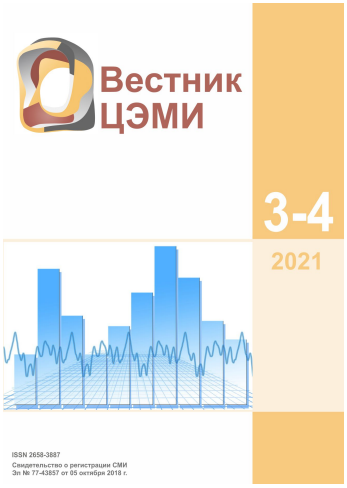

Вестник ЦЭМИ 2013-2024

ISSN 2079-8784

URL - http://ras.jes.su

Все права защищены

Выпуск 3-4 Том . 2021

Обзор динамических моделей организации грузоперевозок, основанных на взаимодействии соседних станций

Хачатрян Нерсес
доцент, Государственный академический университет гуманитарных наук Российская Федерация, Москва, Мароновский переулок, 26

Аннотация

В данной статье приводится обзор динамических моделей организации железнодорожных грузоперевозок, в которых грузопоток формируется на основе взаимодействия соседних станций. Рассматривается несколько конфигураций участка железнодорожной сети и два подхода к организации процесса грузоперевозок в зависимости от спроса на них.

Ключевые слова: организация грузоперевозок, система контроля, дифференциальные уравнения, нелокальные ограничения, интенсивность потока

Дата публикации: 31.12.2021

Ссылка для цитирования:

Хачатрян Н. Обзор динамических моделей организации грузоперевозок, основанных на взаимодействии соседних станций // Вестник ЦЭМИ – 2021. – Выпуск 3-4 [Электронный ресурс]. URL: https://cemi.jes.su/S265838870017987-8- (дата обращения: 03.06.2024).

1 Одной из главных отраслей народного хозяйства является транспорт, который выполняет связующую, коммуникационную и обеспечивающую функции. Транспорт играет важную роль в экономике страны. Он обеспечивает скоординированную работу всех отраслей экономики. Развитие транспорта является важнейшим условием модернизации экономики и предполагает

оптимальное планирование сетей, улучшение организации движения и решение ряда других задач с использованием математических моделей.

2 Математические модели, применяемые для анализа транспортных сетей, разнообразны по решаемым задачам, математическому аппарату, используемым данным и степени детализации описания движения. Основываясь на функциональной роли моделей, т.е. на тех задачах, для решения которых они применяются, можно условно выделить три основных класса: прогнозные, имитационные и оптимизационные модели [1].

3 Прогнозные модели позволяют определить, какими будут транспортные потоки в сети при известных геометрии и свойств транспортной сети. Прогноз загрузки транспортной сети включает в себя расчет усредненных характеристик движения, таких как объемы межрайонных передвижений, интенсивность потока, распределение транспортных средств по путям движения и др. При помощи таких моделей можно прогнозировать последствия изменений в транспортной сети или в размещении объектов.

4 Имитационное моделирование ставит своей целью воспроизведение всех деталей движения, при этом усредненные значение потоков и распределение по путям считаются известными и служат исходными данными для этих моделей. Таким образом, прогноз потоков и имитационное моделирование являются дополняющими друг друга направлениями [2].

5 Существует множество моделей для оптимизации функционирования транспортных сетей. С их помощью решаются задачи оптимизации маршрутов перевозок, выработки оптимальной конфигурации сети и др. [3-6].

6 По способу описания транспортных потоков все модели транспортных сетей можно разбить на классы: 1) аналоги, 2) следование за лидером, 3) вероятностные.

7 В моделях-аналогах движение транспортного средства уподобляется какому-либо физическому потоку (гидро- и газодинамические модели) [2, 7, 8].

8 В моделях следования за лидером существенно предположения о наличие связи между перемещением ведомого и головного транспортного средства [9].

9 В вероятностных моделях транспортный поток рассматривается как результат взаимодействия транспортных средств на элементах транспортной сети. В связи с жестким характером ограничений сети и массовым характером движения в транспортном потоке складываются отчетливые закономерности формирования очередей, интервалов, загрузок по полосам дороги и т.п. Эти закономерности носят существенно стохастический характер [10].

10 Одним из наиболее востребованных для грузоперевозок видов транспорта в России является железнодорожный. Публикации, посвященные железнодорожной логистике, по типу исследуемых задач можно разбить на следующие группы [11]:

- стратегические задачи проектирования инфраструктуры железнодорожной сети (проектирование сети, расположения обгонных

линий, средств эксплуатации железнодорожных объектов);

- задачи планирования расписаний и маршрутов грузоперевозок;
- стратегические задачи управления парком локомотивов и вагонов.

11 В данной работе представлен обзор макроскопических динамических моделей, в которых процесс организации грузоперевозок представляет собой формирование грузопотока на основе взаимодействия соседних станций. По своей функциональной роли, они являются прогнозными, т.к. позволяют прогнозировать динамику загруженности станций и потоков, возникающих в железнодорожной сети, при заданной процедуре организации грузопотока. По способу описания транспортных потоков они близки к моделям следования за лидером, если с потоком на том или ином участке железнодорожной сети отождествлять загруженность соответствующих станций. При этом данные модели имеют существенное отличие от моделей следования за лидером, заключающее в том, что каждая станция взаимодействует не с одной, а с двумя ближайшими соседними станциями.

12 Рассматривается несколько конфигураций участка железнодорожной сети. Первая – представляет собой протяженный участок железнодорожной сети и характеризуется бесконечным числом станций, как в одну, так и в другую сторону и предполагает отсутствие узловых станций. Такая конфигурация транспортной сети подходит для описания транснациональных перевозок (например, перевозки по транссибирской железнодорожной магистрали протяженностью более 9000 км). Вторая конфигурация задает движение грузопотока по замкнутой цепочке станций. Третья – характеризуется конечным числом станций и определяет движение грузопотока между двумя узловыми станциями. Для организации грузоперевозок используются два подхода.

13 ***Первый подход.***

Данный подход целесообразно применять при наличии стабильно высокого спроса на грузоперевозки. В этом случае важно максимально задействовать потенциал всех станций. Для этого необходимо обеспечить загрузку определенного количества путей на станциях, которое представляет собой максимально возможное количество задействованных путей на станциях, при котором гарантированно можно организовать бесперебойный грузопоток. Для исключения ситуаций, приводящих к сбою в системе грузоперевозок, при загрузке станций сверх указанного уровня необходимо часть грузов отправить на временное хранение, для этого предполагается наличие специальных зон хранения между станциями. В этом случае одной из важных задач является организация системы контроля, призванная обеспечить вывод грузов из зон временного хранения. Она заключается в том, что с единым лагом времени (называемым характеристикой системы контроля) объемы грузов на соседних станциях должны совпадать.

14 Процедура организации грузопотока использует две технологии, единые для всех станций, а сам грузопоток состоит из двух составляющих: стационарного и переменного. Задача этих технологий обеспечить загрузку всех станций (приблизить число задействованных путей к оптимальному значению), что достигается за счет увеличения переменного потока (стационарный поток

обеспечивается автоматически). Отметим, что увеличение переменного потока может позволить выделить из него дополнительную стационарную составляющую. Первая технология основана на взаимодействии соседних станций и формируется по определенному правилу. Согласно этому правилу каждая станция должна принимать груз с предыдущей станции, если число задействованных путей на ней меньше, чем на предыдущей станции, и отправлять на следующую станцию, если число задействованных путей больше, чем на следующей станции. При этом интенсивность как приема, так и отправки грузов пропорциональны разности чисел задействованных путей на соседних станциях. Вторая технология использует технические возможности самой станции и основана на взаимодействии станции с соседними зонами временного хранения грузов.

15 Данный подход применен для описания процесса организации грузоперевозок в рамках всех трех конфигураций участка железнодорожной сети в условиях стабильно высокого спроса на грузоперевозки.

16 В работе [12] исследована модель организации грузоперевозок в рамках первой конфигурации участка железнодорожной сети, которая представляет собой бесконечномерную систему дифференциальных уравнений, описывающую динамику числа задействованных путей на станциях, и удовлетворяющую нелокальным линейным ограничениям, задающим систему контроля. Решения этой системы определяют режимы грузоперевозок. Доказано, что существует такой диапазон изменения характеристики системы контроля, что для каждого ее значения из этого диапазона и любой начальной загруженности станций имеется единственный режим грузоперевозок.

17 Модель организации грузоперевозок в рамках второй конфигурации участка железнодорожной сети (замкнутая цепочка станций) рассмотрена для следующих двух случаев: 1) зоны временного хранения в начальный момент времени не пусты и содержат достаточное количество грузов для организации грузоперевозок с использованием указанных технологий [13]. 2) в зонах временного хранения недостаточно грузов для организации грузоперевозок с использованием указанных технологий [14].

18 В первом случае модель представлена конечномерной системой дифференциальных уравнений с непрерывными правыми частями, удовлетворяющей нелокальным линейным ограничениям и обладающей следующим свойством: произвольное ее решение должно быть периодическим. Доказано, что такая система не имеет других решений кроме двух стационарных, однако, со временем, произвольное решение указанной системы дифференциальных уравнений (без нелокальных линейных ограничений) сходится к одному из стационарных решений, определяющему оптимальную загрузку станций.

19 Во втором случае модель представлена конечномерной системой дифференциальных уравнений с разрывными правыми частями, удовлетворяющей нелокальным линейным ограничениям. В отличие от первого случая данная система имеет бесконечное множество стационарных решений, определяющих

установившуюся степень загрузки станций от нулевого значения до оптимального. Переход системы в тот иной стационарный режим зависит от объема грузов на станциях и в зонах временного хранения в начальный момент времени. Отметим, что согласно конструкции модели, после перехода системы грузоперевозок в стационарный режим прекращается использование описанных выше технологий, в результате действия которых она перешла в этот режим. Таким образом, в случае организации грузоперевозок по замкнутой цепочке станций важно обеспечить необходимый запаса грузов на станциях и в зонах временного хранения в начальный момент времени. При этом речь идет о суммарном запасе грузов, поэтому недостаток грузов на стациях можно компенсировать их избытком в зонах временного хранения и наоборот.

20 Модель организации грузоперевозок в рамках третьей конфигурации участка железнодорожной сети (между двумя узловыми станциями) исследована в работах [12, 13, 15] и представляет собой конечномерную систему дифференциальных уравнений, первое уравнение которой описывает интенсивность подачи грузов на начальную узловую станцию и ее взаимодействие со следующей станцией, а последнее – интенсивность распределения грузов с конечной узловой станции и ее взаимодействие с предыдущей станцией. Оказалось, что класс решений такой системы дифференциальных уравнений, удовлетворяющей нелокальным линейным ограничениям, задающим систему контроля чрезвычайно узок, что означает невозможность организации грузопотока в рамках указанных технологий с описанной системой контроля. Это приводит к необходимости корректировки процедуры грузоперевозок: либо технологий грузоперевозок, либо системы контроля.

21 Корректировка технологий заключается в том, чтобы, управляя интенсивностью приема грузов на начальной узловой станции и интенсивностью распределения грузов с конечной узловой станции, добиться организации грузопотока с указанной системой контроля. Такая организация грузопотока связана с импульсными изменениями числа задействованных путей на станциях в определенные моменты времени (кратные характеристике системы контроля). На практике импульсные изменения числа задействованных путей на станциях практически реализуемы лишь в случае, если величины импульсов незначительны. Оказывается, что этого всегда можно добиться за счет соответствующего импульсного изменение числа задействованных путей на начальной узловой станции в начальный период времени, определяемый характеристикой системы контроля [15].

22 Корректировка системы контроля заключается в ее ослаблении, т.е. соответствующие нелокальные линейные ограничения выполняются с некоторой погрешностью. В работах [16-17] исследование системы дифференциальных уравнений с ослабленной системой контроля показало, что данный способ корректировки процедуры грузоперевозок приводит к накоплению грузов в зонах временного хранения. В связи с этим в [18] рассмотрена модель, которая ограничивает объем грузов, одновременно находящихся в зонах временного хранения и для нее получены режимы грузоперевозок, обеспечивающие вывод грузов с зон временного хранения.

23 ***Второй подход.***

Второй подход целесообразно применять в случае, когда нет стабильно высокого спроса на грузоперевозки. В этом случае нет необходимости задействовать потенциал станций в полной мере и, соответственно, не требуется специальных зон между станциями для временного хранения части грузов, т.е. грузопоток осуществляется только от одной станции к другой. В такой ситуации важно описать динамику грузопотока в зависимости от технического потенциала станций.

24 В случае движения по круговой цепочке станций грузопоток формируется с помощью двух технологий. Первая – основана на взаимодействии соседних станций и задает интенсивность потока между ними в зависимости от соотношения свободных путей и нормативного коэффициента, который характеризует пропускную способность перегонов (участков железнодорожной линии между станциями). Вторая технология позволяет увеличить грузопоток в зависимости от загруженности станций, дополнительно принимая и отправляя грузы с интенсивностью, определяемой числом свободных путей на ней и на следующей станции соответственно. Подчеркнем, что в отличие от случая стабильно высокого спроса на грузоперевозки отсутствует стационарная составляющая в формировании грузопотока. Такая модель представлена в [19] и описывается системой дифференциальных уравнений с разрывными правыми частями. Для нее выявлены практически реализуемые режимы грузоперевозок, для которых определен установившийся уровень грузопотока, а также исследована его зависимость от технического потенциала станций и указанного выше нормативного коэффициента.

25 В случае движения между двумя узловыми станциями грузопоток формируется поступившими на начальную узловую станцию грузами с учетом технического потенциала станций. Поэтому, главной задачей является организация бесперебойного функционирования системы грузоперевозок с учетом спроса на них и технического потенциала станций. При этом основной характеристикой станций является степень несогласованности между приемом и отправкой грузов, которая представляет собой разницу между объемом входных и выходных грузов за единицу времени. Для бесперебойной организации грузоперевозок важно, чтобы указанная характеристика со временем имела небольшие значения на всех станциях. Такая модель исследована в [20] и задается системой дифференциальных уравнений с рядом параметров, характеризующих спрос на грузоперевозки, возможности станций по наращиванию грузопотока и степени использования их технического потенциала, а также режим распределения грузов с конечной узловой станции. Ввиду сложности аналитического исследования была проведена численная реализация, которая позволила выявить свойства решений и исследовать стационарные решения на устойчивость. Основной результат данного исследования следующий: для заданных значений степеней несогласованности станций в начальный момент времени, спроса на грузоперевозки и характеристик возможностей станций по наращиванию грузопотока определены такие значения степеней использования технического потенциала станций и режима распределения грузов с конечной узловой станции, при которых степень

несогласованности между приемом и отправкой грузов на всех станциях со временем становится минимальной.

26 В заключение отметим, что основной целью приведенного обзора является ознакомление читателя с макроскопическими динамическими моделями организации железнодорожных грузоперевозок, разработанными автором совместно с коллегами из ЦЭМИ РАН и основанными на взаимодействии соседних станций. Исследования в данном направлении продолжаются, в частности планируется ввести стохастическую составляющую в описание спроса на грузоперевозки.

Библиография:

1. Швецов, В. И. Математическое моделирование транспортных потоков / В. И. Швецов // Автоматика и телемеханика. – 2003. – № 11. – С. 3–46.

2. Гасников, А. В. Введение в математическое моделирование транспортных потоков / А. В. Гасников, С. Л. Кленов, Е. А. Нурминский Н.Б. [и др.] ; под. редакцией А.В. Гасникова. – 2-е изд. – Москва: МЦНМО, 2013. – 427 с.

3. Галабурда, В. Г. Оптимальное планирование грузопотоков / В. Г Галабурда. – М.: Транспорт, 1985. – 256 с.

4. Стенбринк, П. А. Оптимизация транспортных сетей / П. А. Стенбринк; Пер. с англ. Е. М. Васильевой, В. В. Космина. – Москва: Транспорт, 1981. – 320 с.

5. Оптимизация планирования и управления транспортными системами / [В. Н. Лившиц, Е. М. Васильева, Г. А. Бородянский и др.]; Под ред. В. Н. Лившица. - М. : Транспорт, 1987. – 207 с.

6. Leventhal, T. A Column Generation Algorithm for Optimal Traffic Assignment / T. Leventhal, G. L. Nemhauser, L. Jr. Trotter // Transportation Science. – 1973. – No. 7. – P. 168–176.

7. Daganzo, C. F. The cell transmission model: A dynamic representation of highway traffic consistent with the hydrodynamic theory/ C. F. Daganzo // Transportation Research. B. – 1994. – 28. – p. 269–287.

8. Daganzo, C. F. The cell transmission model. Part II: Network traffic / C. F. Daganzo // Transportation Research. B – 1995. – 29B, no. 2. – p. 79–93.

9. Brackstone, M. Car following: A historical review / M. Brackstone, M. McDonald // Transportation Research. F. – 1999. – 2, 181–196.

10. Solomon, H. Nonhomogeneous Poisson fields of Random Lines with Applications to Traffic Flow / H. Solomon, P. Wang // Proceedings of the Sixth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability. – 1972. – Vol. 3. – P. 383–400.

11. Лазарев, А. А. Теория расписаний. Задачи железнодорожного планирования / А. А. Лазарев, Е. Г. Мусатова, Е. Р. Гафаров, А . Г. Кварацхелия. — Москва: ИПУ РАН, 2012. — 92 с.

12. Beklaryan, L. A. Traveling Wave Type Solutions in Dynamic Transport Models / L. A. Beklaryan, N. K. Khachatryan // Functional Differential Equations. – 2006. – V. 13, no. 2. – p. 125–155.

13. Бекларян, Л. А. Об одном классе динамических моделей грузоперевозок / Л. А. Бекларян, Н. К. Хачатрян // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 2013. – Том 53, №10. – с. 1649-1667.

14. Хачатрян, Н. К. Динамическая модель организации грузоперевозок при ограниченности емкостей перегонных путей / Н. К. Хачатрян // Бизнес Информатика. – 2013. – №4. – с.62-68.

15. Khachatryan, N. K. Model for Organizing Cargo Transportation with an Initial Station of Departure and a Final Station of Cargo Distribution / N. K. Khachatryan, A. S. Akopov // Business Informatics. – 2017. – No. 1. – P. 25–35.

16. Khachatryan, N. K. About Quasi-Solutions of Traveling Wave Type in Models for Organizing Cargo Transportation / N. K. Khachatryan, A. S. Akopov, F. A. Belousov // Business Informatics. – 2018. – 1 (43). – p. 61–70.

17. Хачатрян, Н. К. Исследование динамики емкостей перегонов в модели организации грузоперевозок между двумя узловыми станциями / Н. К. Хачатрян, Г. Л. Бекларян, С. В. Борисова, Ф. А. Белоусов // Бизнес-информатика. – 2019. – Том 13, № 1. – с. 59-70.

18. Beklaryan, Levon A. Model for organization cargo transportation at resource restrictions / Levon A. Beklaryan, Nerses K. Khachatryan, Andranik S. Akopov.// International Journal of Applied Mathematics. – 2019. – Vol.32, N4. – p.627-640.

19. Хачатрян Н. К. Исследование динамики потока в модели организации грузоперевозок по круговой цепочке станций / Н. К. Хачатрян, Л. А. Бекларян // Экономика и математические методы. – 2021. - Т. 57. - №1. - С. 83-91.

20. Khachatryan, Nerses K. Modeling the process of cargo transportation between node stations / Nerses K. Khachatryan // International Journal of Applied Mathematics. – 2021. – Vol.34, N6.

Overview of dynamic models of cargo transportation organization based on the interaction of neighboring stations

Nerses Khachatryan
Docent, State Academic University for the Humanities
Russian Federation, Moscow, Maronovskiy per., 26

Abstract

This article provides an overview of dynamic models of the organization of railway freight transportation, in which the cargo flow is formed on the basis of the interaction of neighboring stations. Several configurations of a section of the railway network are considered and two approaches to the organization of the cargo transportation process are proposed, depending on the demand for them.

Keywords: organization of cargo transportation, control system, differential equations, nonlocal constraints, flow intensity

Publication date: 31.12.2021

Citation link:

Khachatryan N. Overview of dynamic models of cargo transportation organization based on the interaction of neighboring stations // Vestnik CEMI – 2021. – Issue 3-4 [Electronic resource]. URL: https://cemi.jes.su/S265838870017987-8- (circulation date: 03.06.2024).

Код пользователя: 0; Дата выгрузки: 03.06.2024; URL - http://ras.jes.su/cemi/s265838870017987-8-1 Все права защищены.