

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА КОНТЕЙНЕРНЫХ ТЕРМИНАЛАХ

Ю.К. Полякова, Н.В. Мовчан, Н.Н. Николаевский (Санкт-Петербург)

В течение последних десятилетий отмечается значительный рост объемов перевозки грузов в контейнерах, что в свою очередь обусловлено развитием интернациональной торговли и мировой экономики в целом. При этом, особенный вклад в рост объемов перевозок определяется торговлей между Азией и США, Азией и Европой. Таким образом, вследствие указанных обстоятельств оборот контейнерных перевозок также увеличивался с высокой скоростью. Под влиянием данного фактора морские перевозчики стали использовать более вместительные суда. При этом, в результате выпуска более крупных контейнеровозов возникла необходимость повышения пропускной способности контейнерных терминалов. Также, стоит отметить, что морские грузовые перевозки являются наиболее востребованным решением для коммерческой логистики, что в результате приводит к устойчивому давлению на операции контейнерных терминалов [3].

На сегодняшний день многие исследования направлены на изучение терминальных операций и повышения их эффективности, так как контейнерные терминалы испытывают жесткое давление со стороны окружающей операционной среды, которая объединяет в себе как возрастающие запросы клиентов по качеству предоставляемых услуг, так и стабильный рост вместимости контейнерных судов за счет увеличения размеров, а также ужесточающийся уровень конкуренции между портами, судоходными линиями. В связи с этим, контейнерные терминалы претерпевают множество изменений для достижения всех поставленных задач. Следовательно, поиск возможных вариантов повышения эффективности основных процессов контейнерных терминалов является актуальной темой.

Таким образом, целью данной работы является анализ логистического процесса на контейнерном терминале посредством имитационного моделирования.

Основная часть

Терминал можно рассматривать как сложную логистическую систему, включающую в себя соответствующие технологические элементы, обеспечивающие потребную пропускную способность, такие как железнодорожный грузовой фронт, складская зона и т.п. Каждый упомянутый элемент определяется своими принципами организации логистического процесса, что отражается в особенностях объемно-планировочного решения и структуры парка подъемно-транспортного оборудования.

В рамках данной работы предлагается рассмотреть два сценария организации технологической зоны временного хранения. С невысоким показателем интенсивности поступают контейнеры на кратковременное хранение, после чего осуществляется процесс разгрузки в зону временного хранения. В первом случае мы говорим о классической схеме укладки контейнеров в штабели с использованием ричстакера. Во втором сценарии предполагается организация хранения в стеллаже вместо того, чтобы штабелировать контейнеры непосредственно друг на друга, контейнеры будут помещаться в отдельный отсек в стальной стойке при помощи фронтального вилочного погрузчика. При этом, целесообразно рассматривать упомянутые процессы с использованием принципов теории массового обслуживания, предполагающих определение статистических показателей длины очереди и времени ожидания обслуживания как показателей эффективности.

В данной работе показателями эффективности работы каждой системы будут являться: количество контейнеров, ожидающих приемку в зону временного хранения; количество контейнеров, ожидающих отправки из зоны временного хранения; статистические показатели времени на приемку и отправки контейнеров; статистические показатели длин очередей на приемку и отправки контейнеров.

Секция 3. Практическое применение моделирования и инструментальных средств автоматизации моделирования, принятие решений по результатам моделирования

В обозначении Кендалла выбранная модель системы массового обслуживания представлена следующим образом: G/U/1/100 – одноканальная СМО с накопителем ограниченной ёмкости, равной 100, в которую поступает однородный поток заявок с произвольным распределением интервалов времени между последовательными заявками (простейший поток) и длительностью обслуживания заявок, распределённой по треугольному (равномерному) закону распределения.

Таким образом, в качестве входных данных моделей будут являться значения интенсивности поступления контейнеров в зону промежуточного хранения, а также характеристики используемого подъемно-транспортного оборудования.

Рассмотрим ключевые преимущества и недостатки штабельного и стеллажного хранения. Штабель обычно делится на несколько блоков, один блок может содержать от 40 до 60 слотов, и каждый слот может иметь от 6 до 8 рядов, контейнеры располагаются в несколько ярусов; на рисунке 1 изображен классический макет блока [5]. При данной складской схеме необходимо затрачивать много ресурсов и времени на то, чтобы извлечь контейнеры, находящиеся на нижних ярусах. К преимуществам данной системы можно отнести возможность подъезда техники с любой стороны штабеля, т. е. в этом случае мы говорим о гибком выборе маршрута. Также, ричстакер может осуществлять обработку контейнеров, расположенных во втором ряду в штабеле.

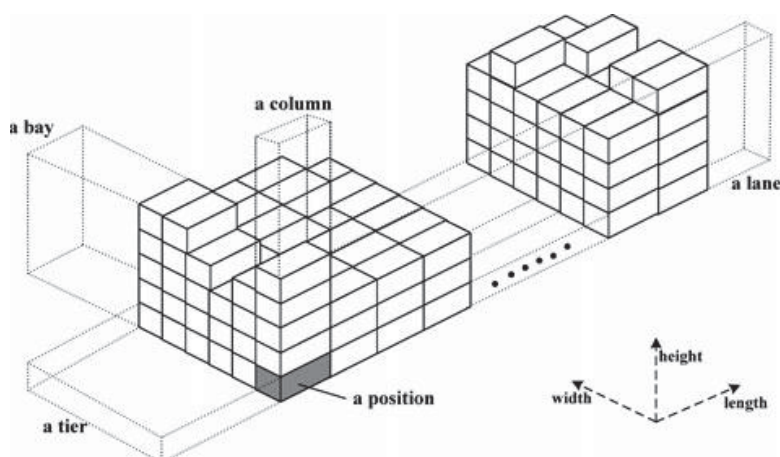


Рис. 1 – Макет блока

Главным преимуществом стеллажного хранения, представленного на рисунке 2, является быстрый и беспрепятственный доступ к любому необходимому контейнеру. Также, важно отметить, что время на погрузку и выгрузку контейнера из стеллажа значительно ниже по сравнению со штабельным хранением. Однако, данная система также обладает рядом недостатков: на данный момент существует мало техники, которая могла бы поднять контейнер на высокий ярус стеллажа, также возможно обслуживание только одного ряда, и, наконец, возведение стеллажей требует дополнительных капитальных затрат.



Рис. 2 – Стеллажное хранение контейнеров

Секция 3. Практическое применение моделирования и инструментальных средств автоматизации моделирования, принятие решений по результатам моделирования

Как отмечалось ранее, две схемы организации временного хранения контейнеров определяются эквивалентными входными данными в части интенсивности входного потока. Также, с некоторой степенью условности моделируется процесс хранения, в рамках которого случайным образом определяется время хранения каждого контейнера, которое генерируется по треугольному закону распределения случайных величин со схожими характеристиками для обоих вариантов. Применяя дискретно-событийный подход к моделированию, были заданы следующие структурные элементы: заявки, ресурсы и потоковые диаграммы. [1, 2, 4] Сама модель была разработана посредством программы AnyLogic с использованием процессной библиотеки.

Заявки представляют собой однородные объекты, которые с некоторой интенсивностью поступают в систему с целью получения обслуживания. В данном случае мы говорим о контейнерах, которые прибывают на терминал и ожидают погрузки в зону временного хранения с последующим выходом из нее. Поступление в систему характеризуется нормальным законом распределения. В рассматриваемой модели заявки генерируются посредством блока «Source».

Далее, заявки, которым требуется обслуживание, предъявляют требования к ресурсам. Как отмечалось ранее, ресурсы имеют ограниченную емкость и предъявляемые требования непредсказуемы по времени прибытия и по размеру. В результате, ограниченные ресурсы и непредсказуемые требования создают конфликт за использование ресурса и генерируют очереди из ожидающих заявок. В контексте данного исследования ресурсами являются единицы оборудования, при первом сценарии мы говорим о ричстакерах, при втором о фронтальных вилочных погрузчиках, инструмент, имитирующий ресурсы в модели – «ResourcePool».

Потоковые диаграммы являются группой связанных элементов, отвечающих за некоторое событие, и определяют последовательность всех взаимодействий ресурсов и заявок. На рисунке 3 представлена потоковая диаграмма системы временного хранения с укладкой контейнеров в штабеля посредством ричстакера.

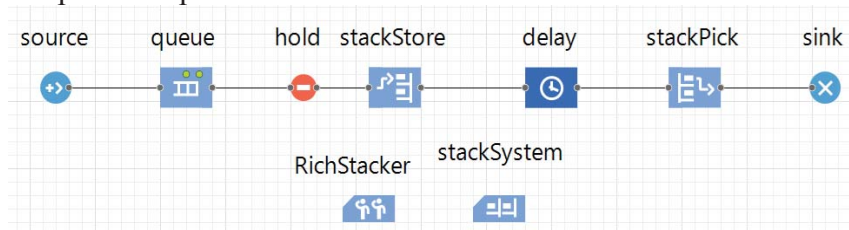


Рис. 3 – Потоковая диаграмма зоны временного хранения «штабель-ричстакер»

Итак, в систему поступают контейнеры и становятся в очередь, в которой ожидают обслуживания. Очередь характеризуется максимально допустимым числом заявок, которое она может в себя вместить, в данной схеме максимальная вместимость составляет 100 заявок. Дисциплина очереди определяется порядком, в котором члены очереди получают обслуживание, мы придерживаемся стандартного принципа – FIFO, что означает первым пришел, первым получил обслуживание.

Блок «Hold» предназначен для правильного логического функционирования модели, предполагающего удержание заявок – контейнеров при отсутствии свободных мест в зоне хранения.

Далее, заявка перемещается в «stackStore», где осуществляется размещение контейнера в штабель высотой до 4 ярусов, при этом в данной модели ричстакер сначала формирует полный штабель, заполняя его с низу вверх, и только потом переходит к формированию нового штабеля. Учитывается, что чем выше уровень, тем больше времени требуется затратить.

«Delay» условно моделирует время хранения контейнеров. Также, ранее упоминалось, что процесс хранения моделируется с некоторой степенью условности, случайным образом определяется время хранения каждого контейнера в штабеле, которое генерируется по треугольному закону распределения случайных величин.

Блок «stackPick» осуществляет извлечение контейнера из штабеля. У данного процесса обслуживания приоритет выше, чем у процесса по размещению контейнера в штабель, т. е. если

Секция 3. Практическое применение моделирования и инструментальных средств автоматизации моделирования, принятие решений по результатам моделирования

одновременно в системе появится две задачи - принять контейнер и отправить, то ресурс будет направлен на отправку, а заявка на приемку будет ожидать своей очереди. Ричстакер первым всегда берет верхний контейнер, и время, затрачиваемое на извлечение контейнеров с нижних ярусов больше, чем с верхних. Стоит отметить, что в случае если придет заявка на извлечение контейнера с нижнего яруса, то данная заявка будет ожидать момента отправки контейнеров с ярусов выше.

В исследуемой системе, когда контейнер извлечен из штабеля и доставлен к экспедиторской зоне, считается, что заявка получила обслуживание и покинула систему. За данный процесс отвечает блок «Sink», который удаляет данные заявки.

Далее, рассмотрим организацию технологической зоны временного хранения посредством стеллажа и фронтального вилочного погрузчика, изображенную на рисунке 4. Многие процессы полностью аналогичны системе со штабельным хранением, отличительными характеристиками являются: метод погрузки контейнера в зону временного хранения и его отправки.

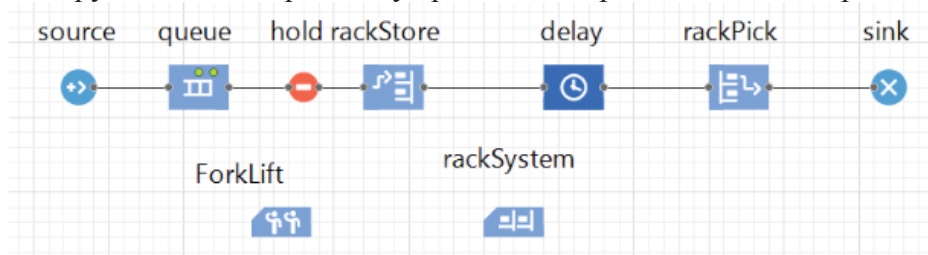


Рис. 4 – Поточная диаграмма зоны временного хранения «стеллаж-фронтальный вилочный погрузчик»

Аналогично предыдущей схеме, заявки поступают в систему и становятся в очередь на размещение в стеллаж до 4 ярусов. Фронтальным вилочным погрузчиком сначала заполняется весь нижний ярус в стеллаже. Выгрузка, в отличие от схемы со штабельным хранением, осуществляется согласно очереди контейнеров, готовых к отправке, т. е. у которых срок хранения подошел к концу. Другими словами, из стеллажа беспрепятственно может извлекаться любой необходимый контейнер, несмотря на ярус его расположения.

На данном этапе создание имитационных моделей организации технологических зон временного хранения завершено. Далее, необходимо провести ряд экспериментов и проанализировать полученные результаты для определения эффективной схемы хранения.

Время каждого эксперимента составило 12 часов. В результате были получены следующие статистические данные, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение показателей эффективности организации зоны временного хранения

Показатели эффективности	Стеллаж и фронтальный вилочный погрузчик	Штабель и ричстакер	Разница
Среднее время ожидания заявки на приемку	69,31	128,36	46%
Среднее время ожидания заявки на отправку	3,79	3,82	1%
Среднее количество контейнеров, ожидающих приемки	10,07	17	41%
Среднее количество контейнеров, ожидающих отправки	0,51	0,41	-20%

Заключение

Результаты экспериментов показали, что при использовании схемы организации временного хранения контейнеров посредством стеллажа и фронтального вилочного погрузчика очередь на приемку контейнеров сократилась на 46%, по сравнению со схемой обработки

Секция 3. Практическое применение моделирования и инструментальных средств автоматизации моделирования, принятие решений по результатам моделирования

контейнеров ричстакером и хранении в штабеле. Исходя из этого, мы можем утверждать, что данная схема может обеспечить более высокую пропускную способность.

Статистические данные по отправке контейнеров из зоны временного хранения в обоих моделях схожи и не достигают ни одного контейнера в очереди. Данный факт обусловлен тем, что изначально в условии функционирования моделей была заложена приоритетность на данную задачу.

Также, важно отметить, что в случае схемы с использованием ричстакера были возможны ситуации, когда срок хранения на нижнем ярусе заканчивался, но его было невозможно извлечь до того момента, пока не снимут контейнеры, находящиеся выше. Следовательно, после того, как заканчивалась выгрузка верхнего контейнера, в очередь сразу вставал контейнер с нижнего яруса, срок хранения которого закончился раньше. Таким образом, ричстакер имел большую загруженность по выгрузке, чем фронтальный вилочный погрузчик, что в свою очередь оказывает влияние на показатели очередей и соответствующее время ожидания контейнеров на приемку. При этом фронтальный вилочный погрузчик позволяет эффективнее организовать процесс выгрузки, что дает более сбалансированные показатели по сравнению с предыдущей схемой.

Исходя из этого, мы можем утверждать, что складская зона, организованная посредством стеллажей и фронтальных вилочных погрузчиков, может обеспечить более высокую пропускную способность контейнерного терминала.

Литература

1. Боев, В.Д., Кирик, Д.И., Сыпченко, Р.П. Компьютерное моделирование [Текст] : пособие для курсового и дипломного проектирования / В.Д. Боев, Д.И. Кирик, Р.П. Сыпченко. — СПб. : ВАС, 2011. — 348 с.
2. Григорьев, И., AnyLogic за три дня [Текст] : Практическое пособие по имитационному моделированию / И.Григорьев — 2017. – 273 с.
3. Колесина А.А. Международные контейнерные перевозки: состояние и перспективы [Текст] / А.А. Колесина // Новая наука: Стратегии и векторы развития. – 2016. – №1 (118). – С. 137– 141.
4. Куприяшкин А.Г. Основы моделирования систем [Текст]: учеб. пособие / А.Г. Куприяшкин; Норильский индустр. ин-т. – Норильск: НИИ,2015.– 135 с.
5. Lixin, T., Wei, J, Ji Yin, L. Research into container reshuffling and stacking problems in container terminal yards [Text] // ИЕ. – 2015. – Vol. 15. – P. 751–766.
6. DP World Unveils Game-Changing Storage Rack for Containers [Электронный ресурс]: The Maritime Executive. Режим доступа: <https://www.maritime-executive.com/article/dp-world-unveils-game-changing-storage-rack-for-containers> (дата обращения 25.02.2019).