

Научная статья

УДК 656.615

DOI: <https://doi.org/10.37220/MIT.2023.59.1.037>

Аналитическая симуляционная модель произвольной системы массового обслуживания

А.Л. Кузнецов¹ thunder1950@yandex.ru, А.В. Кириченко¹ KirichenkoAV@gumrf.ru,А.Д. Семенов¹ asemyonov054@gmail.com, И.В. Русинов¹ kaf_pgt@gumrf.ru¹Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова

Аннотация. В практике технологического проектирования морских торговых портов расчетно-аналитические методы, оперирующие с детерминированными величинами, часто оказываются недостаточными. В ряде случаев искомое расширение может быть получено за счёт привлечения методов статистического моделирования (методов группы Монте-Карло), в иных случаях решение дают методы теории массового обслуживания. Использование канонических формул теории массового обслуживания осложняется весьма жесткими ограничениями на характер входного потока и параметры моделируемой системы. Более адекватным расширением является использование имитационного симуляционного моделирования, в частности, объектно-ориентированного. В то же время имитационное симуляционное моделирование, хотя и является более адекватным приближением, но в реализации оказывается существенно более трудоемкой и узкоспециализированной методикой, поскольку соответствующие модели создаются «ad hoc», т. е. адекватными конкретному объекту в конкретных условиях. В данной работе предпринята попытка найти достаточно простое и в то же время универсальное решение, которое может быть использовано для широкого круга задач технологического моделирования разнообразных транспортных объектов и процессов.

Ключевые слова: проектирование морских портов, морской порт, теория массового обслуживания, автоматизация расчетов, имитационное моделирование

Для цитирования: Кузнецов А.Л., Кириченко А.В., Семенов А.Д., Русинов И.В. Аналитическая симуляционная модель произвольной системы массового обслуживания, Морские интеллектуальные технологии. 2023. № 1 часть 1, С. 278—281. DOI: 10.37220/MIT.2023.59.1.037

Original article

DOI: <https://doi.org/10.37220/MIT.2023.59.1.037>

Analytical simulation model of a query system

Alexander L. Kuznetsov¹ thunder1950@yandex.ru, Alexander V. Kirichenko¹ KirichenkoAV@gumrf.ru,Anton D. Semenov¹ asemyonov054@gmail.com, Igor V. Rusinov¹ kaf_pgt@gumrf.ru¹Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping

Annotation. In the practice of technological design of seaports, the analytical methods that use deterministic values often occur to be incorrect. In certain cases, the result could be precise with utilization of statistical modelling methods such as Monte-Carlo method. In other cases, the correct result could be gained with implementation of query theory methods. The traditional formulas of query theory are inconvenient as it sets certain requirements to the incoming flow and system's parameters. The more adequate decision is to use agent-based simulation modelling. At the same time this method requires more labor to implement it as these models are made "ad hoc", i.e., adequate to a certain object in certain circumstances. The article is dedicated to try to find the most simple and universal method of different transportation systems' technological modelling.

Key words: seaports design, seaport, query theory, calculations' automatization, simulation modelling

For citation: Aleksandr L. Kuznetsov, Aleksandr V. Kirichenko, Anton D. Semenov, Igor V. Rusinov Automatisation of seaports' approach channel design calculations, 2023. № 1 part 1, P. 278—281. DOI: 10.37220/MIT.2023.59.1.037

Введение

Методический подход к исследованию работы грузовых терминалов, основанный на применении положений теории массового обслуживания (ТМО), применяется давно и традиционно [1, 2, 3]. Вместе с тем, с усложнением решаемых задач, проблемным вопросом становятся присущие ТМО ограничения, выраженные к требованиям к потоку заявок («однородный поток», «поток без последствий», «стационарный поток», «простейший поток», «поток

Эрланга» и др.). Адекватным решением может являться применение имитационного моделирования, однако известна его значительная трудоёмкость, иногда несоответствующая уровню решаемых оперативных задач [4, 5, 6]. Подобная практика поддерживается и современными иностранными исследователями [7, 8, 9].

Традиционная структура модели системы массового обслуживания (СМО) имеет вид показа на рис. 1.

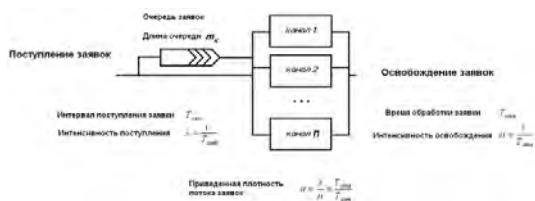


Рис. 2. Традиционная система массового обслуживания

На вход СМО поступает поток заявок, которые при наличии свободных каналов попадают на обслуживание. При всех занятых каналах поступившие в систему заявки становятся в очередь, из которой они выбираются по мере освобождения каналов. Общее число каналов и длительность обслуживания заявок определяет пропускную способность СМО.

При выполнении определённых жестких условий на случайные характеристики, входной поток становится простейшим, что позволяет выразить характеристики его обслуживания в СМО аналитическими, т. е. формульными зависимостями. В более сложных и более общих случаях получение этих характеристик требует построения специальной имитационной симуляционной модели, учитывающей логику внутренних процессов обслуживания поступления заявок и дисциплины очереди. Одним из самых полезных свойств описываемой в данной работе методики является отсутствие каких-либо ограничений на характеристики входного потока.

Модель системы массового обслуживания как «черного ящика»

Пусть на вход некоторой СМО поступает поток заявок произвольной природы. Время представляется дискретным, и количество поступивших в конкретный момент времени t заявок есть $i(t)$.

Заявки, поступившие в систему, либо немедленно принимаются в обслуживание, либо ставятся в очередь. Пропускная способность системы определяется количеством каналов и их производительностью, составляя величину P .

Именно это отличие – использование лишь внешней, априорной информации относительно выходного потока – позволяет отойти от рассмотрения специфики внутренних процессов обработки заявок в системе и оценивать их обработку через входы и выходы системы, что и составляет кибернетическое понятие «черного ящика». Как следствие, в отличие от традиционных представлений ТМО, количество каналов, их занятости, дисциплина обслуживания очереди и пр. не требуется принимать во внимание. Иными словами, это позволяет провести результативный анализ на макро-, а не микроскопическом уровне рассмотрения модели.

Формирование потока заявок, покидающих систему, в данном случае вообще не рассматривается, поскольку принятые в обслуживание заявки считаются автоматически покидающими систему через интервал времени, характеризующий длительность обработки.

По сути дела, целью предлагаемого метода, или алгоритма, является вынесение суждений о характеристиках обслуживания на основании только характеристик входного потока и значений пропускной способности системы. Опишем основные черты метода более подробно.

Алгоритмы формирования характеристик обслуживания

Пусть в момент времени T в некоторую систему поступает поток заявок в количестве $i(T)$. К этому моменту общее количество поступивших заявок составит значение $I(T) = \sum_{t=0}^T i(t)$. Аналогично общее количество принятых в обслуживание заявок есть $O(T) = \sum_{t=0}^{T-1} o(t)$, где $o(t)$ есть количество принятых в обслуживание заявок в предыдущие моменты времени.

Алгоритм функционирования рассматриваемой системы может быть в первом приближении описан следующим образом. Пусть пропускная способность системы составляет величину P . Тогда, если $I(T-1) > O(T-1)$, то в системе имеются заявки, требующие обслуживания.

Если при этом $I(T-1) - O(T-1) < P$, то к обслуживанию будут приняты все заявки, т. е. $o(T) = I(T-1) - O(T)$, в противном случае их количество составит $o(T) = P$. Заявки в количестве $I(T-1) - O(T) - P$ будут не приняты к обработке и останутся в очереди на обслуживание.

Приведенные рассуждения, по сути, описывают в самом общем виде логику работы абстрактной СМО самого общего вида. В то же время, на основании этих соотношений динамическое число принимаемых в обслуживание заявок может быть получено в виде несложных рекуррентных соотношений. Это может быть сделано даже за счет прямого использования указанных формул в среде MS EXEL.

Графически поведение такой системы иллюстрирует рис. 2.



Рис. 3. Динамика поведения моделируемой системы массового обслуживания

Длина очереди, возникающей при реализации рассматриваемого в примере потока заявок, приведена на рис. 3.

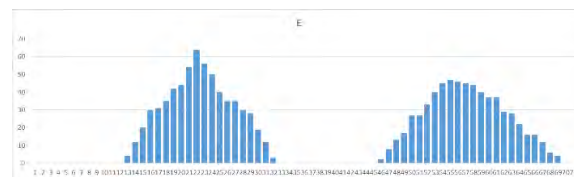


Рис. 4. Динамика поведения моделируемой системы массового обслуживания

Как видно из приведенных данных, реализованная простейшая модель позволяет работать не с простейшим потоком заявок, а

допуская поступление их в произвольном числе в каждый момент времени.

Выводы

1. При проектировании транспортных систем на разных уровнях абстракции возникает необходимость обойти ограничения, присущие аналитическим (формульным) зависимостям и их расширениями, получаемыми использованием статистического моделирования (методами группы Монте-Карло).

2. Более адекватным решением для целого класса подобных задач является использование моделей теории массового обслуживания, которые, в свою очередь, ограничены детскими требованиями к природе потока заявок.

3. Использование программного продукта, основанного на имитационном моделировании внутренних процессов, происходящих в системах массового обслуживания специального вида, является решением, трудоемкость которого иногда не оправдывает повышение точности результатов.

4. Предлагаемый метод аналитического моделирования систем массового обслуживания самого общего вида не заменяет ни одного из перечисленных методов, но может использоваться как эффективное и результативное дополнение к инструментарию математических средств технологического проектирования транспортных объектов.

Литература

1. Бабури В. А., Минеев С. К., Бабурина К. Р. Оптимизация параметров морского транспортного узла // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. – 2012. – № 2 (14). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/optimizatsiya-parametrov-morskogo-transportnogo-uzla> (дата обращения: 13.02.2023).
2. Янченко А. А. Научные подходы к исследованию процессов функционирования морских портов и портовых терминалов // Научные проблемы водного транспорта. – 2018. – № 55. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/nauchnye-podhody-k-issledovaniyu-protsessov-funktsionirovaniya-morskih-portov-i-portovyh-terminalov> (дата обращения: 13.02.2023).
3. Васин А. В., Захаров Д. С., Анненков Л. В. Моделирование оптимальной конфигурации морского порта // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. – 2019. – № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-optimalnoy-konfiguratsii-morskogo-porta> (дата обращения: 13.02.2023).
4. Кузнецов А. Л., Кириченко А. В., Щербак-Слюсаренко В. Н. Имитационное моделирование в задачах анализа операций в морских портах // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. – 2018. – № 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/imitatsionnoe-modelirovanie-v-zadachah-analiza-operatsiy-v-morskih-portah> (дата обращения: 13.02.2023).
5. Валькова С. С., Васильев Ю. И. Методика оценки склада морского порта методами имитационного моделирования // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. – 2019. – № 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-otsenki-sklada-morskogo-porta-metodami-imitatsionnogo-modelirovaniya> (дата обращения: 13.02.2023).
6. Кузнецов А. Л., Сампиев А. М., Семенов А. Д., Кириченко А. В. Направление совершенствования норм технологического проектирования морских портов // Вестник АГТУ. Серия: Морская техника и технология. – 2022. – № 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/napravlenie-sovershenstvovaniya-norm-tehnologicheskogo-proektirovaniya-morskih-portov-1> (дата обращения: 13.02.2023).
7. Ines Reki, Sabeur Elkosantini. A multi agent system for the online container stacking in seaport terminals. Journal of Computational Science. Volume 35, July 2019, Pages 12-24. DOI: 10.1016/j.jocs.2019.06.003.
8. Yu-Chung Tsao, Vo-Van Thanh. A multi-objective mixed robust possibilistic flexible programming approach for sustainable seaport-dry port network design under an uncertain environment. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review. Volume 124, April 2019, Pages 13-39. DOI: 10.1016/j.tre.2019.02.006.
9. Mohamed Nezar Abourraja, Nicole Kringos, Sebastiaan Meijer. Exploiting simulation model potential in investigating handling capacity of Ro-Ro terminals: The case study of Norvik seaport. Simulation Modelling Practice and Theory. Volume 117, May 2022, 102513. DOI: 10.1016/j.simpat.2022.102513.

References

1. Baburin V. A., Mineev S. K., Baburina K. R. Optimizatsiya parametrov morskogo transportnogo uzla [The optimization for sea transport hub settings] // Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S. O. Makarova. – 2012. – № 2 (14). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/optimizatsiya-parametrov-morskogo-transportnogo-uzla> (data obrascheniya: 13.02.2023).
2. Janchenko A. A. Nauchnye podhody k issledovaniyu protsessov funktsionirovaniya morskih portov i portovyh terminalov [Scientific approaches to the sea ports and port terminals operating processes study] // Nauchnye problemy vodnogo transporta. – 2018. – № 55. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/nauchnye-podhody-k-issledovaniyu-protsessov-funktsionirovaniya-morskih-portov-i-portovyh-terminalov> (data obrascheniya: 13.02.2023).
3. Vasin A. V., Zaharov D. S., Annenkov L. V. Modelirovanie optimal'noj konfiguratsii morskogo porta [Modeling the optimal seaport configuration] // Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S. O. Makarova. – 2019. – № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-optimalnoy-konfiguratsii-morskogo-porta> (data obrascheniya: 13.02.2023).
4. Kuznetsov A. L., Kirichenko A. V., Scherbakova-Sljusarenko V. N. Imitatsionnoe modelirovanie v zadachah analiza operatsij v morskih portah [Simulation in the tasks of sea port operational analyses] // Vestnik gosudarstvennogo

- universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S. O. Makarova. – 2018. – № 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/imitatsionnoe-modelirovanie-v-zadachah-analiza-operatsiy-v-morskih-portah> (data obrascheniya: 13.02.2023).
5. Val'kova S. S., Vasil'ev Ju. I. Metodika otsenki sklada morskogo porta metodami imitatsionnogo modelirovaniya [A methodology for assessing the seaport warehouses using the imitation modeling methods] // Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S. O. Makarova. – 2019. – № 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-otsenki-sklada-morskogo-porta-metodami-imitatsionnogo-modelirovaniya> (data obrascheniya: 13.02.2023).
 6. Kuznetsov A. L., Samplev A. M., Semenov A. D., Kirichenko A. V. Napravlenie sovershenstvovaniya norm tehnologicheskogo proektirovaniya morskikh portov [Directions of seaport technological rules development] // Vestnik AGTU. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya. – 2022. – № 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/napravlenie-sovershenstvovaniya-norm-tehnologicheskogo-proektirovaniya-morskikh-portov-1> (data obrascheniya: 13.02.2023).
 7. Ines Rekik, Sabeur Elkosantini. A multi agent system for the online container stacking in seaport terminals. Journal of Computational Science. Volume 35, July 2019, Pages 12-24. DOI: 10.1016/j.jocs.2019.06.003.
 8. Yu-Chung Tsao, Vo-Van Thanh. A multi-objective mixed robust possibilistic flexible programming approach for sustainable seaport-dry port network design under an uncertain environment. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review. Volume 124, April 2019, Pages 13-39. DOI: 10.1016/j.tre.2019.02.006.
 9. Mohamed Nezar Abourraja, Nicole Kringos, Sebastiaan Meijer. Exploiting simulation model potential in investigating handling capacity of Ro-Ro terminals: The case study of Norvik seaport. Simulation Modelling Practice and Theory. Volume 117, May 2022, 102513. DOI: 10.1016/j.simpat.2022.102513.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Александр Львович Кузнецов, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры портов и грузовых терминалов, ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова», 198035, Россия, Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7, e-mail: thunder1950@yandex.ru, kaf_pgt@gumrf.ru

Александр Викторович Кириченко, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедры портов и грузовых терминалов, ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова», 198035, Россия, Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7, e-mail: KirichenkoV@gumrf.ru

Антон Денисович Семенов, аспирант, научный руководитель – Кузнецов Александр Львович, ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова», 198035, Россия, Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7, e-mail: asemyonov054@gmail.com

Игорь Владимирович Русинов, аспирант, научный руководитель – Кириченко Александр Викторович, ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова», 198035, Россия, Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7, e-mail: kaf_pgt@gumrf.ru

Aleksandr L. Kuznetsov, professor, Dr. Sci. (Eng), Professor of the Department of Ports and Cargo Terminals, Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, 5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035, Russian Federation, e-mail: thunder1950@yandex.ru, kaf_pgt@gumrf.ru

Aleksandr V. Kirichenko, professor, Dr. Sci. (Eng), Head of the Department of Ports and Cargo Terminals, Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, 5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035, Russian Federation, e-mail: KirichenkoAV@gumrf.ru

Anton D. Semenov, postgraduate, scientific advisor – Kuznetsov Aleksandr L., Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping 5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035, Russian Federation, e-mail: asemyonov054@gmail.com

Igor V. Rusinov, postgraduate, scientific advisor – Kirichenko Aleksandr V., Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping 5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035, Russian Federation, e-mail: kaf_pgt@gmail.com

Статья поступила в редакцию/the article was submitted 12.01.2023.

Одобрена после рецензирования/approved after reviewing 19.02.2023.

Принята к публикации/accepted for publication 25.21.2023.