

УДК 656.073.001.572  
ББК 39.18.В6

*В. А. Гудков, М. С. Турпищева, Е. Р. Нургалиев*

## ЛОГИСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ ГРУЗОВЫХ КОНТЕЙНЕРОВ

*V. A. Gudkov, M. S. Turpishcheva, E. R. Nurgaliev*

## LOGISTIC MODELS OF THE SYSTEMS OF CARGO CONTAINERS' PROCESSING

Повышение эффективности процессов транспортировки грузов и их переработки на транспортных терминалах требует рационального распределения ресурсов, транспорта и перегрузочной техники. Контейнерные перевозки позволяют стабилизировать работу всех участников транспортного процесса. Предлагается моделировать процессы транспортной системы, описывая их вероятностными и имитационными моделями, и на основе исследования результатов синтезировать логистические пути перемещения и обработки грузовых контейнеров, отвечающие критериям качества и эффективности.

**Ключевые слова:** грузовые контейнерные перевозки, логистика, моделирование

The increase in efficiency of cargo transportation and its processing at transport terminals requires a rational allocation of resources, transport and handling equipment. Container transportation stabilizes the work of all the key players in this process. It is proposed to simulate the processes of the transport system, describing their probability and simulation models, and on the basis of the results of the study to synthesize the logistic ways of transportation and handling of cargo containers that meet the criteria of quality and efficiency.

**Key words:** cargo container shipping, logistics, simulation.

Выгодное географическое положение Российской Федерации позволяет рассматривать ее территорию как один из крупнейших в мире путей по транзиту грузов (с востока на запад – из стран Юго-Восточной Азии в Западную Европу, и с севера на юг – из стран Северной Европы в Центральную Азию и на Ближний Восток).

Недостаточно эффективное использование возможностей по транспортировке грузов объясняется как недозагруженностью основных транспортных магистралей (в частности, Транссибирской), так и недостаточно развитой инфраструктурой узловых перегрузочных пунктов.

Все это приводит на современном этапе к нестабильной работе транспортных коридоров для транзитных и внутрироссийских грузопотоков, тогда как важнейшим условием современной транспортной логистики, основанной на соблюдении принципа «Just-in-time» («точно в срок»), является ритмичность поставок. Соответственно, весь выигрыш во времени, достигаемый за счет транзита грузов по территории России, исчезает в связи с аритмичностью грузопотоков.

Значительная часть грузов в мире транспортируется при помощи контейнеров (стандартные 20- и 40-футовые контейнеры, контейнеры специального назначения), использование которых позволяет стандартизировать перевозимые грузы. Развитие контейнерных перевозок стало одним из следствий разделения мирового рынка труда, когда производимые в различных странах товары нуждались в унифицированной, надежной и удобной таре при перевозках на дальние расстояния (грузопотоки между странами Юго-Восточной Азии или Центральной и Латинской Америки и Западной Европы).

Ведущая роль контейнерных перевозок в мировом грузообороте обостряет проблемы в транспортной инфраструктуре России – отставание в использовании контейнеров, контейнеризации грузопотоков внутри самой страны. В России не хватает самих контейнеров (в стране они почти не производятся), недостаточно обустроенных терминалов, практически нет подъемно-транспортной техники для высокопроизводительной перегрузки контейнеров.

В настоящее время внутри страны в контейнерах перевозится всего 6 % контейнеропригодных грузов.

Контейнеры позволяют перевозить большую часть выпускаемой продукции: товары народного потребления – одежду, обувь, телевизоры, холодильники и пр., т. е. изделия легкой промышленности, цифровую и бытовую технику; продукты питания любого рода – от консер-

вов до молока и соков, т. е. как скоропортящиеся продукты, так и продукты длительного хранения; различное оборудование, причем не только отдельные детали и механизмы, но и готовую продукцию (автомобили и пр.).

Существуют технологии, позволяющие перевозить в специализированных контейнерах насыпные грузы, что удешевляет их перевозку. Успешно применяются так называемые танк-контейнеры, предназначенные для транспортировки наливных грузов, в том числе нефти и нефтепродуктов.

Интенсификация использования контейнеров во внутрироссийских грузоперевозках позволит не только добиться большей унификации перевозимых грузов, но и существенно удешевить перевозку (по сравнению, например, с перевозкой единиц оборудования отдельными грузоместами) и повысить скорость переработки в узловых точках – портах или контейнерных терминалах.

Использование контейнеров уменьшает потребность в складских площадях. Контейнер представляет собой надежную тару для любого рода грузов, и поэтому отпадает нужда возводить специальные склады для их размещения.

Контейнеры позволяют значительно автоматизировать сами перевозки. Это достигается за счет использования специализированных подъемно-транспортных машин (контейнерных перегружателей) и захватных приспособлений (автоматических и полуавтоматических спредеров).

Применение контейнеров ускоряет доставку грузов, позволяет применять современные логистические решения, в частности «от двери до двери» и «точно в срок».

Наконец, использование контейнеров повышает сохранность груза и надежность его доставки с сохранением качества.

Однако увеличение доли контейнеров потребует соответствующим образом налаженной и четко функционирующей инфраструктуры контейнерных перевозок.

Это связано с созданием и усовершенствованием специализированных контейнерных терминалов на базе уже имеющихся портов, автотранспортных предприятий, железнодорожных станций, оснащением их соответствующим подъемно-транспортным оборудованием.

Требуется создание портов-хабов для обслуживания судов-контейнеровозов большой грузместимости (соответственно, потребуются углубление причалов для подхода подобных судов), которые позволяют распределять контейнеры и прочие грузы по различным транспортным коридорам, минуя перегруженные магистрали возле крупных городов, и организация слаженной работы железнодорожных и автопредприятий.

Для 40-футовых контейнеров в России в настоящее время практически не существует терминалов, автомобильных и железнодорожных платформ, хотя именно контейнеры таких размеров являются самыми экономичными.

Одна из главных причин низкой контейнеризации грузоперевозок внутри страны, а также отсутствие достаточных объемов транзита контейнеров – большой риск потери контейнеров, груза в контейнерах, повреждения контейнеров или груза.

Наиболее эффективное средство, позволяющее избежать потерь, – оснащение контейнеров специальным оборудованием. Оно дает возможность дистанционно, например с помощью спутниковой связи, контролировать состояние груза, его температурный режим, целостность самого контейнера. На пограничных станциях устанавливается оборудование, которое позволяет просвечивать контейнеры ультразвуком или рентгеновскими лучами.

Эта задача успешно решается при перевозке контейнеров автотранспортом или автопоездами, т. к. автотранспорт оснащен системой навигации.

Подобное оборудование способствует не только большей сохранности грузов, минимизации рисков и наглядности транспортировки контейнера для грузовладельца, но и ускорению прохождения таможенных процедур и пограничного контроля, что позволит существенно сократить время нахождения контейнера в пути, а также время, затрачиваемое на поиск, сортировку и формирование партии из отдельных контейнеров. Грузовладелец получает возможность отслеживать состояние и местоположение контейнера на всем пути транспортировки за счет использования систем спутниковой навигации.

Эффективность работы контейнерного терминала определяется действием нескольких факторов: месторасположением, удаленностью от центров концентрации грузопотоков, а также физическими параметрами, например размерами самого терминала, его конфигурацией, перерабатывающей способностью средств механизации.

Однако развитие логистики на транспорте и при перевозке контейнеров в частности требует учитывать различные внешние факторы, к которым можно отнести: объем и структуру грузопотока, габариты и виды принимаемых терминалом судов (в порту) и транспорта (автомобильного, железнодорожного) и пр.

Помимо крупных контейнерных терминалов, существуют отдельные контейнерные пункты, в том числе и не привязанные к водным путям, осуществляющие перевалку контейнеров с автомобильного на железнодорожный транспорт либо между одним и тем же видом транспорта.

При этом также ставится задача оптимизации параметров подобных контейнерных пунктов.

Так, пропускная способность пунктов переработки контейнеров (ППК) определяется емкостью контейнерной площадки (КП), а также количеством и технологией работы средств механизации. Эффективность обслуживания контейнеропотоков на ППК в значительной степени зависит от уровня организации технологических процессов и технического оснащения ППК.

Объемы поступления контейнеров на ППК неравномерны. Вследствие сложности и случайного характера факторов, воздействующих на работу контейнерных пунктов, при модельном представлении исследуемой системы процессы в ППК в ряде работ [1, 2] рассматриваются с использованием основных положений теории систем массового обслуживания (СМО). В данном случае множество контейнеров на КП определяет требования на обслуживание, а каналами обслуживания являются контейнеро-места.

Под обслуживанием понимается предоставление места для хранения контейнеров на ППК. Таким образом, ППК является в данном случае многоканальной СМО. Система является разомкнутой, поскольку число требований, поступающих в нее, не ограничено. Система полностью доступна, т. к. каналы обслуживания взаимозаменяемы. Если входящий поток контейнеров на ППК обладает свойствами стационарности, ординарности и отсутствия последствия, то он считается простейшим. Уровень загрузки такой СМО определяется посредством выражения

$$\phi = \frac{\lambda}{\mu \cdot S},$$

где  $\lambda$  – интенсивность входящего потока контейнеров;  $\mu$ ,  $S$  – соответственно интенсивность использования одного канала обслуживания и число каналов.

Устойчивая работа СМО обеспечивается при уровне ее загрузки  $\phi < 1$ . В рассматриваемой системе вероятность поступления  $K$  требований на обслуживание в момент времени  $t$  и предельные величины вероятностей  $P_0(k)$  в установившемся режиме работы КП могут быть определены по данным, приведенным в [1]. Среднее время ожидания обслуживания в системе составит

$$\omega = \frac{P_0}{\mu S} \frac{S^S \phi^S}{S!(1-\phi)^2} \left( C_t^2 + (1-C_t^2) \frac{S}{S+1} \frac{1-\phi^{S-1}}{1-\phi^S} \right),$$

где  $C_t$  – коэффициент вариации времени обслуживания требования.

Необходимо выявить оптимальную величину времени ожидания обслуживания, что позволяет определить требуемую вместимость ППК. Анализ работы ППК показывает, что простой контейнеров на площадке вызывается следующими причинами: а) ожиданием погрузки в вагоны или на автотранспорт; б) ожиданием таможенного осмотра и капитальным ремонтом контейнеров. Для каждого вида обслуживания контейнеров среднее время ожидания выполнения работ различно.

Среднее время ожидания погрузки в вагоны непосредственно связано с обслуживанием входящего потока контейнеров, длина очереди которого к каналам обслуживания не должна быть меньше единицы. Следовательно, здесь справедливо соотношение  $\omega \cdot \lambda > 1$ .

Время нахождения контейнеров на ППК представляет собой непрерывную случайную величину. К основным ее характеристикам относятся плотность и функция распределения.

Перерабатывающая способность ППК зависит от емкости КП и от перерабатывающей способности средств механизации. Существующие источники расчета перерабатывающей способности ППК позволяют получить приближенные результаты, поскольку в расчетах учитывается только неравномерность контейнеропотоков. Такой способ расчета приводит к существенным ошибкам.

Значительное влияние на перерабатывающую способность КП оказывает емкость одного контейнеро-места и вместимость контейнерного пункта.

При определении перерабатывающей способности ППК посредством механизации в качестве каналов обслуживания системы целесообразно рассматривать средства механизации.

Нарушения ритма поступления и отправки грузов, вызванные в том числе недостатками в системе управления взаимодействием участников транспортно-перегрузочного процесса, не позволяют реализовать логистические цепочки перемещения грузов, отвечающие основным критериям качества данных услуг.

Разработка модели процесса совместной работы автомобильных, железнодорожных и портовых терминалов и создание на ее основе программного комплекса позволят повысить эффективность управления грузоперевозками и снизить издержки участников транспортного процесса от простоев автопоездов, железнодорожных вагонов с грузом и судов в ожидании погрузки (разгрузки).

Целевые функции системы базируются на основных логистических принципах: минимизация интегральных издержек и времени прохождения груза, надежность и качество перевозок.

Описание транспортно-логистической системы только аналитическими методами достаточно сложно из-за большого числа параметров и факторов влияния на нее. Внешние факторы, параметры входных процессов и характеристики системы имеют вероятностную природу, поэтому результаты прогнозирования поведения системы только с помощью функций, описывающих случайные процессы, достоверны в определенных границах использования.

Целесообразно при моделировании рассматриваемой системы грузоперевозок использовать комбинацию аналитических, вероятностных и имитационных методов. Это позволит наиболее точно и гибко отразить многофакторные нестационарные процессы формирования критериев управления.

Аппарат имитационного моделирования позволяет получить множество реализаций входных процессов в режиме текущего времени при конкретных значениях параметров системы. Методологической основой имитационного моделирования является системный анализ. Отдельные элементы, процессы в имитационной модели описываются сложными интегральными и дифференциальными уравнениями, которые реализуются с помощью традиционных вычислительных процедур. Аппарат имитационного моделирования включает весь арсенал аналитического моделирования на этапе идентификации имитационной модели. В то же время имитационное моделирование позволяет использовать идеи и приемы статистического моделирования при поиске оптимального решения.

Задача рационального управления движением грузов в транспортном узле требует разработки модели, имитирующей процессы движения автомобилей, железнодорожных вагонов, судов, их загрузки и разгрузки на транспортных терминалах.

В ходе анализа предметной области были выделены основные объекты, процессы и формализованы общие алгоритмы функционирования железнодорожной сети и морских портов.

На основе имеющихся данных с помощью системы имитационного моделирования AnyLogic v5.4.1 была составлена дискретно-событийная модель [3]. Система AnyLogic v5.4.1, являясь транзакционно-аналитической системой, способна одновременно учитывать все релевантные факторы и ограничения в снабжении, производстве, дистрибуции, транспортных и складских операциях и производить имитационные «прогоны» для поиска оптимальной «подстройки» этих ограничений.

Модель собрана на основе объектов библиотеки AnyLogic Enterprise Library, которая предоставляет высокоуровневый интерфейс для быстрого создания дискретно-событийных моделей с помощью блок-схем [4].

Структура и общие алгоритмы работы модели представлены в [4].

В общем случае предлагаемыми методами решается задача эффективного управления неритмичными грузопотоками, подающимися на терминалы различными транспортными средствами.

Результаты имитационного моделирования транспортной системы позволят определить оптимальные алгоритмы управления грузопотоками в местах пересечения транспортных артерий.

Повышение эффективности управления процессом переработки грузов в терминалах, рациональное распределение ресурсов позволят снизить издержки участников транспортного процесса.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кофман А., Крюон Р.* Массовое обслуживание. Теория и приложения. – М.: Мир, 1965. – 303 с.
2. *Турпищева М. С., Кожушко А. А.* Моделирование мультимодальных грузовых перевозок на примере транспортной сети Астраханской области: сб. докл. III Всерос. науч.-практ. конф. «Имитационное моделирование. Теория и практика», СПб., 17–19 октября 2007 г. – СПб., 2007. – С. 266.
3. *Карпов Ю. Г.* Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование в среде AnyLogic. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 403 с.
4. *Турпищева М. С., Кожушко А. А.* Имитационная модель совместной работы железной дороги и портовых терминалов // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. – 2008. – № 5 (46). – С. 79–83.

## REFERENCES

1. *Kofman A., Kriouon R.* *Massovoe obsluzhivanie. Teoriia i prilozheniia* [Public services. Theory and applications]. Moscow, Mir Publ., 1965. 303 p.
2. *Turpishcheva M. S., Kozhushko A. A.* *Modelirovanie mul'timodal'nykh gruzovykh perezovok na primere transportnoi seti Astrakhanskoi oblasti: sb. dokl. III Vseros. nauch.-prakt. konf. «Imitatsionnoe modelirovanie. Teoriia i praktika»* [Modeling of multimodal freight handling by the example of Astrakhan region transport network: Collection of papers of the III All-Russian Scientific Conference "Simulation. Theory and practice", Sankt-Peterburg, 17–19 oktjabria 2007 g.]. Saint Petersburg, 2007, p. 266.
3. *Karpov Iu. G.* *Imitatsionnoe modelirovanie sistem. Vvedenie v modelirovanie v srede AnyLogic.* [Simulation of the systems. Introduction into modeling in AnyLogic]. Saint Petersburg, BKhV-Peterburg Publ., 2006. 403 p.
4. *Turpishcheva M. S., Kozhushko A. A.* *Imitatsionnaia model' sovmestnoi raboty zheleznoi dorogi i portovykh terminalov* [Simulation model of the joint work of the railway and port terminals]. *Vestnik Astrakhan-skogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2008, no. 5 (46), pp. 79–83.

Статья поступила в редакцию 27.09.2012

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Гудков Владислав Александрович** – Волгоградский государственный технический университет; г-р техн. наук, профессор; зав. кафедрой «Автомобильные перевозки»; ap@vstu.ru.

**Gudkov Vladislav Aleksandrovich** – Volgograd State Technical University; Doctor of Technical Sciences, Professor; Head of the Department "Automobile transportation"; ap@vstu.ru.

**Турпищева Марина Семёновна** – Астраханский государственный технический университет; канд. техн. наук, профессор; профессор кафедры «Подъемно-транспортные машины, производственная логистика и механика машин»; ctl@astu.org.

**Turpishcheva Marina Semenovna** – Astrakhan State Technical University; Candidate of Technical Sciences, Professor; Professor of the Department "Lifting-and-Shifting Machines, Industrial Logistics and Machinery Mechanics"; ctl@astu.org.

**Нургалиев Есбол Русланович** – Астраханский государственный технический университет; канд. техн. наук; старший преподаватель кафедры «Подъемно-транспортные машины, производственная логистика и механика машин»; lver7@yandex.ru.

**Nurgaliev Esbol Ruslanovich** – Astrakhan State Technical University; Candidate of Technical Sciences; Senior Lecturer of the Department "Lifting-and-Shifting Machines, Industrial Logistics and Machinery Mechanics"; lver7@yandex.ru.