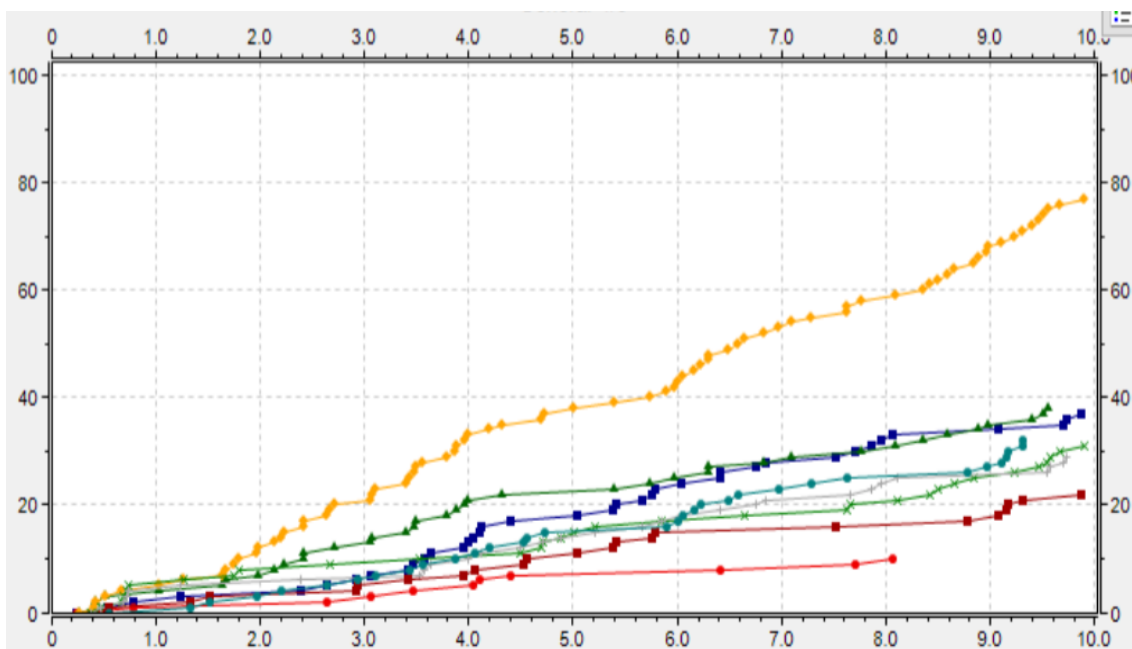


Рисунок 7

Программное обеспечение является проприетарным, но разработчики предоставляют полнофункциональный продукт студентам и преподавателям вузов для применения в учебном процессе или самообразования. *AnyLogic* имеет полноценный графический интерфейс, множество палитр инструментов для построения моделей различного назначения (бизнес-процессы, логистика, горнодобывающая промышленность, производственные процессы, телекоммуникации и др.), а также обладает возможностью разработки дополнительных функций на языке *Java*.

Графический интерфейс пользователя *GUI AnyLogic* представлен на рис. 8.

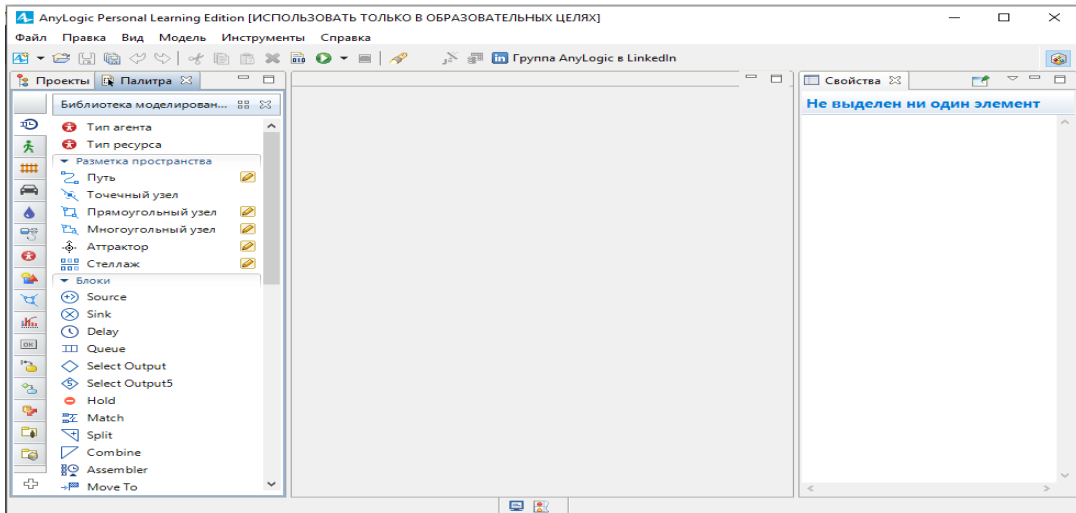


Рисунок 8

В рабочей области *AnyLogic* производится создание и редактирование модели в визуальном режиме. На рис. 9 показана модель СМО в рабочей области симулятора *AnyLogic*.

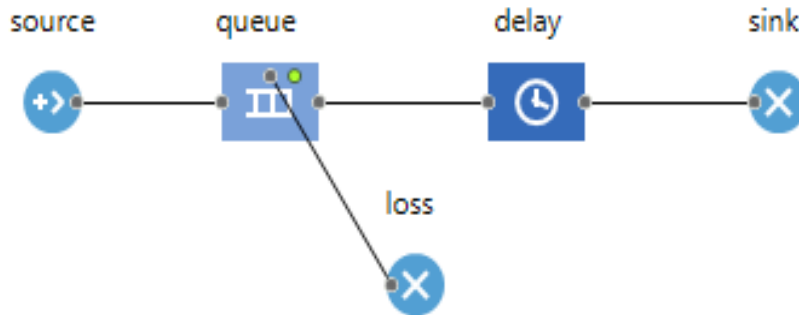


Рисунок 9

Программа позволяет просматривать процесс симуляции в виде *2D* или *3D* анимации, а характеристики модели могут быть вычислены динамически (в процессе симуляции) и отображены наглядно в виде графиков, диаграмм и таблиц в рабочей области модели). Рис. 10 показывает, каким образом можно получить характеристики СМО в виде простых гистограмм.

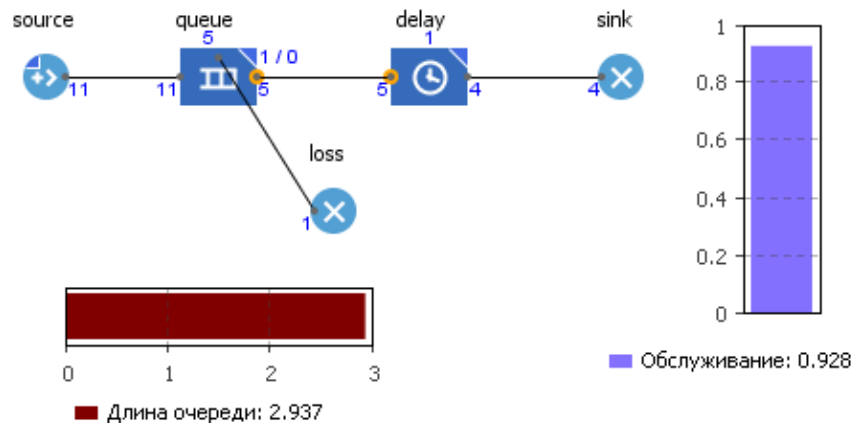


Рисунок 10

На официальном сайте системы имитационного моделирования имеется множество демонстрационных примеров из разных отраслей деятельности: бизнес-процессы, логистика, нефтегазовая промышленность, производство и пр. Пример применения *AnyLogic* для изучения процессов «выбора лидера» в ненадежной компьютерной сети приведен на рис. 11.

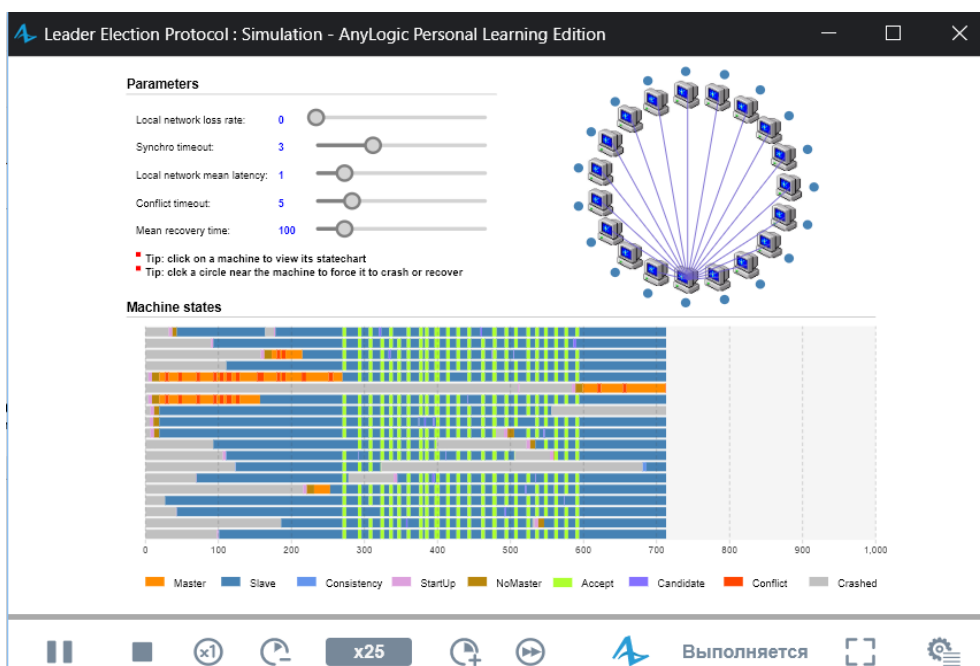


Рисунок 11

Заключение

Системы имитационного моделирования представляют собой не только адекватную замену техническим средствам, необходимым для реализации образовательных программ, но и являются на сегодняшний день неотъемлемой частью цифровой образовательной среды вуза. Рассмотренные выше программные пакеты *NS-2*, *NS-3*, *Cisco Packet Tracer*, *OMNeT++* и *AnyLogic* продемонстрировали свою состоятельность в качестве основы для разработки лабораторных и практических занятий, посвященных изучению сетевых технологий.

Таким образом, применение сетевых симуляторов в образовательном процессе высшего учебного заведения позволяет получить практические навыки настройки и конфигурирования сетевых устройств, а также исследования показателей качества обслуживания инфокоммуникационных систем без излишних финансовых, временных и материальных затрат.

Работа выполнена в рамках Государственного задания 071-03-2023-001 от 19.01.2023.

Литература

1. Национальный проект образование. Официальный сайт Министерства просвещения Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: <https://edu.gov.ru/national-project/projects/cos/> (дата обращения: 05.07.2023).
2. Кокорева Е.В. Системы имитационного моделирования в цифровой образовательной среде вуза // Информатизация образования и методика электронного обучения: цифровые технологии в образовании: материалы VII

Междунар. науч. конф. / под общ. ред. М.В. Носкова. – Красноярск: Красноярский государственный педагогический университет им. В.П. Астафьева, 2023. – С. 355-360.

3. Riverbed Modeler Academic Edition. [Электронный ресурс]. URL: https://cms-api.riverbed.com/portal/community_home (дата обращения: 23.09.2023).

4. The ns Manual [Электронный ресурс].

URL: https://www.isi.edu/nsnam/ns/doc/ns_doc.pdf (дата обращения: 07.08.2023).

5. NS-3. Documentation [Электронный ресурс].

URL: <https://www.nsnam.org/documentation/> (дата обращения: 08.08.2023).

6. Cisco Packet Tracer Student Version [Электронный ресурс]

URL: <https://www.filehorse.com/download-cisco-packet-tracer-32/27899/download/> (дата обращения: 12.09.2023).

7. OMNeT++ Simulation Manual [Электронный ресурс].

URL: <https://doc.omnetpp.org/omnetpp/manual/> (дата обращения 05.07.2023).

8. AnyLogic – официальный сайт [Электронный ресурс]

URL: <https://www.anylogic.ru/> (дата обращения: 14.09.2023).