

EVALUATING LEAD-TIME IN COMPLEX SUPPLY CHAINS BY SIMULATION TECHNIQUE

A. L. Kuznetsov¹, A. V. Kirichenko¹, A. D. Semenov²

¹ — Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,
St. Petersburg, Russian Federation

² — Yanino Logistics Park LLC, Leningrad Region, Russian Federation

The structure of the modern system of container transportation routes consisted of several interacting sub-systems whose operations are not synchronized and could not be synchronized is studied in the paper. Accordingly, the cargo transported and thus handling over between these trunk and feeder lines inevitably has to be stored at the ports of transshipment. As the consequence, the processes of cargo storage and accumulation could be regarded as a rational and efficient tool for bufferization of the flows with different parties and rhythmicity. It is stated in the paper that the modelling of interacting asynchronous shipping lines should consider coordination of the trunk and feeder routes in the transshipment ports. The model allows you to change the ships number used on a route in the consideration of the whole cargo flow system organization in order to define the necessary technological and technical characteristics of the ports. The manual experiments with the model would allow you to form the prior schedules of the trunk and feeder ships routes for the certain container flows or for the shipping lines working on the same routes or even for the certain ships. It is concluded that this approach can be used to define fair schedules, which would satisfy the participants of container shipping.

A graph model of interacting trunk-feeder routes that enables to conduct the computer simulation experiments aimed at the predicting the lead-time of container shipments in the complex asynchronously functioning system of linear routes is presented in the paper. There are the results of experiments based on the actual container lines structure that prove the possibility of practical usage of the model as a tool in everyday activity of container line operators, freight forwarders, terminal operators and clients. Simultaneously a new direction of scientific researches, i. e. computer simulation of synchro-modal systems, is announced.

Keywords: container line routes, trunk routes, feeder routes, routes conjunction, container storage, lead time.

For citation:

Kuznetsov, Aleksandr L., Aleksandr V. Kirichenko, and Anton D. Semenov. "Evaluating lead-time in complex supply chains by simulation technique." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 13.3 (2021): 372–383. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-3-372-383.

УДК 656.614

ОЦЕНКА ВРЕМЕНИ ДОСТАВКИ В СЛОЖНЫХ ЦЕПЯХ ПОСТАВКИ С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛИРОВАНИЯ

А. Л. Кузнецов¹, А. В. Кириченко¹, А. Д. Семенов²

¹ — ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

² — ООО «Логистический Парк «Янино», Ленинградская область, Российская Федерация

Проведенное исследование показало, что современная структура маршрутов морских контейнерных линий представляет собой совокупность взаимодействующих подсистем, работа которых не является и, видимо, не может являться полностью синхронизованной. В этой связи перевозимые и вследствие этого передаваемые с фидерных маршрутов на магистральные и обратно контейнеры неизбежно должны складироваться в портах транзитного назначения (хабах). Таким образом, процесс хранения и накопления рассматривается как целесообразный инструмент демпфирования грузопотоков, отличающихся по порционности и ритмичности. Отмечается, что моделирование взаимодействующих асинхронных линий предусматривает учет статистики «стыков» обрабатываемых магистральных и фидерных судов в портах транзитного назначения с учетом статистической продолжительности их терминальной обработки. Подоб-

ная модель позволяет варьировать, в соответствии с требуемыми показателями всей грузопроводящей системы и технологическими возможностями хабов, необходимое либо минимально достаточное количество судов, обращающихся по взаимодействующим маршрутам, определять рациональные варианты технологического оснащения терминалов. «Ручные» эксперименты с подобной моделью могут позволить формировать приоритетные стыковые расписания движения магистральных и фидерных судов для выделенных категорий контейнеров (например, рефрижераторных) либо для отдельных линий при их совместной работе на направлениях, либо для отдельных судов (например, арендованных линейными компаниями с истекающими сроками аренды). Сделан вывод о том, что иной подход может построить равноценные расписания для всех участников взаимодействующих подсистем.

В работе представлена разработанная графическая модель взаимодействующих магистральных и фидерных линий, позволяющая проводить вычислительные имитационные эксперименты, целью которых является прогноз объективно складывающегося времени доставки контейнеров, находящихся в сложной асинхронно функционирующей системе линейных маршрутов. Приведены результаты эксперимента, проведенного на базе действующих контейнерных линий, что подтверждает возможность использования предложенной имитационной модели в практической деятельности операторов контейнерных линий, экспедиторов и транспортной клиентуры. Одновременно анонсируется такое новое направление прикладных исследований в транспортной логистике, как моделирование «синхромодалных сетей».

Ключевые слова: маршруты контейнерных линий, магистральные маршруты, фидерные маршруты, сопряжение маршрутов, хранение контейнеров, время доставки.

Для цитирования:

Кузнецов А. Л. Оценка времени доставки в сложных цепях поставки с помощью моделирования / А. Л. Кузнецов, А. В. Кириченко, А. Д. Семенов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2021. — Т. 13. — № 3. — С. 372–383. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-3-372-383.

Введение (Introduction)

Торговое судно, по своей сути, является формой коммерческого предприятия, предназначенного для получения прибыли, извлекаемой путем оказания услуг, которыми являются перевозки грузов клиентам («морское предприятие» — это совокупность судна, груза и фрахта). На начальном этапе развития морских перевозок отношения между клиентами и перевозчиками носили случайный характер, и судно как более мобильный и активный участник отношений перемещалось между портами в поисках грузов. Это движение носило хаотичный характер, поскольку выбор порта назначения определялся направлением перевозки найденного груза, а выбор следующего начального пункта имел случайный характер. Такое «бродяжничество» по морям представляло собой трамповую форму организации перевозок (от англ. *tramp* — бродяга), как показано на рис. 1, а [1]. Постепенно складывающиеся партнерские отношения между грузоотправителями и перевозчиками привели к появлению линейного судоходства, при котором судно в порту гарантированно ожидал груз, а грузоотправитель был уверен в своевременном прибытии судна (рис. 1, б).

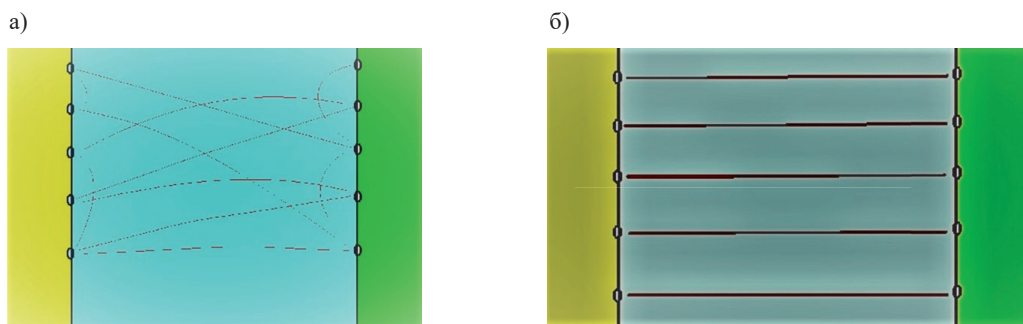


Рис. 1. Трамповое судоходство (а), линейное судоходство (б)

Желание эксплуатировать более вместительные суда при сохранении частоты использования сервиса привели к рационализации маршрутов судоходства по системе грузовых «ступниц», или хабов (от англ. *hub* — ступица), как условно показано на рис. 2, а.

Вскоре обнаружилось, что обработка крупных судов в портах-хабах требует большое количество времени, что отражается на частоте сервиса на маршруте. Как следствие, магистральные маршруты начали трансформироваться из ожидаемых вначале «межконтинентальных» парных комбинаций в более сложные круговые и маятниковые маршруты, вовлекающие несколько портов каждого побережья с частичной погрузкой-разгрузкой (рис. 2, б) [2].

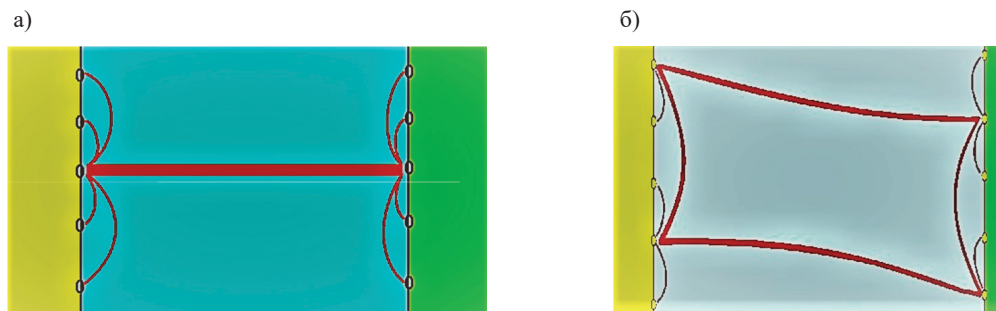


Рис. 2. Формы организации перевозок:
а — система магистральных маршрутов между хабами;
б — круговой магистральный маршрут

Увеличение размеров судов на вспомогательных («подпитывающих», или «фидерных») маршрутах, вызванных действием указанного ранее *эффекта масштабной экономии*, привело к появлению аналогичных «шаблонов» построения маршрутов и в этом сегменте (рис. 3).

Конкретная форма магистральных и фидерных маршрутов не важна (подтверждением служит то, что их называют *круговыми*), что дает возможность представления их в наиболее простой для изучения основных закономерностей форме (рис. 4).

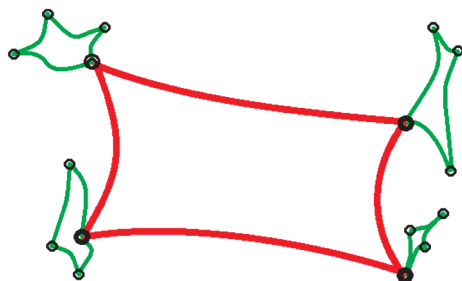


Рис. 3. Существующая система фидерных маршрутов

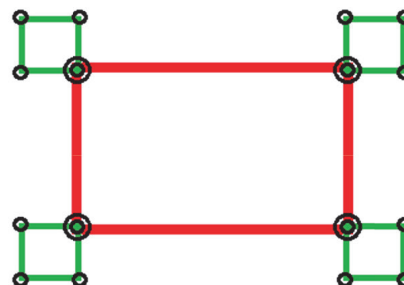


Рис. 4. Модель системы магистральных и фидерных маршрутов

На практике описываемые маршруты контейнерных линий гораздо сложнее, поскольку могут включать разную последовательность судозаходов в множество портов. Кроме того, каждый порт может быть включен во множество магистральных и фидерных маршрутов. Однако общая структура маршрутов, представленная на рис. 4, сохраняется.

Исследования проблем взаимодействия сопряженных транспортных маршрутов в настоящее время становятся актуальными. В научный оборот введен термин «синхромодалная сеть» (*synchromodalnetwork*) как объект исследования [3], подробно рассматривается взаимодействие морских линий с наземным (автомобильным) транспортом [4]–[6]. Также исследованы вопросы сопряжения во времени внутритерминальных технологических операций [7], [8] и рейсовых заданий на отдельных судоходных линиях [9]–[11].

Методы и материалы (Methods and Materials)

Для подтверждения представленной концепции рассмотрим один магистральный маршрут оператора контейнерной линии CMA CGM — Phoenician Express, соединяющий двенадцать морских

портов: Shanghai, Ningbo, Busan, Shekou, Singapore, Malta (freeport), Koper, Trieste, Rijeka, Port Said, Jeddah, Port Klang (рис. 5).

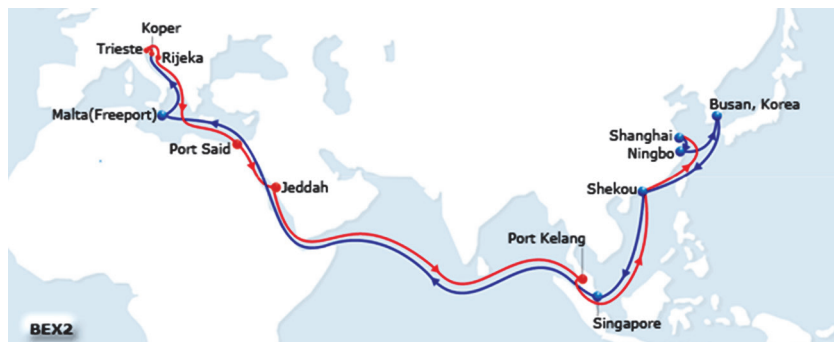
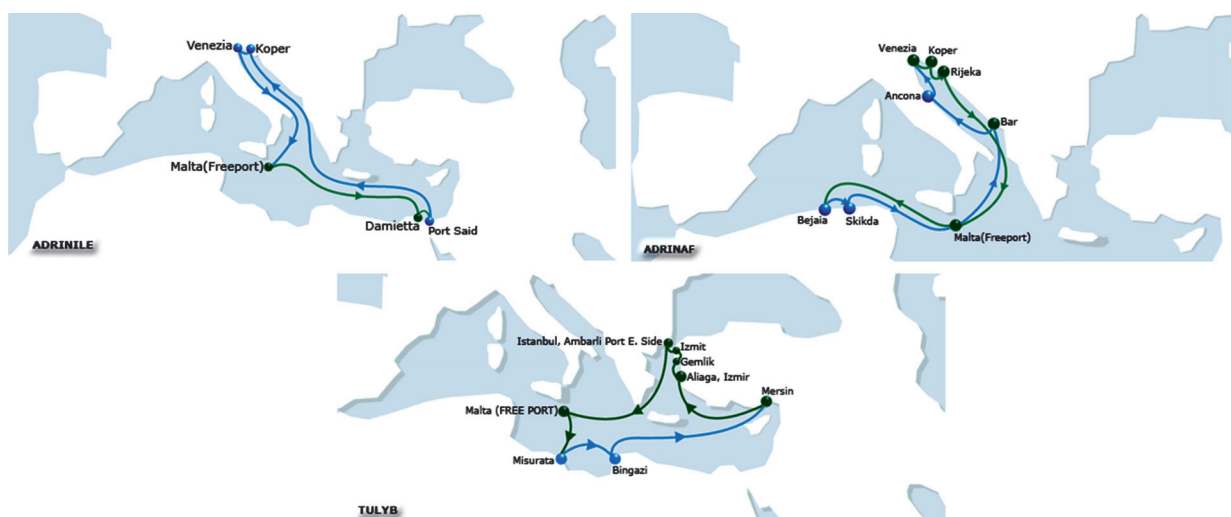


Рис. 5. Магистральный маршрут оператора контейнерной линии

Теперь рассмотрим фидерные маршруты двух портов: Malta и Busan, расположенных на разных концах представленного магистрального маршрута. Часть фидерных маршрутов порта Malta представлена на рис. 6, а.

а)



б)



Рис. 6. Фидерные маршруты порта Malta (а), фидерные маршруты порта Busan (б)

Фидерные маршруты порта Busan представлены на рис. 6, б, откуда видно, что фидерные маршруты практически идентичны модельным, поскольку прямоугольные маршруты были выбраны лишь для иллюстрации моделей. Модели реальных маршрутов, показанные на рис. 5 и 6, могут включать большее число вершин в циклических маршрутах подобного графического представления (рис. 7).

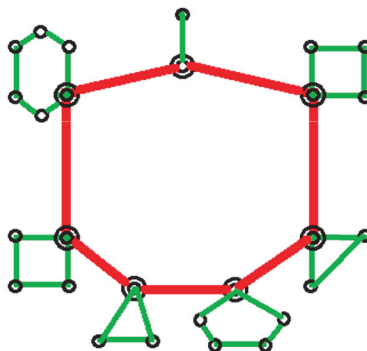


Рис. 7. Пример обобщенной модели сопряжения маршрутов

Назначением представленной в данной работе модели является наглядное и эффективное изучение взаимного влияния направления перевозок, загрузки судна на участках маршрута, а также трудоемкости портовых операций. Данная модель представляет собой удобный способ представления информации обо всех вовлеченных в транспортный процесс ресурсах, позволяющий эффективно использовать графоаналитические методы исследования. Подкрепленная данными о маршрутах операторов контейнерных линий, модель может быть использована не только для теоретических исследований, но и для практических целей прогнозирования и анализа времени перевозки контейнеров между портами, не включенными в один маршрут.

Работа контейнерных терминалов зависит от операторов контейнерных линий, поскольку именно они определяют, в какие порты будут заходить их суда, сколько судов будет использоваться на маршруте, какие суда поставить на линию, с какой вместимостью и с каким количеством груза на борту. От решений, принятых операторами контейнерных линий, будет зависеть необходимое количество причалов, глубина причальной стенки, количество кранов, обрабатывающих судно, количество складских перегружателей и др.

Необходимо помнить, что основной функцией любого современного терминала является не накопление и распределение грузовых партий, а осуществление операций по смене вида транспорта и координации работы транспортных средств, выполняющих перевозки на регулярных маршрутах, что подтверждено на рис. 7: зелеными линиями обозначены фидерные маршруты, осуществляющие перевозки на коротких плечах, однако зелеными линиями без потери общности могут обозначаться и наземные транспортные средства (например, железнодорожные контейнерные поезда, осуществляющие регулярные перевозки между морским портом и железнодорожной станцией).

Целью моделирования является оценка времени перевозки контейнера между портами, связанными между собой сложными маршрутами. При этом необходимо выделить время нахождения груза на борту судна и время его пребывания в порту в ожидании судна. Оценить эти характеристики можно только методами имитационного моделирования [12], [13]. Важно понять, что порты являются необходимым условием организации линейного судоходства. Хранение контейнера в порту является не «злом, с которым надо бороться», а естественными инструментами оптимизации существующей системы контейнерных перевозок.

Время, когда срок доставки определялся делением длины маршрута на скорость судна, осталось в прошлом. Даже если все суда на сопряженных маршрутах движутся с одинаковой скоростью, их относительное положение в соответствующей системе зависит от начальных условий в момент оценки, как показано на рис. 8.

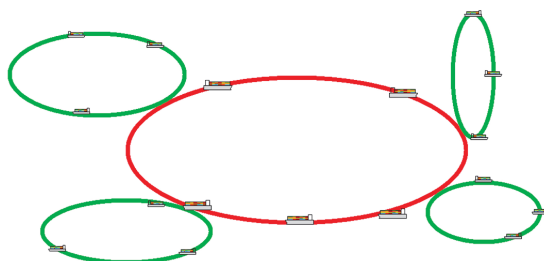


Рис. 8. Взаимное расположение судов в определенный момент времени

В принципе, данные о расписаниях движения на всех маршрутах позволяют точно определить положение каждого судна в любой момент времени и тем самым рассчитать точное время прибытия его в каждый порт маршрута. Практический расчет этого времени вызывает технические сложности даже для простейшей модели, показанной на рис. 4 и 8. Предлагаемая здесь модель отражает простейший вариант, показанный на рис. 4. Соответствующая данной конфигурации экранная форма представлена на рис. 9.

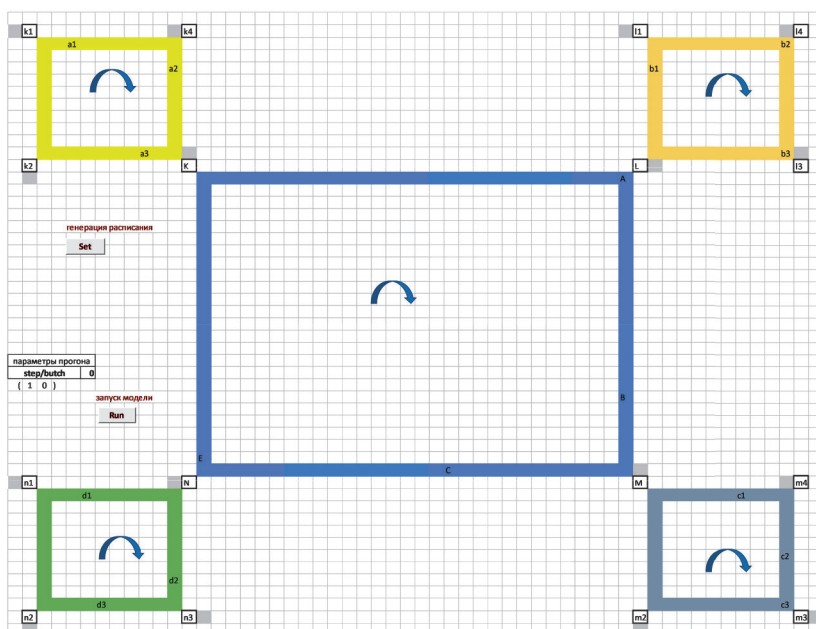


Рис. 9. Экранная форма модели

Вариант задания характеристик маршрутов для данной модели приведен на рис. 10.

Маршрут	Суда	Длина	Инт 0-1	Инт 1-2	Инт 2-3
<i>Trunk</i>	5	114	20	20	20
<i>Route k</i>	3	44	11	11	11
<i>Route l</i>	3	44	5	15	10
<i>Route m</i>	3	44	15	10	5
<i>Route n</i>	3	44	12	15	9

Names	1	2	3	4	5
<i>Trunk</i>	A	B	C	D	E
<i>Route k</i>	a1	a2	a3	a4	
<i>Route l</i>	b1	b2	b3	b4	
<i>Route m</i>	c1	c2	c3	c4	
<i>Route n</i>	d1	d2	d3	d4	

Рис. 10. Пример описания маршрутов судов

Для получения статистически достоверных характеристик исследуемого сочетания маршрутов выполняется многократное повторение отдельных экспериментов. С этой целью каждый раз производится генерация конкретного варианта положения магистральных и фидерных судов-контейнеровозов на маршрутах, заданных в рис. 10. Сочетание маршрутов, т. е. транспортно-логистический процесс перевозки груза в исследуемой инфраструктурной модели, составляется как некоторая программа, содержащая указанную последовательность операторов:

«Завезти» — предписывает завести груз в некоторый порт X ;

«Погрузить» — предписывает в порту X погрузить груз на судно Y . Если имя судна не указано, то груз помещается на первое зашедшее в порт судно линии;

«Выгрузить» — предписывает в порту X выгрузить груз с судна Y . Судно указывается либо явно (в операторе «Погрузить»), либо задается автоматически (при погрузке первого зашедшего в порт судна — в случае отсутствия имени в операторе «Погрузить»);

«Вывезти» — предписывает вывести доставленный груз из порта X .

Пример подобного маршрута с указанием конкретных судов приведен на рис. 11.

№	задание	порт	судно	статус	время
1	Завезти	k1			
2	Погрузить	k1	a1		
3	Выгрузить	K	a1		
4	Погрузить	K	D		
5	Выгрузить	M	D		
6	Погрузить	M	c3		
7	Выгрузить	m3	c3		
8	Вывезти	m3			

Рис. 11. Пример задания маршрута перевозки контейнеров с букировкой судов

Модель выполняется в пошаговом или пакетном режиме, который задается значением соответствующей управляющей переменной. Ход решения задачи отражается на графической модели стыковки магистральных маршрутов с фидерными линиями (рис. 12).

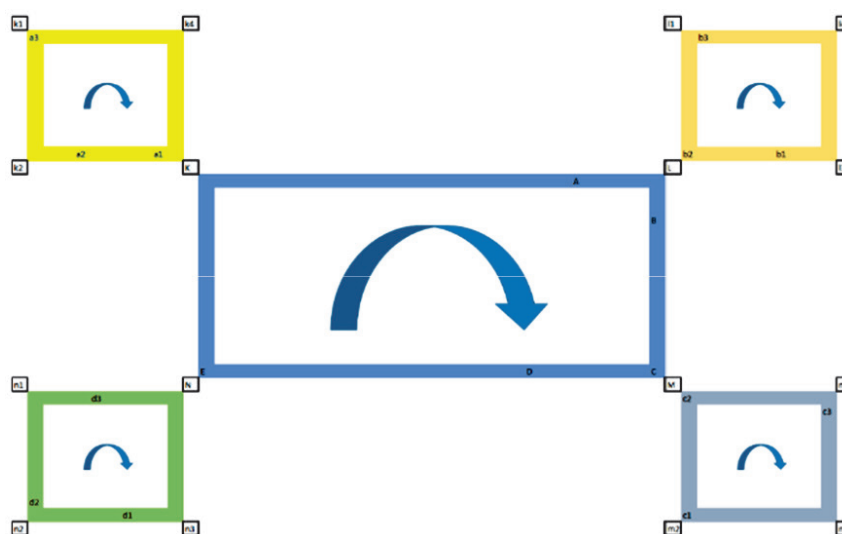


Рис. 12. Ситуационная модель стыковки маршрутов

Ожидание груза в том или ином порту отображается в виде квадрата красного цвета, условно отображающего склад соответствующего порта (рис. 13).

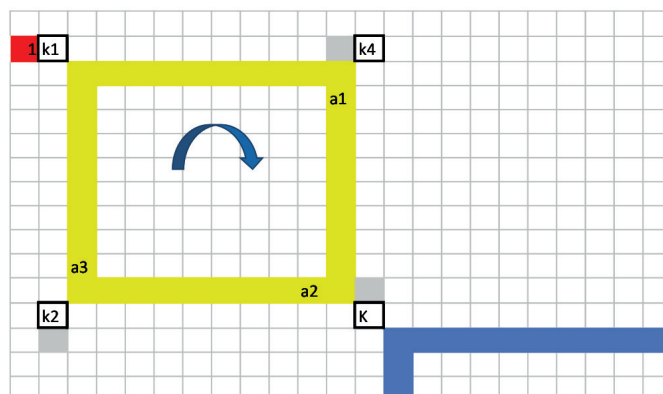


Рис. 13. Отображение хранения груза на складе порта k1

Факт и время выполнения каждого оператора составленной программы фиксируются в соответствующих колонках таблицы, которая принимает по завершению моделирования вид, приведенный на рис. 14.

№	задание	порт	судно	статус	время
1	Завезти	k1		done	1
2	Погрузить	k1	a3	done	10
3	Выгрузить	K	a3	done	32
4	Погрузить	K	E	done	33
5	Выгрузить	M	E	done	90
6	Погрузить	M	c3	done	101
7	Выгрузить	m3	c3	done	123
8	Вывезти	m3		done	124

Рис. 14. Отчет о выполнении программы

Результаты моделирования сводятся в таблицу, позволяющую судить о задержках груза во время ожидания судов в портах в ходе отдельного эксперимента (рис. 15).

Сводное время		
в порту	на борту	
9		
	22	
1		
	57	
11		
	22	
1		
Всего:	Всего:	Итого:
23	101	124

Рис. 15. Отчет о транспортном процессе

Представленная модель может быть использована для оценки распределения времени перевозки контейнеров между портами, находящимися на разных круговых маршрутах.

Результаты (Results)

Рассмотрим три маршрута линии СМА-CGM: два фидерных и один магистральный (рис. 16).

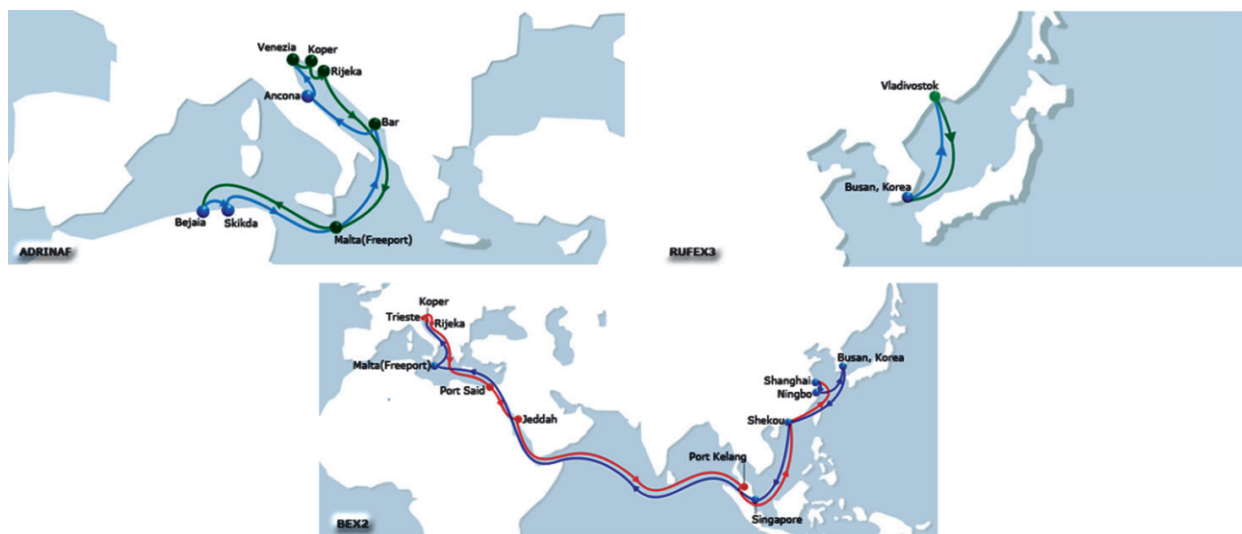


Рис. 16. Магистральные и фидерные маршруты

На каждом из них работает разное количество судов. Время рейса также различно. Основные данные по маршрутам приведены в следующей таблице:

Данные по морским рейсам

Название маршрута	Количество судов	Время рейса, сут	Интервалы между судами, сут
PhoenicianExpress	10	70	7
SSLMED AdrinafService	3	21	7
RussianFarEastExpress 3	1	7	7

Пусть из одного порта фидерного маршрута отправляются регулярные контейнерные отправки в порт другого фидерного маршрута. Поступление контейнеров равномерное. Попробуем оценить время рейса. В лучшем случае, общее время перевозки составит $70 + 21 + 7 = 98$ сут, однако расписание движения судов может значительно изменить это значение.

Оценим теперь распределение времени перевозки контейнеров с помощью предложенной в работе модели (рис. 17). Как видно из рисунка, время перевозки между двумя портами, находящимися на разных круговых маршрутах линии, может значительно отличаться от расчетного значения.

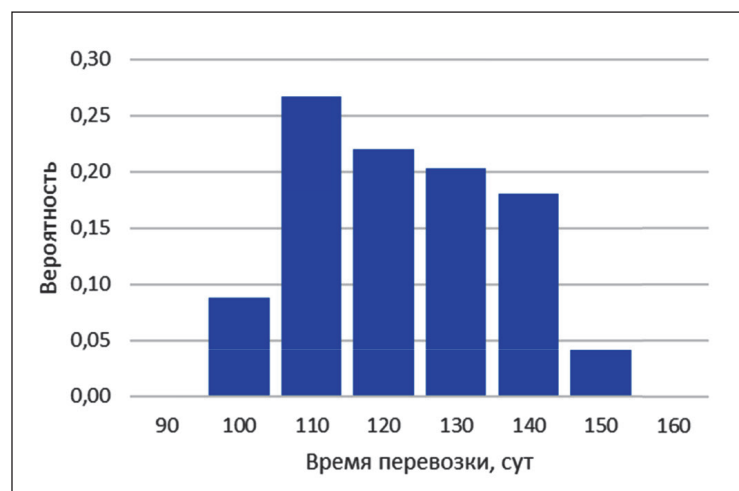


Рис. 17. Распределение времени перевозки при случайном характере длительности рейсов

Обсуждение (Discussion)

Программы, составленные в условных операторах для различных комбинаций портов и соединяющих порт маршрутов, с учетом букирования индивидуальных судов или произвольных судов линий, позволяют быстро планировать и проводить серии экспериментов с различными характеристиками движения судов.

Статистически достоверное количество экспериментов позволяет получить полное представление о характеристиках целевой случайной величины — времени перевозки по выбранному совокупному маршруту — в виде интегральной функции или плотности распределения (см. рис. 17). Таким образом, предлагаемый инструмент моделирования может использоваться как для анализа отдельных экземпляров транспортных процессов, так и для оценки эффективности всей действующей системы транспортировки, основанной на сопряжении морских и интермодальных маршрутов любой сложности.

Выводы (Summary)

На основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Проведенное исследование показало, что современная структура маршрутов морских контейнерных линий представляет собой совокупность взаимодействующих подсистем, работа которых не является и, видимо, не может быть полностью синхронизированной.
2. Определена графическая модель взаимодействующих магистральных и фидерных линий, позволяющая проводить вычислительные имитационные эксперименты, целью которых является прогноз объективно складывающегося достоверного времени доставки контейнеров, находящихся в сложной асинхронно функционирующей системе линейных маршрутов.
3. Результаты проведенного эксперимента позволяют предполагать целесообразность использования приведенной имитационной модели в практической деятельности операторов контейнерных линий, экспедиторов и транспортной клиентуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов А. Л. Морские контейнерные перевозки: моногр. / А. Л. Кузнецов [и др.]. — М.: Моркнига, 2019. — 412 с.
2. Кузнецов А. Л. Портоориентированная логистика: моногр. / А. Л. Кузнецов [и др.]. — М.: Моркнига, 2021. — 247 с.
3. Larsen R. B. Model predictive control for simultaneous planning of container and vehicle routes / R. B. Larsen, B. Atasoy, R. R. Negenborn // European Journal of Control. — 2021. — Vol. 57. — Pp. 273–283. DOI: 10.1016/j.ejcon.2020.06.003.
4. Santos T. A. The impact of container terminal relocation on hinterland geography / T. A. Santos, P. Martins, C. G. Soares // Journal of Transport Geography. — 2021. — Vol. 92. — Pp. 103014. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2021.103014.
5. Костылев И. И. Совершенствование контейнерной транспортной инфраструктуры на этапе инновационного развития России / И. И. Костылев, Э. К. Блинов // Транспорт Российской Федерации. — 2008. — № 5 (18). — С. 46–49.
6. Wong E. Y. C. Container drayage modelling with graph theory-based road connectivity assessment for sustainable freight transportation in new development area / E. Y. C. Wong, A. H. Tai, S. So // Computers & Industrial Engineering. — 2020. — Vol. 149. — Pp. 106810. DOI: 10.1016/j.cie.2020.106810.
7. Mühlbauer F. A parallelised large neighbourhood search heuristic for the asymmetric two-echelon vehicle routing problem with swap containers for cargo-bicycles / F. Mühlbauer, P. Fontaine // European Journal of Operational Research. — 2021. — Vol. 289. — Is. 2. — Pp. 742–757. DOI: 10.1016/j.ejor.2020.07.034.
8. Yang X. Combined strip and discharge delivery of containers in heterogeneous fleets with time windows / X. Yang, H. A. Daham, A. Salhi // Computers & Operations Research. — 2021. — Vol. 127. — Pp. 105141. DOI: 10.1016/j.cor.2020.105141.
9. Тумова Т. С. Организация транспортно-складских систем железнодорожного транспорта / Т. С. Тумова, О. Д. Покровская // Известия Петербургского университета путей сообщения. — 2018. — Т. 15. — № 3. — С. 327–343.

10. Alfandari L. Tighter MIP models for barge container ship routing / L. Alfandari, T. Davidović, F. Furini, I. Ljubić, V. Maraš, S. Martin // *Omega*. — 2019. — Vol. 82. — Pp. 38–54. DOI: 10.1016/j.omega.2017.12.002.
11. Maraš V. Routing of barge container ships by mixed-integer programming heuristics / V. Maraš, J. Lazić, T. Davidović, N. Mladenović // *Applied Soft Computing*. — 2013. — Vol. 13. — Is. 8. — Pp. 3515–3528. DOI: 10.1016/j.asoc.2013.03.003.
12. Kuznetsov A. L. Planning Simulation Experiments in the Tasks of Studying the Operational Strategies of Container Terminals / A. L. Kuznetsov, A. V. Kirichenko, A. D. Semenov, H. Oja // *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. — 2020. — Vol. 14. — No. 4. — Pp. 845–849. DOI: 10.12716/1001.14.04.08.
13. Kuznetsov A. L. Analytical Assessment of Stochastic Spread of Demand for the Port Storage Capacity / A. L. Kuznetsov, H. Oja, A. D. Semenov // *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. — 2020. — Vol. 14. — No. 4. — Pp. 841–844. DOI: 10.12716/1001.14.04.07.

REFERENCES

1. Kuznetsov, A. L., A. V. Kirichenko, O. V. Solyakov, and A. D. Semenov. *Morskie konteinerne perevozki: monografiya*. M.: MORKNIGA, 2019.
2. Kuznetsov, A. L., A. V. Kirichenko, O. V. Solyakov, and A. D. Semenov. *Portoorientirovannaya logistika: monografiya*. M.: MORKNIGA, 2021.
3. Larsen, Rie B., Bilge Atasoy, and Rudy R. Negenborn. “Model predictive control for simultaneous planning of container and vehicle routes.” *European Journal of Control* 57 (2021): 273–283. DOI: 10.1016/j.ejcon.2020.06.003.
4. Santos, Tiago A., P. Martins, and C. Guedes Soares. “The impact of container terminal relocation on hinterland geography.” *Journal of Transport Geography* 92 (2021): 103014. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2021.103014.
5. Kostylev, I. I., and E. K. Blinov. “Sovershenstvovanie konteinernoi transportnoi infrastruktury na etape innovatsionnogo razvitiya Rossii.” *Transport Rossiiskoi Federatsii* 5(18) (2008): 46–49.
6. Wong, Eugene Yin Cheung, Allen H. Tai, and Stuart So. “Container drayage modelling with graph theory-based road connectivity assessment for sustainable freight transportation in new development area.” *Computers & Industrial Engineering* 149 (2020): 106810. DOI: 10.1016/j.cie.2020.106810.
7. Mühlbauer, Ferdinand, and Pirmin Fontaine. “A parallelised large neighbourhood search heuristic for the asymmetric two-echelon vehicle routing problem with swap containers for cargo-bicycles.” *European Journal of Operational Research* 289.2 (2021): 742–757. DOI: 10.1016/j.ejor.2020.07.034.
8. Yang, Xinan, Hajem A. Daham, and Abdellah Salhi. “Combined strip and discharge delivery of containers in heterogeneous fleets with time windows.” *Computers & Operations Research* 127 (2021): 105141. DOI: 10.1016/j.cor.2020.105141.
9. Titova, Tamila S., and Oksana D. Pokrovskaya. “Organization of railroad storage-retrieval systems.” *Proceedings of Petersburg Transport University* 15.3 (2018): 327–343.
10. Alfandari, Laurent, Tatjana Davidović, Fabio Furini, Ivana Ljubić, Vladislav Maraš, and Sébastien Martin. “Tighter MIP models for barge container ship routing.” *Omega* 82 (2019): 38–54. DOI: 10.1016/j.omega.2017.12.002.
11. Maraš, Vladislav, Jasmina Lazić, Tatjana Davidović, and Nenad Mladenović. “Routing of barge container ships by mixed-integer programming heuristics.” *Applied Soft Computing* 13.8 (2013): 3515–3528. DOI: 10.1016/j.asoc.2013.03.003.
12. Kuznetsov, A. L., A. V. Kirichenko, A. D. Semenov, and H. Oja. “Planning Simulation Experiments in the Tasks of Studying the Operational Strategies of Container Terminals.” *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation* 14.4 (2020): 845–849. DOI: 10.12716/1001.14.04.08.
13. Kuznetsov, A. L., H. Oja, and A. D. Semenov. “Analytical Assessment of Stochastic Spread of Demand for the Port Storage Capacity.” *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation* 14.4 (2020): 841–844. DOI: 10.12716/1001.14.04.07.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Kuznetsov, Aleksandr L. —
Dr. of Technical Sciences, professor
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

Кириченко Александр Викторович —

доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»

198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7

e-mail: KirichenkoAV@gumrf.ru

Семенов Антон Денисович —

диспетчер

ООО «Логистический парк «Янино»

Российская Федерация, Ленинградская область,
Всеволожский район, д. Янино-1,

Торгово-логистическая зона «Янино-1», № 1

e-mail: asemyonov054@gmail.com

Kirichenko, Aleksandr V. —

Dr. of Technical Sciences, professor
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping

5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,
Russian Federation

e-mail: KirichenkoAV@gumrf.ru

Semenov, Anton D. —

Dispatcher

Yanino Logistics Park LLC

Vsevolozhsky District, Yanino-1 village,
Trade and logistics zone Yanino-1, No. 1,

Leningrad Region, Russian Federation

e-mail: asemyonov054@gmail.com

Статья поступила в редакцию 11 мая 2021 г.

Received: May 11, 2021.