

УДК 004:656.615

ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИСКРЕТНО-СОБЫТИЙНОГО ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ РАБОТЫ ГРУЗОВЫХ ФРОНТОВ МОРСКИХ УГОЛЬНЫХ ТЕРМИНАЛОВ

Мазуренко О.И.

ФГБОУ ВО «Государственный университет морского и речного флота им. адм. С.О. Макарова»,
Санкт-Петербург, e-mail: mazurenko.olga@gmail.com

Настоящая статья посвящена вопросу обоснования использования методов дискретно-событийного имитационного моделирования при формировании методики планирования работы грузовых фронтов морских угольных терминалов. Статья рассматривает общепринятые научные методы, которые используются для оценки сложных транспортных систем и узлов. Проводится оценка преимуществ и недостатков использования методов линейного программирования для формирования на их основе методики планирования работы морских терминалов. Далее в статье проводится оценка существующих видов и методов имитационного моделирования, их особенностей и направлений применения. На основе оценки сделан вывод о целесообразности использования именно дискретно-событийного моделирования для создания модели морского экспортного угольного терминала. Наиболее удобным и распространенным программным средством для создания имитационной модели признана среда Anylogic. В статье дана краткая оценка преимуществ проведения моделирования в среде Anylogic, а также сформулирован перечень рекомендаций и шагов по построению модели в данной среде. Далее разработан алгоритм создания дискретно-событийной имитационной модели в среде Anylogic. Сделан вывод о том, что в современной отечественной транспортной науке отсутствуют примеры аналогичных моделей и идей в опубликованных исследовательских работах. Определено, что создание и применение подобной модели для осуществления планирования работы грузовых фронтов морских терминалов позволит дополнить как имеющийся практический опыт, так и существующую нормативно-правовую базу, регулиующую работу морских портов.

Ключевые слова: имитационное моделирование, морские терминалы, среда Anylogic

USE OF DISCRETE-EVENT SIMULATION MODELING FOR PLANNING THE OPERATION OF CARGO FRONTS OF OFFSHORE COAL TERMINALS

Mazurenko O.I.

Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, St. Petersburg,
e-mail: mazurenko.olga@gmail.com

This article is devoted to the issue of justifying the use of discrete-event simulation methods in the formation of a methodology for planning the work of cargo fronts of sea coal terminals. The article examines the generally accepted scientific methods that are used to evaluate complex transport systems and junctions. An assessment is made of the advantages and disadvantages of using linear programming methods to form on their basis a methodology for planning the work of sea terminals. Further, the article evaluates the existing types and methods of simulation, their features, and areas of application. Based on the assessment, it was concluded that it is advisable to use discrete-event modeling to create a model of a sea export coal terminal. The Anylogic environment is recognized as the most convenient and widespread software tool for creating a simulation model. The article gives a brief assessment of the benefits of modeling in the Anylogic environment, as well as formulates a list of recommendations and steps for building a model in this environment. Further, an algorithm for creating a discrete-event simulation model in the Anylogic environment is developed. It is concluded that in modern domestic transport science there are no examples of similar models and ideas in published research papers. It was determined that the creation and application of such a model for planning the work of cargo fronts of sea terminals will complement both the existing practical experience and the existing legal and regulatory framework governing the operation of seaports.

Keywords: simulation modeling, marine terminals, Anylogic

В современной отечественной транспортной науке отсутствуют научно обоснованные методики планирования работы грузовых фронтов морских угольных терминалов [1]. Для выполнения анализа особенностей работы сложных технических систем и их элементов зачастую выполняются пять основных действий: описание системы математическим языком; определение особенностей внутреннего взаимодействия звеньев системы; описание внешних воздействий на систему; определение требований к внутренней динамике систе-

мы; оценка результатов работы системы, синтез её подсистем.

Для комплексного исследования морских терминалов, которые являются сложными динамическими системами, состоящими из большого числа элементов, методами линейного программирования необходимо формулировать дифференциальные уравнения, которые бы связывали входные и выходные параметры системы.

На практике после решения систем дифференциальных уравнений получается несколько итоговых решений, кото-

рые ограничены к выходным параметрам. При появлении в системе новых связей между элементами системы дифференциальных уравнений необходимо решать заново с учетом новых переменных, что часто приводит к появлению ошибок.

Цель исследования: обосновать использование методов дискретно-событийного имитационного моделирования при формировании методики планирования работы грузовых фронтов морских угольных терминалов.

Материалы и методы исследования

С использованием методов анализа и синтеза в исследовании проводится выявление основных направлений и методов моделирования транспортных систем. На основе общедоступных публикаций дана оценка существующих методов имитационного моделирования. Эвристическим методом обосновывается целесообразность использования методов дискретно-событийного моделирования.

Результаты исследования и их обсуждение

Особенности современной рыночной ситуации вынуждают лиц, ответственных за принятие решений касательно планирования работы морских терминалов, действовать в крайне быстро изменяющихся условиях и ситуациях.

Динамично изменяющаяся ситуация требует от них постоянно просчитывать различные новые варианты действий, что крайне сложно реализовать исключительно с помощью методов линейного программирования, систем дифференциальных уравнений и получаемых эксплуатационных и экономических результатов.

Среда, в которой функционируют морские терминалы, постоянно меняется не только под влиянием внешней ситуации (как рыночной, так и транспортной), но и под воздействием внутренних сил, возникающих в процессе взаимодействия элементов. Что касается угольных терминалов, то необходимость принятия оперативных решений особенно характерна для таких внутренних процессов, как оперативная подача и уборка железнодорожного подвижного состава, организация выгрузки вагонов, работа стакеров и реклаймеров, работа морских грузовых фронтов и судопогрузочных машин, управление персоналом и докерами, планового и оперативного ремонта машин и механизмов [2].

Принятие столь большого числа решений значительно упрощается путем использования имитационного моделирования,

которое сегодня получает очень широкое распространение в транспортной науке. Основным плюсом имитационного моделирования является возможность проведения экспериментов со сложными системами с целью выявления «узких мест», настройки более точных взаимосвязей элементов, выявление проблем в устойчивости их работы.

Проведение экспериментов с виртуальными моделями сложных систем с помощью имитационного моделирования позволяет имитировать комбинации всех возможных режимов и условий работы, что не всегда возможно в реальной ситуации, а порой и крайне экономически невыгодно.

В работах ряда отечественных авторов: Б.И. Алибекова, И.О. Бондарева, А.В. Галина, А.В. Кириченко, А.Л. Кузнецова, А.Г. Куприяшкина, Н.Н. Майорова, С.С. Павленко, В.А. Погодина, И.А. Русилова, А.Л. Степанова, В.А. Фетисова, В.Н. Щербаковой-Слюсаренко, Я.Я. Эглиты – обосновано использование имитационного моделирования как основного инструмента для осуществления проектирования, управления и планирования работы морских портов и терминалов. Указанными авторами установлено, что имитационное моделирование позволяет получить точную и детальную информацию о результатах работы моделируемых объектов в различных условиях и ситуациях, а варьирование значений входных параметров позволяет изучать специфику работы всех взаимосвязанных элементов сложных транспортных систем и объектов, а также получать научно обоснованные результаты [3].

Ядром имитационного моделирования является математическая модель, внутри которой реализованы и описаны математическим языком все элементы, системы и подсистемы, а также механизмы, имитирующие их взаимодействие и уровень взаимного влияния друг на друга.

В современной науке выделяют четыре основных вида имитационного моделирования:

1. Дискретно-событийное моделирование, в котором процесс функционирования системы является хронологической последовательностью происходящих событий (события происходят друг за другом в определенные моменты времени и ведут к изменению общего состояния системы).

2. Агентное моделирование, в котором процесс поведения системы является результатом действия групп децентрализованных агентов, имеющих своё собственное заданное автором поведение. Поведение агентов определяется на индивидуальном уровне, а общий результат от их деятель-

ности влияет на глобальное состояние моделируемого объекта или системы. Это так называемое моделирование снизу вверх, когда действия отдельных мельчайших единиц влияют на общее состояние системы.

3. Системная динамика, которая изучает сложные системы, их поведение во времени, а также взаимное влияние друг на друга в зависимости от времени и структуры взаимосвязей (причинно-следственных связей, петель обратной связи, задержек реакции).

4. Моделирование, требующее применения нескольких указанных методов.

Самым распространенным в России программным средством для проведения имитационного моделирования является среда Anylogic. Это программная разработка российской IT-компании, которая становится всё более популярной по всему миру.

Набор библиотек Anylogic с собственными элементами и условиями позволяет детально описать все процессы, происходящее на морском терминале. Так, например, для моделирования работы железнодорожного грузового фронта (ЖГФ) можно использовать железнодорожную библиотеку, для моделирования работы склада (СК) и морского грузового фронта терминала (МГФ) можно использовать библиотеку производственных систем и библиотеку моделирования потоков [4]. Более детальная проработка внутренних связей угольного терминала возможна с использованием библиотеки моделирования процессов.

В среде Anylogic реализован удобный пользовательский интерфейс, который позволяет отслеживать внутренние взаимосвязи между элементами в режиме реального времени и видеть поведение системы наглядно. Визуализация результатов деятельности системы позволяет проверять адекватность разработанной модели, а также выявлять все ошибки с помощью форматно-логического контроля.

Использование имитационного моделирования в среде Anylogic для моделирования работы морского угольного терминала позволяет:

1. Получать наглядную иллюстрацию технологического процесса работа терминала с представлением результатов в табличной форме и в форме диаграмм.

2. Сводить в табличных формах результаты экспериментов для использования в базах данных (big data) для анализа.

3. Выполнять различные эксперименты над моделируемым терминалом, при этом нельзя экономических затрат.

4. Прогнозировать в рамках экспериментов работу того или иного элемента терминала, а также всей системы в целом.

5. Варьировать в широких пределах значения входящих переменных, получая возможность просчитывать наиболее широкий диапазон сценариев поведения терминала в различных условиях и под влиянием дифференцированных факторов внешней среды.

6. Проводить неограниченное количество экспериментов с моделью широким диапазоном параметров функционирования модели для выявления наиболее экономически эффективных вариантов планирования работы терминала (в связи с тем, что после прогонов имитационной модели с различными входящими параметрами среда позволяет получить множество вариантов решений, то необходимо также заранее определить критерий, по которому выбирается наиболее подходящий для конкретного терминала вариант).

Одной из задач, которая возникает при реализации имитационной модели в среде Anylogic, является необходимость синхронизации виртуального и реального времени протекания процессов. Решение этой задачи сводится к подчинению модели теории подобия, которая требует определения инвариантов подобия.

Особенность имитационного моделирования в среде Anylogic также заключается в том, что наличие возможности проводить неограниченное количество экспериментов влечёт за собой необходимость определять приемлемую достоверность моделирования. Зависимость в данном случае следующая: чем больше необходимая точность, тем большее количество экспериментов необходимо провести.

В среде Anylogic возможно совмещение нескольких видов моделирования в рамках одной модели. Так, например, системную динамику можно использовать для моделирования процессов макроуровня, таких как воздействие других элементов как национальной и мировой транспортной системы на конкретный транспортный объект. Агентное моделирование позволит более точно рассчитывать причинно-следственные связи, которые влияют на поведение элементов (агентов) в рамках модели и провоцируют его на принятие того или иного решения.

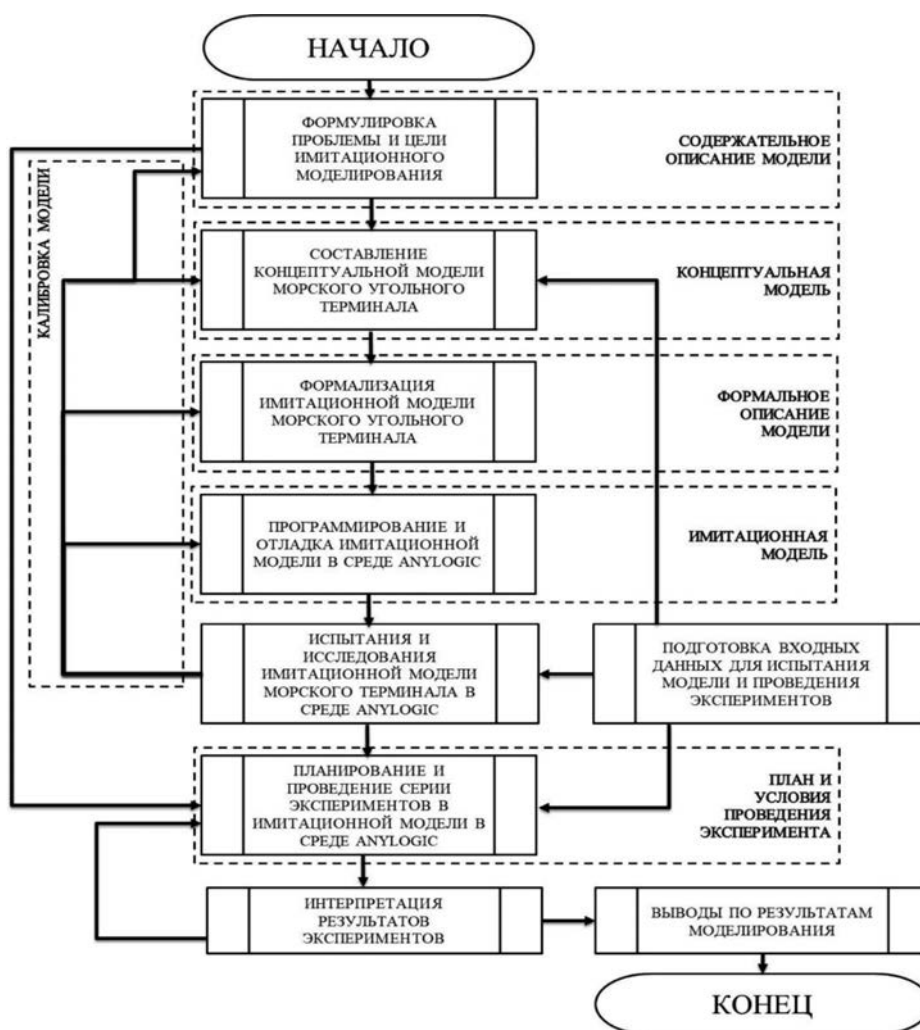
Агентами могут выступать транспортные средства, перегрузочные механизмы и машины, железнодорожные вагоны и локомотивы, суда и пр. Зачастую агентное моделирование является достаточно трудоемким и требующим очень точно прописывать все маркеры и события, которые влияют на изменение поведения агента. Однако большим преимуществом использования агентного моделирования является возможность вызывать общее изменение поведения системы для адаптации к действиям агентов.

Тем не менее зачастую при моделировании сложных транспортных объектов предпочтительно использовать дискретно-событийное моделирование, позволяющее выстроить порядок возникновения событий и ответной реакции элементов системы во временном пространстве, а системную динамику и агентное моделирование вводить дополнительно для повышения качества и точности моделирования. Комбинация всех трёх видов моделирования в рамках одной модели позволяет учесть индивидуальное поведение всех агентов, оценить влияние окружающей среды на макроуровне (в рамках системной динамики), а также привязать последовательность возникновения событий к виртуальному и реальному времени, однако требует от автора модели значительного внимания к деталям и является крайне трудозатратным [5].

В этой связи в диссертационном исследовании для моделирования сложной транспортной системы, которой является

морской угольный экспортный терминал, целесообразно использовать именно дискретно-событийное моделирование. Это позволит представить работу терминала с точки зрения процессов, которые представляют собой последовательность операций: прибытие груженого вагона с углем, выгрузка угля на склад, штабелирование и складирование, погрузка угля на навалочное судно [6].

Использование дискретно-событийного моделирования терминала позволит достаточно точно и детально реализовать модель, представив внутри неё все происходящее технологические операции и процессы, а затем провести эксперименты по планированию работы грузовых фронтов терминала в разных режимах, что даст возможность сформулировать методику планирования работы и дать рекомендации по возможности потенциального увеличения грузооборота терминала. При этом важно точно сформировать блоки имитационной модели (процессов) и установить их взаимосвязи (рисунок).



Алгоритм проведения имитационного моделирования морского экспортного угольного терминала

Минусом дискретно-событийного моделирования является то, что все элементы модели пассивны и выполняют только заранее заданные функции, а отличаются друг от друга лишь скоростью и последовательностью обработки заявок. Тем не менее данным недостатком можно пренебречь в связи с очевидным облегчением сложности создания модели.

Начальным этапом имитационного моделирования угольного терминала в среде Anylogic является формулировка проблемы, определение цели моделирования и составление содержательного описания объекта. Второй этап – создание концептуальной модели объекта моделирования и её формальное описание. После проведения формализации и создания концептуального описания проходит процесс программирования модели в среде Anylogic, то есть создание машинных алгоритмов, описание зависимостей и отладка имитационной модели.

После создания модели в среде Anylogic проходят испытания модели: верификация, оценка адекватности, калибровка и комплексное тестирование. Далее с готовой моделью можно проводить серии имитационных экспериментов, которые позволят в итоге осуществить анализ результатов, интерпретировать их, а затем использовать для создания методики планирования работы терминала.

Заключение

Создание и исследование дискретно-событийной имитационной модели морского угольного терминала является амбициозной, новой и недостаточно изученной задачей. В отечественной транспортной науке отсутствуют примеры аналогичных моде-

лей и идей в опубликованных исследовательских работах. Создание и применение подобной модели для осуществления планирования работы грузовых фронтов морских терминалов позволит дополнить как имеющийся практический опыт, так и существующую нормативно-правовую базу, регулирующую работу морских портов.

Освоение, разработка и апробация комплексных подобных научно обоснованных современных инновационных моделей и методик, которые позволят точнее планировать свою деятельность для терминалов и судовладельцев, делает крайне актуальными тему исследования и выбранное направление.

Список литературы

1. Горев А.Э., Беттгер К., Прохоров А.В., Гизатуллин Р.Р. Основы транспортного моделирования. СПб.: Коста, 2015. 168 с.
2. Кузнецов А.Л., Галин А.В. Генезис моделей развития портов в современной транспортной науке // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. 2015. № 2 (30). С. 141–153.
3. Галин А.В. Воздействие ограничений на обобщенную имитационную модель процесса развития портов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. 2016. № 1 (35). С. 7–14.
4. Кузнецов А.Л., Купцов Н.В. Функциональная структура операционных процессов морского грузового фронта современных экспортных угольных терминалов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2019. № 2. С. 118–126. DOI: 10.24143/2073-1574-2019-2-118-126.
5. Фетисов В.А., Майоров Н.Н., Таратун В.Е. Имитационное моделирование как метод оптимизации сложной технической системы // Системный анализ и логистика. 2013. № 10. С. 63–69.
6. Эглит Я.Я., Устинов В.В., Эглит К.Я. Методика управления технологическими перегрузочными процессами морского порта. СПб.: «Феникс», 2014. 138 с.