УДК 656.13.073.41:633.1(470.45+55)
DOI: https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-5-692-715
EDN: PWWDLA
Научная статья

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА В МУЛЬТИМОДАЛЬНОЙ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ ПОСТАВКИ ЗЕРНА ИЗ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ В ИРАН

А. В. Куликов[1]*, Е. А. Близнякова[1], П. А. Павлов[2], А. А. Куликов[1]
[1]Волгоградский государственный технический университет,
г. Волгоград, Россия
[2]ООО «Альфа Трейд»,
г. Москва, Россия
AlekseyKulikov2007@ya.ru, https://orcid.org/0000- 0003-4395-590X
el.44@bk.ru, https://orcid.org/0000-0003-0143-8349
pavel-pavlov87@bk.ru, https://orcid.org/0000-0003-3420-3909
v2xoda@ya.ru, https://orcid.org/0000-0001-5297-485X
**ответственный автор*

АННОТАЦИЯ

Введение. *В работе создана новая схема мультимодальной логистической системы перевозки зерна на экспорт в Иран с использованием звеньев и графов. Предлагается рассматривать функционирование автомобильного транспорта в мультимодальной логистической системе экспортной поставки зерна с позиции системного подхода на микро-, мезо- и макроуровне, опираясь на новое вводимое понятие транспортной емкости моделируемого графа. Для определения оптимальных режимов функционирования автомобильного транспорта (с дальнейшей целью повышения его эффективности функционирования) в логистических звеньях поставок экспортного зерна на микроуровне предлагается выполнять с помощью графа «Посевные поля – районные тока», на мезоуровне – графа «Районные тока – районные элеваторы», на макроуровне – графа «Районные элеваторы – портовые элеваторы». Моделирование графов, определение транспортной емкости вершин, закрепление вершин за токами, районными элеваторами и портовыми элеваторами создают возможность предприятиям агропромышленного комплекса планировать объем экспортной поставки зерна, рационально использовать свои посевные площади с учетом урожайности сельскохозяйственных культур при выполнении важного условия – обеспечения продовольственной безопасности населения РФ. Планирование работы автомобильного транспорта на микроуровне непосредственно связано с функционированием сельскохозяйственных предприятий, на мезоуровне – с элеваторами. На макроуровне автомобильный транспорт обслуживает три крупнейших портовых хлебоприемных пункта Волгоградской области. Организована мультимодальная перевозка зерна от конкретного хозяйства региона до порта Энзели в Иране с использованием автомобильного транспорта и судна река-море VOLGO-BALT 239.*

Материалы и методы. *В работе используются методы статистического анализа данных поставок озимой пшеницы на экспорт в Иран из Волгоградской области. На микроуровне применяются графоаналитические методы для моделирования схем местоположения заполнения бункеров при работе в бригаде одного, трех или девяти комбайнов с указанием их номера появления на поле в координатной плоскости. Методы системного анализа применялись для правильного разделения международной мультимодальной логистической системы перевозки экспортного зерна на микро-, мезо- и макроуровни с определением места и роли транспорта. Методы решения задачи линейного программирования – оптимизация закрепления потребителей за поставщиками на всех рассматриваемых уровнях.*

Результаты. *Выявлено, что сложные международные мультимодальные логистические системы доставки экспортного зерна необходимо рассматривать с использованием системного подхода. Предлагается систему рассматривать на микро-, мезо- и макроуровнях. На каждом из уровней необходимо планировать работу транспорта, основанную на расчетах «транспортной емкости» вершин графов «Посевные поля – районные тока», «Районные тока – районные элеваторы», «Районные элеваторы –*

© Куликов А. В., Близнякова Е. А., Павлов П. А., Куликов А. А., 2022

Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

портовые элеваторы». Агропредприятие Волгоградской области ООО «Прогресс» получило возможность планировать свою работу с учетом новых информационных технологий, обеспечивающих более высокую эффективность сельскохозяйственной деятельности при возделывании озимой пшеницы с частичной реализацией на экспорт в Иран.

Обсуждение и заключение. *Совершенствование организации функционирования автомобильного транспорта в международной мультимодальной логистической системе экспортных поставок зерна не может существовать без применения технологий точного земледелия в уборочно-транспортных процессах. Применение правильных логистических технологий на автомобильном транспорте и в организации возделывания озимой пшеницы оказывает большое влияние на конечную себестоимость зерна и на гарантированное обеспечение продовольственной безопасности РФ. Исследование в этом направлении в настоящее время является актуальным.*

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *системный подход, микроуровень, мезоуровень, макроуровень, мультимодальные логистические системы перевозки, точное земледелие, теория графов, моделирование транспортных процессов, возделывание озимой пшеницы, агропромышленные комплексы, зерновые тока, зерновые элеваторы, хлебоприемные порты, линейное программирование, транспортная задача, целевая функция, ограничения.*

БЛАГОДАРНОСТИ: *авторы выражают благодарность агроному предприятия ООО «Прогресс» А. В. Близнякову за консультацию по вопросам моделирования графа посевных полей и возделыванию озимой пшеницы, а также благодарность анонимным рецензентам за рассмотрение данной статьи.*

Статья поступила в редакцию 14.06.2022; одобрена после рецензирования 28.09.2022; принята к публикации 14.10.2022.
Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.
Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Куликов А. В., Близнякова Е. А., Павлов П. А., Куликов А. А. Совершенствование организации функционирования автомобильного транспорта в мультимодальной логистической системе поставки зерна из Волгоградской области в Иран // *Вестник СибАДИ.* 2022. Т.19, № 5 (87). С. 692-715. https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-5-692-715

DOI: https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-5-692-715
EDN: PWWDLA
Original article

IMPROVEMENT OF ORGANISATION FOR ROAD TRANSPORT FUNCTIONING IN A MULTIMODAL LOGISTICS SYSTEM FOR GRAIN DELIVERY FROM VOLGOGRAD REGION TO IRAN

Alexey V. Kulikov[1]*, Elena A. Bliznyakova[1], Pavel A. Pavlov[2], Andrey A. Kulikov[1]
[1]Volgograd State Technical University,
Volgograd, Russia
OOO ALFA TRADE, Moscow, Russia
AlekseyKulikov2007@ya.ru, https://orcid.org/0000- 0003-4395-590X
el.44@bk.ru, https://orcid.org/0000-0003-0143-8349
pavel-pavlov87@bk.ru, https://orcid.org/0000-0003-3420-3909
v2xoda@ya.ru, https://orcid.org/0000-0001-5297-485X
**corresponding author*

ABSTRACT

Introduction. *The paper has developed a new scheme of a multimodal logistics system for grain transportation for export to Iran using links and graphs. It is proposed to consider the functioning of road transport in a multimodal logistics system for grain export from the standpoint of a systematic approach at the micro, meso and macro levels based on the newly introduced concept of transport capacity of the simulated graph. To determine the optimal*

© Kulikov A. V., Bliznyakova E. A., Pavlov P. A., Kulikov A. A., 2022

Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

modes of road transport functioning (with the further aim of increasing its efficiency of functioning) in the logistics links of export grain supplies at the micro level, it is proposed to perform using the 'Sowing fields – regional barn-floors' graph, at the meso level – the 'Regional barn-floors – regional grain storages' graph, at the macro level – the 'Regional grain storages – port grain storages' graph. Graphs modelling, determining the transport capacity of vertices, fixing vertices for barn-floors, regional grain storages and port grain storages make it possible for agro–industrial enterprises to plan the volume of grain exports, to use their acreage rationally considering crop yields while fulfilling an important condition - ensuring food security for the population of the Russian Federation. Road transport planning at the micro level is directly linked to the operation of agricultural enterprises, and at the meso level to grain storages. At the macro level, road transport serves the three largest port grain receiving points of the Volgograd region. Multimodal transportation of grain from a specific farm in the region to the port of Enzeli in Iran has been organized using road transport and VOLGO-BALT 239 river-sea vessel.

Materials and methods. *The paper uses methods of statistical analysis of winter wheat supplies for export to Iran from the Volgograd region. At the micro level, graphoanalytic methods are used to model the location schemes of filling bunkers when working in a team of one, three or nine combines, indicating their number of appearance on the field in the xOy coordinate plane. The methods of system analysis were used to correctly divide the international multimodal logistics system for the transportation of export grain into micro, meso and macro levels with the definition of the place and role of transport. Methods of solving the linear programming problem are the optimization of the assignment of consumers to suppliers at all levels under consideration.*

Results. *It is revealed that complex international multimodal logistics systems for the delivery of export grain must be considered using a systematic approach. It is proposed to consider the system at the micro, meso and macro levels. At each of the levels, it is necessary to plan the operation of transport based on calculations of the 'transport capacity' of the 'Sowing fields – regional barn-floors', 'Regional barn-floors – regional grain storages', 'Regional grain storages – port grain storages' graph nodes. OOO Progress, the agro-enterprise of the Volgograd region, has been given the opportunity to plan its work taking into account new information technologies that ensure higher efficiency of agricultural activities in the cultivation of winter wheat with partial sale for export to Iran.*

Discussion and conclusions. *The improvement of the organisation of road transport functioning in the international multimodal logistics system of grain export supplies cannot exist without the use of precision farming technologies in harvesting and transport processes. The use of the right logistics technologies in road transport and in the organisation of winter wheat cultivation has a great impact on the final cost of grain and on the guaranteed food security of the Russian Federation. Research in this direction is currently relevant.*

KEYWORDS: *system approach, micro-level, meso-level, macro-level, multimodal logistics transportation systems, precision agriculture, graph theory, modelling of transport processes, winter wheat cultivation, agro-industrial complexes, grain barn-floors, grain storages, grain receiving ports, linear programming, transport task, objective function, constraints.*

ACKNOWLEDGEMENTS: *The editors express their gratitude to A.V. Bliznyakov, agronomist of OOO Progress enterprise for his advice on modelling the crop field graph and cultivation of winter wheat, and to thank the anonymous reviewers for their consideration of this article.*

The article was submitted 14.06.2022; approved after reviewing 28.09.2022; accepted for publication 14.10.2022.
The authors have read and approved the final manuscript.
Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

For citation: Alexey V. Kulikov, Elena A. Bliznyakova, Pavel A. Pavlov, Andrey A. Kulikov Improvement of organisation for road transport functioning in a multimodal logistics system for grain delivary from Volgograd region to Iran // The *Russian Automobile and Highway Industry Journal.* 2022; 19 (5): 692-715. https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-5-692-715

ВВЕДЕНИЕ

Волгоградская область входит в тройку лидеров по поставкам экспортной озимой пшеницы в страны Ближнего Востока, в частности в Иран. Последние десятилетия отмечаются устойчивые торговые связи области и Ирана. В настоящее время остро стоит проблема обеспечения внутренней продовольственной безопасности РФ и соблюдения договорных обязательств по поставке излишек зерна на экспорт. Целью работы является создание современных методов организации функционирования автомобильного транспорта в мультимодальной логистической системе поставки зерна из Волгоградской области в Иран с использованием системного подхода. Для достижения поставленной цели разработаны и решены следующие задачи: исследованы научные труды, посвященные методам точного земледелия; рассмотрено моделирование работы уборочных комплексов на микроуровне для конкретного предприятия с учетом се-

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

вооборота за период 2016–2020 гг.; произведено моделирование графов международной мультимодальной логистической системы поставки экспортного зерна на микро-, мезо- и макроуровнях; определены транспортные емкости графов на всех уровнях с получением результатов решения задачи линейного программирования; предложены мероприятия по развитию исследований в области повышения работы автомобильного транспорта в международных мультимодальных логистических системах поставки зерна на экспорт.

Существует проблема в правильном формировании звеньев международной мультимодальной логистической системы перевозки зерна на экспорт и организацией планирования работы автомобильного транспорта. Что же можно считать звеном в этой логистической системе? Разрабатывая теорию графов именно для построения транспортных систем на микро-, мезо- и макроуровнях, необходимо определить план задания на будущую работу автомобильного транспорта. Первым звеном в системе является сбор урожая с посевных полей зерновых сельскохозяйственных культур (рисунок 1).

На микроуровне моделируется граф посевных полей, который обладает информацией о структуре и характеристике полей, данными о составе и режиме работы уборочно-транспортной бригады. Вершины графа – это поля, засеянные одной и той же сельскохозяйственной культурой и принадлежащие конкретной агроорганизации.

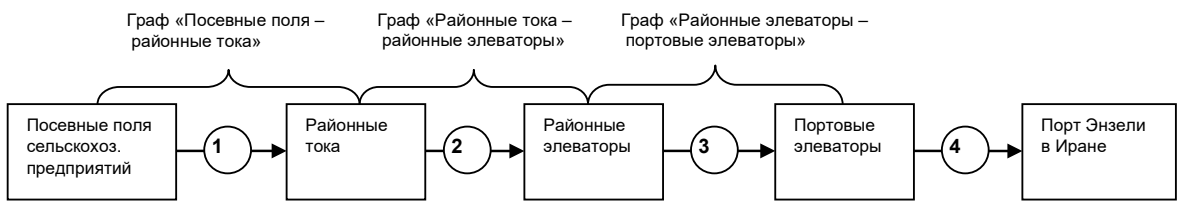
В понятие транспортной емкости графа посевных полей закладывается транспортная работа автомобилей в зависимости от организации их взаимодействия с комбайнами в составе уборочного комплекса в каждой вершине графа. В результате наблюдается зависимость между пробегом автомобильного транспорта от работы комбайнов, которую предлагается разделить на три варианта:

1) автомобили совершают большие пробеги, зачастую равные пробегу комбайна (автомобили закреплены за комбайнами своей бригады);

2) пробеги автомобиля сокращаются в два и более раз, когда автомобиль может подъезжать к любому комбайну с заполненным бункером;

3) пробеги автомобилей внутри вершины по полям минимальны, так как используются межоперационные или межсменные компенсаторы.

В зависимости от организации работы автомобильного транспорта внутри вершины изменяется время транспортного цикла, в частности, время погрузки (включающее время движения по полю). И чем это время меньше при неизменном значении времени транспортировки, разгрузки и подачи подвижного состава под погрузку, тем большее количество ездок совершает автомобиль за время в наряде.



①Прием зерна с полей, первоначальная обработка: взвешивание, очищение, сортировка, протравливание, сушка, временное хранение.

②Прием зерна с автомобильного / железнодорожного транспорта, подработка, хранение, формирование однородных партий и погрузка зерна на автомобильный / железнодорожный транспорт.

③Прием зерна с автомобильного / железнодорожного транспорта, формирование судовой зерновой партии, отгрузка на морской транспорт.

④Транспортировка зерна морем в порт назначения Энзели (Иран)

Рисунок 1 – Схема мультимодальной логистической системы перевозки зерна на экспорт в Иран с указанием основных звеньев и графов
Источник: составлено авторами.

Figure 1 – Diagram of a multimodal logistics system for grain transportation for export to Iran, indicating the main links and graphs
Source: compiled by the authors.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

В результате меньшее количество автомобилей потребуется для обеспечения вывоза собранного урожая на зерновой ток. Это все дает возможность планировать работу транспорта на микроуровне[1, 2].

Рациональная организация процессов возделывания сельскохозяйственных зерновых культур должна, с одной стороны, стремиться максимизировать урожайность, а с другой стороны, минимизировать антропогенное воздействие на окружающую среду. Главным из способов для достижения данной цели можно назвать применение ресурсосберегающих технологий, в частности, технологии точного земледелия и создания эффективных мультимодальных логистических систем. Планирование и последующая реализация производственных процессов в сельском хозяйстве на основании точного земледелия даст возможность получения максимальной прибыли при минимальном негативном влиянии на биосферу с сохранением качества возделываемого зерна.

Известно, что основанием для формирования технологии точного земледелия явилось создание в конце 1970-х гг. глобальных систем позиционирования. Однако ввиду недостаточной эффективности функционирования GPS и ГЛОНАСС новаторская технология не была точной и надежной[3, 4]. Новый этап в разработке координатного земледелия начался в 2007 г., когда в Московской сельскохозяйственной академии им. К. А. Тимирязева впервые был создан Центр точного земледелия. Научная деятельность Центра связана с изучением и сравнением точного и традиционного земледелия [1]. Однако в научных работах вопросу о повышении эффективности функционирования автомобильного транспорта уделялось малое значение.

Исследование технологии точного земледелия представляет собой острый научный интерес для ученых страны. Опыт разработки геоинформационной системы для обеспечения функционирования системы точного земледелия и методика построения карт посевных полей, содержащих данные статистики, был представлен в работе А. С. Рулева, С. С. Шинкаренко, В. Н. Бодровой, Н. В. Сидоровой, Н. В. Абрамова, Ю. И. Плескачева, А. И. Беленкова, А. Ю. Тюмакова [2, 3, 4].

Точное земледелие базируется на:

– сборе данных о сельскохозяйственном предприятии, посевных полях, возделываемых культурах, составе машинно-тракторного парка организации;

– анализе этой информации и выдаче сигналов управления;

– проведении агротехнологических решений.

Система принятия решений точного земледелия может основываться на применении имитационного моделирования, когда реальный процесс заменяется достаточно точной статической или динамической моделью.

Технологии точного земледелия находят практическое применение в уборочно-транспортных процессах, так как они оказывают большое влияние на конечную себестоимость зерна. Применение экономико-математических моделей при организации и последующем совершенствовании уборки сельскохозяйственных культур нашло отражение в работах Н. И. Стружкина, Е. В. Худяковой, К. В. Клоч-

[1] Близнякова Е. А. Исследование проблем функционирования грузового автомобильного транспорта при возделывании зерновых / Е. А. Близнякова // Конкурс научно-исследовательских работ студентов Волгоградского государственного технического университета (г. Волгоград, 25–29 апреля 2022 г.): тез. докл. / редкол.: С. В. Кузьмин (отв. ред.) [и др.]; ВолгГТУ, Отд. координации науч. исследований молодых ученых УНиИ, Общество молодых ученых. Волгоград, 2022. С. 133–134.

[2] Близнякова Е. А. Исследование значимости построения вершин графа посевных полей для планирования работы автомобильного транспорта на микроуровне / Е. А. Близнякова, А. В. Куликов // VIII Международная научно-практическая конференция «Информационные технологии и инновации на транспорте» (г. Орёл, 16–19 мая 2022 г): сб. материалов конф. / редкол.: А.Н. Новиков (отв. ред.) [и др.]; ОГУ им. И. С. Тургенева. Орёл, 2022. С. 81–89.

[3] Технологии, машины и оборудование для координатного (точного) земледелия: учебник для вузов / В. И. Балабанов [и др.]; под ред. В. И. Балабанова, В. Ф. Федоренко. Москва: ФГБНУ «Росинформагротех», 2016. 240 с.

[4] Оськин С. В., Тарасенко Б. Ф. Имитационное моделирование при формировании эффективных комплексов почвообрабатывающих агрегатов – еще один шаг к точному земледелию: монография / С. В. Оськин, Б. Ф. Тарасенко. Краснодар: Издательство ООО «КРОН», 2015. 510 с.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

ковой, А. В. Орлянского[5], Ю. Н. Блынского, В. В. Тихоновского, А. В. Сухосыра [5, 6, 7, 8, 9]. А. В. Кузнецовым, Г. В. Суриловой, С. И. Чемодановым было предложено рассчитывать технико-экономические показатели с помощью теории графов путем построения графа технологий уборки зерновых культур [10]. В этих работах граф рассматривался как иерархия выполнения уборочно-транспортных работ. В сложившейся ситуации специалистам транспортной логистики требуется уделить особую роль в совершенствовании организации работы автомобильного транспорта в новых условиях развития сельского хозяйства страны.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для решения первой задачи были исследованы научные труды ученых Центра точного земледелия при Московской сельскохозяйственной академии им. К. А. Тимирязева, посвященные методам точного земледелия в РФ. В работе используются методы статистического анализа данных поставок озимой пшеницы на экспорт в Иран с Волгоградской области. На микроуровне рассмотрено моделирование работы уборочных комплексов для агропредприятия Волгоградской области ООО «Прогресс» с учетом севооборота за период 2016–2020 гг. Методы системного анализа применялись для декомпозиции международной мультимодальной логистической системы перевозки экспортного зерна на три уровня с определением места и роли транспорта. Определены транспортные емкости графов на всех уровнях с получением результатов решения задачи линейного программирования: определение кратчайших расстояний между вершинами соответствующих графов и оптимальное закрепление «потребителей» за «поставщиками». Предложенные мероприятия по развитию исследований в области повышения работы автомобильного транспорта в международных мультимодальных логистических системах поставки зерна на экспорт возможно реализовать с применением современных цифровых технологий на транспорте с внедрением беспилотных комбайнов и беспилотных автомобилей в уборочно-транспортном комплексе.

Микроуровень мультимодальной логистической системы представляет собой различные организации или объединения в сфере агропромышленного комплекса: сельскохозяйственные предприятия, товарищества, крестьянские (фермерские) хозяйства, индивидуальные предприниматели. Независимо от формы организации труда каждое предприятие должно обладать посевными полями, отведенными именно под сельскохозяйственные культуры.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В зависимости от выбранной схемы организации взаимодействия транспорта и комбайна время транспортного цикла автомобиля будет различным. В общем виде время транспортного цикла автотранспортного средства (АТС) будет складываться из времени погрузки автомобиля, движения с грузом, разгрузки и движения без груза[6].

Важным этапом транспортного цикла является время погрузки автомобиля, на которое оказывает влияние организация взаимодействия автомобильного транспорта и комбайна.

С целью сокращения времени подъезда подвижного состава к комбайну необходимо произвести моделирование местоположения бункера комбайна в момент его заполнения. Введем систему координат и совместим ее с картой поля (рисунок 2).

Результаты моделирования карты работы трех и девяти комбайнов в уборочной бригаде показывают отсутствие смещения координат точек (бункеров) в декартовой системе поля первых комбайнов. Остальные бункера сдвигаются на ширину жатки (рисунок 3). Координаты точек также имеют кодировку в системе позиционирования ГЛОНАСС.

[5] Общая имитационная модель технологического процесса уборки зерновых колосовых культур / П. А. Михайленко, А. В. Орлянский, А. И. Орлянская // Научно-технический прогресс в АПК: проблемы и перспективы: сб. тр. Международной научно-практической конференции в рамках XVIII Международной агропромышленной выставки «Агроуниверсал – 2016» / Ставропольский ГАУ. Ставрополь, 2016. С. 222–226.

[6] Эксплуатация машинно-тракторного парка: учебное пособие / А. И. Завражнов [и др.]; под ред. А. И. Завражнова; ФГБОУ ВО ТГТУ. Тамбов: ТГТУ, 2019. 224 с.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

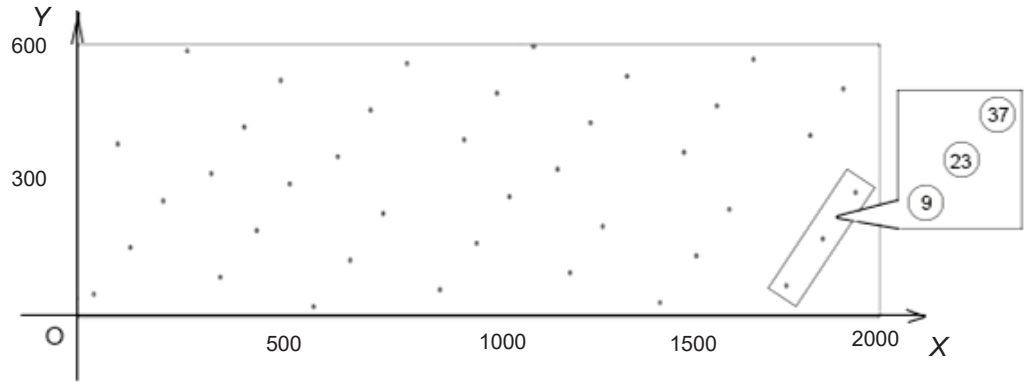


Рисунок 2 – Схема местоположения заполненных бункеров при работе в бригаде одного комбайна (9, 23, 37 – номера заполненных бункеров с указанием их местоположения)
Источник: составлено авторами.

Figure 2 – Diagram of the location of filled bunkers when working in a team of one combine harvester (9, 23, 37 numbers of filled bunkers indicating their location)
Source: compiled by the authors.

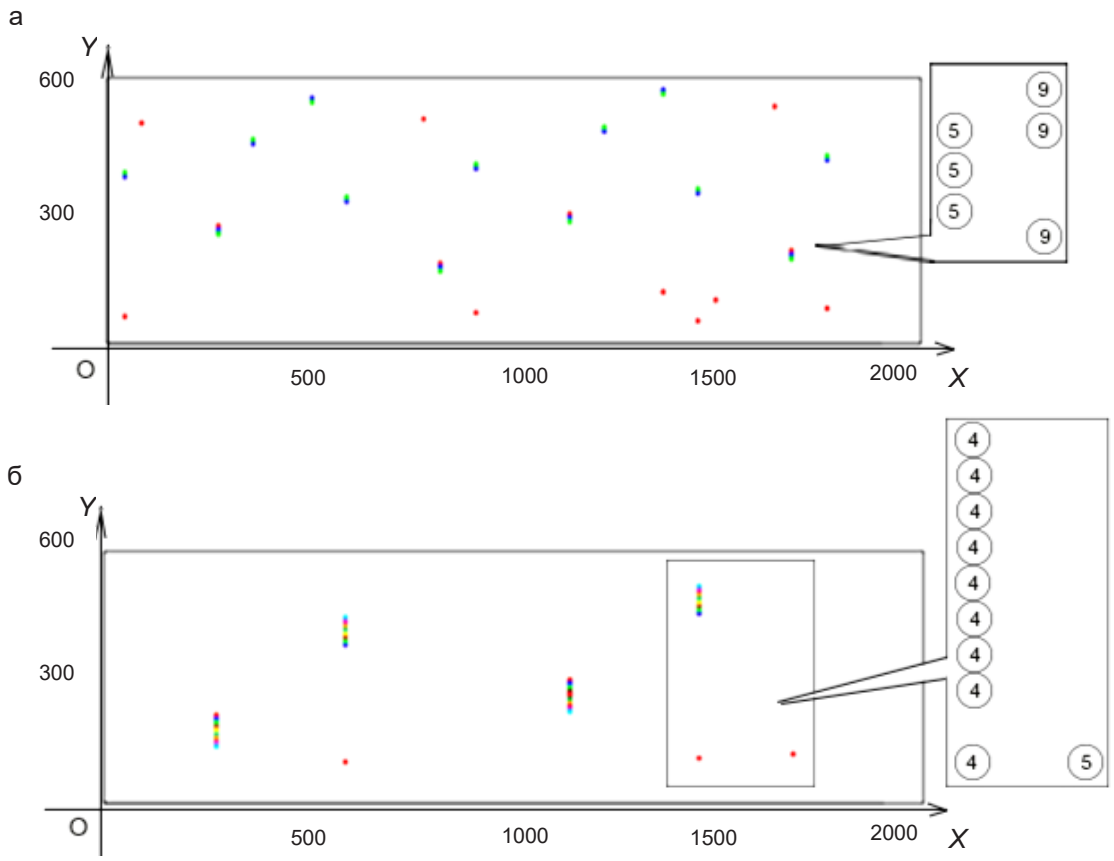


Рисунок 3 – Схемы местоположения заполненных бункеров при работе в бригаде:
а – трех комбайнов (на схеме цифры 5 и 9 указывают местоположение заполненных бункеров для трех комбайнов);
б – девяти комбайнов (на схеме цифры 4 и 5 указывают местоположение заполненных бункеров для девяти комбайнов)
Источник: составлено авторами.

Figure 3 – Diagrams of the location of filled bunkers when working in a team:
a) three combines (in the diagram, the numbers 5 and 9 indicate the location of the filled bunkers for three combines);
b) nine combines (in the diagram, the numbers 4 and 5 indicate the location of the filled bunkers for nine combines)
Source: compiled by the authors.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

Каждый заполненный бункер ($N_i^б$) имеет действительные значения в координатной плоскости xOy (x_i; y_i). Зная координаты точки (бункера) в пространстве, водитель будет подъезжать точно к моменту заполнения бункера комбайна зерном. В таблицах 1, 2, 3 приведены координаты бункеров в зависимости от числа комбайнов в бригаде при уборке озимой пшеницы. Координаты бункеров, приведенные в таблицах 1, 2, 3, не составляет труда перевести в координаты позиционирования глобальной навигационной спутниковой системы ГЛОННАС для дальнейшей работы беспилотного автомобильного транспорта и зерноуборочной техники.

Таблица 1
Координаты бункеров при работе в бригаде одного комбайна
Источник: составлено авторами.

Table 1
Coordinates of bunkers when working in a team of one combine
Source: compiled by the authors.

№	Порядковый номер бункеров комбайна																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Ox, м	1137	274	589	1452	1685	822	41	904	1767	1370	507	356	1219	1918	1056	193	670	1533	1544	681
Oy, м	576	567	27	36	549	540	54	63	72	504	495	90	99	477	468	459	126	135	441	432
№	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Ox, м	182	955	1908	1229	366	497	1360	1777	914	51	812	1675	1462	599	264	1127	1990	1147	284	579
Oy, м	153	162	171	405	396	189	198	378	369	360	225	234	342	333	252	261	270	306	297	288

Таблица 2
Координаты бункеров при работе в бригаде трех комбайнов
Источник: составлено авторами.

Table2
Coordinates of bunkers when working in a team of three combines
Source: compiled by the authors.

№	Первый комбайн		№	Второй комбайн		№	Третий комбайн	
	Ox, м	Oy, м		Ox, м	Oy, м		Ox, м	Oy, м
1	1137	288	1	1137	279	1	1137	270
2	274	261	2	274	252	2	274	243
3	589	45	3	589	315	3	589	324
4	1452	54	4	1452	333	4	1452	342
5	1685	207	5	1685	198	5	1685	189
6	822	180	6	822	171	6	822	162
7	41	63	7	41	369	7	41	378
8	904	72	8	904	387	8	904	396
9	1767	81	9	1767	405	9	1767	414
10	1370	117	10	1370	558	10	1370	589
11	1493	99	11	507	540	11	507	531
12	1644	522	12	356	441	12	356	450
13	781	495	13	1219	468	13	1219	477
14	85	486		–	–		–	–

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

Таблица 3
Координаты бункеров при работе в бригаде девяти комбайнов
Источник: составлено авторами.

Table3
Coordinates of bunkers when working in a team of nine combines
Source: compiled by the authors.

№	Первый комбайн		№	Второй комбайн		№	Третий комбайн	
	Ox, м	Oy, м		Ox, м	Oy, м		Ox, м	Oy, м
1	1137	288	1	1137	279	1	1137	270
2	274	207	2	274	198	2	274	189
3	589	99	3	589	369	3	589	378
4	1452	108	4	1452	441	4	1452	450
5	315	117	5	1685	459	5	–	–
№	Четвертый комбайн		№	Пятый комбайн		№	Шестой комбайн	
	Ox, м	Oy, м		Ox, м	Oy, м		Ox, м	Oy, м
1	1137	261	1	1137	252	1	1137	243
2	274	180	2	274	171	2	274	162
3	589	387	3	589	396	3	589	405
4	1452	459	4	1452	468	4	1452	477
5	–	–	5	–	–	5	–	–
№	Седьмой комбайн		№	Восьмой комбайн		№	Девятый комбайн	
	Ox, м	Oy, м		Ox, м	Oy, м		Ox, м	Oy, м
1	1137	234	1	1137	225	1	1137	216
2	274	153	2	274	144	2	274	135
3	589	414	3	589	423	3	589	432
4	1452	486	4	1452	495	4	1452	504
5	–	–	5	–	–	5	–	–

Зерно, собираемое с полей, отвозится автомобильным транспортом на зерновой ток для его послеуборочной обработки. На зерновом току зерно принимают с полей через автомобильные весы, взвешивают, очищают, сортируют, временно хранят, протравливают, сушат и размещают в складах длительного хранения.

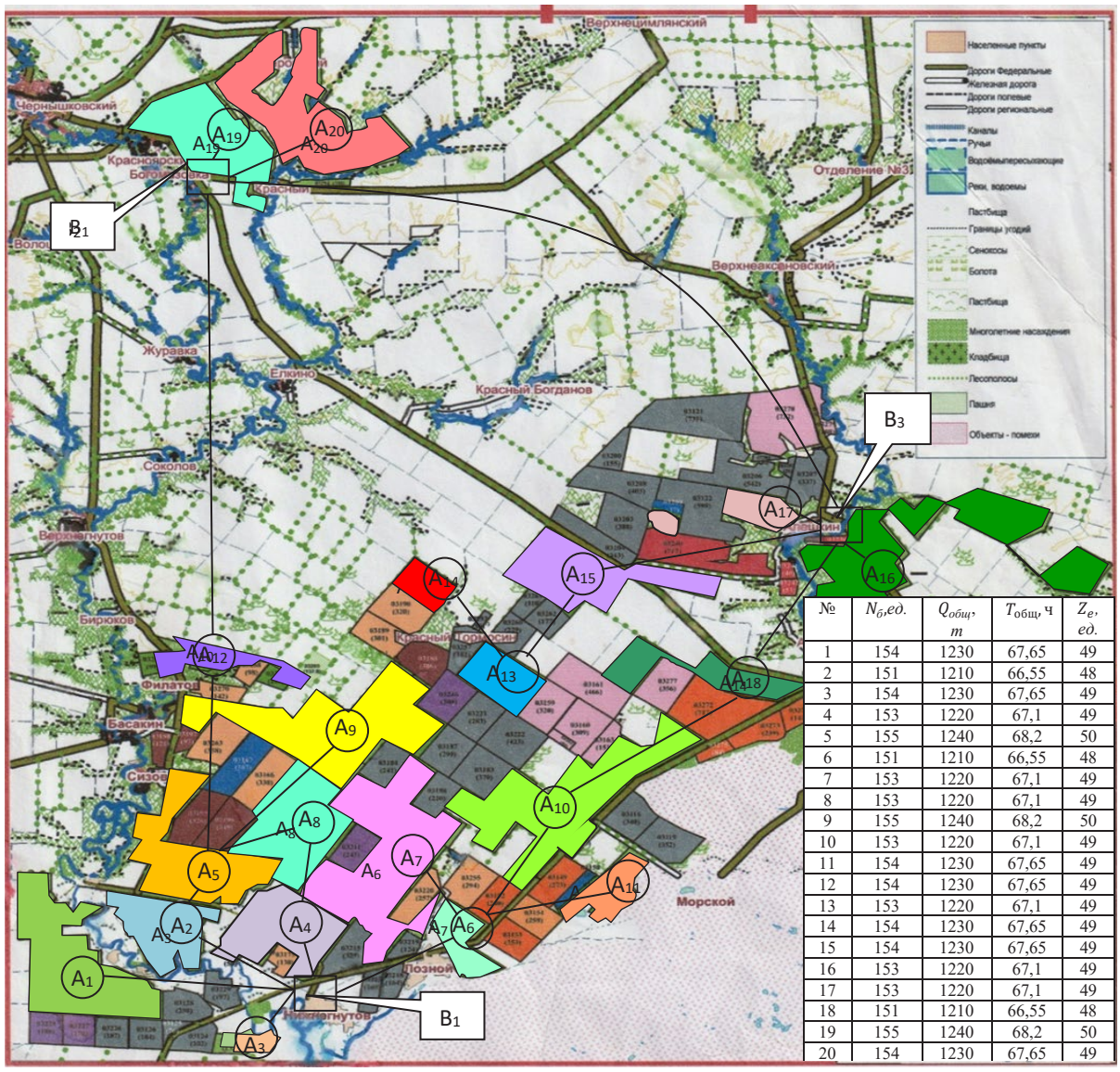
В Чернышковском районе Волгоградской области находится три зерновых тока: в хут. Алешкин, пос. Красноярский и в хут. Нижнегнутов. Зная результаты расчетов для одной вершины[7], произведем укрупненный расчет работы автомобильного транспорта с помощью метода теории графов[8, 9] [11].

[7] Близнякова Е. А. Исследование влияния количества комбайнов на задание режима функционирования автомобилей при обслуживании графа посевных полей / Е. А. Близнякова // Молодёжь и научно-технический прогресс в дорожной отрасли юга России = Youth and scientific-and-technical progressin road field of south of Russia: матер. XVI Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых учёных (г. Волгоград, 25–27 мая 2022 г.) / ВолгГТУ. Волгоград, 2022. С. 247–251.

[8] Близнякова Е. А. Использование современных методов определения кратчайших расстояний в мультимодальных логистических поставках удобрений из России / Е. А. Близнякова, С. А. Бондаренко // XXVI Региональная конференция молодых ученых и исследователей Волгоградской области (г. Волгоград, 16–28 ноября 2021 г.): тез. докл. / редкол.: С. В. Кузьмин (отв. ред.) [и др.] ; ВолгГТУ. Волгоград, 2021. С. 74–75.

[9] Свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2022616507 от 12 апреля 2022 г. Российская Федерация. Составление графа транспортной сети объектов города / А. В. Куликов, Р. В. Егоров, В. В. Шорин; ФГБОУ ВО ВолгГТУ. 2022.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal



№	$N_б$,ед.	$Q_{общ}$, т	$T_{общ}$, ч	Z_e, ед.
1	154	1230	67,65	49
2	151	1210	66,55	48
3	154	1230	67,65	49
4	153	1220	67,1	49
5	155	1240	68,2	50
6	151	1210	66,55	48
7	153	1220	67,1	49
8	153	1220	67,1	49
9	155	1240	68,2	50
10	153	1220	67,1	49
11	154	1230	67,65	49
12	154	1230	67,65	49
13	153	1220	67,1	49
14	154	1230	67,65	49
15	154	1230	67,65	49
16	153	1220	67,1	49
17	153	1220	67,1	49
18	151	1210	66,55	48
19	155	1240	68,2	50
20	154	1230	67,65	49

Рисунок 4 – Сформированный граф «Посевные поля озимой пшеницы – районные тока» с характеристикой уборочно-транспортного процесса конкретного хозяйства Чернышковского района
Источник: составлено на основании карт посевных полей Чернышковского района Волгоградской области.

Figure 4 – 'Winter wheat sowing fields – regional barn-floors' formed graph with the characteristics of the harvesting and transport process of a particular farm of the Chernyshkovsky district
Source: compiled on the basis of maps of sown fields of the Chernyshkovsky district of the Volgograd region.

Транспортную емкость графа посевных полей одной вершины рассчитаем, предполагая, что в исходной вершине A_i имеется N однотипных полей, засеянных озимой пшеницей. Тогда параметрами вершины A_1 можно назвать число бункеров $N_б$, намолачиваемых в вершине A_i, общий объем собранного зерна $Q_{общ}$, суммарное время наполнения бункеров $T_{общ}$, суммарное количество ездок автомобиля Z_e. Транспортная емкость графа «Посевные поля – районные тока» Чернышковского района представлена на рисунке 4, где для каждой вершины графа приведены соответствующие характеристики уборочно-транспортного процесса.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

Оптимальное распределение объемов собираемого зерна можно осуществить с помощью методов линейного программирования[10]. При решении задач, связанных с закреплением потребителей за поставщиками, целесообразно прибегнуть к классической транспортной задаче. Ее решение сводится к выбору транспортных маршрутов, по которым продукция различных предприятий перевозится на несколько конечных пунктов назначения.

С двадцати вершин графа посевных полей ООО «Прогресс» $A_1,\dots, A_{20}$ необходимо перевезти озимую пшеницу на три зерновых тока $B_1,\dots, B_3$. Необходимо так закрепить вершины графа посевных полей за зерновыми токами, чтобы общая транспортная работа была минимальной (показатель критерия оптимальности – расстояние). Математическую модель транспортной задачи в общем виде можно представить как[9]:

целевая функция:

$$Z(x) = \sum_{i=1}^{\text{ПП}} \sum_{j=1}^{\text{ЗТ}} a_{ij} x_{ij} \to \min, \qquad (1)$$

где x_{ij} – объем озимой пшеницы, перевозимой с *i*-го поля до *j*-го тока, км;

a_{ij} – расстояние от *i*-го поля до *j*-го тока, км,

ограничения задачи:

$$\begin{cases} x_{11} + x_{12} + x_{13} = 1230, \\ x_{21} + x_{22} + x_{23} = 1210, \\ x_{31} + x_{32} + x_{33} = 1230, \\ \dots \\ x_{201} + x_{202} + x_{203} = 1230, \\ x_{11} + x_{21} + x_{31} + \dots + x_{201} = 16000, \\ x_{12} + x_{22} + x_{32} + \dots + x_{202} = 8000, \\ x_{13} + x_{23} + x_{33} + \dots + x_{203} = 6000, \\ x_{ij} \geq 0, A_i \geq 0, B_j \geq 0, \\ i = 1,2, \dots \text{ПП},\ j = 1,2, \dots \text{ЗТ}, \end{cases} \qquad (2)$$

где A_i – объем зерна с *i*-го поля, т;

B_j – вместимость *j*-го зернового тока, т;

ПП – количество посевных полей, ед.;

ЗТ – количество зерновых токов, ед.

Для того, чтобы найти решение транспортной задачи, необходимо, чтобы выполнялось условие

$$\sum_{i=1}^{\text{ПП}} A_i = \sum_{j=1}^{\text{ЗТ}} B_j. \qquad (3)$$

Проверим

$$\sum_{i=1}^{20} A_i = 24\,500 \neq \sum_{j=1}^{3} B_j = 30\,000.$$

Так как вместимость складов зерновых токов учитывает площадь, используемую под резерв, и площадки для хранения зерна на открытом воздухе, будем считать, что суммарный запас (объем сбора) озимой пшеницы с посевных полей равен суммарным потребностям (вместимости складов) зерновых токов, т.е.

$$\sum_{i=1}^{20} A_i = \sum_{j=1}^{3} B_j = 24\,500.$$

Решение транспортной задачи можно выполнить вручную или с помощью надстройки «Поиск решений» программы Microsoft Exel. Решение задачи вручную выполняется в два этапа:

первый этап – составляется базисный план с помощью метода аппроксимации У. Фогеля;

второй этап – полученный план перевозок оптимизируется методом потенциалов (таблица 4).

Из таблицы видно, что наиболее оптимальным является вариант перевозки зерна с посевных полей ООО «Прогресс» на ближайшие зерновые тока. Минимальная транспортная работа при такой схеме организации перевозок будет равна:

$$\begin{gathered} Z(x)=1230\cdot5+1210\cdot2+1230\cdot2+1220\cdot2+ \\ +1240\cdot10+1210\cdot4+1220\cdot3+1220\cdot4+1240\cdot7+ \\ +1220\cdot10+1230\cdot12+1230\cdot16+1220\cdot19+ \\ +1230\cdot21+1230\cdot8+1220\cdot4+1220\cdot4+1210\cdot7+ \\ +1240\cdot3+1230\cdot8=185\,210 \text{ т}\times\text{км}. \end{gathered}$$

Транспортировку зерна с поля на зерновой ток в агропредприятии ООО «Прогресс» производят автомобилями марки КамАЗ с прицепами общей грузоподъемностью 25 т. Формируя товарные партии зерна для дальнейшей ее реализации, нельзя смешивать зерно, поступившее на ток до и после дождя, с полей прямого и раздельного комбайнирования. Сформированное в партии по качеству зерно отгружается на элеватор в дневное время суток с указанием в документах красным цветом «сильная» или «ценная» в зависимости от класса пшеницы.

[10] Грузовые автомобильные перевозки: учебник для вузов / А. В. Вельможин, В. А. Гудков, Л. Б. Миротин, А. В. Куликов. 3-е изд., испр. Москва: Горячая линия – Телеком, 2016. 560 с.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

Таблица 4

Оптимальное закрепление посевных полей за районными токами, определенное методом потенциалов

Источник: составлено авторами.

Table 4

Optimal fixation of sown fields for regional barn-floors determined by the method of potentials

Source: compiled by the authors.

Грузообразующие пункты (вершины графа – посевные поля)	Грузопоглощающие пункты (вершины графа – зерновые тока)			Итого	U_i
	B_1	B_2	B_3		
	Расстояние				
A_1	1230 [5]	+ [41]	+ [33]	1230	0
A_2	1210 [2]	+ [36]	+ [31]	1210	-3
A_3	1230 [2]	+ [41]	+ [32]	1230	-3
A_4	1220 [2]	+ [35]	+ [27]	1220	-3
A_5	1240 [10]	+ [33]	+ [29]	1240	5
A_6	1210 [4]	+ [39]	+ [24]	1210	-1
A_7	1220 [3]	+ [31]	+ [22]	1220	-2
A_8	1220 [4]	+ [29]	+ [27]	1220	-1
A_9	1240 [7]	+ [27]	+ [24]	1240	2
A_{10}	1220 [10]	+ [34]	+ [15]	1220	5
A_{11}	1230 [12]	+ [38]	+ [18]	1230	7
A_{12}	1230 [16]	+ [22]	+ [26]	1230	11
A_{13}	+ [16]	+ [24]	1220 [19]	1220	9
A_{14}	+ [21]	1230 [21]	+ [20]	1230	10
A_{15}	+ [23]	+ [28]	1230 [8]	1230	-2
A_{16}	+ [35]	+ [38]	1220 [4]	1220	-6
A_{17}	+ [28]	+ [30]	1220 [4]	1220	-6
A_{18}	+ [23]	+ [35]	1210 [7]	1210	-3
A_{19}	+ [40]	1240 [3]	+ [30]	1240	-8
A_{20}	+ [43]	1230 [8]	+ [27]	1230	-3
Итого	14700	3700	6100	24500	
V_j	5	11	10		

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

Зерновые тока представляют объединения, которые оснащаются всем необходимым оборудованием, и могут принимать зерно от нескольких агропредприятий. Так как в каждом районе Волгоградской области имеется более одного зернового тока, то для выхода на мезоуровень предположим, что тока агропромышленного предприятия становятся вершинами нового графа «Районные тока – районные элеваторы» внутри сельскохозяйственных районов области. Граф «Районные тока – районные элеваторы», сформированный для каждого района, представляет собой мезоуровень (рисунок 5).

Для перевозки зерна агропромышленного предприятия ООО «Прогресс» с зерновых токов на районные элеваторы применяют автомобили большей грузоподъемности с использованием полуприцепов и прицепов. Этот факт является особенностью перевозок на мезоуровне, так как на микроуровне не всегда существует возможность использовать автомобиль с прицепом или полуприцепом.

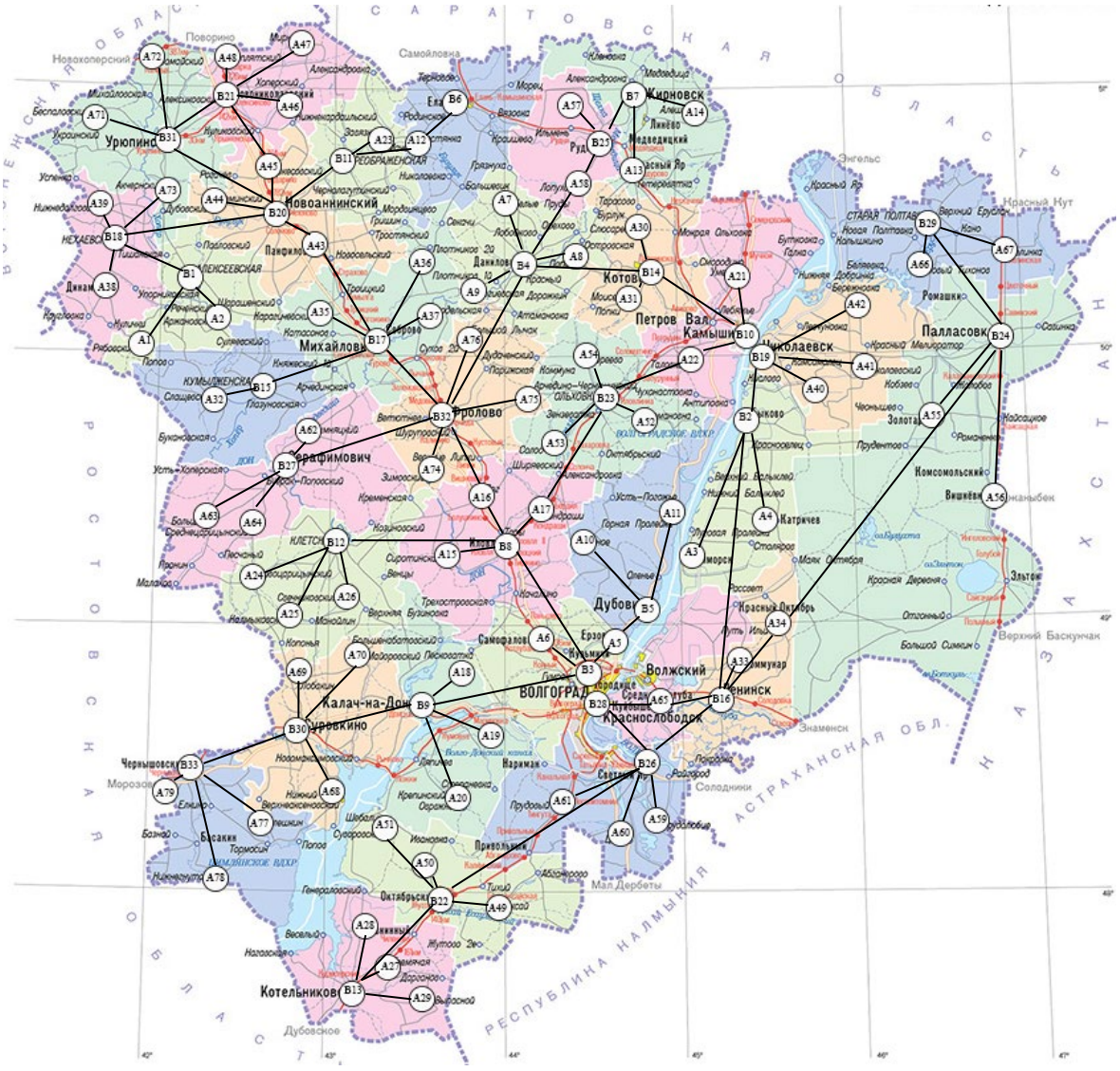


Рисунок 5 – Граф «Районные тока – районные элеваторы», сформированный для каждого района Волгоградской области
Источник: составлено на основании карты Волгоградской области: https://www.sharada.ru/katalog/maps/regions/volgogradskaja-oblast.

Figure 5– 'Regional bar-floors – regional grain storages' graph formed for each district of the Volgograd region
Source: compiled on the basis of a map of the Volgograd region: https://www.sharada.ru/katalog/maps/regions/volgogradskaja-oblast.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

Во-первых, это связано с тем, что грунтовые дороги не позволяют выдерживать осевые нагрузки, а во-вторых, поперечный и продольный профили меж полевых дорог не дают возможность осуществлять перевозку зерна тягачами с полуприцепами. На количество используемых автомобилей и их производительность будут оказывать влияние ритмичная погрузка на зерновых токах, сельскохозяйственные дороги с твердым покрытием, по которым уже разрешено движение автомобилей большой грузоподъемности в осенний период. Кроме того, существует возможность поточной разгрузки автомобилей на элеваторе, перевозящих зерно на экспорт согласно правилам функционирования мультимодальных логистических систем. Для этого прорабатывается информационный поток, что обеспечивает приоритетное обслуживание автомобилей в пункте приема элеватора.

В таблице 5 представлены наименования элеваторов районов области и их характеристики. Районные элеваторы размещают на пересечении водных и железнодорожных путей или на крупных железнодорожных станциях. Среди всех элеваторов муниципальных районов Волгоградской области наибольшей емкостью складов характеризуются элеваторы Иловлинского, Клетского, Новоаннинского, Урюпинского и Чернышковского районов.

Таблица 5

Характеристики районных элеваторов

Источник: составлено на основании данных сайта: https://searchfactory.ru/spisok/elevatory-volgogradskaya-oblast.

Table 5

Characteristics of regional grain storages

Source: compiled on the basis of website data: https://searchfactory.ru/spisok/elevatory-volgogradskaya-oblast.

Шифр вершины	Наименование муниципального района	Наименование элеватора	Общая мощность по хранению, тыс. т	Наименование железнодорожной станции
B1	Алексеевский	АО «Элеватор»	80	Аржановская
B2	Быковский	ОАО «Быковское ХПП»	40	Быково
B3	Городищенский	АО «Городищенский КХП»	15	Карповская
B4	Даниловский	ЗАО «Даниловское ХПП»	10	Данилов
B5	Дубовский	ЗАО «Дубовское ХПП»	25	Дубовское
B6	Еланский	ОАО «Еланский элеватор»	70	Елань-Камышинская
B7	Жирновский	ООО «Ададуровский элеватор»	45	Ададурово
B8	Иловлинский	ОАО «Бердиевский элеватор»	100	Качалино
B9	Калачевский	ОАО «Калачевское ХПП»	60	Донская
B10	Камышинский	ОАО «Камышинский элеватор»	20	Петров Вал
B11	Киквидзенский	ООО «Киквидзенская сельхозхимия»	10	Преображенская
B12	Клетский	ОАО «Клетское ХПП»	200	Клетская
B13	Котельниковский	ОАО «Котельниковский элеватор»	50	Котельниково
B14	Котовский	ОАО «Лапшинский элеватор»	25	Лапшинская
B15	Кумылженский	АО «Кумылженское ХПП»	10	Кумылга
B16	Ленинский	ООО «КХП «Заволжье»	5	Ленинск
B17	Михайловский	ОАО «Себряковский элеватор»	75	Себряково
B18	Нехаевский	ООО «Становское»	80	Нехаевская
B19	Николаевский	АО «Николаевское ХПП»	5	Николаевская
B20	Новоаннинский	АО «Панфиловский элеватор»	100	Филоново
B21	Новониколаевский	ООО «Новониколаевский элеватор»	35	Алексиково
B22	Октябрьский	ООО «Октябрьский элеватор»	50	Жутово
B23	Ольховский	ОАО «Зензеватский элеватор»	10	Зензеватка
B24	Палласовский	ОАО «Палласовский элеватор»	5	Палласовка
B25	Руднянский	ООО «Руднянское ХПП»	30	Ильмень
B26	Светлоярский	ОАО «Червленое»	25	Абганерово
B27	Серафимовичский	АО «Серафимовичское ХПП»	90	Усть-Хоперская
B28	Среднеахтубинский	ООО «Волгоградский элеватор»	100	Ельшанка
B29	Старополтавский	ООО «Старополтавский элеватор»	5	Гмелинская
B30	Суровикинский	ОАО «Суровикинский элеватор»	65	Суровикино
B31	Урюпинский	ОАО «Урюпинский элеватор»	110	Урюпино
B32	Фроловский	ООО «Фроловский элеватор»	70	Арчеда
B33	Чернышковский	ОАО «Чернышковский элеватор»	100	Чернышков

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

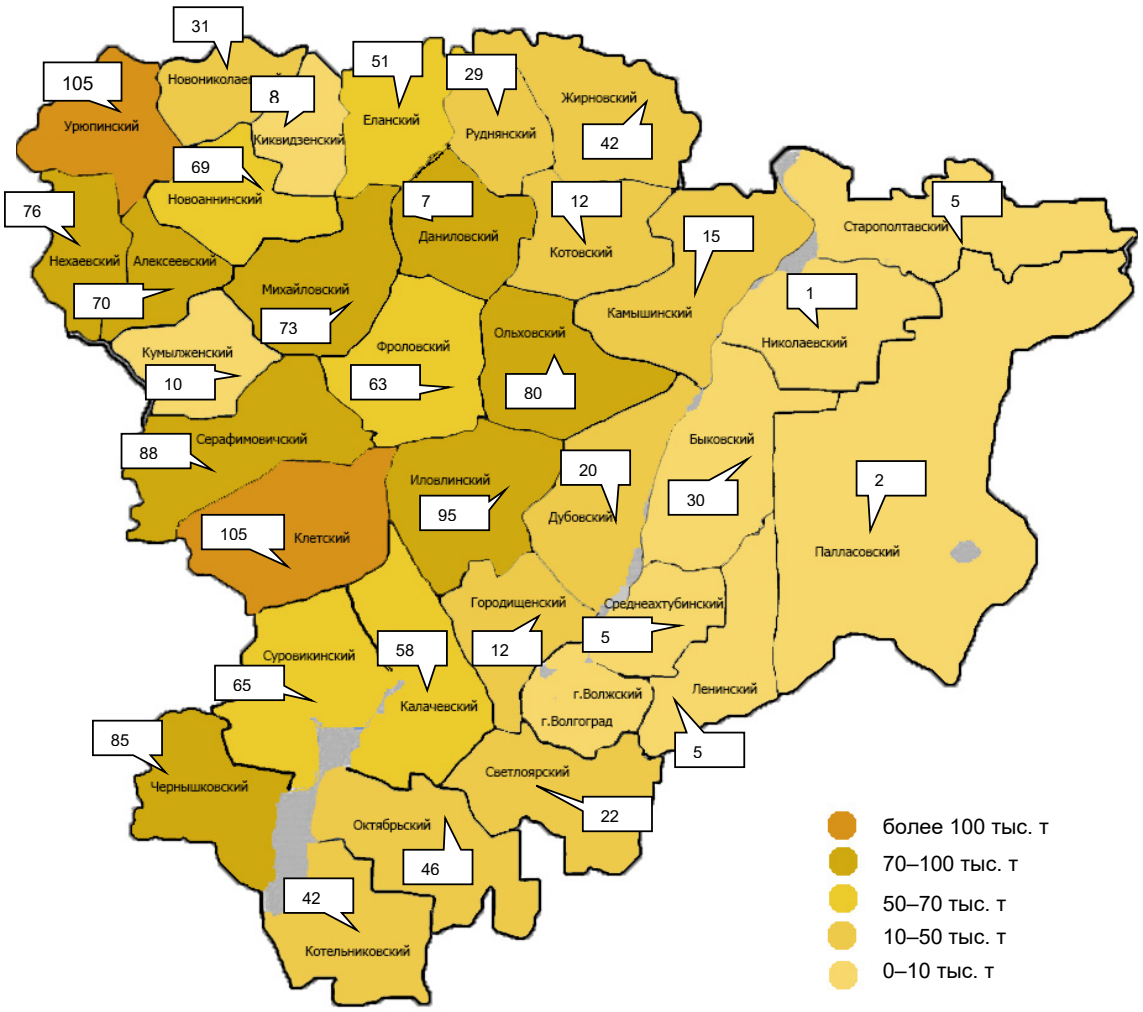


Рисунок 6 – Валовый сбор озимой пшеницы в Волгоградской области в 2021 г., тыс. т
Источник: составлено на основании Росстата и данных сайта:https://znanio.ru/media/posobie_po_volgogradskoj_oblasti_dlya_1_4_klassov-92133.

Figure 6 –Gross harvest of winter wheat in the Volgograd region in 2021, thousand tons
Source: compiled on the basis of Rosstat and website data: https://znanio.ru/media/posobie_po_volgogradskoj_oblasti_dlya_1_4_klassov-92133.

Развивая тему построения эффективных логистических транспортных систем с помощью теории графов, произведем поиск оптимального варианта закрепления районных токов за районными элеваторами при критерии оптимальности – расстояние. На рисунке 6 приведен запас (валовый сбор) озимой пшеницы каждого муниципального района Волгоградской области в 2021 г., который характеризует объемы перевозок зерновых.

Математическая модель транспортной задачи имеет вид:

целевая функция:

$$Z\,(x) = \sum_{i=1}^{\text{РТ}} \sum_{j=1}^{\text{РЭ}} a_{ij} x_{ij} \to \min, \qquad (4)$$

где x_{ij} – объем озимой пшеницы, перевозимой с *i*-го тока до *j*-го элеватора, км;

a_{ij} – расстояние от *i*-го тока до *j*-го элеватора, км,

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

Таблица 6

Оптимальное закрепление районных токов за районными элеваторами, определенное методом потенциалов

Источник: составлено авторами.

Table 6

Optimal fixing of district currents to regional grain storages determined by the method of potentials

Source: compiled by the authors.

Грузообразующий пункт (вершина графа - районный ток)	Грузопоглощающий пункт (вершина графа - районный элеватор)																Итого
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B28	B29	B30	B31	B32	B33		
A1	35 15	- 143	- 325	- 396	- 348	- 100	- 310	- 289	- 316	- 281	- 315	- 70	- 244	- 417	- 91		35
A2	35 17	- 372	- 277	- 378	- 208	- 292	- 124	- 267	- 177	- 283	- 288	- 246	- 73	- 505	- 385		35
A3	- 411	10 15	- 330	- 431	- 508	- 474	- 544	- 480	- 260	- 249	- 367	- 235	- 179	- 238	- 66		10
A4	- 359	20 14	- 355	- 228	- 544	- 241	- 430	- 476	- 535	- 225	- 430	- 262	- 488	- 373	- 374		20
A5	- 248	- 102	5 12	- 507	- 501	- 413	- 318	- 357	- 374	- 59	- 254	- 179	- 518	- 460	- 414		5
A6	- 239	- 292	7 18	- 226	- 381	- 415	- 428	- 271	- 505	- 373	- 252	- 194	- 504	- 140	- 300		7
A7	- 146	- 233	- 138	3 16	- 278	- 527	- 403	- 288	- 223	- 464	- 307	- 500	- 90	- 271	- 335		3
A8	- 154	- 363	- 117	2 14	- 270	- 352	- 491	- 414	- 536	- 435	- 247	- 259	- 64	- 259	- 547		2
A9	- 138	- 123	- 167	2 13	- 521	- 527	- 227	- 251	- 290	- 409	- 73	- 503	- 132	- 168	- 255		2
A10	- 265	- 245	- 143	- 141	10 12	- 366	- 236	- 423	- 541	- 286	- 117	- 412	- 399	- 339	- 389		10
A11	- 195	- 380	- 289	- 218	10 10	- 377	- 396	- 337	- 393	- 169	- 281	- 500	- 370	- 93	- 217		10
A12	- 369	- 267	- 227	- 301	- 421	51 24	- 311	- 539	- 360	- 73	- 359	- 443	- 326	- 519	- 202		51
A13	- 394	- 277	- 199	- 547	- 403	- 292	22 22	- 507	- 389	- 471	- 199	- 240 535	- 102	- 346	- 94		22
A14	- 453	- 261	- 356	- 435	- 164	- 547	20 19	- 393	- 235	- 500	- 441	- 114	- 399	- 546	- 234		20
A15	- 355	- 453	- 310	- 304	- 183	- 504	- 237	30 32	- 240	- 142	- 147	- 90	- 192	- 119	- 285		30
A16	- 408	- 140	- 207	- 131	- 502	- 239	- 538	25 17	- 505	- 235	- 310	- 539	- 377	- 172	- 252		25
A17	- 104	- 351	- 123	- 147	- 349	- 451	- 540	40 19	- 523	- 186	- 80	- 318	- 132	- 474	- 135		40
A18	- 132	- 474	- 114	- 535	- 270	- 201	- 289	- 489	18 10	- 270	- 292	- 245	- 488	- 154	- 323		18
A19	- 361	- 149	- 176	- 133	- 299	- 177	- 481	- 119	20 19	- 147	- 99	- 263	- 97	- 130	- 93		20
A20	- 147	- 195	- 435	- 468	- 416	- 236	- 369	- 244	20 21	- 172	- 401	- 196	- 510	- 327	- 123		20
A65	- 144	- 486	- 499	- 473	- 482	- 454	- 436	- 194	- 556	5 10	- 138	- 84	- 503	- 302	- 425		5
A66	- 570	- 557	- 326	- 119	- 452	- 422	- 285	- 243	- 224	- 172	2 6	- 245	- 514	- 299	- 375		2
A67	- 407	- 264	- 508	- 232	- 307	- 100	- 274	- 332	- 254	- 137	3 14	- 419	- 89	- 229	- 312		3
A68	- 462	- 399	- 451	- 508	- 155	- 366	- 322	- 302	- 269	- 446	- 136	25 35	- 552	- 355	- 426		25
A69	- 516	- 127	- 136	- 308	- 210	- 431	- 372	- 525	- 179	- 516	- 501	20 23	- 484	- 328	- 293		20
A70	- 281	- 552	- 594	- 445	- 246	- 176	- 139	- 129	- 168	- 458	- 153	20 28	- 205	- 162	- 447		20
A71	- 517	- 120	- 411	- 281	- 416	- 372	- 373	- 154	- 287	- 478	- 149	- 248	35 12	- 50	- 550		35
A72	- 474	- 435	- 304	- 140	- 179	- 399	- 168	- 592	- 162	- 377	- 559	- 334	40 16	- 78	- 115		40
A73	- 239	- 260	- 87	- 146	- 551	- 348	- 375	- 219	- 107	- 227	- 402	- 269	30 19	- 313	- 255		30
A74	- 515	- 109	- 563	- 286	- 341	- 103	- 118	- 319	- 555	- 418	- 432	- 267	- 164	20 5	- 117		20
A75	- 550	- 579	- 366	- 550	- 287	- 245	- 217	- 266	- 192	- 221	- 567	- 419	- 367	23 10	- 114		23
A76	- 121	- 576	- 161	- 441	- 535	- 200	- 364	- 102	- 364	- 367	- 455	- 449	- 416	20 4	- 270		20
A77	- 566	- 428	- 570	- 495	- 91	- 589	- 594	- 578	- 261	- 63	- 275	- 410	- 252	- 249	37 30		37
A78	- 523	- 299	- 315	- 237	- 324	- 208	- 537	- 293	- 385	- 179	- 282	- 438	- 257	- 267	24 8		24
A79	- 542	- 314	- 289	- 359	- 463	- 137	- 300	- 521	- 286	- 213	- 326	- 188	- 437	- 575	24 4		24
Итого	70	30	12	7	20	51	42	95	58	5	5	65	105	63	85		1268

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

ограничения задачи:

$$\begin{cases} x_{11}+x_{12}+\cdots+x_{133}=35, \\ x_{21}+x_{22}+\cdots+x_{233}=35, \\ x_{31}+x_{32}+\cdots+x_{333}=10, \\ \cdots \\ x_{791}+x_{792}+\cdots+x_{7933}=24, \\ x_{11}+x_{21}+x_{31}+\cdots+x_{791}=80, \\ x_{12}+x_{22}+x_{32}+\cdots+x_{792}=40, \\ x_{13}+x_{23}+x_{33}+\cdots+x_{793}=15, \\ \cdots \\ x_{133}+x_{233}+x_{333}+\cdots+x_{7933}=100, \\ x_{ij}\geq 0, A_i\geq 0, B_j\geq 0, \\ i=1,2,\ldots \text{РТ},\ j=1,2,\ldots \text{РЭ}, \end{cases} \quad (5)$$

где A_i – объем зерна с *i*-го районного тока, тыс. т;

B_j – вместимость *j*-го районного элеватора, тыс. т;

РТ – количество районных токов, ед.;

РЭ – количество районных элеваторов, ед.

Сбалансируем задачу:

$$\sum_{i=1}^{79} A_i = \sum_{j=1}^{33} B_j = 1385.$$

В общем виде решение транспортной задачи представлено в таблице 6.

Можно отметить, что зерно с токов транспортируется на элеваторы, расположенные в одном и том же районе, что и тока. Это объясняется наличием договорных обязательств между этими элементами агропромышленного комплекса по поставке, обработке и хранению зерновых сельскохозяйственных культур.

Минимальная транспортная работа при такой схеме организации перевозок будет равна

$$\begin{gathered} Z(x)=35\cdot 15+35\cdot 17+10\cdot 15+20\cdot 14+5\cdot 12+7\cdot 18+ \\ +3\cdot 16+2\cdot 14+2\cdot 13+10\cdot 12+10\cdot 10+51\cdot 24+ \\ +22\cdot 22+20\cdot 19+30\cdot 32+25\cdot 17+40\cdot 19+18\cdot 10+ \\ +20\cdot 19+20\cdot 21+7\cdot 9+8\cdot 15+8\cdot 16+5\cdot 4+7\cdot 9+ \\ +6\cdot 15+15\cdot 16+14\cdot 14+13\cdot 10+6\cdot 3+6\cdot 18+10\cdot 15+ \\ +3\cdot 9+2\cdot 7+32\cdot 22+21\cdot 31+20\cdot 15+38\cdot 14+38\cdot 13+ \\ +0{,}3\cdot 5+0{,}3\cdot 8+0{,}4\cdot 5+29\cdot 17+21\cdot 16+19\cdot 16+ \\ +13\cdot 13+9\cdot 8+9\cdot 7+15\cdot 14+16\cdot 16+15\cdot 15+4\cdot 6+ \\ +2\cdot 9+2\cdot 8+1\cdot 3+1\cdot 3+15\cdot 23+14\cdot 35+7\cdot 15+7\cdot 17+ \\ +8\cdot 9+28\cdot 20+32\cdot 10+28\cdot 15+5\cdot 10+2\cdot 6+3\cdot 14+ \\ +25\cdot 35+20\cdot 23+20\cdot 28+35\cdot 12+40\cdot 16+30\cdot 19+ \\ +20\cdot 5+23\cdot 10+20\cdot 4+37\cdot 30+24\cdot 8+24\cdot 4= \\ =21\,385 \text{ тыс.т}\times\text{км}. \end{gathered}$$

Подобный расчет находит применение не только при долговременном взаимодействии токов и элеваторов одного и того же района, но и в случае, когда оборудование элеваторов изнашивается и отказывает вследствие старения механизмов. В подобном случае происходит перенаправление объемов пшеницы на ближайшие элеваторы.

В условиях ограниченности торговых отношений России с другими странами, связанной с непрекращающимися с 2014 г. санкциями со стороны США и Европейского союза, вопрос обеспечения продовольственной безопасности страны выходит на первый план. Согласно Доктрине[11] обеспечение продовольственной безопасности является фактором сохранения государственности и суверенитета страны, важнейшей составляющей социально-экономической политики, а также повышения качества жизни российских граждан путем гарантирования высоких стандартов жизнеобеспечения [12]. Указ определяет уровень продовольственной независимости в процентах. Для зерна он составляет не менее 95%.

Макроуровень мультимодальной логистической системы отражает внешнеэкономические отношения России. Достаточная обеспеченность страны озимой пшеницей дает возможность экспортировать урожай за рубеж и конкурировать с другими государствами за первенство в агросфере.

При организации международной перевозки значительная часть зерна транспортируется автомобильным транспортом, что объясняется тем, что железнодорожные перевозки ограничены дорожной инфраструктурой, а также большими объемами перевозки зерна от мест сбора до районных элеваторов [13].

Российское зерно является высококачественным и пользуется большим спросом в ряде стран Ближнего Востока. Третье место по потреблению российского зерна занимает Иран. Иран и Россия являются членами политического соглашения Каспийской пятерки, куда входят еще Азербайджан, Казахстан и Туркменистан. Цель объединения – сохранение безопасности акватории Каспийского моря и улучшение торговых отношений между странами[12].

Волгоградская область имеет длительные отношения с Ираном, ежегодно поставляя в

[11] Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации: указ Президента РФ от 21.01.2020 № 20. Доступ из справ. -правовой системы «Консультант плюс».

[12] Конвенция о правовом статусе Каспийского моря: официальное интернет-представительство президента России. Режим доступа : http: // www.kremlin.ru / supplement / 5328.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

страну большие объемы озимой пшеницы. Задача обеспечения экспорта в Иран состоит в организации эффективной работы автомобильного транспорта в мультимодальной логистической системе на макроуровне. Макроуровень этой логистической системы будет состоять из районных и портовых элеваторов. Портовые элеваторы располагаются на пересечении железнодорожных и водных путей и могут как отгружать зерно в морские суда на экспорт, так и принимать зерно, прибывшее по импорту, потребителям внутри страны.

В качестве грузополучателей на мезоуровне принимаются три портовых хлебоприемных пункта Волгоградской области: г. Дубовка, г. Волгоград, г. Волгодонск. В данные порты озимая пшеница может транспортироваться следующим образом:

1) в порт г. Волгограда и порт г. Волгодонска озимая пшеница доставляется со станций районных элеваторов автомобильным или железнодорожным транспортом;

2) в порт г. Дубовка только автомобильным транспортом.

Каждая из схем перевозки обладает своими особенностями:

1) порт г. Волгограда находится на территории города, поэтому целесообразнее перевозить зерно не автомобильным транспортом, а железнодорожным;

2) порт г. Волгодонска дает возможность выхода в Азово-Черноморский бассейн в другие страны, но нужно проходить Волго-Донской канал;

3) порт г. Дубовки имеет возможность загрузки судов река-море. На г. Дубовку можно ориентировать районы и агропромышленные комплексы, находящиеся вблизи и не имеющие железной дороги. При транспортировке через г. Дубовку судно проходит только один шлюз через Волжскую ГЭС.

Целиком загруженное судно река-море в любом из вышеперечисленных портов транспортирует зерно в порт Энзели города Бендер-Энзели Исламской Республики Иран [13]. На рисунке 7 представлен маршрут движения судна VOLGO-BALT 239, загруженного зерном.

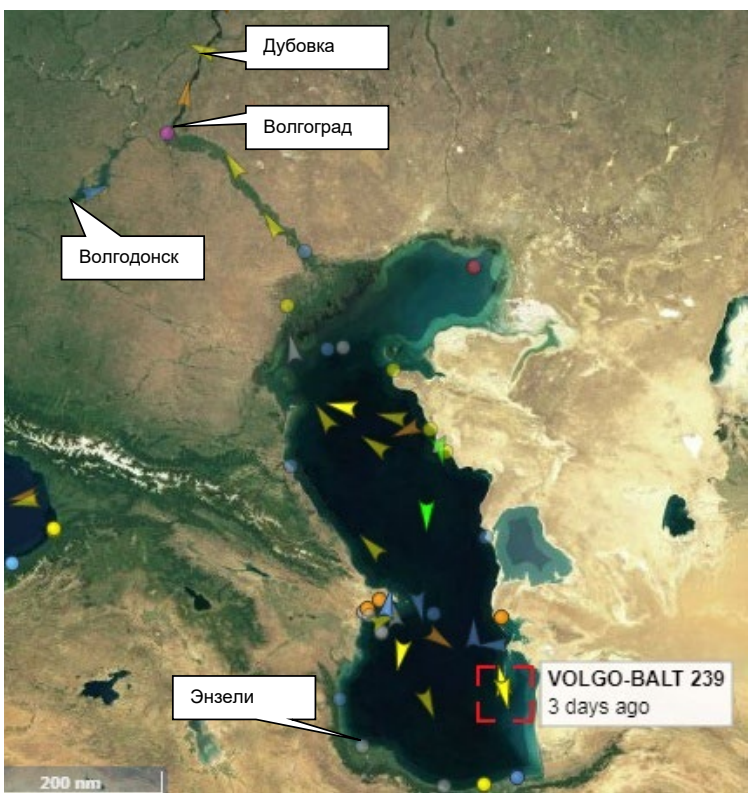


Рисунок 7 – Маршрут движения судна VOLGO-BALT 239
Источник: составлено на основании данных сайта:
https://www.vesselfinder.com/ru/vessels/VOLGO-BALT-239-IMO-8230534-MMSI-273330900.

Figure 7 – The route of VOLGO-BALT 239 vessel
Source: compiled on the basis of website data:
https://www.vesselfinder.com/ru/vessels/VOLGO-BALT-239-IMO-8230534-MMSI-273330900.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

Рисунок 8 – Граф «Районные элеваторы – портовые элеваторы», сформированный для каждого района Волгоградской области
Источник: составлено авторами.

Figure 8 – Regional grain storages – port grain storages' graph formed for each district of the Volgograd region
Source: compiled by the authors.

Для планирования работы транспорта на макроуровне разработан граф «Районные элеваторы – портовые хлебоприемные пункты» для зарубежной отправки (рисунок 8).

Планирование работы транспорта осуществляется с помощью метода линейного программирования. Задача работы транспорта состоит в своевременной перевозке зерна с наименьшими логистическими затратами. Математическая модель транспортной задачи имеет вид:

целевая функция:

$$Z\,(x) = \sum_{i=1}^{\text{РЭ}} \sum_{j=1}^{\text{ПЭ}} a_{ij} x_{ij} \to \min, \qquad (6)$$

где x_{ij} – объем озимой пшеницы, перевозимой с *i*-го элеватора до *j*-го порта, км;

a_{ij} – расстояние от *i*-го элеватора до *j*-го порта, км,

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

ограничения задачи:

$$\begin{cases} x_{11} + x_{12} + x_{13} = 70, \\ x_{21} + x_{22} + x_{23} = 30, \\ x_{31} + x_{32} + x_{33} = 12, \\ \dots \\ x_{331} + x_{332} + x_{333} = 85, \\ x_{11} + x_{21} + x_{31} + \dots + x_{331} = 3000, \\ x_{12} + x_{22} + x_{32} + \dots + x_{332} = 1000, \\ x_{13} + x_{23} + x_{33} + \dots + x_{333} = 800, \\ x_{ij} \geq 0, A_i \geq 0, B_j \geq 0, \\ i = 1,2, \dots \text{РЭ},\ j = 1,2, \dots \text{ПЭ}, \end{cases} \quad (7)$$

где A_i – объем зерна с *i*-го районного элеватора, т;

B_j – вместимость *j*-го портового элеватора, т;

РЭ – количество районных элеваторов, ед.;

ПЭ – количество портовых элеваторов, ед.;

Так как на портовых элеваторах обязательно есть резервные склады, то пусть сохраняется баланс

$$\sum_{i=1}^{33} A_i = \sum_{j=1}^{3} B_j = 1358.$$

В таблице 7 приведено оптимальное закрепление районных элеваторов за портовыми элеваторами при перевозке озимой пшеницы из Волгоградской области в Иран в мультимодальной логистической системе.

Таблица 7

Оптимальное закрепление районных элеваторов за портовыми элеваторами, определенное методом потенциалов

Источник: составлено авторами.

Table 7

Optimal attachment of regional grain storages to port grain storages determined by the method of potentials

Source: compiled by the authors.

Грузообразующие пункты (вершины графа – районные элеваторы)	Грузопоглощающие пункты (вершины графа – портовые элеваторы)						Итого	U_i
	B_1		B_2		B_3			
	Расстояние							
A_1	70	320	0	520	0	360	70	0
A_2	30	130	+	440	+	170	30	-190
A_3	12	37	+	340	+	79	12	-283
A_4	+	240	+	470	7	240	7	-120
A_5	+	89	+	400	20	40	20	-320
A_6	51	310	+	520	+	350	51	-10
A_7	+	410	+	600	+	440	42	80
A_8	+	122	+	410	+	250	95	-110
A_9	+	90	+	290	+	130	58	-230
A_{10}	+	330	+	530	+	470	15	10
A_{11}	+	310	+	510	+	570	8	-10
A_{12}	+	210	108	200	+	260	108	-320
A_{13}	+	210	42	100	+	260	42	-420
A_{14}	+	220	+	540	12	170	12	-190

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

Грузообразующие пункты (вершины графа – районные элеваторы)	Грузопоглощающие пункты (вершины графа – портовые элеваторы)			Итого	U_i
	B_1	B_2	B_3		
	Расстояние				
A_{15}	10 [260]	+ [460]	+ [300]	10	-60
A_{16}	5 [77]	+ [390]	+ [120]	5	-243
A_{17}	73 [190]	+ [400]	+ [240]	73	-130
A_{18}	76 [350]	+ [560]	+ [400]	76	30
A_{19}	1 [210]	+ [520]	+ [250]	1	-110
A_{20}	+ [250]	+ [460]	69 [240]	69	-120
A_{21}	31 [330]	+ [540]	+ [380]	31	10
A_{22}	46 [58]	+ [280]	+ [110]	46	-262
A_{23}	+ [200]	+ [510]	8 [140]	8	-220
A_{24}	2 [280]	+ [590]	+ [300]	2	-60
A_{25}	+ [350]	+ [550]	29 [320]	29	-40
A_{26}	22 [65]	+ [270]	+ [120]	22	-255
A_{27}	88 [260]	+ [460]	+ [300]	88	-60
A_{28}	5 [62]	+ [370]	+ [102]	5	-258
A_{29}	+ [370]	+ [680]	5 [260]	5	-100
A_{30}	65 [130]	+ [330]	+ [190]	65	-190
A_{31}	105 [350]	+ [550]	+ [400]	105	30
A_{32}	63 [160]	+ [450]	+ [210]	63	-160
A_{32}	+ [240]	85 [130]	+ [280]	85	-390
Итого	931	235	192	1358	
V_j	320	520	360		

Минимальная транспортная работа при такой схеме организации перевозок будет равна

$$Z(x)=70\cdot320+30\cdot130+12\cdot37+7\cdot240+20\cdot40+$$
$$+51\cdot310+42\cdot250+95\cdot88+58\cdot72+15\cdot200+$$
$$+8\cdot310+108\cdot200+42\cdot100+12\cdot170+10\cdot260+$$
$$+5\cdot77+73\cdot190+76\cdot350+1\cdot210+69\cdot240+$$
$$+31\cdot330+46\cdot58+8\cdot140+2\cdot280+29\cdot320+22\cdot65+$$
$$+88\cdot260+5\cdot62+5\cdot260+65\cdot130+105\cdot350+$$
$$+63\cdot160+85\cdot130=277\ 723\ \text{тыс.т}\times\text{км}.$$

Выявлено, что международные мультимодальные логистические системы поставки экспортного зерна в Иран необходимо рассматривать с использованием системного подхода. Предлагается логистическую систему рассматривать на микро-, мезо- и макроуровнях [14, 15, 16]. На каждом из уровней необходимо планировать работу автомобильного транспорта, основанную на расчетах «транспортной емкости» графов «Посевные поля –

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

районные тока», «Районные тока – районные элеваторы», «Районные элеваторы – портовые элеваторы». Агропредприятие Волгоградской области ООО «Прогресс» получило возможность организовывать и планировать свою работу с учетом новых информационных технологий, обеспечивающих более высокую эффективность сельскохозяйственной деятельности при возделывании озимой пшеницы с частичной реализацией на экспорт в Иран.

Совершенствование организации функционирования автомобильного транспорта в международных мультимодальных логистических системах экспортных поставок зерна не может существовать без применения технологий точного земледелия в уборочно-транспортных процессах на микроуровне. Применение правильных логистических технологий на транспорте и в организации возделывания озимой пшеницы оказывает большое влияние на конечную себестоимость зерна. Исследование в этом направлении в настоящее время является актуальным и требует продолжения исследований с использованием цифровых технологий при внедрении беспилотных автомобилей[13,14] и комбайнов в агропромышленных комплексах РФ[15] [17].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Совершенствование организации функционирования автомобильного транспорта в международной мультимодальной логистической системе экспортных поставок зерна не может существовать без применения технологий точного земледелия в уборочно-транспортных процессах. Предлагаемые методы моделирования графа посевных полей на микроуровне, ориентированные на расчетные координаты заполненных бункеров комбайнов. Полученные координаты легко перестраиваются в системе ГЛОНАСС в координатные метки, по которым существует возможность выполнять уборочно-транспортные процессы с использованием беспилотной техники. Разработанные рекомендации по совершенствованию организации функционирования автомобильного транспорта будут применяться в ООО «АЛЬФА ТРЕЙД» при организации перевозок экспортного зерна в международных мультимодальных логистических системах.

Применение правильных логистических технологий на автомобильном транспорте и в организации возделывания озимой пшеницы оказывает большое влияние на конечную себестоимость зерна и на гарантированное обеспечение продовольственной безопасности РФ. Исследование в этом направлении в настоящее время является актуальным и перспективным.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Захаренко А. В., Беленков А. Н. Центр точного земледелия РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева учебно-научный инновационный комплекс // Достижения науки и техники АПК. 2008. № 9. С. 63–64.

2. Геоинформационные технологии в обеспечении точного земледелия / А. С. Рулев, С. С. Шинкаренко, В. Н. Бодрова, Н. В. Сидорова // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 4. С. 1–8.

3. Абрамов Н. В. Электронный образ полей в системе точного земледелия // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 5. С. 9–12.

4. Точное (координатное) земледелие: реальность и перспективы / Ю. Н. Плескачев, А. И. Беленков, А. Ю. Тюмаков, Сабо Умар // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2016. № 2.С. 1–6.

5. Стружкин Н. И. К проблеме эффективности уборки зерновых культур // Нива Поволжья. 2013. № 4. С. 53–60.

6. Худякова Е. В., Клочкова К. В. Оптимизация технико-экономических параметров организации процесса уборки зерновых культур на основе имитационного моделирования // Экономика и организация инженерно-технических систем в АПК. 2015. № 5. С. 60–64.

[13] Рубежная Е. Д. Перспективы внедрения беспилотного транспорта в России / Е. Д. Рубежная, Н. А. Филиппова // Образование. Транспорт. Инновации. Строительство: сб. материалов IV Национальной научно-практической конференции / СибАДИ. Омск, 2021. С. 224–228.

[14] Dorofeev, A. Methodology of freight transport management in the arctic zone of Russia with account for natural and climatic factors / A. Dorofeev, V. Kurganov, V. Vlasov, V. Bogumil, N. Fillipova, Y. Trofimenko // Transportation Research Procedia: collection of materials International Conference of Arctic Transport Accessibility: Networks and Systems / St. Petersburg State University of Civil Engineering and Architecture. St. Petersburg, 2021. С. 735-739.

[15] Свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ RU 2019661876 от 10 сентября 2019 г. Российская Федерация. Программа расчета маршрута доставки грузов в мультимодальной транспортно-технологической системе / Н. А. Филлипова; ФГБОУ ВО МАДИ. 2019.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

7. Орлянский А. В. Основные принципы построения имитационной модели уборочно-транспортной системы заготовки кормов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2017. № 7. С. 35–36.

8. Орлянский А. В., Михайленко П. А., Орлянская А. В. Имитационное моделирование уборочного процесса с применением бункера-перегрузчика зерна // Агроснабфорум. 2017. № 5. С. 73–75.

9. Блынский Ю. Н., Тихоновский В. В., Сухосыр А. В. Применение систем спутниковой навигации в построении уборочно-транспортного процесса на уборке зерновых в Сибири // Вестник Новосибирского государственного аграрного университета. 2009. № 1. С. 52–56.

10. Кузнецова А. В., Сурилова Г. В., Чемоданов С. И. Методика проектирования технологий уборки зерновых культур в условиях Сибири // Техника и оборудование для села. 2009. № 8. С. 4–16.

11. Близнякова Е. А. Куликов А. А., Куликов А. В. Сравнительный анализ методов поиска кратчайшего пути в графе // Архитектура, строительство, транспорт. 2022. № 1. С. 80–87. DOI: 10.31660/2782-232X-2022-1-80-87.

12. Фирсова С. Ю., Куликов А. В., Советбеков Б. Роль транспортной логистики в обеспечении экзистенциональной безопасности человека // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета (Бишкек). 2019. Т. 19, № 8. С. 97–101.

13. Куликов А. В., Фирсова С. Ю., Советбеков Б. Совершенствование организации перевозок экспортных зерновых культур // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета (Бишкек). 2019. Т.19, № 4. С. 46–52.

14. Филиппова Н. А., Каримова П. А. Иерархические уровни управления мультимодальной транспортной системой для перевозки грузов северного завоза // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета. 2019. Т.59, № 4. С. 99–102.

15. Dorofeev A., Altukhova N., Fillipova N., Pashkova T., Ponomarev M. Development of transportation management system with the use of ontological and architectural approaches to ensure trucking reliability // Sustainability. 2020. T.12. № 20. C. 1-16.

16. Филиппова Н. А., Каримова П. А. Организация работы взаимодействующих видов транспорта по единым технологическим процессам // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2019. № 2. С. 42–45.

17. Филиппова Н. А., Власов В. М. Методология повышения эффективности и надежности транспортно-технологической мультимодальной системы севера России // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2019. Т. 22, № 6. С. 55–65.

REFERENCES

1. Zaharenko A. V., Belenkov A. N. Centr tochnogo zemledelija RGAU-MSHA imeni K.A. Timirjazeva uchebno-nauchnyj innovacionnyj kompleks [Precision Agriculture Center of the Russian State Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev educational and scientific innovation complex]. *Dostizhenija nauki i tehniki APK*. 2008; 9: 63-64. (in Russ.)

2. Rulev A. S., Shinkarenko S. S., Bodrova V. N., Sidorova N. V. Geoinformacionnye tehnologii v obespechenii tochnogo zemledelija [Geoinformation technologies in ensuring precision agriculture]. *Izvestija Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie.* 2018; 4:1-8. (in Russ.)

3. Abramov N. V. Jelektronnyj obraz polej v sisteme tochnogo zemledelija [Electronic image of fields in the precision farming system]. *Izvestija Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2021; 5: 9-12. (in Russ.)

4. Pleskachev Ju. N., Belenkov A. I., Tjumakov A.Ju., Sabo Umar Tochnoe (koordinatnoe) zemledelie: real'nost' i perspektivy [Precise (coordinate) agriculture: reality and prospects]. *Izvestija Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie.* 2016; 2: 1-6. (in Russ.)

5. Struzhkin N. I. K probleme jeffektivnosti uborki zernovyh kul'tur [To the problem of the efficiency of harvesting grain crops]. *Niva Povolzh'ja*. 2013; 4: 53-60. (in Russ.)

6. Hudjakova E. V., Klochkova K. V. Optimizacija tehniko-jekonomicheskih parametrov organizacii processa uborki zernovyh kul'tur na osnove imitacionnogo modelirovanija [Optimization of technical and economic parameters of the organization of the process of harvesting grain crops based on simulation modeling]. *Jekonomika i organizacija inzhenerno-tehnicheskih sistem v APK.* 2015; 5: 60-64. (in Russ.)

7. Orljanskij A. V. Osnovnye principy postroenija imitacionnoj modeli uborochno-transportnoj sistemy zagotovki kormov [The basic principles of constructing a simulation model of the harvesting and transport system of forage harvesting]. *Mehanizacija i jelektrifikacija sel'skogo hozjajstva*. 2017; 7:35-36. (in Russ.)

8. Orljanskij A. V., Mihajlenko P. A., Orljanskaja A. I. Imitacionnoe modelirovanie uborochnogo processa s primeneniem bunkera-peregruzchika zerna [Simulation modeling of the harvesting process using a grain reloading hopper]. *Agrosnabforum*. 2017; 5: 73-75. (in Russ.)

9. Blynskij Ju. N., Tihonovskij V. V., Suhosyr A. V. Primenenie sistem sputnikovoj navigacii v postroenii uborochno-transportnogo processa na uborke zernovyh v Sibiri [The use of satellite navigation systems in the construction of the harvesting and transport process for harvesting grain in Siberia]. *Vestnik Novossibirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta.* 2009; 1: 52-56. (in Russ.)

10. Kuznecova A. V., Surilova G. V., Chemodanov S. I. Metodika proektirovanija tehnologij uborki zernovyh kul'tur v uslovijah Sibiri [Methodology of designing technologies for harvesting grain crops in Siberia]. *Tehnika i oborudovanie dlja sela.* 2009; 8: 4-16. (in Russ.)

11. Bliznjakova E. A., Kulikov A. A., Kulikov A. V. Sravnitel'nyj analiz metodov poiska kratchajshego puti

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

v grafe [Comparative analysis of methods for finding the shortest path in a graph]. *Arhitektura, stroitel'stvo, transport*. 2022; 1: 80-87. DOI: 10.31660/2782-232X-2022-1-80-87. (in Russ.)

12. Firsova S. Ju., Kulikov A. V., Sovetbekov B. Rol' transportnoj logistiki v obespechenii jekzistencional'noj bezopasnosti cheloveka [The role of transport logistics in ensuring existential human security]. *Vestnik Kyrgyzsko-Rossijskogo Slavjanskogo universiteta(Bishkek).* 2019; T. 19, № 8: 97-101. (in Russ.)

13. Kulikov A. V., Firsova S. Ju., Sovetbekov B. Sovershenstvovanie organizacii perevozok jeksportnyh zernovyh kul'tur [Improving the organization of transportation of export grain crops / A.V. Kulikov, S. Y. Firsova, B. Sovetbekov]. *Vestnik Kyrgyzsko-Rossijskogo Slavjanskogo universiteta (Bishkek).* 2019; T.19, № 4: 46-52. (in Russ.)

14. Fillipova N. A., Karimova P. A. Ierarhicheskie urovni upravlenija mul'timodal'noj transportnoj sistemoj dlja perevozki gruzov severnogo zavoza [Hierarchical levels of management of a multimodal transport system for the transportation of goods of northern import]. *Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta.* 2019; T.59, № 4: 99-102. (in Russ.)

15. Dorofeev A., Altukhova N., Fillipova N., Pashkova T., Ponomarev M. Development of transportation management system with the use of ontological and architectural approaches to ensure trucking reliability // Sustainability. 2020. T.12. No. 20. pp. 1-16.

16. Fillipova N. A., Karimova P. A. Organizacija raboty vzaimodejstvujushhih vidov transporta po edinym tehnologicheskim processam [Organization of the work of interacting modes of transport according to unified technological processes]. *Remont. Vosstanovlenie. Modernizacija*. 2019; 2: 42-45. (in Russ.)

17. Fillipova N. A., Vlasov V. M. Metodologija povyshenija jeffektivnosti i nadezhnosti transportno-tehnologicheskoj mul'timodal'noj sistemy severa Rossii []. *Nauchnyj vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta grazhdanskoj aviacii.* 2019; T. 22, № 6: 55-65. (in Russ.)

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Куликов А. В. Постановка цели и задач исследования, разработка методики расчета мультимодальной логистической системы перевозки зерна на экспорт с помощью теории графов.

Близнякова Е. А. Ознакомление и анализ отечественного и зарубежного опыта. Проведение расчетов, анализ полученных результатов.

Павлов П. А. Сбор и анализ показателей функционирования автомобильного транспорта в мультимодальной логистической системе перевозки зерна.

Куликов А. А. Поиск и анализ литературных источников согласно выдвинутым задачам исследования.

COAUTHORS' CONTRIBUTION

Alexey V. Kuliko. Setting the goals and objectives of the study, developing a methodology for calculating a multimodal logistics system for grain transportation for export using graph theory.

Elena A. Bliznyakova. Familiarization and analysis of domestic and foreign experience. Performing calculations, analysing the results obtained.

Pavel A. Pavlov. Collection and analysis of indicators of the functioning of road transport in the multimodal logistics system of grain transportation.

Andrey A. Kulikov. Search and analysis of literary sources according to the proposed research objectives.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Куликов Алексей Викторович – канд. техн. наук, доц., доц. кафедры «Автомобильные перевозки».

Близнякова Елена Александровна – студентка кафедры «Автомобильные перевозки».

Павлов Павел Алексеевич – директор ООО «АЛЬФА ТРЕЙД», магистрант кафедры «Автомобильные перевозки»

Куликов Андрей Алексеевич – студент кафедры «Автомобильные перевозки».

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Alexey V. Kulikov – Dr. of Sci., Associate Professor, Automobile Transportation Department.

Elena A. Bliznyakova – student of the Automobile Transportation Department.

Pavel A. Pavlov – Director of OOO ALFA TRADE, Master's student of the Automobile Transportation Department.

Andrey A. Kulikov – student of the Automobile Transportation Department.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal