

С.В. Козлов, А.Г. Коркин, С.А. Корнилов, А.А. Невров

---

## РАЗРАБОТКА ТРЕНАЖЕРА МЕЖДУГОРОДНЕГО КОММУТАТОРА НА ОСНОВЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

---

Представлен процесс разработки программного тренажера междугороднего коммутатора, используемого совместно с автоматическими телефонными станциями в сетях связи специального назначения. Для воспроизведения реальных процессов работы на коммутаторе при обслуживании абонентов предлагается использовать имитационное моделирование, рассматривая работу операторов по установлению соединений как систему массового обслуживания. Использование тренажера в профессиональном обучении позволяет повысить качество подготовки инженерно-технического персонала.

*Ключевые слова:* программный тренажер, имитационное моделирование, междугородний коммутатор, система массового обслуживания.

---

S.V. Kozlov, A.G. Korkin, S.A. Kornilov, A.A. Newrov

---

## DEVELOPMENT OF A LONG-DISTANCE SWITCH SIMULATOR BASED ON SIMULATION MODELING OF A QUEUING SYSTEM

---

The process of development of a long-distance switch software simulator used in conjunction with automatic telephone exchange in special-purpose communication networks is presented. To reproduce real processes of work on the switch when serving subscribers, it is proposed to use simulation modeling, considering the work of operators to establish connections as a queuing system. The use of the simulator in vocational training improves the quality of training of engineering and technical personnel.

*Keywords:* software simulator, simulation modeling, long distance switch, queuing system.

### *Введение*

В сетях связи специального назначения совместно с автоматическими телефонными станциями (далее – АТС) для обеспечения установления соединений вполуавтоматическом и ручном режимах используются программно-аппаратные комплексы междугороднего коммутатора (далее – МК). Связано это с характерным для сетей связи специального назначения (далее – СССН) делением абонентов на категории в соответствии с их должностным положением и выполняемыми задачами. Сохранение заказной и немедленной систем обслуживания, которые реализуют указанные способы установления соединений, позволяет обеспечить требуемое качество обслуживания абонентов высших категорий и подготовить вызываемого абонента к предстоящему соединению.

Существует высокая потребность в высококвалифицированных специалистах, осуществляющих эксплуатацию междугороднего коммутатора.

Для обеспечения качественной инженерной подготовки используются учебные электронные издания, технические средства обучения, компьютерные тренажерные комплексы. Применение данных средств позволяет совместно с традиционными методами реализовать принцип системности обучения, построить обучение на основе проблемно-ситуационного подхода, использовать активные методики обучения [1; 3; 5; 7; 8].

**Козлов Сергей Викторович**

кандидат технических наук. Академия Федеральной службы охраны России, город Орел. Сфера научных интересов: системы, сети и устройства телекоммуникаций, информационные технологии. Автор более 50 опубликованных научных работ.

Электронный адрес: kozlov\_sv@mail.ru

**Коркин Алексей Георгиевич**

кандидат технических наук, доцент. Академия Федеральной службы охраны России, город Орел. Сфера научных интересов: системы, сети и устройства телекоммуникаций. Автор более 50 опубликованных научных работ.

Электронный адрес: alkorich@yandex.ru

**Корнилов Сергей Алексеевич**

кандидат технических наук. Академия Федеральной службы охраны России, город Орел. Сфера научных интересов: анализ и синтез инфокоммуникационных систем методами теории телетрафика. Автор более 40 опубликованных научных работ.

Электронный адрес: korsar-89@bk.ru

**Невров Алексей Александрович**

кандидат технических наук. Академия Федеральной службы охраны России, город Орел. Сфера научных интересов: математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей. Автор более 40 опубликованных научных работ.

Электронный адрес: alkorich@yandex.ru

Невозможность задействовать для обучения используемые в сети связи специального назначения автоматические телефонные станции и междугородние коммутаторы (далее – МК), высокая стоимость оборудования и дефицит рабочих мест привели к необходимости создания компьютерных тренажеров. Таким образом, актуальность обусловлена общими тенденциями развития системы образования, а также востребованностью подготовки квалифицированного инженерно-технического персонала.

*Разработка тренажера МК*

Комплекс МК состоит из рабочих мест операторов (далее – РМО) со специализированным программным обеспечением (далее – ПО).

Для формирования практических навыков и умений по эксплуатации МК был разработан программный тренажер [6]. Применение в учебном процессе показало необходимость его совершенствования с целью достоверного воспроизведения работы оператора.

Разработка нового программного тренажера выполнялась с учетом следующих требований:

- обеспечение визуальной идентичности интерфейсов программного обеспечения рабочего места оператора МК и тренажера;
- модели потока поступающих вызовов и времени обслуживания при установлении соединений должны правильно аппроксимировать реальные процессы на МК для обеспечения требуемого уровня точности результатов оценивания;

## Разработка тренажера междугороднего коммутатора на основе имитационного...

- использование модульного принципа, при котором тренажер разделен по выполняемым функциям на модули. При этом может существовать несколько различных реализаций модулей, выполняющих аналогичные функции;
- возможность изменения тренировок;
- наличие средств для анализа и оценки действий обучаемого (испытуемого).

Анализ архитектуры программного обеспечения электронного МК позволил по выполняемым функциям выделить следующие модули:

- пользовательского интерфейса;
- авторизации;
- обработки информации, управления вызовами и соединениями;
- взаимодействия с АТС.

Для формирования практических навыков по работе оператора МК в программном тренажере разрабатываются модули пользовательского интерфейса и авторизации, обработки информации и управления вызовами и соединениями. Дополнительно в состав модуля обработки информации и управления вызовами и соединениями включен блок обработки статистических данных для оценки действий обучающегося.

*Моделирование модуля обработки информации, управления вызовами и соединениями*

Для воспроизведения реальных процессов обслуживания при установлении соединений целесообразно использовать имитационное моделирование, рассматривая работу операторов по установлению соединений как систему массового обслуживания.

Моделирующий алгоритм включает в себя следующие компоненты:

- моделирование потока поступающих вызовов;
- моделирование поведения системы;
- получение решений (набор статистической информации по интересующим параметрам: числу обслуженных вызовов ( $C_{обс}$ ); числу потерянных вызовов ( $C_{пот}$ ); среднему времени обслуживания; длине очереди;
- анализ полученных результатов.

Для более достоверного воссоздания процесса обслуживания оператором МК при установлении соединений целесообразно использовать методику и алгоритм имитационного моделирования реального процесса. Данный алгоритм включает в себя следующие этапы.

1. Моделирование потока вызовов в виде случайных чисел (далее – СЧ).

С учетом возможностей, которые предоставляет выбранный алгоритм, длина очереди, а также законы распределения промежутков между вызовами и длительностей обслуживания могут быть выбраны произвольными, ограничение в данном случае накладывается только генераторами псевдослучайных чисел (далее – ГПСЧ). В соответствии с символикой Кендалла–Башарина используемые типы моделей систем распределения информации могут быть обозначены как  $G/G/V/W,r/FF/R$  [4].

Рассмотрим случай, когда указанные распределения являются экспоненциальными. Следовательно, в зависимости от количества источников  $N$  (абонентов) потоки поступающей нагрузки описываются моделью простейшего ( $N \geq 15 \cdot V$ ) или примитивного ( $N < 15 \cdot V$ ) потоков. Данный подход является принятым в предметной области, так как простейший поток является наиболее распространенной моделью реального потока вызовов, которая удовлетворительно описывает процесс поступления первичных вызовов от большой группы источников при сравнительной простоте получаемых при ее исполь-

зовании результатов; примитивный поток позволяет получить результаты с большой степенью приближения для реального потока от ограниченной группы источников.

На входы системы  $M / M / V / W, r / FF / R$  поступает простейший поток вызовов с параметром  $\lambda = \text{const}$ . На входы системы  $M_i / M / V / W, r / FF / R$  поступает примитивный поток вызовов с параметром  $\lambda(i) = \alpha \cdot (N - i)$ , где  $\alpha$  – интенсивность потока заявок от одного источника в свободном состоянии;  $i$  – число заявок, находящихся на обслуживании.

## 2. Определение момента поступления $i$ -го вызова.

Для определения момента поступления вызова  $t_i$  выполняется процедура сложения  $t_i = t_{i-1} + \tau_i$ , где  $\tau_i$  – очередной промежуток между вызовами;  $t_{i-1}$  – момент поступления предыдущего вызова. Интервал между вызовами  $\tau_i$  – величина случайная, распределенная по экспоненциальному закону, для чего реализуется ГПСЧ.

3. Определение допустимого времени ожидания вызова в очереди на обслуживание оператором  $t_{ож} \leq t_{дон}$ .

## 4. Определение длительности установленного соединения.

Для формирования СЧ, определяющего длительность установленных соединений, используется второй ГПСЧ. Полученное случайное число  $X_i$  используется для определения времени окончания обслуживания данного вызова помощью процедуры сложения:

$$t_{ок.обсл_i} = t_i + X_i, \quad (1)$$

где  $i = 1, 2, 3, \dots$

## 5. Определение показателей качества обслуживания.

Процесс обслуживания оператором входного потока вызовов характеризуется основными и вспомогательными показателями качества обслуживания (далее – ПКО).

Для системы с ожиданием в качестве основного ПКО используется вероятность потерь по вызовам как вероятность того, что время ожидания превысит требуемую величину:

$$D_g = P(t_{ож} > t_{дон}) = \frac{C_{t_{ож} > t_{дон}}}{C_{пост}}. \quad (2)$$

где  $C_{t_{ож} > t_{дон}} = C_{i \geq d}$  – количество необслуженных вызовов;  $C_{пост}$  – общее количество вызовов.

Вспомогательные показатели:

- среднее время ожидания для всех вызовов  $\bar{t}_{ож}$ ;
- средняя длина очереди  $\bar{r}$ .

Для фиксации основного ПКО должны быть организованы счетчики. Для системы с ожиданием один счетчик фиксирует общее количество поступивших вызовов  $C_{пост}$ , второй счетчик подсчитывает число необслуженных вызовов по причине превышения допустимого времени ожидания  $t_{ож} > t_{дон}$ .

## 6. Оценка действий обучающегося на основе полученных ПКО.

Таким образом, при разработке модуля обработки информации, управления вызовами и соединениями для моделирования потока вызовов необходимо использовать два независимых ГПСЧ. Первый ГПСЧ используется для моделирования интервалов между вызовами, второй – для моделирования длительности соединений. Исходя из принятых до-

пущений оба ГПСЧ должны генерировать последовательности СЧ, распределенных по экспоненциальному закону и не коррелированных между собой.

Известные методы получения экспоненциально распределенной последовательности СЧ основываются на преобразовании исходной линейно распределенной случайной последовательности [2].

В соответствии с методом логарифма, если экспоненциальное распределение задается формулой

$$F(x) = 1 - e^{-x/\mu}, \quad x \geq 0, \quad (3)$$

то случайная величина

$$X = -\mu \ln U, \quad 0 < U \leq 1 \quad (4)$$

имеет экспоненциальное распределение со средним  $\mu$ , если  $U$  – равномернораспределенная случайная величина на интервале  $[0, 1]$ .

В случае, когда  $U = 0$ , оно заменяется на некоторое достаточно малое значение, для которого может быть вычислен логарифм с заданной точностью.

В [2] также описан быстрый итерационный алгоритм генерации экспоненциально распределенных случайных чисел, основанный на генерации битовых последовательностей.

Для генерации равномернораспределенной случайной величины  $U$  на интервале  $[0, 1]$  могут быть использованы следующие широко известные методы:

- линейный конгруэнтный метод (LCPRNG) [2];
- метод вихря Мерсена (Mersenne Twister) [10].

Поскольку для задач имитационного моделирования не требуется криптографическая стойкость случайных последовательностей, то для реализации ГПСЧ целесообразно использовать метод с наиболее простой программной реализацией – LCPRNG. Метод основан на генерации последовательности в соответствии с простой рекуррентной формулой

$$X_{k+1} = (aX_k + c) \bmod m, \quad (5)$$

где  $a, c, m$  – некоторые целые числа.

Получаемая последовательность зависит от начального значения  $X_0$  – «посева» (seed). Поскольку для имитационного моделирования требуются две псевдослучайные последовательности, то для их генерации необходимо использовать разные значения  $X_0$ . Чтобы получить разные последовательности для каждого запуска ГПСЧ, для начального заполнения  $X_0$  должен использоваться источник энтропии. В качестве источника энтропии может быть использована комбинация значений системного таймера, серийных номеров процессора и жесткого диска, MAC-адреса компьютера.

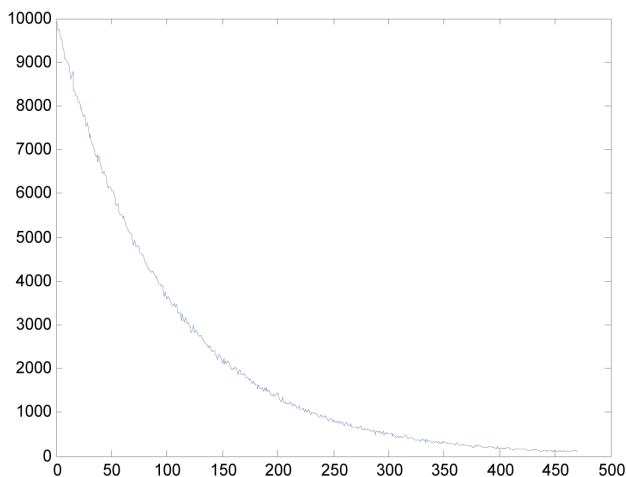
Используя свойства рекуррентной последовательности (5), могут быть подобраны коэффициенты  $a, c, m$  таким образом, чтобы период последовательности был максимален [2]. Одна из комбинаций коэффициентов, которая позволяет получить максимальную последовательность 32-битных целых чисел, была использована в качестве минимального стандарта для языка программирования C++11 [9; 11]. Эта комбинация следующая:

$$a = 48271, \quad c = 0, \quad m = 2^{31-1}.$$

Поскольку LCPRNG генерирует целочисленную последовательность на интервале  $[0, 2^{31-2}]$ , то ее необходимо привести к вещественной последовательности случайных величин  $U$  на интервале  $[0, 1]$ . Такое преобразование возможно с точностью  $2^{-31}$ .

Для экспериментальной оценки качества полученного распределения псевдослучайных чисел была дополнительно разработана программа на языке C++, в которой использовался линейный конгруэнтный генератор `minstd_rand` из стандартной библиотеки C++ с указанными выше коэффициентами минимального стандарта.

Эмпирическое распределение частот случайных чисел показано на Рисунке 1.



**Рисунок 1.** Эмпирическое распределение частот случайных чисел

Из графика видно, что эмпирическое распределение соответствует экспоненциальному закону.

#### *Описание программного тренажера МК*

На основе проведенных исследований разработана на языке программирования C++ новая версия тренажера МК, который обеспечивает демонстрационный, тренировочный и контрольный режимы функционирования.

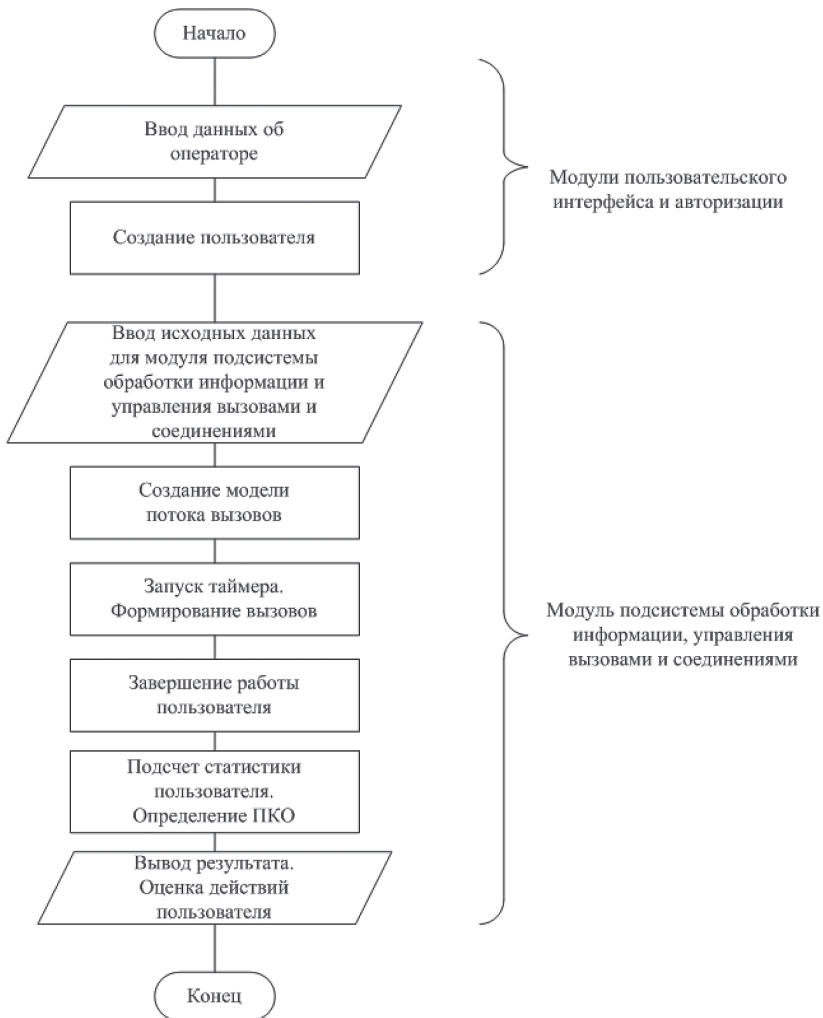
Последовательность работы с тренажером МК при обслуживании вызовов заключается в следующем (см. Рисунок 2).

1. Запуск модуля пользовательского интерфейса для отображения различных экранных форм на мониторе РМО.
2. Запуск модуля авторизации для создания учетной записи пользователя.
3. Запуск модуля подсистемы обработки информации, управления вызовами и соединениями для воссоздания процесса работы оператора МК.
4. Анализ ПКО по собранным статистическим данным.

Процесс моделирования будет длиться по установленному для тренировки или контроля таймеру.

В модуле подсистемы обработки информации, управления вызовами и соединениями на основании вводимых пользователем исходных данных строится модель вызовов, производимых на станции и контролируемых оператором коммутатора. В процессе работы подсистема управления вызовами передает пользовательскому интерфейсу как по запросу, так и в виде уведомлений всю информацию, необходимую для индикации текущего состояния системы и ведения истории соединений.

Разработка тренажера междугороднего коммутатора на основе имитационного...



**Рисунок 2.** Обобщенная схема алгоритма работы тренажера МК

По завершении работы тренажера пользователю выводятся данные о его работе:

- количество поступивших, обслуженных и необслуженных вызовов;
- вероятность потерь по вызовам.

На основе представленных данных осуществляется оценка действий пользователя.

#### *Заключение*

В данной работе представлен подход к разработке программного тренажера коммутатора, который приблизил условия работы оператора к реальным. Модульное построение тренажера позволяет расширять возможности по моделированию используемых законов распределения и управления вызовами и соединениями.

Использование тренажера обеспечивает повышение качества подготовки инженерно-технического персонала в условиях невозможности задействования для обучения используемого на СССН коммутационного оборудования.

## Литература

1. Иванова Е. О., Осмоловская И. М., Шабалин Ю. Е. Конструирование учебников для реализации процесса обучения в информационно-образовательной среде: монография. М.: Институт стратегии развития образования РАО, 2017. 188 с.
2. Кнут Д.Э. Искусство программирования. 3-е изд. Т. 2. Получисленные алгоритмы: пер. с англ. М.: Вильямс, 2001. 832 с.
3. Компьютерные технологии в науке и образовании / Н.Н. Зиятдинов, Л.М. Дмитриева, А.Е. Серёжкина, М.Е. Дмитриев // Вестник технологического университета. 2015. Т. 18, № 2. С. 357–361.
4. Корнышев Ю.Н., Пшеничников А.П., Харкевич А.Д. Теория телеграфика. М.: Радио и связь, 1996. 272 с.
5. Мартюшова Я.Г. Теоретические основания конструирования электронных учебников для студентов технических университетов // Отечественная и зарубежная педагогика. 2018. № 5 (54). С. 151–165.
6. Тренажер электронного ручного междугородного коммутатора: свидетельство о государственной регистрации № 2016616287 Российская Федерация / А.Г. Коркин, А.А. Невров, В.О. Куваев; заявители и правообладатели авторы. № 2016613808; заявл. 19.04.2016; опубл. 08.06.2016.
7. Филатова Н.Н., Вавилова Н.И., Ахремчик О.Л. Мультимедиа тренажерные комплексы для технического образования // Educational Technology & Society. 2003. № 6 (3).
8. Якушева Н.М. Дидактические принципы создания средств E-Learning // Вестник университета (ГУУ). 2011. № 16. С. 49–55.
9. Marsaglia George (1993) Technical correspondence: Remarks on Choosing and Implementing Random Number Generators. Communications of the ACM, 36(7), pp. 105–108.
10. Matsumoto M., Kurita Y. (1992) Twisted GFSR generators. ACM Trans. on Modeling and Computer Simulations, vol. 2, no. 3, pp. 179–194.
11. Sullivan Stephen. Technical correspondence: Another test for randomness. Communications of the ACM, vol. 36 (7), p. 108.

## References

1. Ivanova E.O., Osmolovskaya I.M., Shabalin Yu.E. (2017) *Konstruirovaniye uchebnikov dlya realizatsii processa obucheniya v informacionno-obrazovatel'noj srede* [Designing textbooks for the implementation of the learning process in the information and educational environment]. Moscow, Institut strategii razvitiya obrazovaniya RAO, 188 p. (in Russian).
2. Knut D.E. (2001) *Iskusstvo programmirovaniya. T. 2. Poluchislennyye algoritmy* [The art of programming. Vol. 2. Numeric Algorithms]. Moscow, Vil'yams, 832 p. (in Russian).
3. Ziyatdinov N.N., Dmitrieva L.M., Seryozhkina A.E., Dmitriev M.E. (2015) *Komp'yuternyye tekhnologii v nauke i obrazovanii* [Computer technologies in science and education]. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta*, vol. 18, no. 2, pp. 357–361 (in Russian).



4. Kornyshev Yu.N., Pshenichnikov A.P., Harkevich A.D. (1996) *Teoriya teletrafika* [Teletraffic theory]. Moscow, Radio i svyaz'Publishing, 272 p. (in Russian).
5. Martyushova Ya.G. (2018) *Teoreticheskie osnovaniya konstruirovaniya elektronnykh uchebnikov dlya studentov tekhnicheskikh universitetov* [Theoretical foundations for the design of electronic textbooks for students of technical universities] *Otechestvennaya i zarubezhnaya pedagogika*, no. 5 (54), pp. 151–165 (in Russian).
6. Korokin A.G., Newrov A.A., Kuvaev V.O. (2016) *Trenazher elektronnoy ruzhnogo mezhdugorodnego kommutatora* [Electronic Manual Long Distance Switch Trainer]: svidetel'stvo o gosudarstvennoj registratsii № 2016616287 Rossijskaya Federatsiya, № 2016613808.
7. Filatova N.N., Vavilova N.I., Ahremchik O.L. (2003) *Mul'timedia trenazhernye komplekсы dlya tekhnicheskogo obrazovaniya* [Multimedia training complexes for technical education]. *Educational Technology & Society*, no. 6 (3).
8. Yakusheva N.M. (2011) *Didakticheskie principy sozdaniya sredstv E-Learning* [Didactic principles of creating E-Learning products]. *Vestnik universiteta (GUU)*, no. 16, pp. 49–55 (in Russian).
9. Marsaglia George (1993) Technical correspondence: Remarks on Choosing and Implementing Random Number Generators. *Communications of the ACM*, 36 (7), pp. 105–108.
10. Matsumoto M., Kurita Y. (1992) Twisted GFSR generators. *ACM Trans. on Modeling and Computer Simulations*, vol. 2, no. 3, pp. 179–194.
11. Sullivan Stephen. Technical correspondence: Another test for randomness. *Communications of the ACM*, vol. 36 (7), p. 108.