

УДК 656.07+06

Развитие узловой терминально-складской инфраструктуры: модификация методов исследования и прогнозы

О. Н. Числов¹, В. А. Богачев¹, В. В. Трапенов¹, Т. В. Богачев², В. М. Задорожний¹

¹Ростовский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация, 344038, Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2

²Ростовский государственный экономический университет, Российская Федерация, 344002, Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, 69

Для цитирования: Числов О. Н., Богачев В. А., Трапенов В. В., Богачев Т. В., Задорожний В. М. Развитие узловой терминально-складской инфраструктуры: модификация методов исследования и прогнозы // Бюллетень результатов научных исследований. — 2023. — Вып. 3. — С. 46–57. DOI: 10.20295/2223-9987-2023-3-46-57

Аннотация

Цель: Развитие экономико-географического метода в нахождении оптимальных местоположений логистических грузовых распределительных центров на рассматриваемой территории и его применение к построению геометрической маршрутизационной модели распределения грузопотоков. **Методы:** Экономико-географический метод разделения «областей влияния» субъектов перевозочного процесса. Статистические методы обработки эмпирических данных. Метод Монте-Карло. **Результаты:** Разработана геометрическая маршрутизационная модель распределений грузопотоков, образуемых субъектами перевозочного процесса, конкурирующими на территориальном олигополистическом рынке грузоперевозок. **Практическая значимость:** Построенная модель позволяет адекватно имеющейся транспортной сети находить «области влияния» субъектов перевозочного процесса, рассматриваемых в качестве олигополистов на региональном рынке грузоперевозок.

Ключевые слова: Транспортный узел, распределение грузопотоков, экономико-географический метод, геометрическая маршрутизационная модель, «области влияния» логистических терминалов.

Введение

Складские помещения большого формата продолжают оставаться выгодным объектом для инвесторов, поскольку сдача их в аренду способна принести до 15 % дохода в год. Эксперты торговой индустрии и логистических компаний Retail Loyalty сделали заключение о том, что в начале 2022 г. значительно снизились цены аренды складских помещений, предназначенных для непродовольственных товаров, и эта тенденция сохраняется. В 2022 г. российский рынок складской недвижимости претерпел существенные изменения из-за ужесточения внешних санкций, ухода из бизнеса иностранных компаний и в целом быстро меняющейся экономической ситуации.

Объем предложений качественной складской недвижимости в столице России показал максимальное значение за последние 8 лет и составил порядка 1,6 млн м²,

а общий показатель по стране достиг 41 млн м². Также отмечается интерес к региональным проектам развития складской инфраструктуры, где объем сделок вырос почти в 3 раза. По данным Knight Frank, без учета Москвы и Санкт-Петербурга в России прошли сделки с 600 тыс. м² складских площадей, что более чем в 2 раза выше показателя за 2018 г. По данным C&W, всего в регионах было арендовано и куплено 995 тыс. м² складов класса А и В, «спрос достиг 10-летнего максимума». Одним из лидеров по числу заключенных новых сделок является город Ростов-на-Дону — более 107 тыс. м² проектов складской недвижимости.

При этом на первый план выходит проблема рационального размещения новых складов на территории транспортных узлов, определение рациональных параметров уже существующих складов с учетом включения их в транспортно-логистические цепи поставок товаров. Таким образом, актуальна задача, состоящая в развитии существующих и разработке новых математических подходов в моделировании складской сети и определении эффективных схем распределения узловых грузопотоков с учетом степени использования складской составляющей.

Приведем краткий обзор ряда работ, посвященных современным вопросам оптимизации функционирования складской недвижимости в РФ.

В [1] решается задача нахождения местоположений логистических центров на обслуживаемой территории двумя методами. В первом случае находится «центр тяжести» грузопотоков, когда основным фактором, влияющим на выбор местоположения центра, является размер затрат на доставку товаров потребителям. Во втором случае осуществляется частичный перебор узлов транспортной сети, позволяющий найти узел, размещение в котором логистического центра обеспечивает минимум грузооборота по обслуживаемой транспортной сети. Решению задачи нахождения местоположений распределительных центров с использованием метода «центра тяжести» посвящены также работы [2–4].

В [5] предлагается решение задачи о размещении логистических центров на основе сетевой транспортной задачи с использованием теории графов.

В [6, 7] рассматриваются вопросы конфигурирования терминально-складской инфраструктуры в отношении размещения складских мощностей в транспортном узле. Разработана оптимизационная геометрическая евклидова модель процесса грузоперевозок, в которой значениями подлежащей максимизации целевой функции являются площади «областей влияния» распределительных центров.

Проведенный анализ показывает, что вопросы, относящиеся к размещению логистических грузовых распределительных центров (ЛГРЦ) на территории транспортных узлов, весьма актуальны с практической точки зрения и рассматриваемые в комплексе составляют разностороннюю и многоцелевую оптимизационную задачу. Переходя непосредственно к предмету настоящего исследования, отметим, что во всей мировой практике из соображений оптимизации ЛГРЦ располагаются «по периметру границ» мегаполисов. Для России, которая

не составляет исключения, характерна еще и локализация ЛГРЦ возле основных федеральных транспортных артерий на подходе к крупным городам. Если исходить из общих логистических соображений, то автотранспорту целесообразнее доставлять импортный и отечественный грузы в ЛГРЦ (не загружая перевозками город), а затем в виде отдельного преобразующего звена логистической цепи выполнять грузоперевозки по городской территории.

Анализ транспортно-логистической ситуации и обоснование целесообразности построения ГММ

Экономико-географический метод разграничения «областей влияния» субъектов перевозочного процесса позволяет (в соответствии со стоимостями перевозок в пункты назначения) получить территориальную картину распределения грузопотоков в рассматриваемом регионе. Результатом выполнения аналитических и геометрических построений является *геометрическая евклидова модель (ГЕМ)* соответствующего олигополистического рынка грузоперевозок.

Как отмечалось во введении, концепция ГЕМ получила развитие в [6, 7] в виде *оптимизационной геометрической евклидовой модели (ОГЕМ)* рынка, образуемого ЛГРЦ на территории Ростовского транспортного узла. Основанием для применения указанного метода является то, что на большей части территории г. Ростова-на-Дону (рис. 1) равномерно и однородно располагается массив потребителей услуг, предоставляемых распределительными центрами. Граница массива, относящегося к основной и наиболее уплотненно застроенной части городской территории, имеет правильную форму, представленную в виде эллипса.

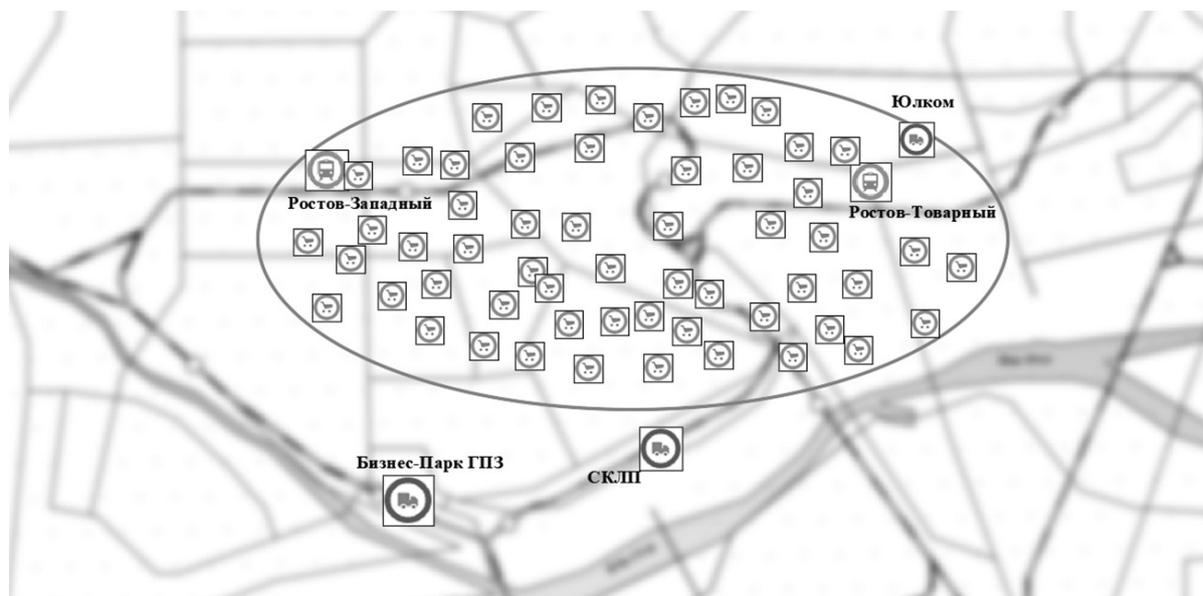


Рис. 1. Схематическое изображение части складской инфраструктуры Ростовского транспортного узла

Дадим краткое описание преобразующего звена транспортно-логистической цепи, которое является предметом исследования в настоящей статье. Грузовые распределительные центры «Бизнес-парк ГПЗ», «СКЛП» и «Юлком» получают продукцию в ассортименте с грузовых станций Ростов-Западный и Ростов-Товарная, а также ряда складов и производственных предприятий. После выполнения транспортно-складских и логистических операций тарно-штучные грузы из центров доставляются автомобильным транспортом к потребителям, которые образуют на указанной выше территории розничную торговую сеть. Результаты обработки методом наименьших квадратов предоставляемых электронной биржей АТІ. SU данных показывают, что для каждого распределительного центра зависимость стоимости перевозки одной транспортной единицы к потребителям от длины пройденного маршрута имеет линейный вид. Для определенности в расчетах принимается, что для всех центров и автомобилей грузоподъемностью 5 т стоимость движенических операций в узле одинакова и равна 1 тыс. руб./км.

Основы метода экономико-географического разграничения «областей влияния» субъектов перевозочного процесса (в их роли могут выступать станции погрузки, ЛГРЦ и т. п.), с помощью которого строится ГЕМ грузоперевозок в данном регионе, подробно изложены в [8, 9].

Обратим теперь внимание на то, что в ГЕМ все транспортные маршруты предполагаются прямолинейными и поэтому их длины представляют собой евклидовы расстояния между началами и концами. Однако реальность такова, что длина маршрута, по которому осуществляется транспортировка груза, во многих случаях существенно превосходит евклидово расстояние от распределительного центра до потребителя (рис. 2).

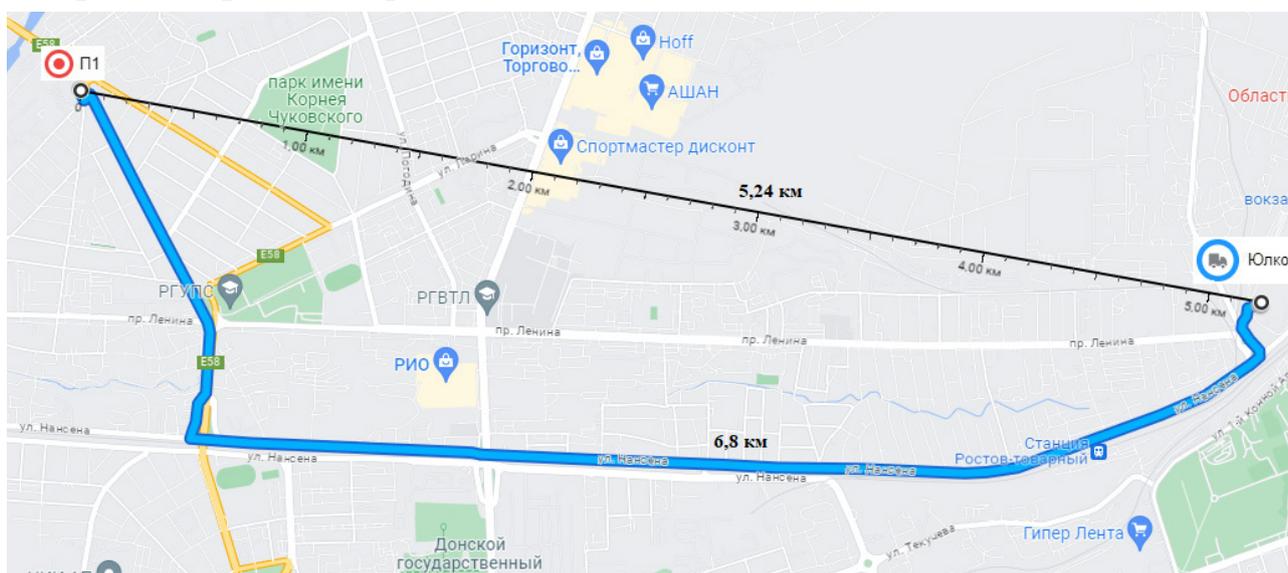


Рис. 2. Схема для сравнения длины маршрута с евклидовым расстоянием

Таким образом, актуальной и целесообразной является разработка математической модели, в которой маршрут транспортировки грузов представлен в том виде, как это происходит фактически на практике.

Геометрическая маршрутизационная модель как эффективная модификация евклидовой модели

В связи со сделанным замечанием введем в рассмотрение такое понятие, как *коэффициент кружности* субъекта перевозочного процесса. Этот коэффициент является важной характеристикой расположения сети дорог (в данном случае автомобильных) для региона, в котором находятся потребители соответствующих транспортных услуг. Указанная характеристика, рассматриваемая для каждого из участников олигополистического территориального рынка грузоперевозок в регионе, позволяет построить соответствующую *геометрическую маршрутизационную модель (ГММ)*.

Приведем общую схему построения ГММ в случае дуополии. Учитывая направление настоящих исследований, далее в качестве субъектов перевозочного процесса будем рассматривать ЛГРЦ. Пусть l_e и l_m — евклидово расстояние и расстояние длины маршрута от рассматриваемого центра до потребителя. Будем

предполагать, что отношение $\frac{l_m}{l_e}$ представляет собой случайную величину, имеющую

равномерное распределение. Таким образом, если *коэффициент кружности* k центра определить как математическое ожидание указанной случайной величины, то эта числовая характеристика будет средним арифметическим значений отношения, вычисленных для всех рассматриваемых потребителей.

Как и при построении ГЕМ, введем на плоской географической карте данного региона декартову систему координат. Обозначим L расстояние между 1-м и 2-м дуополистами (в данном случае распределительными центрами) и будем предполагать, что они находятся соответственно в точках $O(0, 0)$ и $A(L, 0)$. Выбранные координаты не имеют принципиального значения и требуются для того, чтобы далее воспользоваться методом аналитической геометрии. Пусть k_1 и k_2 — коэффициенты кружности 1-го и 2-го дуополистов. Их «области влияния» разграничиваются линией, которая определяется стоимостями грузоперевозок от местоположений дуополистов до пунктов назначения (потребителей). В рассматриваемой ситуации предполагается, что приходящиеся на одну транспортную единицу стоимости начально-конечных операций и стоимости движущихся операций на 1 км пути у дуополистов одинаковые. Поэтому уравнение искомой линии имеет следующий вид:

$$k_1 \sqrt{x^2 + y^2} = k_2 \sqrt{(x-L)^2 + y^2}. \quad (1)$$

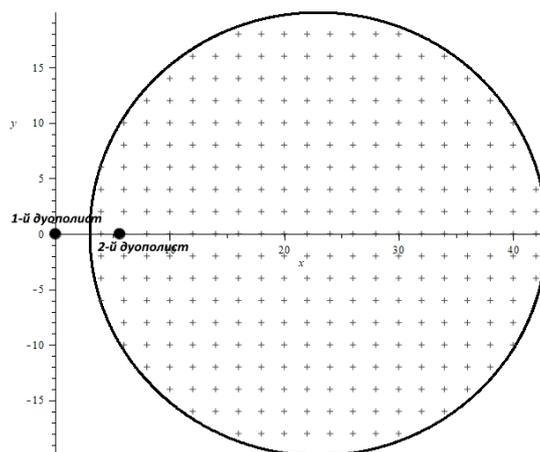


Рис. 3. Разделение плоскости на области влияния дуополюсов

Исключая тривиальные ситуации, предполагаем, что $k_1 \neq k_2$. Пусть, например, $k_1 < k_2$. Выполнив элементарные преобразования, приходим к каноническому уравнению окружности:

$$\left(x - \frac{Lk_2^2}{k_2^2 - k_1^2}\right)^2 + y^2 = \left(\frac{Lk_1k_2}{k_1^2 - k_2^2}\right)^2 \quad (2)$$

с центром в точке $C\left(\frac{Lk_2^2}{k_2^2 - k_1^2}, 0\right)$ и радиуса $R = \frac{Lk_1k_2}{k_2^2 - k_1^2}$.

На рис. 3 приведена окружность, разделяющая «области влияния» дуополюсов, задаваемая неявными уравнениями (1) и (2) и построенная в случае, когда $k_1 = 1,53$, $k_2 = 1,76$ и $L = 5,61$.

Подводя итог, обратим внимание на то, что первоначальный этап в построении ГММ опирается на статистические данные, которыми необходимо располагать в отношении ЛГРЦ и совокупности рассматриваемых потребителей. На рис. 4 такие данные представлены для центров «Бизнес-Парк ГПЗ», «СКЛП» и «Юлком» и 60 потребителей, находящихся на территории Ростовского транспортного узла (рис. 1).

После вычислений получаем, что коэффициенты окружности центров соответственно равны $k_1 = 1,53$, $k_2 = 1,76$ и $k_3 = 1,70$.

Геометрическая маршрутизационная модель в оптимизации распределений грузопотоков

Представим реализацию ГММ распределения грузопотоков, возникающих на территории Ростовского транспортного узла в результате функционирования рассматриваемых ЛГРЦ. Как и в предыдущем исследовании, используем вычислительные, аналитические, графические и эвристические возможности, предоставляемые системой компьютерной алгебры Maxima (Free Ware).

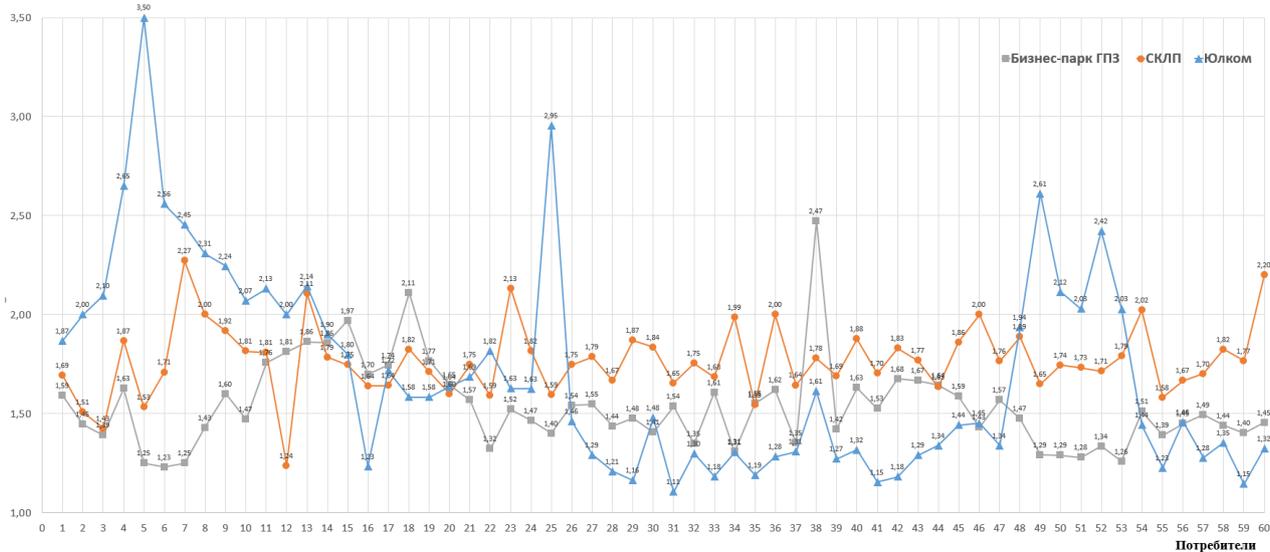


Рис. 4. Диаграммы отношений длин транспортных маршрутов к евклидовым расстояниям

Разработанная ранее ОГЕМ распределения грузопотоков позволяет для грузового распределительного центра, который представляет в данном исследовании особый интерес, находить местоположение, обеспечивающее максимально возможное значение площади его «области влияния». В отношении (выступающего в роли такового центра) «Юлком» отметим, что результат последней итерации (выполненной при реализации соответствующего оптимизационного алгоритма и с учетом ограничений, относящихся, в частности, к уменьшению размера арендной платы) приведен на рис. 5, а.

Перейдем к изложению результатов исследования, которые получены в рамках ГММ. Для проведения вычислительных процедур, позволяющих находить площади «областей влияния» грузовых распределительных центров, обратимся не к классическому интегральному исчислению, а к основной идее метода Монте-Карло. Согласно выполненным в предыдущем разделе аналитическим и геометрическим построениям, в качестве линий, разграничивающих «области влияния» центров, будут выступать дуги окружностей (вместо прямых линий — как в ГЕМ). На рис. 5, б приведено разбиение территории уплотненной городской застройки на «области влияния» трех грузовых распределительных центров, которое осуществляется дугами соответствующих окружностей. Поясним, что в дуополистических ситуациях для пар «Бизнес-парк ГПЗ» — «СКЛП», «Бизнес-парк ГПЗ» — «Юлком» и «СКЛП» — «Юлком» указанными дугами являются а, б и в.

Дадим пояснения к результатам, полученным в рамках ГММ для олигополистической ситуации. «Область влияния» интересующего нас в первую очередь центра «Юлком» представляет собой часть внутренности эллипса, лежащую правее дуг окружностей б и в, и имеет площадь, равную 29,95 км². «Область влияния» центра «СКЛП» является частью внутренности эллипса, расположенной

правее дуги a и левее дуги b , и имеет площадь, равную $19,24 \text{ км}^2$, а «область влияния» центра «Бизнес-Парк» — частью внутренности эллипса, лежащей левее дуг окружностей a и b , и имеет площадь равную $26,21 \text{ км}^2$.

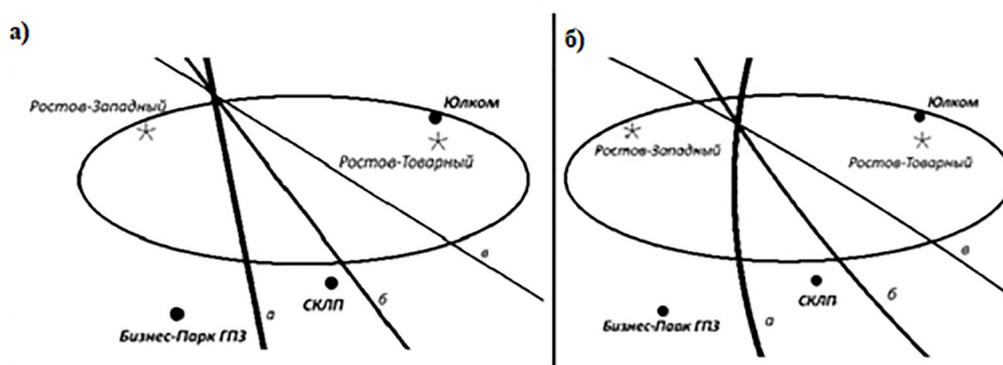


Рис. 5. Разбиение территории узла на «области влияния» центров грузораспределения

Следовательно, геометрия линий разграничения, а также площади «областей влияния», получаемых при использовании *ГММ*, существенно отличаются от тех, что были получены ранее в рамках *ГЕМ*. Таким образом, сравнивая оба подхода между собой (т. е. *ГЕМ* и *ГММ*), нахождением «областей влияния» рассматриваемых ЛГРЦ получаем, что логистический терминал «Бизнес-парк ГПЗ» имеет «область влияния» на 16,9 % больше по варианту рис. 5, б, логистический терминал «СКЛП» имеет «область влияния» на 23,5 % больше по варианту рис. 5, б и логистический терминал «Юлком» имеет «область влияния» больше на 2,5 % по варианту рис. 5, а. Можно сделать вывод, что при оптимизации распределения складских грузопотоков в транспортном узле использование геометрической маршрутизационной модели позволяет определять «области влияния» ЛГРЦ соответственно существующей дорожной сети, что в конечном итоге влияет на зоны обслуживания всех логистических терминалов в транспортном узле.

Заключение

Развитие авторской *ГЕМ* модели в геометрическую маршрутизационную модель *ГММ* позволяет математически обоснованно и адекватно реальным транспортным ситуациям находить «области влияния» узловых ЛГРЦ, конкурирующих на территориальном олигополистическом рынке грузовых перевозок. Модификация модели дает более точное решение задачи по размещению узловой терминально-складской инфраструктуры и формированию цепей доставки грузов. На примере Ростовского транспортного узла при сравнении моделей *ГЕМ* и *ГММ* получено по вариантам распределения грузов с использованием трех ЛГРЦ и более чем 60 потребителей общее сокращение длин маршрутов на 53, 76 и 70 %

соответственно. Это в конечном итоге влияет на конкуренцию между узловыми ЛГРЦ в части формирования «областей влияния» и конечной общей стоимости доставки груза для потребителя.

Предлагаемая модификация метода и разработанный подход имеют универсальный характер и без принципиальных изменений могут быть использованы для любой части узловой (городской) территории (агломерации, комплекса складских объектов), область массива размещения грузополучателей может иметь как правильную, так и неправильную геометрическую форму. Следует также отметить эффективность в решении задач складской логистики систем аналитических вычислений, позволяющих реализовать алгоритм оптимизации, выполнить необходимые алгебраические преобразования, аналитические вычисления, геометрические построения и классификацию найденных линий, разделяющих «области влияния» объектов складской инфраструктуры.

Библиографический список

1. Прокофьева О. С. Транспортные терминалы и логистические центры как элементы товаропроводящей сети / Прокофьева О. С. // Вестник ИрГТУ. — 2011. — № 11(58). — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/transportnye-terminaly-i-logisticheskie-tsentry-kak-elementy-tovarovprovodyashey-seti> (дата обращения: 15.05.2023).
2. Афанасьева Е. А. Оптимизация расположения распределительных центров на обслуживаемой территории / Е. А. Афанасьева // Промышленность: экономика, управление, технологии. — 2017. — № 4(68). — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/optimizatsiya-raspolozheniya-raspredelitelnyh-tsentrov-na-obsluzhivaemoy-territorii> (дата обращения: 19.05.2023).
3. Радаев А. Е. Методика формирования структуры складской распределительной сети промышленных предприятий в условиях мегаполиса / А. Е. Радаев, В. В. Кобзев // π -Economy. — 2015. — № 6(233). — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-formirovaniya-struktury-skladskoy-raspreditelnoy-seti-promyshlennyh-predpriyatij-v-usloviyah-megapolisa> (дата обращения: 19.05.2023).
4. Миронюк В. П. Методика определения положения транспортно-логистических центров на территории Ростовской области / В. П. Миронюк // ИВД. — 2012. — № 1. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-opredeleniya-polozeniya-transportno-logisticheskikh-tsentrov-na-territorii-rostovskoy-oblasti> (дата обращения: 19.05.2023).
5. Вдовин В. Н. Задача размещения терминалов по переработке мелких партий груза / В. Н. Вдовин // Вестник Восточно-Казахстанского государственного технического университета им. Д. Серикбаева. — 2020. — № 2. — С. 103–107. — DOI: 10.51885/15614212_2020_2_103.
6. Числов О. Н. Конфигурирование терминально-складской инфраструктуры транспортного узла на основе развития метода экономико-географического разграничения грузопотоков / О. Н. Числов, В. А. Богачев, В. В. Трапенов и др. // Известия Петербургского университета путей сообщения. — 2022. — № 4. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/konfigurirovanie-terminalno-skladskoy-infrastruktury-transportnogo-uzla-na-osnove-razvitiya-metoda-ekonomiko-geograficheskogo-razgranicheniya-gruzopotokov>

skladsКОЙ-infrastruktury-transportnogo-uzla-na-osnove-razvitiya-metoda-ekonomiko-geograficheskogo (дата обращения: 15.05.2023).

7. Chislov O. Method of economic-geographical delimitation of competitive territories which served by the logistics cargo distribution centers of a transport hub / O. Chislov, V. Bogachev, V. Trapenov et al. // E3S Web of Conferences. — 2023. — Iss. 371(5).

8. Числов О. Н. Распределение вагонопотоков операторской компании в припортовых транспортных узлах методом экономико-географического разграничения / О. Н. Числов, В. А. Богачев, В. М. Задорожний и др. // Известия Петербургского университета путей сообщения. — 2016. — № 3(48). — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/raspredelenie-vagonopotokov-operatorскоy-kompanii-v-priportovyh-transportnyh-uzlah-metodom-ekonomiko-geograficheskogo> (дата обращения: 20.05.2023).

9. Chislov O. N. Modeling Of The Rail Freight Traffic By The Method Of Economic-Geographical Delimitation In The Region Of The South-Easter Coast Of The Baltic Sea / O. N. Chislov, V. A. Bogachev, V. M. Zadorozhniy et al. // Transport Problems, Silesian University of Technology. — 2019. — Vol. 14(2). — Pp. 77–87.

Дата поступления: 12.07.2023

Решение о публикации: 20.08.2023

Контактная информация:

ЧИСЛОВ Олег Николаевич — д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой; o_chislov@mail.ru

БОГАЧЕВ Виктор Алексеевич — канд. физ.-мат. наук, доц.; bogachev-va@yandex.ru

ТРАПЕНОВ Владимир Викторович — ст. преподаватель; vladimir.trapenov@mail.ru

ЗАДОРОЖНИЙ Вячеслав Михайлович — канд. техн. наук, доц.; zadorozhniy91@mail.ru

БОГАЧЕВ Тарас Викторович — канд. физ.-мат. наук, доц.; bogachev73@yandex.ru

Development of Hub Terminal and Warehouse Infrastructure: Modification of Research Methods and Forecasts

O. N. Chislov¹, V. A. Bogachev¹, V. V. Trapenov¹, T. V. Bogachev², V. M. Zadorozhniy¹

¹Rostov State Transport University, 2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, 344038, Russian Federation

²Rostov State University of Economics, 69, Bolshaya Sadovaya st., Rostov-on-Don, 344002, Russian Federation

For citation: Chislov O. N., Bogachev V. A., Trapenov V. V., Bogachev T. V., Zadorozhniy V. M. Development of Hub Terminal and Warehouse Infrastructure: Modification of Research Methods and Forecasts. *Bulletin of scientific research results*, 2023, iss. 3, pp. 46–57. (In Russian) DOI: 10.20295/2223-9987-2023-3-46-57

Summary

Purpose: Development of an economic-geographical method in finding the optimal locations of logistics freight distribution centers in the territory under consideration and its application to the construction of a geometric routing model for the distribution of cargo flows. **Methods:** The economic-geographic method of dividing

the 'areas of influence' of transportation process participants. Statistical methods for processing empirical data. Monte Carlo method. **Results:** A geometric routing model has been developed for the distribution of cargo flows generated by participants in the transportation process competing in a territorial oligopolistic freight transportation market. **Practical significance:** The constructed model allows for a proper assessment of the existing transportation network to identify the 'areas of influence' of transportation process participants, considered as oligopolists in the regional freight transportation market.

Keywords: Transport hub, distribution of cargo flows, economic-geographical method, geometric routing model, 'areas of influence' of logistics terminals.

References

1. Prokof'eva O. S. Transportnye terminaly i logisticheskie tsentry kak elementy tovaroprovodyashchey seti [Transport terminals and logistics centers as elements of a distribution network]. *Vestnik IrGTU* [Bulletin of ISTU]. 2011, Iss. 11(58). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/transportnye-terminaly-i-logisticheskie-tsentry-kak-elementy-tovaroprovodyaschey-seti> (accessed: May 15, 2023). (In Russian)

2. Afanas'eva E. A. Optimizatsiya raspolozheniya raspredelitel'nykh tsentrov na obsluzhivaemoy territorii [Optimization of the location of distribution centers in the service area]. *Promyshlennost': ekonomika, upravlenie, tekhnologii* [Industry: economics, management, technology]. 2017, Iss. 4(68). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/optimizatsiya-raspolozheniya-raspredelitelnykh-tsentrov-na-obsluzhivaemoy-territorii> (accessed: May 19, 2023). (In Russian)

3. Radaev A. E., Kobzev V. V. *Metodika formirovaniya struktury skladskoy raspredelitel'noy seti promyshlennykh predpriyatiy v usloviyakh megapolisa* [Methods of forming the structure of the warehouse distribution network of industrial enterprises in a megalopolis]. *π-Economy*, 2015, Iss. 6(233). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-formirovaniya-struktury-skladskoy-raspredelitelnoy-seti-promyshlennykh-predpriyatiy-v-usloviyakh-megapolisa> (accessed: May 19, 2023). (In Russian)

4. Mironyuk V. P. *Metodika opredeleniya polozheniya transportno-logisticheskikh tsentrov na territorii Rostovskoy oblasti* [Methodology for determining the position of transport and logistics centers on the territory of the Rostov region]. *IVD*, 2012, Iss. 1. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-opredeleniya-polozheniya-transportno-logisticheskikh-tsentrov-na-territorii-rostovskoy-oblasti> (accessed: May 19, 2023). (In Russian)

5. Vdovin V. N. Zadacha razmeshcheniya terminalov po pererabotke melkikh partiy gruzha [The task of placing terminals for the processing of small consignments of cargo / V. N. Vdovin]. *Vestnik Vostochno-Kazakhstanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. D. Serikbaeva* [Bulletin of the East Kazakhstan State Technical University. D. Serikbaeva]. 2020, Iss. 2, pp. 103–107. DOI: 10.51885/15614212_2020_2_103. (In Russian)

6. Chislov O. N., Bogachev V. A., Trapenov V. V. Konfigurirovanie terminal'no-skladskoy infrastruktury transportnogo uzla na osnove razvitiya metoda ekonomiko-geograficheskogo

razgranicheniya gruzopotokov [Configuring the terminal and warehouse infrastructure of a transport hub based on the development of the method of economic and geographical delineation of cargo flows]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya* [Proceedings of Petersburg Transport University]. 2022, Iss. 4. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/konfigurirovanie-terminalno-skladskoy-infrastruktury-transportnogo-uzla-na-osnove-razvitiya-metoda-ekonomiko-geograficheskogo> (accessed: May 15, 2023). (In Russian)

7. Chislov O., Bogachev V., Trapenov V. et al. Method of economic-geographical delimitation of competitive territories which served by the logistics cargo distribution centers of a transport hub. *E3S Web of Conferences*, 2023, Iss. 371(5).

8. Chislov O. N., Bogachev V. A., Zadorozhniy V. M. et al. Raspredelenie vagonopotokov operatorskoy kompanii v priportovykh transportnykh uzлах metodom ekonomiko-geograficheskogo razgranicheniya [Distribution of car flows of the operator company in port transport hubs by the method of economic and geographical demarcation]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya* [Proceedings of Petersburg Transport University]. 2016, Iss. 3(48). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/raspredelenie-vagonopotokov-operatorskoy-kompanii-v-priportovykh-transportnykh-uzlah-metodom-ekonomiko-geograficheskogo> (accessed: May 20, 2023). (In Russian)

9. Chislov O. N., Bogachev V. A., Zadorozhniy V. M. et al. Modeling Of The Rail Freight Traffic By The Method Of Economic-Geographical Delimitation In The Region Of The South-Easter Coast Of The Baltic Sea. *Transport Problems*, Silesian University of Technology, 2019, vol. 14(2), pp. 77–87.

Received: July 12, 2023

Accepted: August 20, 2023

Author's information:

Oleg N. CHISLOV — Dr. Sci. in Engineering, Professor, Head of the Department; o_chislov@mail.ru

Viktor A. BOGACHEV — PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor;
bogachev-va@yandex.ru

Vladimir V. TRAPENOV — Senior Lecturer; vladimir.trapenov@mail.ru;

Viacheslav M. ZADOROZHNIY — PhD in Engineering; zadorozniy91@mail.ru

Taras V. BOGACHEV — PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor;
bogachev73@yandex.ru