

16. Transportation and logistics trends to watch in 2021. <https://www.jdsupra.com/legalnews/transportation-and-logistics-trends-to-6755848/>, (07.06.2021).

Статья поступила 22.09.2021

УДК 656.073.7

ОПТИМИЗАЦИЯ ГРУЗОВЫХ ПЕРЕВОЗОК С УЧЕТОМ ОСТАТОЧНЫХ РЕСУРСОВ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Карабает Н. А., гл. инж.,
ТОО «Прикаспийское управление строительства – Шымкент»,
г. Шымкент, Узбекистан, e-mail: shika_nureke@mail.ru

OPTIMIZATION OF FREIGHT TRANSPORTATION TAKING INTO ACCOUNT REMAINING VEHICLES RESOURCES

N. Karabaev, Chief Engineer,
Limited Liability Partnership "Caspian Construction
Administration – Shymkent" LLP, e-mail: shika_nureke@mail.ru

В статье рассматриваются вопросы оптимизации грузовых перевозок с учетом остаточных ресурсов транспортных средств. Приведен обзор работ, посвященных вопросам оптимизации в целом, и оптимизации логистических процессов в частности. Рассмотрено применение метода Дейкстры для решения задачи оптимизации перевозок. Создан алгоритм и программный код для оптимизации перевозок с учетом остаточных ресурсов транспортных средств предприятия. Код выдает тип транспортных средств, которые должны быть использованы для выполнения заказов на доставку груза, маршрут и стоимость перевозок. Все это выполняется из

условия минимума расходов на доставку груза, и с учетом остаточных ресурсов транспортных средств, имеющихся в транспортном предприятии. С помощью данного кода произведен модельный расчет для некоего, примерного предприятия в Витебской области, где имеются десять грузовых автомобилей. Задача решена для графа из 12 вершин. В качестве вершин взяты населенные пункты данной области. Алгоритм выдает сообщения о транспортных средствах, у которых не хватает остаточных ресурсов для выполнения заказа. Итоговый отчет программного кода содержит информацию о назначенных на заказ транспортных средствах, расходы на выполнение заказа, путь до конечного пункта, коэффициенты использования грузоподъемности и маршрут с указанием всех населенных пунктов, через которых должны проехать данные автомобили. Данный программный код может быть использован в логистической компании как инструмент принятия решения при выполнении заказов на доставку грузов. В будущем планируется внедрить данный алгоритм и программный код в одно из предприятий Республики Беларусь или Республики Казахстан.

Ключевые слова: оптимизация перевозок, остаточный ресурс, граф, вершина, алгоритм Дейкстры, коэффициент использования грузоподъемности, маршрут.

The issues of road freight transport optimization, taking into account the residual resources of vehicles are considered. An overview of works devoted to optimization in general and optimization of logistics processes in particular is given. The application of Dijkstra's method for solving the problem of traffic optimization is considered. An algorithm and program code have been created to optimize transportation, taking into account the residual resources of the company's vehicles. The code gives the type of vehicles that should be used to fulfill orders for the delivery of goods, the route and the cost of transportation. All this is carried out on the basis of the minimum cost of cargo delivery, and taking into account the residual resources of vehicles available in the transport company. Using this code, a model calculation was made for a certain, exemplary enterprise in the Vitebsk region, where there are ten trucks. The problem is solved for a graph of 12 vertices. The settlements of the given region were taken as graph vertices. The algorithm generates messages about vehicles that do not have enough residual resources to fulfill the order. The final report of

the program code contains information about the vehicles assigned to the order, the cost of completing the order, the path to the destination, the load utilization rates and the route indicating all settlements through which the vehicles must pass. This program code can be used in a logistics company as a decision-making tool when fulfilling orders for the delivery of goods. In the future, it is planned to introduce this algorithm and program code into one of the enterprises of the Republic of Belarus or the Republic of Kazakhstan.

Key words: optimization of transportation, residual resource, graph, vertex, Dijkstra's algorithm, load capacity utilization rate, route.

Введение

Оптимизация логистических процессов всегда была и остается главной задачей в организации процесса перевозки грузов. При этом в первую очередь определяется оптимальный маршрут доставки груза. Это позволяет минимизировать расход топлива и время доставки. Во-вторых, определяется способ перевозки, т. е. тип транспортного средства (ТС) с учетом грузоподъемности и других характеристик ТС. Компания-перевозчик производит оптимизацию перевозок, чтобы предложить заказчику услуги в более выгодных условиях, чем конкуренты. Оптимизация затрат на логистику позволит организатору перевозок более эффективно распоряжаться со своими ресурсами и достичь более высоких коэффициентов полезного действия системы перевозки.

1. Состояние вопроса и задачи исследования

Приведем небольшой обзор работ по вопросам оптимизации. Как известно, оптимизация является одной из старых направлений в науке. Она применяется во многих областях: экономика, управление, планирование, логистика, робототехника, проектирование, обработка сигналов и т.д. [1]. Оптимизация очень важна и актуальна практически для каждого направления [2]. Профессиональные организации должны максимизировать прибыль и минимизировать затраты [3].

Любая задача оптимизации состоит из трех основных составляющих [4]:

– *переменные оптимизации*, также называемые проектными переменными;

– *функция затрат*, также называемая целевой функцией;

– *ограничения*, выраженные в виде равенства или неравенства.

В литературе были рассмотрены многие типы задач оптимизации и изучено множество различных типов алгоритмов [4]. Задачи оптимизации можно разделить на следующие общие категории в зависимости от типа переменных решения, целевой функции и ограничений:

– *линейное программирование*: целевая функция и ограничения линейны. Переменные бывают скалярными и непрерывными;

– *нелинейное программирование*: функционал и целевые ограничения не являются линейными. Переменные решения являются скалярными и непрерывными;

– *целочисленное программирование*: переменные решения – скалярные и целые числа;

– *смешанное целочисленное линейное программирование*: целевая функция и ограничения линейны. Переменные решения являются скалярными; некоторые из них являются целыми числами, а другие – непрерывными переменными;

– *смешанное целочисленное нелинейное программирование*: задача целочисленного линейного программирования, при этом целевая функция и ограничения нелинейные;

– *дискретная оптимизация*: решение задач, связанных с дискретными переменными (целыми числами), и др. [5].

А в качестве задач оптимизации чисто логистических систем можно назвать следующие:

– *задача назначения* [6] – определить необходимое минимальное количество людей и машин, чтобы выполнить данный объем работы с минимальными затратами и максимальной прибылью;

– *задача «рюкзака»* [7] – при ограниченном весе пополнить рюкзак предметами максимальной стоимости. Каждый предмет имеет определенную ценность и определенный вес;

– *задача маршрутизации транспортных средств* [8] – построить маршрут для набора транспортных средств, чтобы они посетили группу географически распределенных клиентов только один раз;

– *задача планирования производства* [9] – планирование производственных заказов, т. е. решить, какие машины использовать и в каком порядке производить продукцию;

– *задача кратчайшего пути* [10] – задача поиска пути между двумя пунктами, при котором сумма расстояний минимизирована. Решение задачи должно содержать информацию о стоимости кратчайшего пути между исходной точкой и пунктом назначения, а также последовательность узлов, через которые проходит транспортное средство [11]. Одним из известных методов решения данной задачи является метод Дейкстры;

– *задача коммивояжера* [12] – состоит в том, чтобы найти маршрут, по которому продавец, начиная с исходного местоположения, прошел заданный набор городов и вернулся в исходное местоположение, так чтобы общее расстояние было минимальным, и каждый город посещал только один раз.

Типичные задачи оптимизации не ограничиваются этими задачами. В действительности, задачи реального мира обычно требуют гораздо более сложных определений и использования сложных алгоритмов для поиска оптимальных решений.

Из перечисленных задач для нас практический интерес представляют две задачи: задача маршрутизации транспортных средств и задача кратчайшего пути. Но с точки зрения эксплуатации транспортных средств автопарка очень важно учесть их остаточные ресурсы [13]. В связи с этим рассмотрим задачу оптимизации автоперевозок с учетом остаточных ресурсов транспортных средств автопарка.

2. Методы оптимизации грузовых перевозок

Существует широкий обзор процессов оптимизации логистических процессов. Например, в [14] рассмотрены проблемы стоимости логистики, выделение некоторых методов оценки и определения удельных затрат для различных видов транспорта при распределении грузов. Помимо затрат на транспортировку, выделены другие затраты в цепочке поставок, а также методы расчета затрат, используемые в логистической деятельности. В этом контексте также выявлены способы оптимизации транспортных затрат в логистической цепочке.

В [15] оптимизация логистики рассмотрена используя онтологию, т. е. сделана попытка всеобъемлющей и подробной формализации оптимизации с помощью концептуальной схемы. Эта онтология используется в процессе программирования и моделирования бизнес-процессов. Определенные онтологии разделяют область знаний логистики и оптимизации. База знаний включает стандартные методы оптимизации, а также определение онтологий для решения логистических проблем. Это может помочь лучше понять сложность логистических проблем.

Задачи оптимизации логистики часто бывают сложными. Поэтому в [16] рассмотрено возможные способы облегчения процесса оптимизации. В ней представлена классификация общих принципов упрощения, которые полезны для уменьшения сложности логистических проблем, чтобы облегчить понимание между теоретиками и практиками. Вывод соответствующих принципов основан на изучении пяти проблем в литературе по логистике: местонахождение предприятия, система распределения, размер партии, упаковка контейнеров и маршрутизация транспортных средств.

Как было сказано выше, для нас практический интерес представляет две задачи: задача маршрутизации транспортных средств и задача кратчайшего пути. Одним из наиболее эффективных методов оптимизации маршрутов является метод Дейкстры [17]. Метод Дейкстры разработан голландским ученым Эдсгером Дейкстрой в 1959 году. Он решает проблему кратчайшего расстояния от одной начальной точки до других остальных точек графа.

Естественно, в конечном счете, все методы оптимизации реализуются с помощью численных методов и компьютерных программ, написанных на одном из языков программирования. Например, на C++, Java, Python, MATLAB, и др.

В качестве примера применения MATLAB для решения задач оптимизации перевозок, можно указать работы [18–20].

3. Оптимизация грузовых перевозок на примере Витебской области Республики Беларусь

Решение задач маршрутизации транспортных средств и задачи кратчайшего пути с учетом остаточных ресурсов транспортных

средств, рассмотрим на примере некоего, виртуального транспортного предприятия, находящегося в Витебской области Республики Беларусь. Задачу оптимизации маршрутов решим с помощью метода Дейкстры. Для этого нами написан код в среде MATLAB, который используя исходные данные, выдает тип транспортных средств, которые должны быть использованы для выполнения заказов на доставку груза, маршрут и стоимость перевозок. Все это выполняется из условия минимума расходов на доставку груза, и с учетом остаточных ресурсов транспортных средств, имеющихся в транспортном предприятии.

На рисунке 1 представлена карта Витебской области [21] и неориентированный граф, составленный из 12 населенных пунктов данной области. Количество пунктов не принципиально. Они взяты только для демонстрации работоспособности нашего кода. Они могут быть масштабированы на большое количество пунктов. В данной задаче ребрами графа являются расстояния между соседними вершинами графа (т. е. населенными пунктами). Таким образом, нам достаточно знать только расстояния между соседними вершинами. Например, необходимо знать расстояние между Витебском и Полоцком, и между Витебском и Сенно. Но нет необходимости знать расстояния от Витебска до остальных пунктов.

Расстояния между вершинами графа (населенными пунктами) представлены в таблице 1.

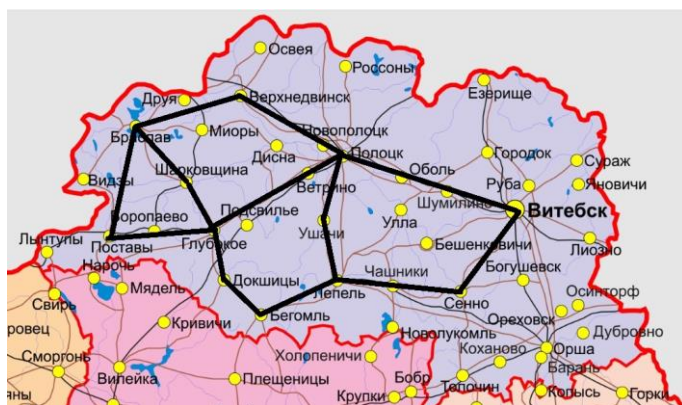


Рисунок 1 – Граф из вершин (населенных пунктов) Витебской области

Пусть в транспортном предприятии имеются транспортные средства (ТС), представленные в таблице 2.

Таблица 1 – Расстояние между пунктами (км) [22,23]

№	Наименование населенного пункта	1 Витебск	2 Полоцк	3 Ушачи	4 Лепель	5 Докшицы	6 Глубокое
1	Витебск	0	103	0	0	0	0
2	Полоцк	103	0	45	0	0	84
3	Ушачи	0	45	0	38	0	0
4	Лепель	0	0	38	0	0	0
5	Докшицы	0	0	0	0	0	31
6	Глубокое	0	84	0	0	31	0
7	Сенно	62	0	0	78	0	0
8	Поставы	0	0	0	0	0	60
9	Шарковщина	0	0	0	0	0	32
10	Бегомль	0	0	0	53	28	0
11	Браслав	0	0	0	0	0	0
12	Верхнедвинск	0	70	0	0	0	0

Продолжение таблицы 1

№	Наименование населенного пункта	7 Сенно	8 Поставы	9 Шарковщина	10 Бегомль	11 Браслав	12 Верхнедвинск
1	Витебск	62	0	0	0	0	0
2	Полоцк	0	0	0	0	0	70
3	Ушачи	0	0	0	0	0	0
4	Лепель	78	0	0	53	0	0
5	Докшицы	0	0	0	28	0	0
6	Глубокое	0	60	32	0	0	0
7	Сенно	0	0	0	0	0	0
8	Поставы	0	0	0	0	82	0
9	Шарковщина	0	0	0	0	48	0
10	Бегомль	0	0	0	0	0	0
11	Браслав	0	82	48	0	0	76
12	Верхнедвинск	0	0	0	0	760	0

Для максимального приближения модельных расчетов к реальности, нами взяты транспортные средства с реальными техническими

характеристиками. Эти характеристики взяты из [24]. Но значения остаточного ресурса, конечно, взяты к примеру.

Таблица 2 – Транспортные средства и их некоторые технические характеристики

№	Название	Грузо-подъемность, т	Расход топлива на 100 км, л	Расходы на 1 км, бел. руб./км	Остаточный ресурс, км
1	МАЗ 437041-269 (бортовой)	5,15	18	0,36	800
2	FAW CA5167XXYP11K2L7 (фургон)	8	20	0,40	400
3	МАЗ 5340 (бортовой)	9,6	29	0,58	700
4	MAN 19 (фургон)	10	20	0,40	1000
5	МАЗ-630300 2121 (бортовой с тентом)	12,7	25	0,50	1100
6	Volvo FH12 (бортовой с тентом)	16,5	24	0,48	2000
7	Scania R124	15	23	0,46	90
8	DAF XF95 series	20	34	0,68	1500
9	Mercedes-Benz 2543 (бортовой)	15	23	0,46	300
10	DAF 95XF430 (фургон)	15	25	0,50	200

Хотя при расчете стоимости грузоперевозок учитывается множество факторов (расходы на топливо, амортизация автотранспорта, затраты на страхование автомобиля, зарплата водителю, страхование груза и так далее), здесь мы в целях сравнительного анализа, берем в расчет только расходы на топливо. Пусть цена дизельного топлива: 2 белорусского рубля/литр.

Допустим, в предприятие поступили заказы на доставку груза, представленные в таблице 3.

Задача оптимизации перевозок с учетом остаточных ресурсов, решаются в следующей последовательности:

- определение оптимального маршрута для каждого заказа, с указанием последовательности пунктов, через которых будет проходить маршрут, и расстояние от начального пункта до конечного (в километрах). Для этого используется метод Дейкстры;

- выбор ТС для выполнения каждого заказа, исходя из грузоподъемности и расходов на перевозку на 1 км;

– если остаточный ресурс выбранного ТС недостаточно для выполнения данного заказа (т. е. остаточный ресурс меньше чем расстояние до конечного пункта), то выдается сообщение об этом, и производится поиск другого ТС с достаточной грузоподъемностью и остаточными ресурсами. Но из всех ТС, которые удовлетворяют этим требованиям, берется ТС с наименьшими расходами. Если такое ТС не будет найдено, то будет выдано сообщение, что заказ с данным номером не будет выполнено. В этом случае, администратор логистики назначает на это ТС очередное техническое обслуживание, после которого данное ТС будет иметь увеличенные остаточные ресурсы;

– после того как на все заказы будут назначены ТС, для каждого заказа будут вычислены КИГ – коэффициенты использования грузоподъемности, по формуле: $КИГ = m/g$, где m – масса перевозимого груза, g – грузоподъемность ТС;

– формирование итогового отчета.

Таблица 3 – Заказы на доставку груза

№	Масса груза, т	Начальный пункт (номер)	Конечный пункт (номер)
1	4	Витебск (1)	Глубокое (6)
2	14	Витебск (1)	Браслав (11)
3	16	Витебск (1)	Поставы (8)
4	11	Витебск (1)	Ушачи (3)
5	7	Верхнедвинск (12)	Бегомль (10)
6	3	Полоцк (2)	Бегомль (10)
7	18	Сенно (7)	Браслав (11)

В результате выполнения нашей программы получены следующие результаты.

Информация о недостаточности остаточных ресурсов для выполнения заказов:

– для заявки № 1 ТС № 7 требуется тех. обслуживание: ост. ресурс = 90 км;

– для заявки № 2 ТС № 7 требуется тех. обслуживание: ост. ресурс = 90 км;

– для заявки № 2 ТС № 10 требуется тех. обслуживание: ост. ресурс = 200 км;

- для заявки № 3 ТС № 7 требуется тех. обслуживание: ост. ресурс = 90 км;
- для заявки № 3 ТС № 10 требуется тех. обслуживание: ост. ресурс = 200 км;
- для заявки № 4 ТС № 7 требуется тех. обслуживание: ост. ресурс = 90 км;
- для заявки № 5 ТС № 7 требуется тех. обслуживание: ост. ресурс = 90 км;
- для заявки № 5 ТС № 10 требуется тех. обслуживание: ост. ресурс = 200 км;
- для заявки № 6 ТС № 7 требуется тех. обслуживание: ост. ресурс = 90 км;
- для заявки № 7 ТС № 7 требуется тех. обслуживание: ост. ресурс = 90 км;
- для заявки № 7 ТС № 10 требуется тех. обслуживание: ост. ресурс = 200 км.

Итоговый отчет представлен ниже.

1. Заказ № 1. ТС № 1. Расходы = 67,32 руб. Путь = 187 км. КИГ = 0,78.

Маршрут: 1 (Витебск) → 2 (Полоцк) → 6 (Глубокое).

2. Заказ № 2. ТС № 9. Расходы = 114,54 руб. Путь = 249 км. КИГ = 0,93.

Маршрут: 1 (Витебск) → 2 (Полоцк) → 12 (Верхнедвинск) → 11 (Браслав).

3. Заказ № 3. ТС № 6. Расходы = 118,56 руб. Путь = 247 км. КИГ = 0,97.

Маршрут: 1 (Витебск) → 2 (Полоцк) → 6 (Глубокое) → 8 (Поставы).

4. Заказ № 4. ТС № 10. Расходы = 74 руб. Путь = 148 км. КИГ = 0,73.

Маршрут: 1 (Витебск) → 2 (Полоцк) → 3 (Ушачи).

5. Заказ № 5. ТС № 4. Расходы = 82,40 руб. Путь = 206 км. КИГ = 0,70.

Маршрут: 12 (Верхнедвинск) → 2 (Полоцк) → 3 (Ушачи) → 4 (Лепель) → 10 (Бегомль).

6. Заказ № 6. ТС № 2. Расходы = 54,40 руб. Путь = 136 км. КИГ = 0,37.

Маршрут: 2 (Полоцк) → 3 (Ушачи) → 4 (Лепель) → 10 (Бегомль).

7. Заказ № 7. ТС № 8. Расходы = 183,60 руб. Путь = 270 км. КИГ = 0,90.

Маршрут: 7 (Сенно) → 4 (Лепель) → 10 (Бегомль) → 5 (Докшицы) → 6 (Глубокое) → 9 (Шарковщина) → 11 (Браслав).

Таким образом, оказалось, что ТС № 7 и ТС № 10 для некоторых заказов не имеют достаточного остаточного ресурса. Но ТС № 10 имеет необходимые ресурсы, и оно отправлено на выполнение заказа № 4, т. е. если ТС не имеет достаточного ресурса для одного заказа, он может быть достаточным для выполнения другого заказа. Но все равно это информация выдается, чтобы принимать определенные управленческие решения относительно данного ТС.

Итоговый отчет показывает, что заказы могут быть выполнены из любого пункта в любой пункт, а не только из первого пункта. Конечно, будем считать, что в этих пунктах имеются необходимое ТС.

Заключение

Таким образом, результаты численных расчетов показывают, что предложенный нами алгоритм полностью решает поставленную задачу оптимизации перевозок с учетом остаточных ресурсов. Несмотря на то, что приведенные здесь результаты являются результатами примерных, модельных расчетов, они основаны на абсолютно реальных на сегодняшний день характеристиках транспортных средств, и расходах перевозки. Конечно, как было отмечено выше, обычно при расчете стоимости грузоперевозок учитывается множество факторов. Но здесь мы в целях сравнительного анализа, в расчет взяли только расходы на топливо. Остальные расходы довольно просто могут быть включены в таблицу 2. От этого алгоритм не изменится.

Цель данной работы не состояло в создании полноценного, коммерческого программного обеспечения для использования в логистическом предприятии. Хотя результаты данной работы вполне можно использовать для создания такого программного обеспечения. Естественно, для этого необходимо расширить функциональную возможность данной программы с учетом особенностей конкретного предприятия. Но уже в таком виде данный код можно адаптировать в конкретное предприятие и использовать его как инструмент принятия решения при выполнении заказов на доставку грузов.

В будущем планируется внедрить данный алгоритм и программный код в одно из предприятий Республики Беларусь или Республики Казахстан.

Литература

1. Allaire, G., Craig, A. Numerical Analysis and Optimization: An Introduction to Mathematical Modelling and Numerical Simulation. Cary, NC, USA : Oxford University Press 2007. – P. 294.

2. Rangaiah, G. P. Stochastic Global Optimization: Techniques and Applications in Chemical Engineering. – Singapore, World Scientific, 2010.

3. Yang, X.-Sh. Introduction to Mathematical Optimization: From Linear Programming to Metaheuristics. – Cambridge, GBR : Cambridge International Science Publishing. 2008. – P. 3–79.

4. Arora, J. S. Optimization of Structural and Mechanical Systems. Hackensack, NJ, World Scientific. 2007.

5. Chen, D.-S., Batson, R. G., Dang, Y. Applied Integer Programming Modeling and Solution. – Hoboken, NJ, USA : Wiley 2011. – P 3–7.

6. Mishra, D. N., Agarwal, S. K. Operation Research. – Lucknow, IND: Global Media 2009. – P. 107.

7. Williams, H. P. Model Building in Mathematical Programming (5th Edition). Somerset, NJ, USA: Wiley 2013. P. 109–220.

8. Jarboui, B., Siarry, P., Teghem, J. Metaheuristics for Production Scheduling. – Somerset, NJ, USA : Wiley-ISTE 2013. P. 373–433.

9. Yalaoui, A., Chehade, H., Yalaoui, F., Amodeo, L. Optimization of Logistics. – Wiley-ISTE, 2013.

10. Mastorakis, N. E. Computer Science, Technology and Applications : Pathway Modeling and Algorithm Research. New York, NY, USA : Nova Science Publishers, Inc. 2011. – P. 46.

11. Daskin, M. S. Network and Discrete Location: Models, Algorithms, and Applications (2-nd Edition). – Somerset, NJ, USA : Wiley 2013. – P. 3–66.

12. Ore, O., Wilson, R. J. Anneli Lax New Mathematical Library, Volume 34 : Graphs and Their Uses. – Washington, DC, USA : Mathematical Association of America, 1990. – P. 33.

13. Волков, В. С., Буторин, Т. А., Филатов, Г. М. Повышение эффективности грузовых автомобильных перевозок // Современные

проблемы науки и образования. 2013. №5.; URL : <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=10165> (дата обращения : 17.06.2021).

14. Stet, M. Methods for determination and optimization of logistics costs. – SEA – Practical Application of Science. Volume IV, Issue 3(12). 2016. P. 507–511.

15. Hayder, H., Adeel, A., Mourad, B., Cyril, F. Logistics optimization using ontologies. Proceedings of ICCSA 2014, Jun 2014, Le Havre, France. fhal-01651950ff.

16. Friedrich, H., Gump, J. Simplified modeling and solving of logistics optimization problems. International Journal of Transportation. Vol. 2, No. 1. 2014. pp.33–52, <http://dx.doi.org/10.14257/ijt.2014.2.1.03>.

17. Ding, D., Zou, X. The optimization of logistics distribution route based on Dijkstra's algorithm and C-W saving algorithm. 6-th International Conference on Machinery, Materials, Environment, Biotechnology and Computer (MMEBC 2016). 2016. – P. 956–965.

18. Kay, M. G. Matlog: logistics engineering using Matlab. Suleyman Demirel University Journal of Engineering Sciences and Design. 2016. – 4(1). – P. 15–20.

19. Чертков, А. А., Вардомская, А. А., Дмитриев, А. А. Рекурсивный метод оптимизации логистических путей средствами МАТЛАБ // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. – Выпуск 6 (34). – 2015. – С. 196–204.

20. Сахаров, В. В., Чертков, А. А., Дмитриев, А. А. Алгоритм трафика перевозки грузов с обеспечением минимума транспортной работы // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. – Выпуск 1 (35). – 2016. С. 180–188.

21. URL : <http://bigkarta.ru/belarus/belarus-map.png> (дата обращения : 17.06.2021).

22. URL : <https://flagma.by/rasstoyanie-ot-brestbelar-do.html> (дата обращения : 17.06.2021).

23. URL : <https://www.avtodispatcher.ru/distance/table/c59065-belarus%27/> (дата обращения : 17.06.2021).

24. URL : <https://logists.by/library/reference/razmery-gruzovyh-mashin> (дата обращения : 17.06.2021).

Статья поступила 22.09.2021