

УДК 519.872: 656.6

**ОДНОКАНАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ  
С НЕОГРАНИЧЕННОЙ ОЧЕРЕДЬЮ В ANYLOGIC****SINGLE-CHANNEL QUEUING SYSTEM WITH UNLIMITED QUEUE  
IN ANYLOGIC**©**Осипов Г. С.***д-р техн. наук**Сахалинский государственный университет**г. Южно-Сахалинск, Россия, \_Osipov@rambler.ru*©**Osipov G.***Dr. habil.**Sakhalin State University**Yuzhno-Sakhalinsk, Russia, \_ Osipov@rambler.ru*

*Аннотация.* В работе рассмотрены теоретические и методологические основы аналитического моделирования одноканальных систем массового обслуживания. Приводятся зависимости, позволяющие рассчитать предельные (финальные) вероятности состояний системы. Основным методом исследования систем массового обслуживания выбран метод имитационного дискретно-событийного моделирования. В качестве среды имитационного моделирования исследуемых систем принят пакет AnyLogic, к которому реализуются все современные парадигмы моделирования. Построена имитационная модель и проводится сравнение результатов аналитического и имитационного методов моделирования для системы массового обслуживания — морской порт, состоящей из рейда, реализующего очередь на обслуживание и специализированного грузового терминала, обеспечивающего обработку судов (погрузку / выгрузку).

В процессе работы была собрана статистика состояний системы при различных законах распределения времени обслуживания судов на терминале. Дается анализ и сравнение показателей предельных вероятностей состояний системы с полученными на основании моделирования. Делается вывод об адекватности моделей. Перспективные исследования нацелены на рассмотрение и анализ многоканальных систем с различными дисциплинами очередей и с приоритетами в обслуживании. Основная цель — оптимизация эффективности функционирования системы судно — терминал по критерию совокупных затрат.

*Abstract.* The paper discusses the theoretical and methodological foundations of analytical modeling of single-channel queuing systems. The dependences allowing to calculate the limit (final) the probability of the system states. The main research method of queuing system simulation method is selected discrete event simulation. In an environment simulation systems studied adopted a package AnyLogic, to which implemented all modern modeling paradigm. Built simulation model and a comparison of the results of the analytical and simulation techniques for queuing system — sea port, consisting of a raid that implements all maintenance and specialized cargo terminal that provides processing vessels (loading / unloading).

In operation, the system has collected statistics of states with different laws of distribution of the courts service time at the terminal. The analysis and comparison of the performance limits of probability states of the system with those obtained on the basis of simulations. The conclusion about the adequacy of the models. Prospective studies are aimed at the review and analysis of multi-channel systems with a variety of disciplines and with the priorities of queues in service.

The main purpose — to optimize the effectiveness of the functioning of the ship — terminal on the criterion of the total cost.

*Ключевые слова:* системы массового обслуживания, имитационное моделирование, морской порт, специализированный грузовой терминал.

*Keywords:* queuing systems, simulation, seaport, specialized cargo terminal.

### Введение

В настоящее время имеются классические издания, посвященные теории и системам массового обслуживания (СМО), например, [1, 2] и [3, с. 132–160]. С другой стороны, имеются публикации, в которых описывается методология имитационного моделирования и техника работы в среде AnyLogic, например, [4].

Хорошим универсальным пособием, в котором решалась задача объединения строгости математических понятий СМО и концепции имитационного моделирования является книга [5, с. 629–736]. Однако такое совмещение теории и практики является научно–популярным изданием, в котором не используются современные парадигмы имитационного моделирования на базе актуальных программных средств.

Для моделирования СМО в основном применяются две современные программные среды — GPSS World и AnyLogic. Примеры построения моделей можно найти в работах М. В. Титоренко, Р. И. Баженова [6], Е. М. Кудрявцева [7] и др. В настоящей работе в качестве системы моделирования выбрана платформа AnyLogic, которая объединяет в себе все существующие парадигмы имитационного моделирования.

На практике часто встречаются одноканальные СМО с очередью, на которую не наложено ограничений (ни по длине очереди, ни по времени ожидания), например, входящий судопоток в морском порту, имеющем один канал — специализированный грузовой терминал. Это простейшие системы, в дальнейшем планируются аналогичные исследования для многоканальных систем, систем с ограничениями на очередь, приоритетами в обслуживании и т. д. Особое внимание будет уделено обеспечению эффективности и оптимизации функционирования рассматриваемых СМО с учетом суммарных затрат по судну и терминалу.

Настоящая статья и планируемая серия нацелена на совмещение в едином контексте строгой математической теории СМО с современным программным средством для их реализации и оценки адекватности полученных модельных решений с предельными величинами из классической теории.

### Постановка задачи и метод решения

Рассматривается сложная система — СМО (морской порт с неограниченным рейдом и терминалом), в которую поступает судопоток с интенсивностью  $\lambda$ , суда обслуживаются на терминале с интенсивностью  $\mu$ , требуется: определить предельные вероятности состояний системы и показатели ее эффективности; построить модель системы в AnyLogic; сравнить результаты аналитических расчетов с соответствующими показателями функционирования в системе имитационного моделирования.

Очевидно, предельные вероятности существуют, если интенсивность нагрузки терминала меньше единицы, т. е.  $\rho = \frac{\lambda}{\mu} < 1$  [3, с. 146]. В этом случае среднее время

(продолжительность) пребывания судна на рейде составит  $T_r = \frac{\rho}{\mu - \lambda}$ , а среднее число судов

в очереди на рейде определится как произведение интенсивности входящего потока судов на среднее время ожидания в очереди  $L_r = \lambda T_r$ .

Принципиальная схема исследуемой системы в AnyLogic представлена на Рисунке 1.

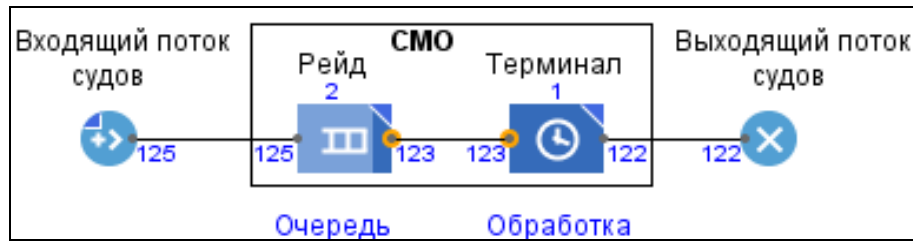


Рисунок 1. Принципиальная схема одноканальной СМО.

Интенсивность входящего потока судов равна числу судов, поступающих в систему (рейд) в единицу времени, а интенсивность обслуживания (погрузки/разгрузки) на терминале определяется средней продолжительностью обработки одного судна  $\bar{t}_s$  (эта величина подчинена экспоненциальному закону распределения), т. е.  $\mu = \frac{1}{\bar{t}_s}$ .

Для исследуемой СМО вычислим аналитически предельные вероятности состояний, построим модель, осуществим имитационное моделирование в среде AnyLogic и сравним аналитические и модельные показатели функционирования системы, состоящей из терминала для обработки судов и рейда, выполняющего роль очереди на обслуживание.

*Практическая реализация*

Пусть в порту имеется один терминал для разгрузки судов. Интенсивность потока судов равна 2 (судов в сутки). Среднее время разгрузки одного судна является случайной величиной, подчиненной экспоненциальному закону распределенной со средним значением 8 часов. Требуется найти (для предельного, стационарного режима работы терминала) среднее число судов в очереди на рейде и коэффициент загрузки терминала.

На Рисунке 2 представлены данные о длине очереди и коэффициенте загрузки терминала после обработки в системе 122 судов (Рисунок 1). Показаны модельные и предельные (теоретические) величины.

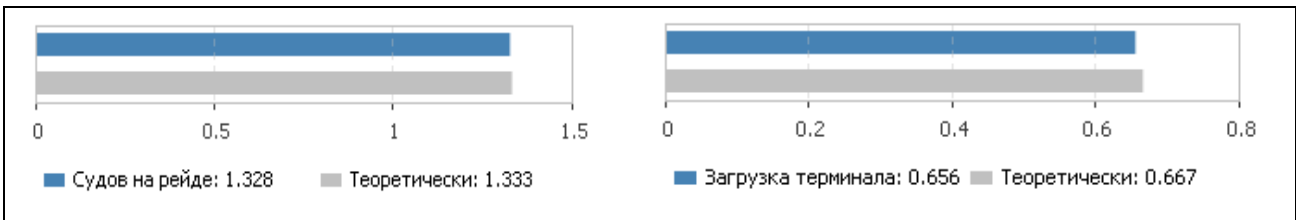


Рисунок 2. Сравнение аналитических и модельных характеристик.

Статистика о размере очереди приведена на Рисунке 3. Слева — функции распределения и плотности вероятности, справа — изменение количества судов на рейде. В данный момент в очереди находятся два судна (Рисунок 1).

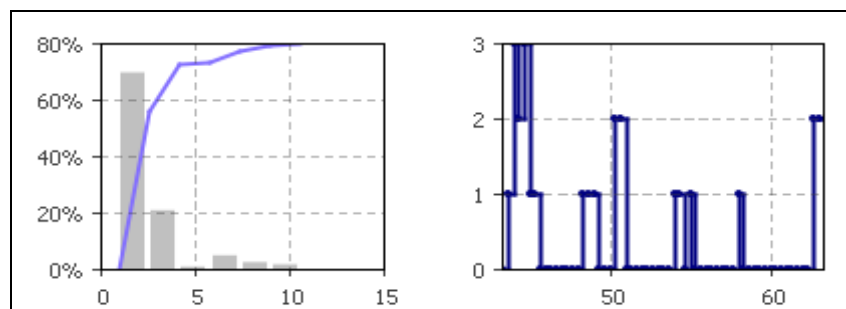


Рисунок 3 Размер очереди.

*Анализ результатов*

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод об адекватности построенной имитационной и аналитической моделей. Система асимптотически переходит в стационарный режим и ее показатели функционирования приближаются к финальным величинам.

Такое совместное исследование в одной работе и формальной математической модели СМО и ее имитационного эквивалента позволяет оценить точность и функциональную полноту построенной модели. Данный подход позволяет связать воедино строгость математических теорий с практикой использования современных программных средств. Это важно при подготовке специалистов по прикладной математике и информатике.

В дальнейшем планируется перейти к рассмотрению экономической составляющей моделирования, оптимизации и рассмотрения более сложных СМО, характерных для использования в различных областях науки и отраслях практики.

*Список литературы:*

1. Саати Т. Л. Элементы теории массового обслуживания и ее приложения. М.: Советское радио, 1965. 510 с.
2. Гнеденко Б. В., Коваленко И. Н. Введение в теорию массового обслуживания. М.: Наука, 1966. 432 с.
3. Вентцель Е. С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. М.: Наука, 1980. 208 с.
4. Карпов Ю. Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с *AnyLogic 5*. СПб.: БХВ–Петербург, 2006. 400 с.
5. Хемди А. Таха. Введение в исследование операций. Изд. 7-е. М., СПб, Киев: Вильямс, 2005. 912 с.
6. Титоренко М. В., Баженов Р. И. Об имитационном моделировании систем массового обслуживания в среде *GPSS* // *Nauka–Rastudent.ru*. 2014. №11 (11). С. 38.
7. Кудрявцев Е. М. *GPSS World*. Основы имитационного моделирования различных систем. М.: ДМК Пресс, 2004. 320 с.

*References:*

1. Saaty T. L. Elements of queueing theory and its applications. Moscow, Soviet radio, 1965. 510 p.
2. Gnedenko B. V., Kovalenko I. N. Introduction to the theory of mass service. Moscow, Nauka, 1966. 432 p.
3. Ventzel E. S. Investigation of operations: problems, principles, methodology. Moscow, Nauka, 1980. 208 p.
4. Karpov Yu. G. Simulation systems. Introduction to modeling with *AnyLogic 5*. St. Petersburg: BHV–Petersburg, 2006. 400 p.
5. Hamdy A. Taha. Introduction to operations research. Ed. 7. Moscow, St. Petersburg, Kiev: Williams, 2005. 912 p.
6. Titorenko M. V., Bazhenov R. I. About simulation modeling of queueing systems in the environment of *GPSS*. *Nauka–Rastudent.ru*. 2014, no. 11 (11), p. 38.
7. Kudryavtsev E. M. *GPSS World*. Fundamentals of simulation of various systems. Moscow, DMK Press, 2004. 320 p.

Работа поступила  
в редакцию 24.07.2016 г.

Принята к публикации  
26.07.2016 г.