



ЛОГИСТИКА

УДК 656.021.2

DOI: 10.31799/2007-5687-2020-4-59-66

МОДЕЛИРОВАНИЕ МОРСКОГО ГРУЗОВОГО ПОРТА КАК СИСТЕМЫ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ В СРЕДЕ ANYLOGIC

А. Г. Морозков, М. Р. Язвенко

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

В данной статье представлена условная модель системы массового обслуживания прибывающих в порт грузовых кораблей. Рассмотрены основные элементы систем массового обслуживания, представлено математическое обоснование модели и описана её структура с основополагающими частями СМО. С целью анализа происхождения очередей при обслуживании поступающего потока заявок в зависимости от пропускной способности системы произведено построение имитационной модели в программе Anylogic. Проведён анализ полученных результатов и сформирован вывод-рекомендация по изменению необходимых для оптимальной работы порта показателей.

Ключевые слова: системы массового обслуживания, имитационное моделирование, AnyLogic, морской порт, каналы обслуживания, очередь терминала.

Для цитирования:

Морозков А. Г., Язвенко М. Р. Моделирование морского грузового порта как системы массового обслуживания в среде AnyLogic // Системный анализ и логистика: журнал.: выпуск №4(26), ISSN 2077-5687. – СПб.: ГВАП., 2020 – с. 59-66. РИНЦ.

SIMULATION OF A SEA CARGO PORT AS A QUEUING SYSTEM IN ANYLOGIC

A. G. Morozkov, M. R. Yazvenko

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

The article presents simplified queuing system model of freight marine port. The article discusses the basic elements of queuing system, its mathematical solution and structure. Simulation model was created using AnyLogic to analyze an effect of system capacity on queue length. The results were analyzed and the solution for queue optimization was proposed.

Key words: queuing system, simulation modeling, AnyLogic, marine port, servers, queue.

For citation:

Morozkov A. G., Yazvenko M. R. Simulation of a sea cargo port as a queuing system in Anylogic // System analysis and logistics.: №4(26), ISSN 2077-5687. – Russia, Saint-Petersburg.: SUAI., 2020 – p. 59-66.

Введение

Порт играет одну из важнейших ролей в транспортной цепи, являясь сложной составной системой, предназначенной для переноса груза с одного вида транспорта на другой в кратчайшие сроки и с наименьшими затратами. Так как порт является состоящей из связанных единиц системой переноса груза, то при возникновении задержек в одной из ступеней обработки страдают показатели всей системы в целом. На практике данная проблема требует обработки большого массива данных для поиска и исправления ошибок в цепи. Одним из современных методов, позволяющих предотвратить возникновение подобных проблем ещё на этапе проектирование системы, является имитационное моделирование. Целью данной работы был анализ работы определенного числа причалов порта и выявление проблем возникновения очередей при обработке грузов с использованием положений теории массового обслуживания. Моделирование проведено с помощью среды имитационного моделирования ANYLOGIC.

1. Моделирование систем массового обслуживания транспортных систем

Для обеспечения эффективности работы порта необходимо провести анализ его работы, определить основные показатели, характеризующие объект с точки зрения системы массового



обслуживания (далее – СМО). В СМО установлено, что есть типовые пути, по которым в процессе работы приходят заявки. Заявки обслуживаются каналами, которые могут быть разнообразны по своему назначению и характеристикам, а также соотноситься в разных комбинациях.

Заявки могут приходиться случайным образом, каналы обслуживают разные заявки за разное время. Из-за этого изучение и управление данных систем является достаточно сложными, а проследить все причинно-следственные связи невозможно. Поэтому считается, что обслуживание в сложных системах носит случайный характер [1].

Единый принципиальный подход к изучению данных систем позволяет объединить их в один класс СМО. С помощью генератора случайных чисел имитируются случайные моменты появления заявок и время их обслуживания в каналах. В совокупности эти случайности подчинены статистическим закономерностям. Результат исследования моделируемой системы будет также случайной величиной, но будучи исследованной на продолжительном временном промежутке, данная величина будет усреднённым решением. Модель испытывается случайными входными запросами, подчинёнными заданному статистическому закону, а результатом являются объединённые статистические показатели, усреднённые по времени или количеству испытаний.

Основными элементами СМО являются:

- Заявки, в случае модели ими являются обслуживаемые суда в очереди, входят в систему (создаются источником заявок по заданному распределению), проходят через элементы (обслуживаются), и покидают её либо обслуженными, либо неудовлетворёнными, что является следствием обнаруженной во время нагрузки на модель проблемы по распределению и обработке заявок [1].
- Каналы – устройства СМО, обслуживающие заявки. СМО, имеющие только один канал обслуживания, называются одноканальными, а два и более – многоканальными.
- Очереди характеризуются дисциплиной обслуживания, количеством мест в очереди, структурой очереди. Существуют ограниченные и неограниченные очереди. Дисциплины обслуживания: FIFO (First In, First Out — первым пришел, первым ушел): в порядке поступления заявок в очередь. LIFO (Last In, First Out — последним пришел, первым ушел): последняя пришедшая в очередь заявка обслуживается первой. SF (Short Forward — короткие вперед): заявки обслуживаются в порядке возрастания их времени обработки [1, 2].

Основные показатели для составления выводов о работе СМО:

- вероятность обслуживания клиента системой;
- пропускная способность системы;
- вероятность отказа клиенту в обслуживании;
- вероятность занятости каждого из канала и всех вместе;
- среднее количество занятых каналов;
- вероятность простоя каждого канала;
- вероятность простоя всей системы;
- среднее количество заявок, стоящих в очереди;
- среднее время ожидания заявки в очереди;
- среднее время обслуживания заявки;
- среднее время нахождения заявки в системе.

2. Метод исследования СМО заданного порта

Условие решаемой задачи: в порт в среднем ежемесячно прибывает 20 судов по распределению Пуассона. Время обслуживания каждого судна подчиняется стандартному нормальному распределению и в среднем занимает 6 дней. Время ожидания и вместимость очереди не ограничены. Количество причалов в порту равно 5. Есть ли необходимость порту увеличить количество причалов?



Из условия задачи следует, что данный порт представляет собой многоканальную СМО с неограниченной очередью. Согласно моделируемой ситуации, суда прибывают в порт по распределению Пуассона, также называемому законом редких событий.

Простейшим потоком называется поток требований, который обладает свойствами стационарности, отсутствия последствия и ординарности. Математическое описание воздействия такого потока на системы оказывается наиболее простым.

Пусть λ – среднее число заявок простейшего потока, которые поступают в систему в единицу времени. Тогда вероятность появления k заявок простейшего потока за время t определяется формулой Пуассона:

$$P_k(t) = \frac{(\lambda t)^k e^{-\lambda t}}{k!}.$$

Эта формула отражает все свойства простейшего потока. В этой связи простейший поток называют пуассоновским потоком [3].

Искомым параметром для оценки работы n -канальной СМО в нашем случае будет являться среднее время, проведённое судном в очереди и в СМО. Чтобы математически вычислить данный параметр, необходимо сначала найти вероятность отсутствия заявок в системе p_0 по формуле (1), а затем среднюю длину очереди $L_{оч}$ по формуле (2).

$$p_0 = \left(1 + \frac{\rho}{1!} + \frac{\rho^2}{2!} + \dots + \frac{\rho^{n-1}}{(n-1)!} + \frac{\rho^n}{(n-1)!} \cdot \frac{1}{n-\rho} \right)^{-1}, \quad (1)$$

$$L_{оч} = \frac{\rho^{n+1}}{n!} \cdot \frac{n}{(n-\rho)^2} p_0, \quad (2)$$

где $\rho = \lambda/\mu$ – коэффициент загрузки СМО; μ – интенсивность обслуживания заявок.

После этого можно найти среднее время в очереди по формуле (3) и среднее время в СМО по формуле (4) [2]:

$$T_{оч} = \frac{L_{оч}}{\lambda}, \quad (3)$$

$$T_{смо} = \frac{L_{оч}}{\lambda} + \frac{1}{\mu}. \quad (4)$$

3. Описание модели

Для получения экспериментального решения данной задачи можно использовать имитационное моделирование. Обслуживание судна в порту является процессом и подразумевает под собой использование процессного моделирования. Для анализа такого процесса можно абстрагироваться от его непрерывной природы и упрощать систему до некоторых событий в жизни системы [4]. Обработку в порту можно упростить до следующей последовательности событий: прибытие в порт – ожидание на рейде – обслуживание на причале – отбытие. В имитационной модели среды AnyLogic данная схема приобретёт вид, представленный на рисунке 1 [5, 6].

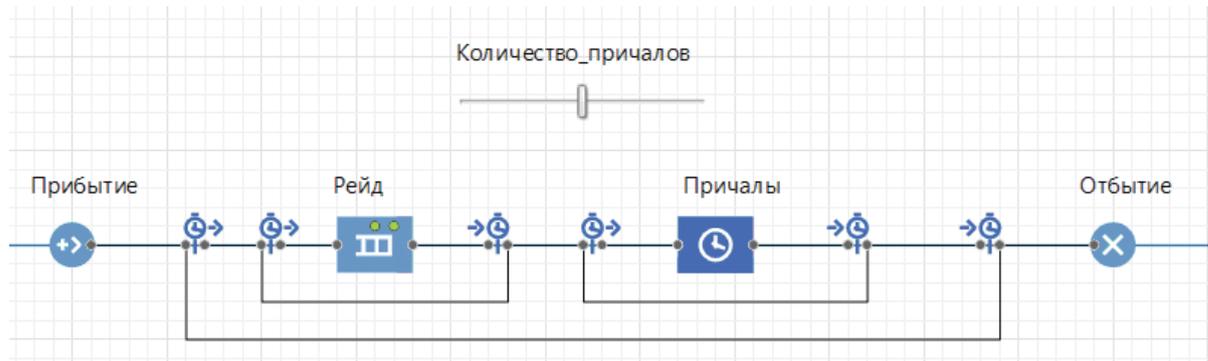


Рис.1. Принципиальная схема имитационной модели

Суда попадают в систему через блок Source «Прибытие». Согласно условию задачи, суда прибывают с распределением Пуассона с частотой 20 грузовых судов в месяц. Соответственно, интенсивность входящего потока в свойствах блока задаётся выражением « $\text{poisson}(20)$ ». После создания суда направляются в Блок «Рейд». Одновременно с этим блоки TimeMeasureStart начинают отсчёт времени, проведённого в очереди и в системе в целом, для каждого судна. Рейд является блоком очереди – Queue – с максимальной вместительностью, поскольку очередь не ограничена. Суда будут ожидать освобождения любого из каналов следующего блока и направятся в него при первой возможности. Поскольку в данной СМО отсутствуют отказы, то размер очереди не ограничивается. Блок задержки Delay «Причалы» имитирует разгрузку и обслуживание каждого судна на своём причале. Для рассмотрения вопроса о необходимости расширения причального фронта количество причалов можно регулировать бегунком «Количество_причалов». Время обслуживания каждого судна подчиняется нормальному распределению со средним значением в 6 дней и задаётся в параметрах блока выражением « $\text{normal}(1,6)$ ». Блоки TimeMeasureEnd фиксируют время, проведённое судами в очереди, на обслуживании и в системе.

Для визуализации работы модели была сделана упрощённая модель работы порта, представленная на рисунках 2 и 3. На схеме упрощённо представлены рейд, на котором суда ждут своей очереди, и причальный фронт, где суда обслуживаются. Схема наглядно показывает расположение судов и причалов, даёт представление о занятости причалов и длине очереди.



Рис. 2. Оконная форма 2D-схемы

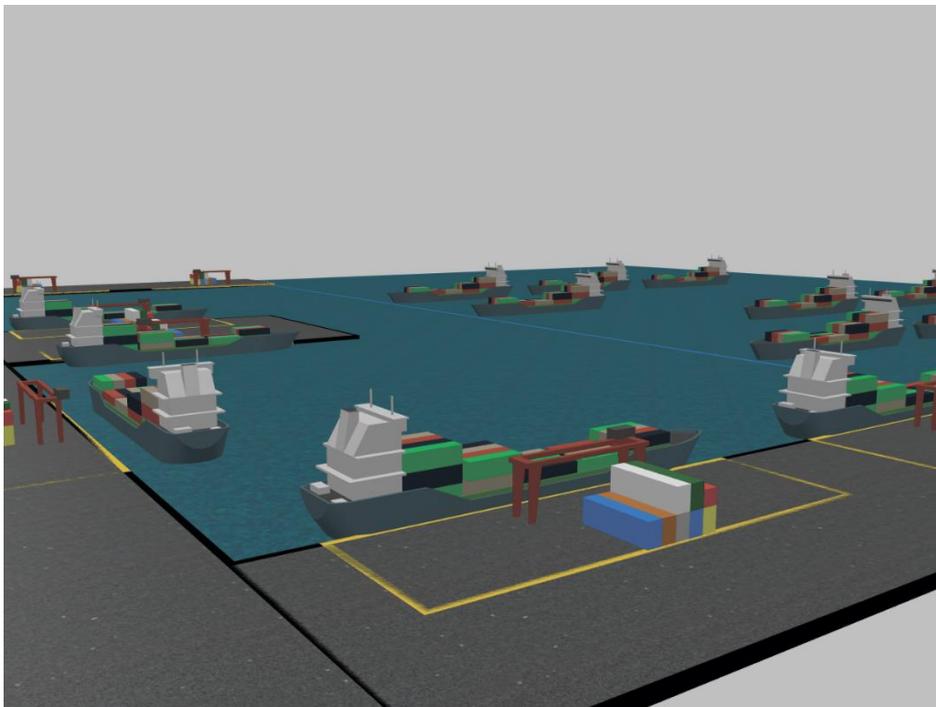


Рис. 3. Оконная форма 3D-модели

Для оценки работы порта одной только анимированной схемы будет недостаточно. Показатели работы порта представлены в модели в виде графиков и диаграмм на рисунке 4. Графики отображают время, которое каждое судно провело в различных стадиях обработки в порту: в очереди на рейде,



на обслуживании и в системе в целом. Диаграммы дают информацию о максимальной и средней длине очереди, средней занятости причалов в процентах. Ещё две диаграммы показывают распределение времени, проведённого судном в ожидании и в системе. Также данные диаграммы показывают средние значения обеих величин, на основе которых и можно судить о работе порта в целом.

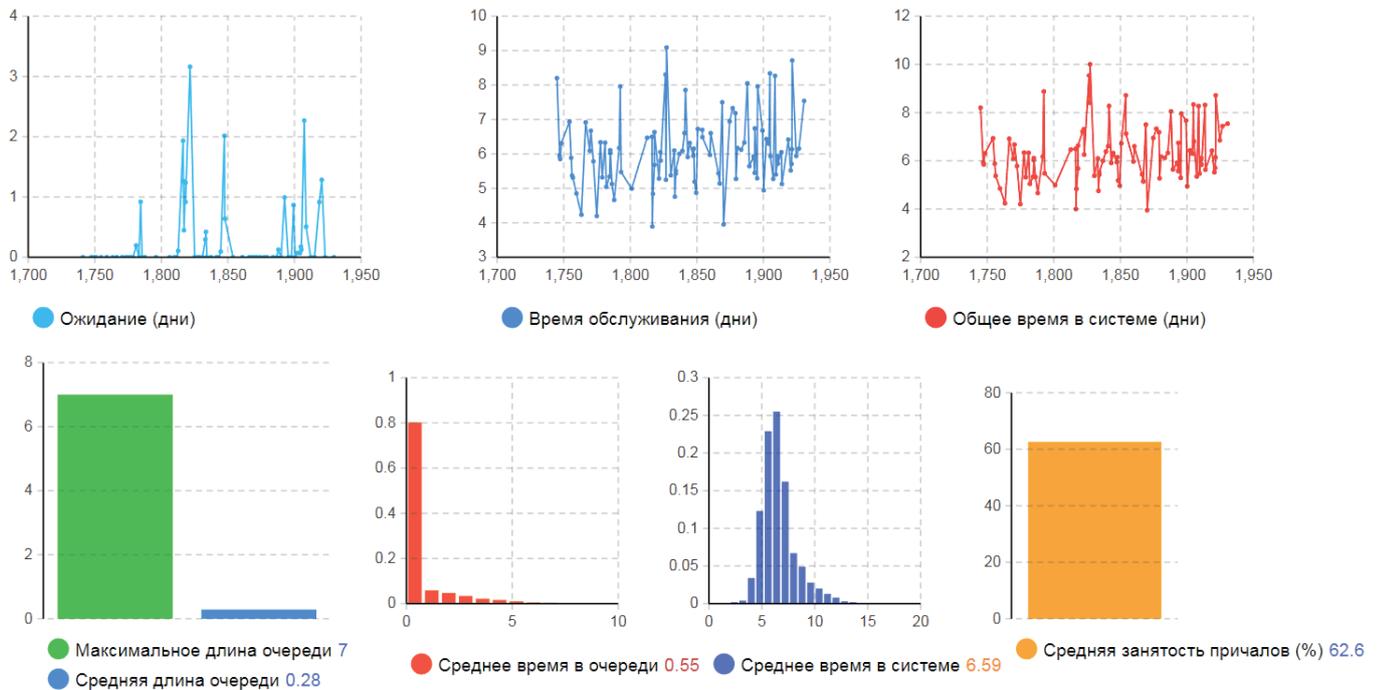


Рис. 4. Графики и диаграммы модели

Для решения задачи о расширении причального фронта нужно провести несколько экспериментов с различным количеством причалов. Допустим, что достаточным количеством судов для оценки результатов будет 1000 штук. Каждый эксперимент проводится до того момента, как тысячное судно покинет причал. Результаты экспериментов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Зависимость показателей системы от количества причалов

Количество причалов	4	5	6	7	8
Ср. длина очереди (судов)	1,31	0,28	0,07	0,03	0,01
Ср. время в очереди (дни)	2,48	0,55	0,13	0,05	0,01
Ср. время в системе (дни)	8,47	6,59	6,17	6,05	6,02
Ср. занятость причалов (%)	78,92	62,59	51,66	44,73	38,79

Из таблицы можно сделать вывод, что порту целесообразно ввести в строй дополнительный причал для увеличения своей пропускной способности для повышения качества обслуживания, а также с запасом на будущее при увеличении годового судопотока.

Для дальнейших проверок модели рассмотрим случаи с различными интенсивностями появления судов:

- с нормальным распределением с математическим ожиданием 20 и отклонением 1;
- по расписанию;
- по пуассоновскому закону как в примере.



Нормальное распределение задаётся выражением $\text{normal}(1, 20)$ в поле «интенсивность прибытия» блока Прибытие. Расписание составлено так, чтобы среднее число судов в месяц составляло 20 судов.

Повторять расписание еженедельно

пн	вт	ср	чт	пт	сб	вс	Время
✓	<input type="checkbox"/>	✓	<input type="checkbox"/>	✓	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	10:00
<input type="checkbox"/>	✓	<input type="checkbox"/>	✓	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	18:00

Рис.5. Расписание прибытий

Таблица 2 – Зависимость показателей системы от количества причалов

Интенсивность	normal (1, 20)		расписание		poisson(20)	
	5	6	5	6	5	6
Количество причалов	5	6	5	6	5	6
Ср. длина очереди (судов)	1,62	0,37	0,03	0,0002	0,28	0,07
Ср. время в очереди (дни)	2,32	0,54	0,04	0,0002	0,55	0,13
Ср. время в системе (дни)	8,33	6,58	6,03	5,99	6,59	6,17
Ср. занятость причалов (%)	83,98	69,43	85,42	71,19	62,59	51,66

Заключение

Представленная имитационная модель позволяет получить быстрое и экспериментально обоснованное решение задачи нахождения основных параметров СМО с ожиданием. Однако при решении такой задачи на практике стоит учитывать и экономическую сторону вопроса. Необходимо найти баланс между издержками от расширения погрузо-разгрузочного фронта, простоя перегрузочных устройств из-за избыточной пропускной способности и потерями от простоя самих судов в очереди.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аунг Хла Мо*. Моделирование системы массового обслуживания порта Янгон // ГИАБ. 2010. №12.
2. Теория массового обслуживания. Методические указания, учебная программа и задания для контрольных работ № 1, 2 для студентов заочной формы обучения специальности 071900 “Информационные системы в технике и технологиях”. - Самара: СамГАПС, 2002.- 38с.
3. *Гнеденко, Б.В.* Введение в теорию массового обслуживания / Б.В. Гнеденко, И.Н. Коваленко. 3-е изд., испр. и доп. М.: Эдиториал УРСС, 2005. 400 с.
4. *Майоров, Н.Н.* Моделирование транспортных процессов: учеб. пособие / Н. Н. Майоров, В. А. Фетисов. – СПб.: ГУАП, 2011. – 164 с.: ил.
5. *Майоров, Н.Н.* Решение задачи прогнозирования и оперативного управления работой морской контейнерной линией на основе имитационного моделирования / Н.Н. Майоров, В.А. Фетисов// Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. – 2015. – №3(31). – С. 193–201. DOI: 10.21821/2309-5180-2015-7-3-193-201.
6. *Васин А. В.* Моделирование оптимальной конфигурации морского порта / А. В. Васин, Д. С. Захаров, Л. В. Анненков // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2019. — Т. 11. — № 4. — С. 662–669. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11- 4-662-669



ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Морозков Андрей Георгиевич –

студент кафедры системного анализа и логистики
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
190000, Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А
E-mail: jakesattler660@gmail.com

Язвенко Максим Романович –

студент кафедры системного анализа и логистики
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
190000, Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А
E-mail: maksim-yazvenko@ya.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Morozkov Andrey Georgievich –

student of the system analysis and logistics department
Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation
SUAI, 67, Bolshaya Morskaya str., Saint-Petersburg, 190000, Russia
E-mail: jakesattler660@gmail.com

Yazvenko Maksim Romanovich –

student of the system analysis and logistics department
Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation
SUAI, 67, Bolshaya Morskaya str., Saint-Petersburg, 190000, Russia
E-mail: maksim-yazvenko@ya.ru