

Научно-исследовательский журнал «Modern Economy Success»

<https://mes-journal.ru>

2025, № 3 / 2025, Iss. 3 <https://mes-journal.ru/archives/category/publications>

Научная статья / Original article

Шифр научной специальности: 5.2.3. Региональная и отраслевая экономика (экономические науки)

УДК 339.97



¹ Пономаренко В.В.,
¹ Российский новый университет

***Модель оптимизации мультимодальных грузовых перевозок
в международных транспортных коридорах***

Аннотация: целью статьи является разработка модели мультимодальных грузовых перевозок в целях оптимизации функционирования международного транспортного коридора.

Методология. Методология данной статьи основывается на теоретико-практических подходах, сформированных в рамках теории транспортного потока. Для достижения поставленной цели в работе использовалась методика математического моделирования и методики представления транспортных потоков с опорой на теорию графов.

Результаты. Автором предложена модель перевозочной деятельности, основанная на вариативных возможностях решения транспортной задачи, направленной на оптимизацию процесса мультимодальных грузовых перевозок. Предлагаемый автором матричный подход позволяет повысить эффективность аналитической деятельности в области логистики, связанной с организацией мультимодальных перевозок, позволяет создавать электронные таблицы, которые, при введении необходимых параметров, в автоматизированном режиме, решать задачи, связанные с необходимостью поиска наиболее эффективного варианта перевозки грузов.

Выводы. Предлагаемый в данной статье подход отличает простота, фактически каждая транспортная организация имеет возможности самостоятельно создать необходимую информационную систему логистического управления перевозками грузов при минимальных затратах финансовых и временных ресурсов.

Ключевые слова: мультимодальные перевозки, информационная модель, эффективность, транспортные узлы, ограничения

Для цитирования: Пономаренко В.В. Модель оптимизации мультимодальных грузовых перевозок в международных транспортных коридорах // Modern Economy Success. 2025. № 3. С. 51 – 58.

Поступила в редакцию: 5 января 2025 г.; Одобрена после рецензирования: 3 марта 2025 г.; Принята к публикации: 21 апреля 2025 г.

¹ Ponomarenko V.V.,
¹ Russian New University

Optimization model of multimodal cargo transportation in international transport corridors

Abstract: the purpose of the article is to develop a model of multimodal freight transportation in order to optimize the functioning of the international transport corridor.

Methodology. The methodology of this article is based on theoretical and practical approaches formed within the framework of the theory of transport flow. To achieve the goal, the work used the method of mathematical modeling and the method of representing transport flows based on graph theory.

Results. The author proposed a model of transportation activity, based on the variable possibilities of solving the transport task, aimed at optimizing the process of multimodal cargo transportation. The matrix approach proposed by the author makes it possible to increase the efficiency of analytical activities in the field of logistics, connected with the organization of multimodal transportation, allows to create electronic tables that, when entering the

necessary parameters, in an automated mode, solve tasks related to the need to find the most efficient option for cargo transportation.

Conclusions. The approach proposed in this article is distinguished by its simplicity, in fact, each transport organization has the ability to independently create the necessary information system for the logistics management of cargo transportation with minimal expenditure of financial and time resources.

Keywords: multimodal transportation, information model, efficiency, transport hubs, limitations

For citation: Ponomarenko V.V. Optimization model of multimodal cargo transportation in international transport corridors. Modern Economy Success. 2025. 3. P. 51 – 58.

The article was submitted: January 5, 2025; Approved after reviewing: March 3, 2025; Accepted for publication: April 21, 2025.

Введение

Перемещение людей, грузов всегда были основными составляющими экономической и социальной жизни общества, а современные экономические процессы сопровождаются значительным ростом мобильности населения и повышением объёмов перевозок; создают условия, когда экономика и общество становятся всё более зависимыми от транспортных систем, развитие которых является постоянной проблемой и условием устойчивого социально-экономического роста.

Особое географическое положение России позволяет ей по праву занимать место транзитного государства, по территории которого проходят важнейшие маршруты транспортной коммуникации между Европой и Азией и, как следствие, иметь на своей территории большое количество больших транспортных узлов, включающих в себя железнодорожные станции, аэропорты, речные и морские порты, автомобильные магистрали, международные транспортные коридоры.

В условиях расширения международного сотрудничества и углубления интеграционных процессов формированию международных транспортных коридоров принадлежит ведущая роль в решении транспортных проблем, связанных с обеспечением межгосударственных экономических связей.

Активное развитие международных транспортных коридоров способствует росту количества исследований в этой области, при этом затрагивает большое количество научных отраслей.

Одно из важнейших мест в системе современного научного знания занимают исследования, касающиеся оптимизации процесса перевозок, выявления причин, вызывающих образование заторов на отдельных участках международных транспортных коридоров и, как следствие уменьшение скорости движения и увеличения времени доставки грузов и пассажиров.

Для решения этой проблемы было создано множество теорий и моделей. Математическим

описанием транспортных моделей занимались много зарубежных и отечественных учёных, таких как Зубков В.В. [2], Кураксин А. А. [3], Мосева М. С. [4], Осинцев Н.А. [5], Сильянов В.В. [6], Талавирия А. Ю. [7], Чалуб Халид З. [8], Чечина А. А. [9] и др.

Результатом высокого научного интереса стал широкий спектр моделей, описывающих различные аспекты функционирования транспортного потока.

В тоже время моделирование процессов мультимодальных грузовых перевозок находится в настоящее время на начальном этапе научного осмысления, что определяет необходимости дальнейших исследования в данной области теории функционирования международных транспортных коридоров.

Таким образом, **целью** данной работы является разработка модели мультимодальных грузовых перевозок в целях оптимизации функционирования международного транспортного коридора.

Материалы и методы исследований

Методология данной статьи основывается на теоретико-практических подходах, сформированных в рамках теории транспортного потока. Для достижения поставленной цели в работе использовалась методика информационного моделирования, методики представления транспортных потоков с опорой на теорию графов и на матричное представление информации.

Научная новизна данной статьи состоит в том, что автором предложена модель перевозочной деятельности, основанная на вариативных возможностях решения транспортной задачи, направленной на оптимизацию процесса мультимодальных грузовых перевозок.

Результаты и обсуждения

Автором предложена модель перевозочной деятельности, основанная на вариативных возможностях решения транспортной задачи, направленной на оптимизацию процесса мультимодальных грузовых перевозок. Предлагаемый автором мат-

ричный подход позволяет повысить эффективность аналитической деятельности в области логистики, связанной с организацией мультимодальных перевозок, позволяет создавать электронные таблицы, которые, при введении необходимых параметров в автоматизированном режиме решать задачи, связанные с необходимостью поиска наиболее эффективного варианта перевозки грузов.

Логика развития организации перевозочного процесса и транспортной логистики позволяет рассматривать перевозку грузов и пассажиров (для всех видов транспорта) в виде системы взаимосвязанных транспортных узлов, которые объединены в единый механизм различными путями сообщения, которые являются, как правило, точками, откуда начинается транспортный поток, либо точками, в которых транспортный поток заканчивается. В тоже время данные узлы могут обеспечивать транзит грузов и пассажиров, формируя транзитный потенциал той или иной территории.

Данные узлы также являются пунктами, определяющими структуру мультимодальных грузовых перевозок, имея ввиду, что именно в этих узлах происходят процессы взаимодействия различных видов транспорта (перегрузка грузов, пересадка пассажиров).

Если представить себе процесс перевозок таким образом, то можно сделать вывод, что включение той или иной территории в состав транспортных узлов является наличие транспортных путей, которые включают данную территорию в географическую систему перевозок. Данные узлы должны иметь соответствующую инфраструктуру, т.е. обладать способностью решать задачи перевозки грузов и обеспечение потребностей пассажиров.

В состав данной инфраструктуры мы включаем порты, железнодорожные станции, пункт прибытия автомобильного транспорта при том, что возможны комбинации данных инфраструктурных объектов, которые возможно свести к четырем типам. Общее количество узлов, которые в настоящее время обеспечивают транспортную деятельность в России, составляет 794 узла различных типов [1]:

- транспортный узел без железнодорожного сообщения, но с наличием автомобильного сообщения – 1-й тип (включает 156 транспортных узлов);
- транспортный узел, в котором имеется железнодорожное сообщение – 2-й тип (включает 520 транспортных узлов);

– транспортный узел, в котором имеется железнодорожное и автомобильное сообщение – 3-й тип (включает 75 транспортных узлов);

– транспортный узел, в котором имеются все типы сообщения, включая водный транспорт – 4-й тип включает (43 транспортных узла).

Многообразие транспортных узлов и их значительное количество требует решения задач, связанных с оптимальным использованием возможностей транспортных узлов в процессе перевозок грузов.

При этом:

1) перевозка груза автомобильным транспортом может быть представлена следующим образом:

$$T_{уз} \rightarrow mun(4)$$

В данном случае знак \rightarrow означает процесс перевозки.

2) перевозка железнодорожным транспортом предполагает наличие у транспортного узла поставщика и потребителя груза жд/с и осуществляются по следующей схеме:

$$T_{уз} \rightarrow mun(2,4)$$

3) перевозки водным транспортом предполагают наличие у транспортного узла поставщика и потребителя груза в/п и осуществляются по следующей схеме:

$$T_{уз} \rightarrow mun(3,4)$$

В мультимодальных перевозках возможны различные варианты взаимодействия транспорта, что необходимо учитывать в процессе моделирования. Приведем примеры вариативности мультимодальных перевозок.

Вариант 1: автомобильный транспорт \rightarrow железнодорожный транспорт. В данном варианте груз перемещают от узла поставщика на автомобиле до узла перевалки груза, т.е. на жд/с, откуда груз следует к следующему узлу, в котором расположен грузополучатель или потребитель:

$$T_{уз} mun(4) \rightarrow T_{уз} mun(2,4)$$

Вариант 2: железнодорожный транспорт \rightarrow автомобильный транспорт. Данный вариант перевозки осуществляется по схеме:

$$T_{уз} mun(2,4) \rightarrow T_{уз} mun(4)$$

Возможны варианты, когда в процесс перевозки включается водный транспорт:

$$T_{уз} mun(4) \rightarrow T_{уз} mun(2,4) \rightarrow T_{уз} mun(3,4)$$

Существуют и иные варианты, однако в данной системе перевозки, когда в процессе транспортировки задействовано три вида транспорта, количество вариантов будет ограничено девятью. Вариативный характер доставки грузов формирует ограниченное количество вариантов перевозки с уче-

том расположения узлов, через которые следует груз.

Представим расположение направления перевозок и транспортных связей между ними посред-

ством графа (рис. 1), где вершинами графа представлены транспортные узлы, а дугами соответствующие транспортные коммуникации.

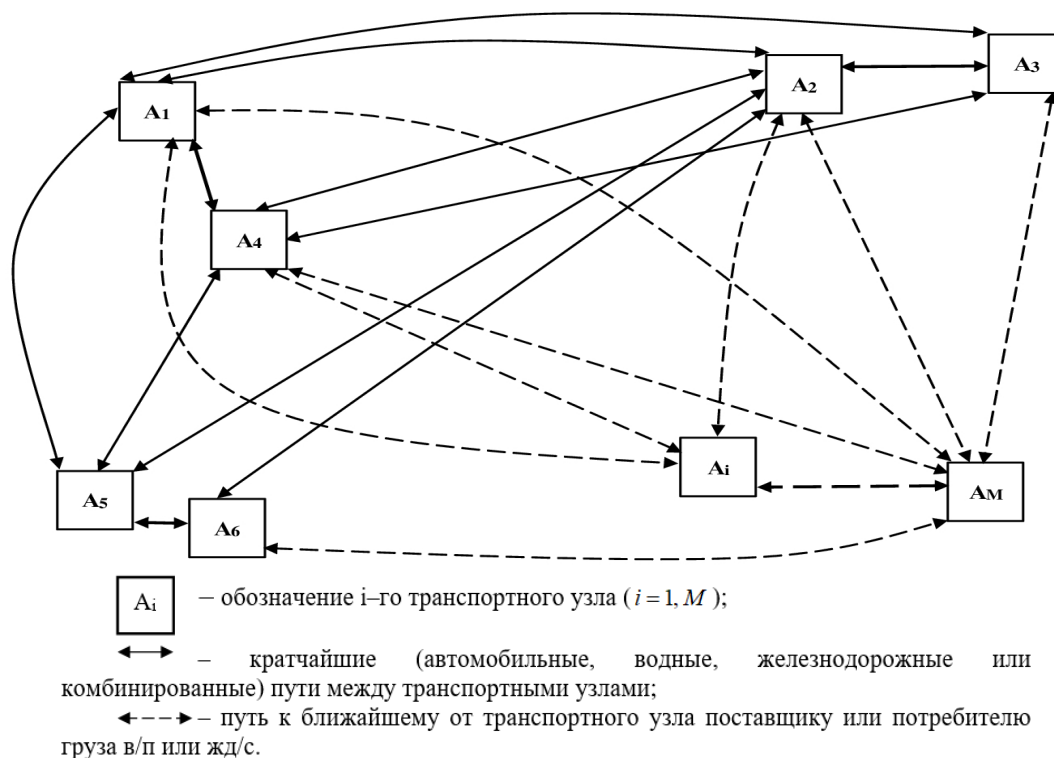


Рис. 1. Графическое представление мультимодальных транспортных перевозок.
Fig. 1. Graphical representation of multimodal transport.

Исходя из вышеизложенного, общее количество вариантов перевозки грузов будет составлять:

$$K = \sum_{i=1}^9 K_i \quad (i = 1, 9)$$

где i — номер транспортного узла, при ограниченном характере вариантов перевозок.

Следует отметить тот факт, что перевозка к ближайшему транспортному узлу поставщику или потребителю груза может осуществляться только автомобильным транспортом, так как это связано с наличием автомобильных дорог в транспортном узле каждого из вышеперечисленных восьми типов. Кроме того, эти перевозки могут производиться через несколько промежуточных (транзитных) транспортных узлов. Последнее относится также и к кратчайшим путям между транспортными узлами.

В одних транспортных узлах $\{A_1^+, A_2^+, \dots, A_m^+\}$ существует возможность получить груз для дальнейшей транспортировки в объемах $\{a_1^+, a_2^+, \dots, a_{ik}^+, \dots, a_{mn}^+\}$, в других необходимые объ-

емы груза отсутствуют $\{A_1^-, A_2^-, \dots, A_m^-\}$, хотя потребность в грузах в объемах $\{a_1^-, a_2^-, \dots, ob_{ik}^-, \dots, ob_{mn}^-\}$ имеет место.

Показателями качества перевозок в таких транспортных системах являются время и стоимость их выполнения, причём первый показатель вынесем в ограничение задачи, а второй показатель будет выступать критерием оптимизации. Следует отметить при этом тот факт, что процесс перевозки при такой исходной постановке транспортного задания может осуществляться следующими способами:

I-й вариант — один вид транспорта осуществляет перевозку груза по всему маршруту, т.е. мультимодальность в данном случае отсутствует, при том, что существует ограниченное количество вариантов перевозок.

II-й вариант — перевозка осуществляется одним видом транспорта, после чего в соответствующем транспортном узле осуществляется его перевалка и дальнейшая доставка осуществляется иным видом транспорта.

Ограниченное количество вариантов не упрощает задачу, как в первом, так и во втором случае, хотя в условиях мультимодальности решение проблемы эффективности перевозок возрастает в разы с учетом участия в перевозке нескольких видов транспорта, многообразия транспортных узлов, в которых может осуществляться перевалка грузов.

Относительно приведенных выше способов перевозок следует сделать несколько замечаний, а именно:

– независимо от избранного варианта транспортировки грузов кратчайший путь может проходить через узлы, в которых потребители испытывают нужду в данных грузах;

– независимо от избранного варианта транспортировки грузов кратчайший путь может проходить через узлы, в которых уже имеются аналогичные грузы;

d_{ij} – наивысший уровень пропускной способности;

t_{ijk} – минимальное время на прохождение маршрута;

c_{ijk} – минимальное количество ресурсов, затрачиваемых для осуществления перевозок.

Тогда, оптимальным фактором осуществления мультимодальных перевозок становится условие, согласно которому перегрузка перевозимого груза

– независимо от избранного варианта транспортировки грузов кратчайший путь может проходить через узлы, в которых имеется потребность в различных видах грузов, что формирует необходимость одновременной доставки различных грузов;

– пропускные способности транспортных узлов являются факторами, которые могут ограничивать транспортный поток, формируя интенсивность транспортного потока на путях доставки грузов (транспортных магистралей).

Таким образом, формируются предпосылки для разрешения задачи, связанной с оптимальным состоянием мультимодальных грузовых перевозок, которые сводятся к нахождению таких параметров перевозок, которые удовлетворяют совокупность ограничений:

должна осуществляться в пунктах наивысшей пропускной способности автомобильных, железных дорог и водных магистралей:

d_{ij} автотранспорта → макс; d_{ij} железнодорожного транспорта → макс; d_{ij} водного транспорта → макс.

При всех равных условиях доставка груза должна осуществляться тем видом транспорта, который обеспечивает минимальные затраты ресурсов, а сама данная доставка будет наиболее экономной, в связи с чем (при существующей возможности) целесообразно исключить наиболее ресурсоемкий вид транспорта из схемы мультимодальной перевозки:

c_{ijk} автотранспорта → мин; c_{ijk} железнодорожного транспорта → мин; c_{ijk} водного транспорта → мин.

Срок доставки любого груза не должен превышать определенное время, при этом должно быть соблюдено условие в соответствии с которым за минимальное количество времени необходимо перевезти максимальное количество грузов при минимальных затратах, что образует общую совокупность условий эффективности мультимодальных перевозок:

d_{ij} автотранспорта → макс; d_{ij} железнодорожного транспорта → макс; d_{ij} водного транспорта → макс.

c_{ijk} автотранспорта → мин; c_{ijk} железнодорожного транспорта → мин; c_{ijk} водного транспорта → мин.

t_{ijk} автотранспорта → мин; t_{ijk} железнодорожного транспорта → мин; t_{ijk} водного транспорта → мин.

Приведенные выше рассуждения позволяют составить матрицу, описывающую процесс перевозок

с учетом его вариативного характера и принятых ограничений (табл. 1).

Таблица 1

Матрица, описывающая процесс перевозок с учетом его вариативного характера и принятых ограничений.

Table 1

Matrix describing the transportation process taking into account its variable nature and accepted restrictions.

ТУ		A_1^-			...	A_i^-			...	A_M^-		
	Объемы перевозок	a_{11}^-	...	a_{1n}^-	...	a_{i1}^-	...	a_{in}^-	...	a_{M1}^-	...	a_{Mn}^-
A_1^+	a_{11}^+	0	...	0	...	$\frac{c_{jil}}{d_{li}} t_{lil}$	...	0	...	$\frac{c_{jMl}}{d_{iM}} t_{lMl}$	...	0

	a_{1n}^+	0	...	0	...	0	...	$\frac{c_{jin}}{d_{li}} t_{lin}$	...	0	...	$\frac{c_{jMn}}{d_{iM}} t_{lMn}$
...
A_i^+	a_{i1}^+	$\frac{c_{i1l}}{d_{il}} t_{i1l}$	...	0	...	0	...	0	...	$\frac{c_{iMl}}{d_{iM}} t_{iMl}$	...	0

	a_{in}^+	0	...	$\frac{c_{iin}}{d_{il}} t_{iin}$	...	0	...	0	...	0	...	$\frac{c_{iMn}}{d_{iM}} t_{iMn}$
...
A_M^+	a_{M1}^+	$\frac{c_{M1l}}{d_{Ml}} t_{M1l}$	...	0	...	$\frac{c_{Mil}}{d_{Mi}} t_{Mil}$	...	0	...	0	...	0

	a_{Mn}^+	0	...	$\frac{c_{Mln}}{d_{Ml}} t_{Mln}$	...	0	...	$\frac{c_{Min}}{d_{Mi}} t_{Min}$	...	0	...	0

Приведенная матрица отражает многовариантный характер осуществления грузовых перевозок размерностью $M \times n$, где M – количество транспортных узлов, n – количество различных видов грузов, которые требуется провезти.

Пересечение строк в данной матрице образует условия различных вариантов перевозок, где параметрами перевозки становится способность маршрута (трассы) пропустить определенное количество транспортных средств и грузов на протяжении определенного времени d_{ij} , время необходимое на прохождение маршрута t_{ijk} затраты ресурсов, связанные с осуществлением перевозок единицы груза до пункта разгрузки c_{ijk} , при условии, что такая перевозка должна осуществляться по кратчайшему маршруту.

Таким образом, предлагаемый нами матричный подход позволяет повысить эффективность аналитической деятельности в области логистики, связанный с организацией мультимодальных перевозок, создавая электронные таблицы, которые, при введении необходимых параметров, в автоматизированном режиме, позволяют решать задачи, связанные с поиском наиболее оптимального варианта перевозки грузов. Данный подход отличает простота, фактически каждая транспортная орга-

низация имеет возможности самостоятельно создать необходимую информационную систему логистического управления перевозками грузов при минимальных затратах финансовых и временных ресурсов.

Выводы

Несмотря на то, что в настоящее время вопросы эффективности транспортной деятельности находятся в центре научного интереса, общий уровень исследования и практического использования теории транспортных потоков требует дальнейшего развития в связи с необходимостью оптимизации параметров транспортной деятельности. Данная задача может быть решена в рамках использования современных подходов к решению широкого круга логистических задач.

Изучение проблем организации транспортных потоков является неотъемлемой частью сферы изучения процессов современной транспортной логистики, при том, что решение вопросов эффективности перевозок самым тесным образом связана с использованием информационных моделей, создание которых позволяет поднять на новый уровень эффективность деятельности организаций, связанных с осуществлением грузовых перевозок.

Список источников

1. Инфраструктура пространственного развития РФ: транспорт, энергетика, инновационная система, жизнеобеспечение / под ред. к.э.н. О.В. Тарасовой. Новосибирск: ИЭОПП СО РАН, 2020. 456 с.
2. Зубков В.В. Методология формирования транспортно-информационного пространства в условиях кластерного развития рынка комплексной транспортной услуги: дис. ... докт. техн. наук. Екатеринбург, 2023. 277 с.
3. Кураксин А.А. Совершенствование методов оценки эффективности организации дорожного движения на основе применения технологии мезоскопического моделирования транспортных потоков: дис. ... канд. техн. наук. Орел, 2020. 192 с.
4. Мосева М.С. Разработка нейросетевых методов распознавания образов в задаче управления транспортными потоками: дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2023. 160 с.
5. Осинцев Н.А. Методологические основы устойчивого развития логистических цепей грузопотоков: дис. ... докт. техн. наук. Москва, 2023. 360 с.
6. Сильянов В.В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения. М.: Транспорт, 1977. 303 с.
7. Талавирия А.Ю. Методы имитационного моделирования и математические модели в управлении и оценке транспортных потоков платных автомобильных дорог: дис. ... канд. физ.-мат. наук. СПб., 2022. 151 с.
8. Чалуб Халид З. Математическое моделирование проблем транспортной логистики на основе распределительной задачи линейного программирования: дис. ... канд. физ.-мат. наук. Челябинск, 2020. 130 с.
9. Чечина А.А. Математическое моделирование транспортных потоков на основе теории клеточных автоматов: дис. ... канд. физ.-мат. наук. Москва, 2021. 136 с.

References

1. Infrastructure of spatial development of the Russian Federation: transport, energy, innovation system, life support. edited by Cand. Sc. (Econ.) O.V. Tarasova. Novosibirsk: IEIE SB RAS, 2020. 456 p.
2. Zubkov V.V. Methodology of formation of transport and information space in the conditions of cluster development of the integrated transport service market: diss. ... Doctor of Engineering Sciences. Yekaterinburg, 2023. 277 p.
3. Kuraksin A.A. Improving methods for assessing the effectiveness of traffic organization based on the use of mesoscopic modeling technology of traffic flows: diss. ... Cand. Sc. (Eng.) Orel, 2020. 192 p.
4. Moseva M.S. Development of neural network methods for pattern recognition in the problem of traffic flow management: diss. ... Cand. tech. sciences. Moscow, 2023. 160 p.
5. Osintsev N.A. Methodological foundations of sustainable development of logistics chains of cargo flows: diss. ... doctor of technical sciences. Moscow, 2023. 360 p.
6. Silyanov V.V. Theory of traffic flows in road design and traffic organization. Moscow: Transport, 1977. 303 p.
7. Talavirya A.Yu. Methods of simulation modeling and mathematical models in the management and assessment of traffic flows of toll roads: diss. ... candidate of physical and mathematical sciences. St. Petersburg, 2022. 151 p.
8. Chalub Khalid Z. Mathematical modeling of transport logistics problems based on the distribution problem of linear programming: diss. ... candidate of physical and mathematical sciences. Chelyabinsk, 2020. 130 p.
9. Chechina A.A. Mathematical modeling of traffic flows based on the theory of cellular automata: dis. ... candidate of physical and mathematical sciences. Moscow, 2021. 136 p.

Информация об авторе

Пономаренко В.В., аспирант, Институт экономики, управления и финансов, Российский новый университет, ponomarenko.w10@gmail.com

© Пономаренко В.В., 2025