

УДК 004.942

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ И ЛОГИСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Никишкина Е.В.

студент,

Калужский государственный университет им. К.Э. Циолковского,

Россия, г. Калуга

Сорочан В.В.

к.ф.-м.н., доцент кафедры информатики и информационных технологий,

Калужский государственный университет им. К.Э. Циолковского,

Россия, г. Калуга

Аннотация

Статья посвящена применению компьютерного моделирования для оптимизации транспортных потоков. Переплетение товарных потоков и одновременное усиление взаимодействия между партнёрами, участвующими в процессах планирования и управления логистическими системами, требуют всё более подробного описания, разработки и анализа этих систем. Эффективное планирование и оптимизация процессов закупки, производства и дистрибуции в цепочке создания ценности с учётом производительности, затрат и пользы возможны только при использовании соответствующих методов и инструментов. Решающую роль в этом контексте играют построение моделей и дискретная имитация событий.

Ключевые слова: транспортно-логистическая система, компьютерное моделирование, транспортные потоки, логистические системы, оптимизация, алгоритмы управления, транспортная инфраструктура, моделирование транспортных систем, производительность, регулирование дорожного движения.

MODELING OF TRANSPORT FLOWS AND LOGISTICS SYSTEMS

Nikishkina E.V.

student,

Kaluga State University named after K.E. Tsiolkovsky,

Kaluga, Russia

Sorochan V.V.

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the

Department of Informatics and Information Technologies,

Kaluga State University named after K.E. Tsiolkovsky,

Kaluga, Russia

Abstract

The article is devoted to the application of computer modeling for optimization of transport flows. The intertwining of commodity flows and the simultaneous strengthening of interaction between partners involved in the planning and management of logistics systems require more and more detailed description, development and analysis of these systems. Effective planning and optimization of the purchasing, production and distribution processes in the value chain, taking into account productivity, costs and benefits, is only possible with the use of appropriate methods and tools. Model building and discrete event simulation play a decisive role in this context.

Keywords: transportation and logistics system, computer modeling, transportation flows, logistics systems, optimization, algorithms modeling, transport flows, logistic systems, optimization, algorithms of control, transport infrastructure, modeling of transport systems, performance, traffic control.

Количество личных транспортных средств и общественного транспорта в городах увеличивается с каждым годом, поэтому растущая автомобилизация, особенно в крупных городах, усугубляет проблему организации дорожного движения. Глобальные изменения в разделении труда и торговле требуют пересмотра и модернизации транспортных и логистических систем на всех уровнях. Это естественным образом изменяет торговые балансы между участниками глобальной экономики [8]. Такие изменения в мировой экономике, в свою очередь, привели к необходимости переосмысления развития и модернизации существующих транспортно-логистических систем как на глобальном, так и на региональном уровнях. Формирование новых и модернизация существующих региональных транспортно-логистических систем будут определять экономическое развитие самих регионов в долгосрочной перспективе. Расходы на транспортировку и логистику в России составляют около 20% ВВП, в то время как средние мировые расходы составляют около 11% ВВП. В то же время показатель транспортно-логистической привлекательности России в рейтинге Всемирного банка последних пяти лет в целом не улучшается [13]. Поэтому изучение функционирования транспортно-логистических систем, включая математическое и компьютерное моделирование, остается актуальной задачей.

В рамках данного исследования транспортно-логистическая система рассматривается как инфраструктурный комплекс, включающий в себя объекты и участников, необходимых для транспортировки, хранения и распределения товаров. При таком подходе первостепенное значение приобретает обеспечение бесперебойного функционирования этой системы, что, в свою очередь, определяет необходимость исследований, направленных на оценку её устойчивости.

За последние 20 лет организация дорожного движения в России стала серьезной проблемой, приводящей к постоянным пробкам. Для решения этой проблемы были предложены различные стратегии. С одной стороны, Дневник науки | www.dnevniknauki.ru | СМИ Эл № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

используется селективная настройка светофоров, позволяющая оперативно корректировать движение в текущий момент. Этот метод основан на работе систем управления движением, которые управляют светофорами на отдельных перекрестках независимо друг от друга [10]. С другой стороны, предлагается долгосрочное планирование, которое включает в себя управление всей дорожной сетью и введение платы за пользование дорогами. Этот подход направлен на устранение заторов в долгосрочной перспективе. В рамках этой стратегии рассматриваются два основных направления: расширение сети платных автомагистралей и разделение частных и общественных транспортных потоков за счет расширения и совершенствования системы общественного транспорта [15].

Во время вождения крайне важно помнить о безопасной дистанции – это то расстояние, которое позволит избежать столкновения, если впереди идущий автомобиль резко затормозит. Безопасная дистанция не является фиксированной величиной; она увеличивается с ростом скорости. При расчете безопасной дистанции необходимо учитывать три ключевых фактора: длину своего автомобиля, тормозной путь и время реакции (которое может составлять от 0,5 до 1 секунды) [6]. Кинетическая энергия объекта определяется по формуле $E_k = (mv^2)/2$, где m – масса тела, v – его скорость. Безопасное расстояние и плотность среды связаны обратно пропорционально: увеличение плотности приводит к уменьшению безопасного расстояния, и наоборот [7]. Когда скорость, плотность и другие параметры взаимосвязаны, их зависимость можно описать уравнением состояния. Если скорость зависит от плотности, то зависимость потока (произведение скорости и плотности) от плотности также является уравнением состояния [11].

Рассмотрим задачу оптимизации транспортного потока. Водители стремятся минимизировать время пути, что зависит от скорости движения. Существуют два варианта: ехать в плотном потоке, где много машин, но низкая скорость или ехать в более свободном потоке, где меньше автомобилей, но выше

Дневник науки | www.dnevniknauki.ru | СМН ЭЛ № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

скорость. Задача в том, чтобы найти оптимальный способ организации движения, чтобы водители добирались быстрее. Идея заключается в разгрузке потока и увеличении расстояния между автомобилями. Для решения этой задачи необходимо разработать интеллектуальную систему управления транспортным потоком, которая, используя данные о дорожной сети и состоянии трафика, сможет регулировать движение с помощью светофоров [3]. Цель данной системы – перевести поток из медленного и плотного состояния в быстрое и разреженное.

Второй метод использует зависимость времени проезда по ребру графа (дороге) от параметров, характеризующих состояние транспортного потока, таких как плотность. Задача распределения трафика при известном спросе моделируется как популяционная игра загрузки [9]. Каждый водитель стремится минимизировать своё время в пути, которое зависит от стратегий других водителей. В итоге формируется равновесие Нэша, когда ни один водитель не может улучшить свое время в пути, изменив маршрут. Однако это равновесие не является эффективным с точки зрения Парето, поскольку существует возможность перераспределения трафика, улучшающего время в пути для некоторых водителей без ухудшения для других участников дорожного движения [1].

Предлагается решение, которое может улучшить дорожную ситуацию для всех водителей, по крайней мере в некоторых случаях, если перед участниками дорожного движения поставить конкретную задачу куда и как им ехать. Однако, люди не будут придерживаться этого решения, потому что каждый стремится к максимальной личной выгоде. Если нет баланса, каждый водитель будет пытаться получить преимущество, идя против общего блага. Эта проблема была признана уже давно, но до 1970-х годов эффективного решения не существовало. Современный подход заключается в том, чтобы контролировать эту «игру» с помощью платных дорог. Суть в том, чтобы взимать плату за проезд таким образом, чтобы "штрафовать" водителя на сумму, эквивалентную дискомфорту, который он причиняет другим участникам дорожного движения. Иными

Дневник науки | www.dnevniknauki.ru | СМН ЭЛ № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

словами, если действия водителя замедляют движение других, это можно оценить количественно. Механизм Викри-Кларка-Гровса, удостоенный Нобелевской премии, предлагает взимать с каждого водителя плату, пропорциональную тому, насколько его действия ухудшают условия для остальных. В современном мире повсеместное распространение мобильных устройств с GPS и ГЛОНАСС позволяет легко отслеживать передвижение транспортных средств [6]. Это позволяет автоматически рассчитывать плату за использование дорог, поэтому можно в конце месяца присылать счёт за пользование услугами той или иной дороги. Такой подход может быть более гибким, чем существующая система оплаты проезда на въезде на платные участки. Важно отметить, что текущая система платных дорог может приводить к неэффективному распределению ресурсов. В новой системе можно пересмотреть правила, учитывая не только прямые финансовые затраты, но и потери времени, которые несут водители. Помимо этого, необходимо избегать дополнительных штрафов, которые усугубляют ситуацию.

Таким образом, эффективное управление платными дорогами позволяет оптимизировать транспортную систему в целом, приводя её к состоянию, когда суммарное время, затрачиваемое всеми участниками движения, минимально. Математические методы для достижения этой цели уже разработаны и хорошо изучены. Это представляет собой второй, более долгосрочный подход к решению проблемы пробок, поскольку он может включать в себя такие меры, как выделение дополнительных полос или даже строительство новых дорог [12]. Оба подхода – и управление платными дорогами, и оптимизация транспортной системы – тесно связаны, так как при расчете затрат пользователей на проезд необходимо учитывать текущее состояние дорожной сети, используя соответствующие математические модели [4].

И наконец третий заключительный метод. Вместо платы за проезд, лучше пойти по пути улучшения системы общественного транспорта. За счет этого способа можно существенно улучшать свойства транспортной системы [5].

Большинство городов сталкиваются с проблемой дорожных заторов из-за нелинейной зависимости времени в пути от количества автомобилей на дорогах. До определенной степени увеличение числа водителей практически не влияет на среднее время поездки. Однако, после достижения критической точки, время в пути резко возрастает. Эта закономерность характерна для большинства городов, а не только для Москвы. Следствием этого является то, что люди, готовые мириться с определенным временем, проведенным в дороге, будут приобретать автомобили и использовать их в городе, пока не достигнут порога терпимости, что неизбежно приводит к пробкам. Строительство новых дорог лишь временно откладывает решение проблемы, поскольку со временем они также будут перегружены. Вместо того, чтобы строить новые дороги в надежде, что это решит проблему пробок и привлечет новых жителей, разумнее инвестировать в развитие общественного транспорта [14]. Улучшение качества и доступности электричек, автобусов и другого общественного транспорта (увеличение частоты рейсов, повышение комфорта и скорости) снизит зависимость людей от личных автомобилей. Готовность человека мириться с пробками напрямую зависит от того, насколько привлекательна альтернатива в виде общественного транспорта. Хотя какое-то минимальное строительство дорог необходимо, основной акцент должен быть сделан на создании удобной и эффективной системы общественного транспорта. Большинство крупных городов мира решают проблему пробок именно так: вводят платные дороги, предлагают хорошую альтернативу в виде общественного транспорта и оптимизируют работу светофоров. Эти подходы и являются основными стратегиями борьбы с пробками, как показано в исследовании.

В условиях растущей автомобилизации и глобальной торговли данная работа посвящена важнейшей роли транспортно-логистических систем и необходимости их изучения и моделирования. Учитывая, что эти системы являются важнейшим инфраструктурным элементом устойчивого развития, в исследовании анализируются проблемы и перспективы этого сектора. В работе Дневник науки | www.dnevniknauki.ru | СМИ Эл № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

были рассмотрены различные стратегии управления дорожным движением, приведена оценка их эффективности и недостатки, а также подчеркнута важность учета влияния заторов на поведение участников дорожного движения. Особое внимание уделяется необходимости создания эффективной социальной системы, оптимально использующей ресурсы, и роли интеллектуальных транспортных систем, использующих данные GPS, ГЛОНАСС для оптимизации дорожного движения, а также важность комплексного подхода к развитию транспортно-логистических систем, учитывающего как технологические инновации, так и социальные факторы [2].

Библиографический список:

1. Афанасенко, И. Д. Коммерческая логистика / И.Д. Афанасенко, В.В. Борисова. — М.: Питер, 2022. — 352 с.
2. Балдин, К. В. Управление рисками в инновационно-инвестиционной деятельности : учебное пособие / К. В. Балдин, И. И. Передеряев, Р. С. Голов. — 3-е изд. — Москва : Дашков и К, 2017. — 418 с. — ISBN 978-5-394-02256-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/93406> (дата обращения: 19.04.2025)
3. Волынчук, А.Б. Теоретические подходы к определению транспортно-логистического кластера / А.Б. Волынчук, И.А. Крылова // Азимут научных исследований: экономика и управление. — 2018. — № 1 (22). — С. 77 — 80.
4. Гасников А. В. Современные численные методы оптимизации. Метод универсального градиентного спуска: учебное пособие. — Москва: МФТИ, 2018. — 47 с.
5. Герами, В. Д. Управление транспортными системами. Транспортное обеспечение логистики : учебник и практикум для вузов / В. Д. Герами, А. В. Колик. — 3-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 536 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-18372-6. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/560494> (дата обращения: 19.04.2025)

6. Григорьев, М. Н. Логистика. Продвинутый курс : учебник для вузов / М. Н. Григорьев, А. П. Долгов, С. А. Уваров. — 4-е изд. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 682 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-15979-0. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/580245> (дата обращения: 03.06.2025)
7. Дыбская, В. В. Логистика : учебник для вузов / В. В. Дыбская, В. И. Сергеев; под общей редакцией В. И. Сергеева. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 657 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-18477-8. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/568937> (дата обращения: 19.04.2025)
8. Ерохина Е.В. Влияние политики импортозамещения на развитие экономики регионов // Проблемы теории и практики управления. 2017. — № 1. — С. 8 — 18.
9. Конотопский, В. Ю. Логистика : учебник для среднего профессионального образования / В. Ю. Конотопский. — 4-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 138 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-17160-0. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/563952> (дата обращения: 19.04.2025)
10. Крылов, И. А. Международная логистика: проблемы, возможности, решения / И. А. Крылов. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2016. — № 13 (117). — С. Т.1. 60-63. — URL: <https://moluch.ru/archive/117/30350/> (дата обращения: 19.04.2025).
11. Лазарев В. А., Карх Д. А., Кондратенко И. С. Логистика материальных потоков: учеб. пособие. — Екатеринбург: Изд-во УрГЭУ, 2018. — 281 с.
12. Левкин Г. Г. Логистика: теория и практика: учебник и практикум // ЭБС Юрайт [Электронный ресурс]. — URL: <https://urait.ru/viewer/logistika-teoriya-i-praktika-562764#page/1> (Дата обращения: 19.04.2025).
13. Мировая экономика: прогноз до 2020 года / Институт мировой экономики и международных отношений РАН (ИМЭМО); Под ред. А.А. Дынкина. - Москва
Дневник науки | www.dnevniknauki.ru | СМН ЭЛ № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

: Магистр, 2007. - 429 с. ISBN 978-5-9776-0013-2. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/125961> (дата обращения: 03.06.2025).

14. Тарасенко, В. Территориальные кластеры: семь инструментов управления [Текст] / В. Тарасенко. – М.: Альпина Паблишер, 2015. – 201 с.

15. Тяпухин, А. П. Коммерческая логистика: учебник / А. П. Тяпухин, В. А. Хайтбаев, В. К. Чертыковцев, Н. В. Ювица. — Москва: КноРус, 2019. — 318 с.

— Текст: электронный // Литрес [сайт]. — URL: https://www.litres.ru/get_pdf_trial/66566564.pdf (Дата обращения: 19.04.2025).

Оригинальность 80%