

УДК 004.7:421

DOI: 10.26102/2310-6018/2019.26.3.001

С.А. Лаптик, Ф.Н. Абу-Абед  
**РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО СРЕДСТВА ДЛЯ  
МОДЕЛИРОВАНИЯ СЕТИ С НЕОДНОРОДНОЙ НАГРУЗКОЙ**  
*Тверской государственной технической университет,  
Тверь, Россия*

*Исследование посвящено разработке программного средства, предназначенного для моделирования сетей с неоднородной нагрузкой с дальнейшим определением характеристик сетевого трафика. Пульсации трафика, неоднородности потоков заявок формируют неравномерную нагрузку в вычислительных сетях. Процесс моделирования сетей перед их непосредственным проектированием является первостепенной задачей, соответственно разработка программного средства (инструмента) моделирования сетей является актуальной задачей. Разработка алгоритмических и программных средств моделирования сетевого трафика значительно упрощает процесс исследования вычислительных сетей и способствует выработке рекомендаций для дальнейшего перераспределения нагрузки между узлами сети. Каждая разрабатываемая модель имеет свои ограничения и от них зависит достоверность вероятностных результатов моделирования, которые зависят от выбранного математического аппарата. Аппарат теории массового обслуживания позволяет осуществить анализ полученных результатов на уровне их средних значений, а имитационное моделирование позволяет в течение установленного модельного времени осуществить мониторинг изменений сетевого трафика за весь период моделирования. Разработанное программное средство базируется на модификации уже существующего классического алгоритма расчета показателей производительности сетей ЭВМ с неоднородным трафиком. Алгоритм позволяет оптимизировать значения параметров направленных на повышение показателей качества работы сетей с неоднородной нагрузкой.*

**Ключевые слова:** моделирование, компьютерные сети, сетевой трафик, сети с неоднородной нагрузкой, производительность.

### **Введение**

В последние годы в сетевых и телекоммуникационных технологиях произошли значительные прорывы и скачки, связанные с интеграцией компьютерных и мультисервисных сетей и систем связи, в связи с цифровизацией деятельности различных отраслей науки, промышленности и экономики.

Процесс обслуживания составных сетей различного масштаба, с различными топологиями, включающих в свой состав разнообразное программное и техническое обеспечения требует особого внимания на начальной стадии их проектирования, а значит применение алгоритмических и программных решений направленных на моделирование возможных изменений в маршрутных интенсивностях, формирующих сетевой трафик. Существующие на сегодняшний день программные

средства не позволяют в полной мере исследовать диапазоны изменения параметров, влияющих на перераспределение нагрузки, поступающей в сеть. В основном в сетевых тренажерах чаще всего встречаются готовые шаблоны оборудования с ограниченным диапазоном настроек, изменение которых не в полной мере возможно контролировать на реальном объекте. В настоящее время не все специализированные имитационные системы моделирования (GPSS, Opnet Modeler, AnyLogic и др.) позволяют графически промоделировать изменения (скачки) сетевого трафика в каналах, а также не имеют понятного интерфейса, таким образом разработка собственного программного средства является актуальной задачей. В статье предлагается использовать единую сетевую модель, включающую все характеристики сети с возможностью определения вероятностно-временных показателей [1].

### **Алгоритмы работы программного средства**

#### *Базовый алгоритм моделирования сети с неоднородной нагрузкой*

В базовом алгоритме [2] в процессе передачи сообщения не учитывается время ожидания начала его передачи [3].

Идея базового метода заключается в задаче анализа производительности характеристик сети, модель сети декомпозируется на отдельные узлы с вычислением характеристик входных и выходных потоков в каждом узле [4].

Описание работы алгоритма (Рисунок 1):

1. В первом блоке происходит декомпозиция сети на отдельные узлы.
2. В блоке номер два, рассчитываются входные характеристики каждого узла.
3. Далее в блоках 3 – 8 происходит расчет выходных характеристик каждого узла.
4. В блоке номер девять рассчитываются характеристики всей сети в целом.
5. Конец.

#### *Модифицированный алгоритм моделирования сети*

Для улучшения показателей качества работы предлагается модификация, направленная на: разделение всего времени, на интервалы (слоты) и сведение неоднородного трафика к эквивалентному однородному с точки зрения загрузки [5]. Вводятся счетчики, синхронизирующие моменты времени излучения очередного сигнала.

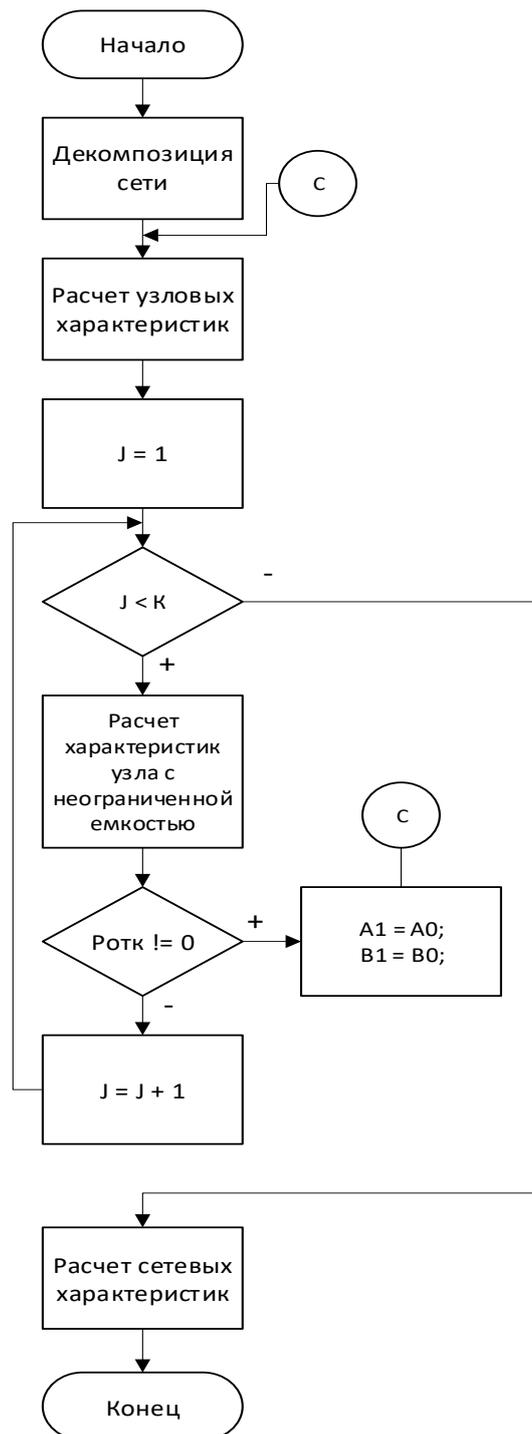


Рисунок 1 – Алгоритм моделирования сети с неоднородной нагрузкой

Описание работы алгоритма (Рисунок 2):

1. В первом блоке происходит сведение неоднородного трафика, к эквивалентному с точки зрения нагрузки.
2. В блоках 2 – 8 происходит расчет выходных характеристик каждого узла.
3. В блоке номер девять рассчитываются характеристики всей сети в целом.

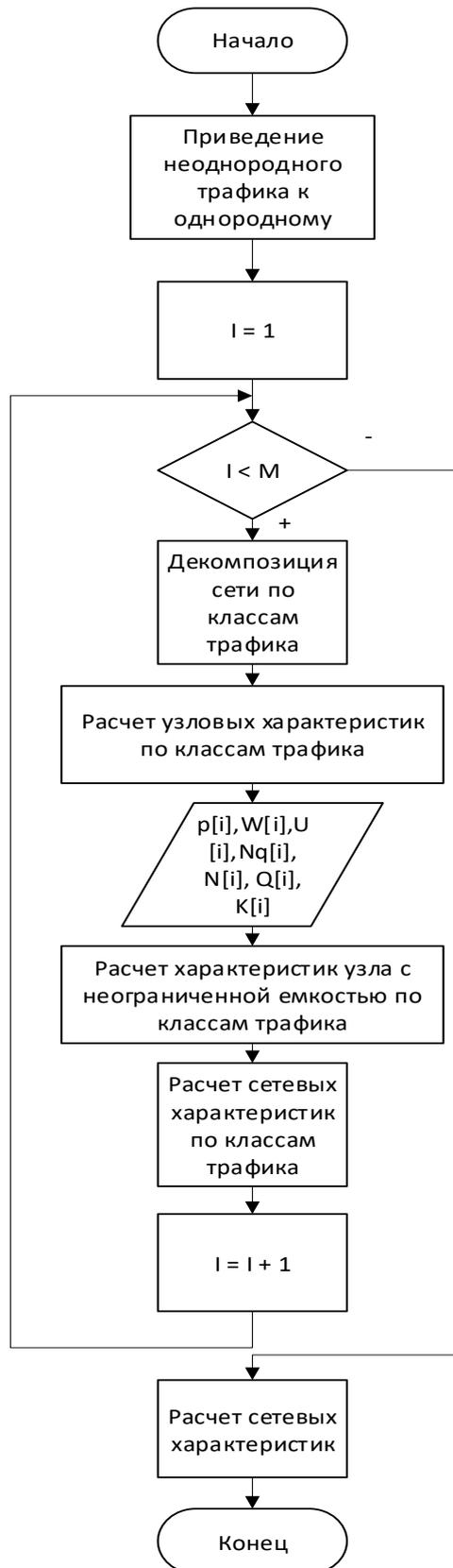


Рисунок 2 – Модифицированный алгоритм моделирования сети с неоднородной нагрузкой

## Укрупненная схема расчета оценки показателей производительности

На Рисунке 3 представлена укрупненная схема расчета характеристик сетевых моделей [6].



Рисунок 3 – Укрупненная схема расчета характеристик сетевых моделей

Сведения необходимые для реализации модифицированного алгоритма включают следующие преобразования исходных параметров [7]:

1)  $\Lambda = \sum_{k=1}^H \lambda_k$  — интенсивность объединенного потока (простейшего);

2)  $B = \sum_{k=1}^H \left( \frac{\lambda_k}{\Lambda} \right) b_k$  — усредненное время обслуживания заявок

объединенного потока, где  $\frac{\lambda_k}{\Lambda}$  — доля заявок класса  $k$  в суммарном потоке ( $k = \overline{1, H}$ );

3)  $\Lambda B^2 (1 + \nu^2) = \sum_{k=1}^H \lambda_k b_k^2 (1 + \nu_k^2)$  — из этого выражения определяется КВ  $\nu$  длительности обслуживания заявок объединенного потока.

После преобразований исходная модель принимает вид (Рисунок 4):

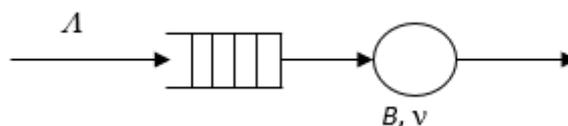


Рисунок 4 – Модель с однородной нагрузкой

### Разработка внешнего вида программного средства

На главной форме приложения содержится минимальный и достаточный набор элементов для: ввода исходных данных, получения результатов и визуализации результатов моделирования [8].

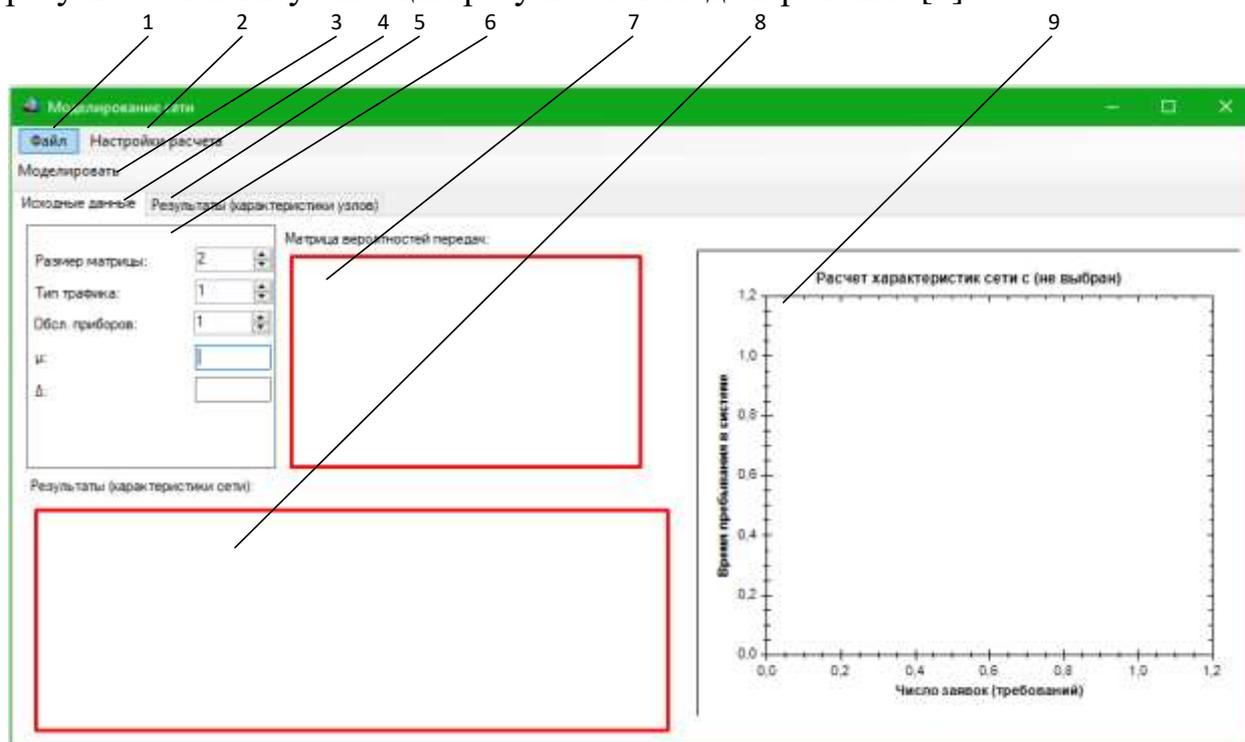


Рисунок 5 – Главная экранная форма разрабатываемого приложения

На Рисунке 5 выделены основные блоки разработанного приложения. В прямоугольник обведены области с таблицами (7) – для ввода исходных данных, (8) – для вывода результатов. Области становятся видимыми при определенных условиях. [9]

### Состав панели элементов

1. Кнопка, открывающая меню основных функций приложения (выход).
2. Кнопка, которая позволяет выбрать алгоритм моделирования сети (с неоднородным/однородным трафиком) (Рисунок 6).
3. Кнопка, запускающая алгоритм моделирования при заданных исходных данных.
4. Страница с исходными данными для моделирования, где вводятся данные для моделирования.

5. Страница на которой есть табличная часть, где можно посмотреть детальные результаты по каждому узлу.
6. Панель с элементами для задания исходных данных.
7. Область в которой задается матрица вероятностей передач.
8. Область в которой выводятся результаты (характеристики) сети.
9. Поле графика, показывающего зависимость времени пребывания заявки в системе от интенсивности внешнего потока на протяжении времени процесса моделирования (10 заявок отобранных на равных участках времени).

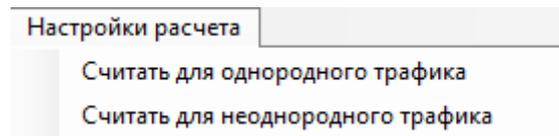


Рисунок 6 – Меню выбора настройки расчета характеристик сети из главной экранной формы

### Результаты разработки программного средства

Разработанное программное средство позволяет отражать информацию о входных данных, выходных параметрах и позволяет исследователю осуществлять их визуализацию с целью мониторинга необходимого для оперативной поддержки принятия решений.

1. Входные данные:
  - 1.1.  $r_{i,j}$  - матрица интенсивностей передач;
  - 1.2.  $N$  – количество заявок в системе.Для каждого сетевого узла задаются индивидуальные параметры:
  - 1.3.  $\gamma$  - интенсивность поступления заявок из внешнего потока;
  - 1.4.  $\mu$  - интенсивность обслуживания заявок в обслуживающем приборе;
  - 1.5.  $m$  – количество обслуживающих приборов;
2. Выходные данные (данные узла):
  - 2.1.  $\lambda$  - интенсивность входного потока заявок сетевого узла;
  - 2.2.  $\rho$  – загрузка сетевого узла;
  - 2.3.  $W$  - среднее время ожидания заявки в сетевом узле;
  - 2.4.  $U$  - среднее время пребывания заявки в сетевом;
  - 2.5.  $N_q$  - длина очереди для сетевого узла;
  - 2.6.  $P_0, \dots, P_k$  - вероятности состояний сетевого узла.
3. Выходные параметры (сетевые):
  - 3.1.  $W_c$  - среднее время ожидания в системе массового обслуживания;
  - 3.2.  $N_c$  – количество заявок в системе массового обслуживания;

3.3.  $U_c$  - среднее время пребывания в системе массового обслуживания;

3.4.  $N_q$  - общая длина очереди.

На Рисунках 7,8 представлены результаты работы разработанного программного средства.

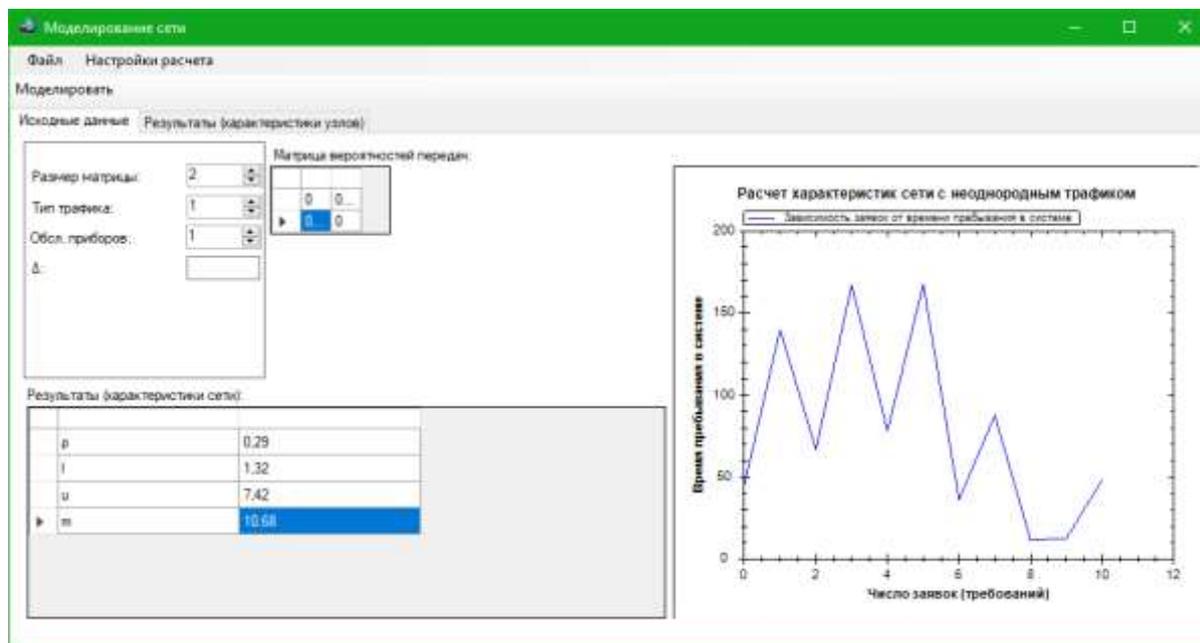


Рисунок 7 – Моделирование сети с помощью базового метода

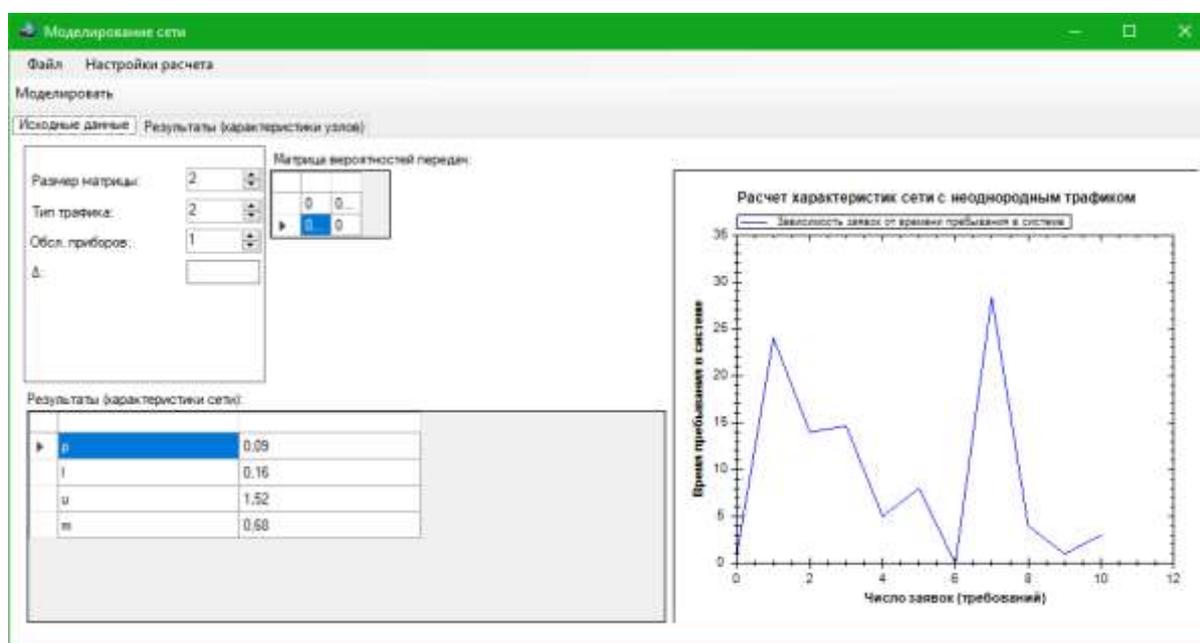


Рисунок 8 – Моделирование сети с помощью модифицированного метода  
**Сравнительный анализ результатов моделирования одной сети**  
Базовый метод

В базовом методе загрузка системы составляет 29%, а максимальное время пребывания заявки в системе равно 170 мс.

При одних и тех же исходных данных в модифицированном методе система загружена на 9%, а максимальное время пребывания заявки в системе равно 28 мс. Из этого можно сделать вывод, что при использовании базового метода имеется запас 71% по производительности, а при использовании модифицированного метода 91%. В реальных системах такая загрузка является хорошим показателем. С точки зрения производительности модифицированный метод лучше базового на 31%. [10]

### **Последовательность действий по работе с программным средством**

Вначале определяются характеристики отдельного узла системы массового обслуживания (СМО). Алгоритм включает в себя последовательность действий из пяти шагов:

Шаг 1. Пользователь задает исходные данные: матрицу вероятностей передач, тип трафика, количество обслуживающих приборов, интенсивность обслуживания.

Шаг 2. Происходит инициализация начальных переменных, необходимых для расчета основных показателей сети, расчет интенсивностей поступления в  $i$ -ый канал связи.

Шаг 3. Планируется приход первой заявки в систему.

Шаг 4. Сдвиг модельного времени на момент ближайшего события.

Шаг 5. Запуск алгоритма моделирования сети с выбранным типом трафика.

### **Заключение**

Анализ полученных результатов подтверждает корректность выбора метода и модели, используемых при реализации программного средства. Подобная разработка способствует процессам разработки, обслуживания и прогнозирования развития компьютерных сетей путем мониторинга показателей их производительности. Решения представленные в работе позволяют визуализировать изменения (скачки) сетевого трафика в каналах, при различных пульсациях сетевого трафика с учетом изменений в его объеме.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. В.М. Вишневский. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей. В.М. Вишневский. - М.: Техносфера, 2003. - 512 с.

2. Ф.Н. Абу-Абед, В.А. Григорьев. Моделирование динамических и дискретных систем: учебное пособие. Тверь: Тверской государственный технический университет, 2015. 151 с.
3. М.П. Берёзко Математические модели исследования алгоритмов маршрутизации в сетях передачи данных / М.П. Берёзко, В.М. Вишневский, Е.В. Левнер, Е.В. Федотов // Информационные процессы. — 2001. - Том 1. - №2. - С. 103-125.
4. С.А. Лаптик, Ф.Н. Абу-Абед Об актуальности создания методов оценки показателей производительности компьютерных сетей /С.А. Лаптик Ф.Н. Абу-Абед // Информационные ресурсы и системы в экономике, науке и образовании Сборник статей VIII Международной научно-практической конференции. Пенза. 2018. С. 47-50.
5. С.А. Лаптик, Ф.Н. Абу-Абед Анализ характеристик производительности компьютерных сетей с неоднородным трафиком /С.А. Лаптик Ф.Н. Абу-Абед // Информационные ресурсы и системы в экономике, науке и образовании Сборник статей VIII Международной научно-практической конференции. Пенза. 2018. С. 51-55.
6. В.Н. Тарасов, Н.Ф. Бахарева Компьютерное моделирование вычислительных систем. Теория. Алгоритмы. Программы / Н.Ф.Бахарева, В.Н.Тарасов, А.Л.Коннов // Самара, ПГУТИ.- 2017 г. – 208с.
7. Л. Клейнрок Вычислительные системы с очередями: Пер.с англ. - М.:Мир,1979. - 600 с.
8. Е.В. Кудрина Основы алгоритмизации и программирования на языке C# : учебное пособие для бакалавриата и специалитета / Е. В. Кудрина, М. В. Огнева. — Москва : Издательство Юрайт, 2019. — 322 с.
9. С.В. Зыков Программирование. Объектно-ориентированный подход : учебник и практикум для академического бакалавриата / С. В. Зыков. — Москва : Издательство Юрайт, 2019. — 155 с.
10. Ф.Н. Абу-Абед Методы приближенной оценки характеристик вычислительных систем / Ф.Н. Абу-Абед // Аналитические и численные методы моделирования естественнонаучных и социальных проблем Сборник статей VII Международной научно-практической конференции. Пенза. 2012. С. 84-87.

S.A. Laptik, F.N. Abu-Abed  
**DEVELOPMENT OF SOFTWARE FOR MODELING A NETWORK  
WITH INHOMOGENEOUS LOAD**

*Tver State Technical University,  
Tver, Russia*

*This paper devoted to the development of software designed to simulate networks with heterogeneous load, with further determination of the characteristics of network traffic. Traffic pulsations, inhomogeneities of application flow form an uneven load in computer networks. The process of modeling networks before their direct design is of paramount importance, respectively, the development of software (tool) for modeling networks is an important task. The development of algorithmic and software tools for modeling network traffic greatly simplifies the process of researching computer networks and contributes to the development of recommendations for further redistribution of load between network nodes. Each model under development has its own limitations and the reliability of probabilistic simulation results, which depend on the chosen mathematical apparatus, depends on them. The apparatus of queuing theory allows analyzing the results obtained at the level of their average values, and simulation modeling allows monitoring changes in network traffic over the entire simulation period for a set model time. The developed software is based on the modification of the already existing classical algorithm for calculating the performance of computer networks with heterogeneous traffic. The algorithm allows to optimize the values of parameters aimed at improving the performance indicators of networks with heterogeneous load.*

**Keywords:** modeling, computer networks, network traffic, networks with non-uniform load, performance.

## REFERENCES

1. V.M. Vishnevsky. Theoretical foundations of computer network design. V.M. Vishnevsky. -M.: Technosphere, 2003. – p. 512
2. F.N. Abu Abed, V.A. Grigoriev. Modeling of dynamic and discrete systems: a tutorial. Tver: Tver State Technical University, 2015. p. 151
3. M.P. Berozko Mathematical models for the study of routing algorithms in data networks / M.P. Berozko, V.M. Vishnevsky, E.V. Levner, E.V. Fedotov // Information processes. - 2001. - Volume 1. - №2. - p. 103-125.
4. S.A. Laptik, F.N. Abu-Abed On the relevance of creating methods for assessing the performance of computer networks /S.A. Laptik F.N. Abu-Abed // Information resources and systems in the economy, science and education Collection of articles of the VIII International Scientific and Practical Conference. Penza. 2018. p. 47-50.
5. S.A. Laptik, F.N. Abu-Abed Analysis of the performance characteristics of computer networks with heterogeneous traffic / S.A. Laptik F.N. Abu-Abed // Information resources and systems in the economy, science and education Collection of articles of the VIII International Scientific and Practical Conference. Penza. 2018. p. 51-55.

6. V.N. Tarasov, N.F. Bakhareva Computer simulation of computing systems. Theory. Algorithms. Programs / N.F. Bakhareva, V.N.Tarasov, A.L. Konnov // Samara, PGUTI.- 2017 – 208p.
7. L. Kleinrock Computing Systems with Queues: Trans. - M.: Peace, 1979. – 600 p.
8. E.V. Kudrina The Basics of Algorithmization and Programming in C #: A Manual for Baccalaureate and Specialty / E. V. Kudrina, M. V. Ogneva. - Moscow: Yurait Publishing House, 2019. - 322 p.
9. S.V. Zykov Programming. Object-oriented approach: a textbook and a workshop for academic bachelor / S.V. Zykov. - Moscow: Yurait Publishing House, 2019. - 155 p.
10. F.N. Abu-Abed Methods for the approximate evaluation of the characteristics of computer systems / F.N. Abu-Abed // Analytical and numerical methods for modeling natural science and social problems. Collection of articles of the VII International Scientific Practical Conference. Penza. 2012. p. 84-87.