

УДК 656.025.4

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ
ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
ПРОЦЕССА ДОСТАВКИ РАЗНОРОДНЫХ
ГРУЗОВ В ГОРОДСКИХ УСЛОВИЯХ**Николаев Николай Николаевич
к.т.н., доцентСенькевич Анна Александровна
к.т.н., доцент
Азово-Черноморская государственная агроинженерная академия, Зерноград, Россия

На примере доставки товаров бытовой химии автотранспортом по городу показана методика оптимизации данного процесса с использованием сетевых и линейных моделей

Ключевые слова: ТРАНСПОРТНОЕ
ОБСЛУЖИВАНИЕ, ЛИНЕЙНЫЕ МОДЕЛИ,
СЕТЕВЫЕ МОДЕЛИ, ГОРОДСКИЕ
ПЕРЕВОЗКИ

UDC 656.025.4

**IMPROVEMENT OF THE TRANSPORT
TECHNOLOGICAL PROCESS OF DELIVERY
OF DISSIMILAR GOODS IN THE URBAN
ENVIRONMENTS**Nikolaev Nikolay Nikolaevich
Cand.Tech.Sci., assistant professorSenkevich Anna Alexandrovna
Cand.Tech.Sci., assistant professor
*Azov Black-Sea State Agroengineering Academy,
Zernograd, Russia*

The variants of the procedure for optimizing of delivery of goods with motor transport in a city with the use of network and linear models is shown on the example of the delivery of household chemical goods

Keywords: TRANSPORT SERVICE, LINEAR
MODELS, NETWORK MODELS, URBAN
TRANSPORTATION

Доставка разнородных мелкопартионных грузов в городских условиях – это технологический процесс, который осуществляется ежедневно при доставке различных товаров от производителей и оптовых торговых организаций конечным потребителям и розничным магазинам. При выполнении такого рода доставок возникают определенные сложности, связанные с разнородностью грузов, разветвленностью дорожной сети города, широким разбросом поставщиков и потребителей по территории города, неоднородностью загруженности дорог и высокой вероятностью возникновения транспортных заторов (пробок) на некоторых участках. При этом необходимо выполнить доставку точно в установленные сроки, обеспечить сохранность грузов и минимальные затраты на выполнение данного процесса [1]. Вариант решения данного перечня задач представлен на примере доставки товаров бытовой химии к потребителям города Таганрога Ростовской области автомобильным транспортом ИП Хомутова Н.И.

Автомобильный транспорт ИП Хомутова Н.И. занимается транспортным обслуживанием предприятий городов Ростовской области, а также вы-

полняет заказы по доставке грузов на всей территории Российской Федерации. Здесь рассматривается работа предприятия по доставке товаров бытовой химии предприятиям-заказчикам (магазинам) от предприятий-поставщиков, расположенным в г. Таганрог. Поставка осуществляется со складов поставщиков, на которые грузы завозятся от производителей большегрузными автопоездами сторонних предприятий. Перевозки по городу выполняются автомобилями МАЗ-437130-332 «Зубренок», ГАЗ-3302 «Газель» и ЗИЛ-5301Е2 «Бычок», имеющимися в распоряжении предприятия. Погрузка и разгрузка выполняется вилочными погрузчиками на паллетах.

Поставка грузов осуществляется в соответствии с ведомостью заказов магазинов. Ведомость заказов является основой для составления графиков поставок. На складах выполняется комплектация товаров по маршрутам поставки и магазинам на этих маршрутах.

По согласованию с предприятиями поставка осуществляется ежедневно.

В предприятии возникла необходимость разработки новых маршрутов перевозок по следующим причинам:

- 1) увеличение количества предприятий-заказчиков;
- 2) возникновение заторов на центральных улицах г. Таганрога.

Доставка грузов осуществляется с трех складов предприятия, расположенных в различных районах г. Таганрога.

Решение таких задач целесообразно производить в сетевой форме, так как задача в таком виде наиболее подробно позволяет учесть реальные условия выполнения перевозок и ограничения, накладываемые дорожной сетью города.

Потребности грузополучателей и необходимые запасы на складах, предназначенные для текущих поставок, представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Потребности грузополучателей

Номер вершины	Наименование	Адрес	Объем разовых поставок, т
1	Магазин «Корзинка»	ул. Л. Чайкиной, 40	0,8
2	Магазин «Миус»	ул. Энгельса, 98	1,1
3	Магазин «Любимый»	ул. Бакинская, 2е	0,6
4	Магазин ТД «Поиск»	ул. Морозова, 10	0,8
5	ООО ТД «Константа»	ул. Московская, 19	1,0
6	ОАО «Альбатрос»	ул. Ремесленная, 15, корп. 3, офис 01	1,2
7	ООО «Шаечка»	пер. Партизанский, 19	1,0
8	ООО «Чистюля»	ул. Свободы, 12	0,5
9	Магазин «Дарница»	ул. Михайловская, 78, корп. Б	0,6
10	ООО «Беркут»	Котлостроительная, 37/19, оф. 8,	0,9
Всего, т			8,5

Таблица 2 – Необходимые запасы поставщика на складах, предназначенные для текущих поставок

Номер вершины	Наименование	Адрес	Запас груза из расчета на разовый объем поставок, т
11	ООО «Бистр», оптовый склад	пер. Смирновский, 25	3,0
12	ООО «Лемакс на Центральном», оптовый склад	пл. Красная, 4, корп. А (Центральный рынок)	2
13	ОАО «Парфюмерия и бытовая химия», оптовый склад	ул. Энергетическая, 28	3,5
Всего, т			8,5

Для составления структуры транспортной сети необходимо определить кратчайшие расстояния между точками сети с учетом реальных дорожных условий. Кратчайшие расстояния будем определять с помощью

алгоритма Дейкстры [2, 3]. Алгоритм Дейкстры состоит в последовательном выполнении ряда шагов.

Шаг 1. Перед началом выполнения алгоритма все вершины и дуги не окрашены. Каждой вершине в ходе выполнения алгоритма присваивается число $d(x)$, равное длине кратчайшего пути из s в x , включающего только окрашенные вершины.

Примем $d(s)=0$ и $d(x)=\infty$ для всех x , отличных от s . Окрасим вершину s и примем $y=s(y)$ -последняя из окрашенных вершин.

Шаг 2. Для каждой неокрашенной вершины x следующим образом пересчитать величину $d(x)$ [2, 3]

$$d(x)=\min\{d(x), d(y)+a(y,x)\}, \quad (1)$$

Если $d(x)=\infty$ для всех неокрашенных вершин x , закончить процедуру алгоритма: в исходном графе отсутствуют пути из вершины s в неокрашенные вершины. В ином случае окрасить ту из вершин x , для которой величина $d(x)$ является наименьшей. Кроме того, окрасить дугу, ведущую в выбранную на данном шаге вершину x (для этой дуги достигается минимум в соответствии с выражением (1)). Присвоить $y=x$.

Шаг 3. Если $y=t$, закончить процедуру: кратчайший путь из вершины s в вершину t найден (это единственный путь из s в t , составленный из окрашенных дуг). В противном случае перейти к шагу 2.

Поскольку на всех этапах алгоритма Дейкстры окрашенные дуги образуют в исходном графе ориентированное дерево, алгоритм можно рассматривать как процедуру наращивания ориентированного дерева с корнем в вершине s . Когда в этой процедуре наращивания достигается вершина t , процедура может быть остановлена.

В результате применения алгоритма Дейкстры получена таблица кратчайших расстояний (таблица 3).

Таблица 3 – Кратчайшие пути между пунктами транспортной сети

Пара вершин	Путь по улицам	Суммарное расстояние, км
1-3	Лизы Чайкиной ул. – 82 м 10-й новый пер. – 512 м Маршала Жукова ул. – 1296 м Бакинская ул. – 277 м	2,167
1-5	Лизы Чайкиной ул. – 82 м 10-й новый пер. – 107 м Инициативная ул. – 1289 м Бакинская ул. – 254 м Морозова ул. – 176 м Москатова ул. – 1213 м Московская ул. – 389 м	3,516
1-9	Лизы Чайкиной ул. – 82 м 10-й новый пер. – 107 м Инициативная ул. – 1289 м Бакинская ул. – 254 м Шаумяна ул. – 212 м Станочный пер. – 93 м Урицкого ул. – 212 м Центральный пер. – 325 м Щаденко ул. – 428 м Героев подпольщиков ул. – 675 м Михайловская ул. – 204 м	3,881
2-11	Энгельса ул. – 48 м Украинский пер. – 149 м Карла Либкнехта ул. – 2009 м	2,207
2-12	Энгельса ул. – 48 м Украинский пер. – 448 м Чехова ул. – 989 м	1,486

Итоговую оптимизацию плана доставки грузов проводим с помощью алгоритма решения транспортной задачи с промежуточными пунктами в Excel [4, 5, 6].

На рисунке 1 представлены таблица кратчайших расстояний (колонка «Расстояние») и схема определения кратчайшего пути, сформированные на рабочем листе Excel. В таблице кратчайших расстояний мы видим, что если между отдельными складами отсутствует возможность перевозки товара, то в соответствующие ячейки таблицы заносится любое большое число (в данном случае 1000).

Формируем колонку «От-в» начиная с А62, с которую заносим в текстовом формате все возможные направления движения по дугам сети. В колонке справа «Поток» находятся ячейки, которые соответствуют количеству перевозимого по дуге груза. В следующей колонке «Вершина» записываются номера всех вершин сети. В колонке справа «Поток» определяется поток через вершину, который должен быть равен значению в колонке «Спрос». В следующих колонках «От» и «В» отдельно записываются номера вершин из колонки «От-в». В колонку расстояние необходимо перенести расстояния между вершинами из Таблицы кратчайших расстояний. Это делается автоматически с помощью функции [2, 6]

$$=ИНДЕКС(\$B\$4:\$B\$56;\$F\$62:\$F\$183;\$G\$62:\$G\$183). \quad (2)$$

В этой функции первый диапазон ячеек указывает те ячейки, содержимое которых необходимо перенести в столбец; второй диапазон ячеек содержит номера строк переносимого диапазона; третий диапазон ячеек содержит номера столбцов переносимого диапазона.

В ячейку D62 столбца «Поток» заносится формула [2, 6]

$$=СУММЕСЛИ(\$F\$62:\$F\$183;\$C62;\$B\$62:\$B\$183)- \\ СУММЕСЛИ(\$G\$62:\$G\$183;\$C62;\$B\$62:\$B\$183). \quad (3)$$

Эта формула служит для расчета величины чистого потока через вершину. Она суммирует и вычитает между собой значения ячеек столбца В «Поток», если значения ячеек в столбцах F «От» и G «В» совпадают со значениями столбца С «Вершина».

В целевую ячейку, в данном случае С 60, необходимо занести формулу [2, 6]

$$=СУММПРОИЗВ(Н62:Н183;В62:В183). \quad (4)$$

	А	В	С	Д	Е	Ф	Г	Н
59								
60	Целевая функция		41,4					
61	От - в	Поток	Вершина	Поток	Спрос	От	В	Расстояние
62	1-17	0,0	1	-0,8	-0,8	1	17	82
63	2-46	0,0	2	-1,1	-1,1	2	46	93
64	3-14	0,0	3	-0,6	-0,6	3	14	277
65	4-30	0,6	4	-0,8	-0,8	4	30	45
66	4-31	0,0	5	-1,0	-1,0	4	31	3232
67	5-28	0,0	6	-1,2	-1,2	5	28	389
68	6-33	1,8	7	-1,0	-1,0	6	33	555
69	6-34	0,0	8	-0,5	-0,5	6	34	805
70	7-35	3,9	9	-0,6	-0,6	7	35	600

Рисунок 1 – Оптимизация поставок (фрагмент)

Для оптимизации используем «Поиск решения». В результате получено следующее распределение поставок на транспортной сети (рисунок 2).

В итоге целевая функция примет значение 41,4 т·км.

В результате решения транспортной задачи в сетевой постановке получено 3 кольцевых и 4 маятниковых маршрута (таблица 4).

Таблица 4 – Маршруты перевозки грузов

Номер маршрута (тип маршрута)	Пункты маршрута	Расстояния между пунктами, км	Объемы перевозок по маршруту, т
1 (маятниковый)	11-43-45-46-2	0,897-1,112-0,149-0,093	1,1
2 (маятниковый)	11-41-42-8	0,390-0,847-0,281	0,5
3 (кольцевой)	11-41-40-37-7-35-34-10	0,390-1,381-1,264-0,043-0,6-0,154-1,268	1,4-1,4-1,4-0,9-0,9-0,9
4 (кольцевой)	13-38-36-37-7-35-34-6-33-32-15-16-17-1	1,472-0,357-0,242-0,043-0,6-0,154-0,805-0,555-0,235-0,505-2,179-0,512-0,082	2,5-2,5-2,5-2,5-2,0-2,0-2,0-0,8-0,8-0,8-0,8-0,8-0,8
5 (маятниковый)	13-38-36-37-7-35-34-6-33-32-15-28-5	1,472-0,357-0,242-0,043-0,6-0,154-0,805-0,555-0,235-0,505-2,007-0,389	1,0
6 (маятниковый)	12-31-21-9	1,159-5,365-0,879	0,6
7 (кольцевой)	12-31-4-30-26-25-23-23-19-18-14-3	1,159-3,232-0,045-2,359-0,085-0,310-0,032-0,254-0,632-0,277	1,4-0,6-0,6-0,6-0,6-0,6-0,6-0,6-0,6-0,6

$F=41,4 \text{ м}\cdot\text{км}$

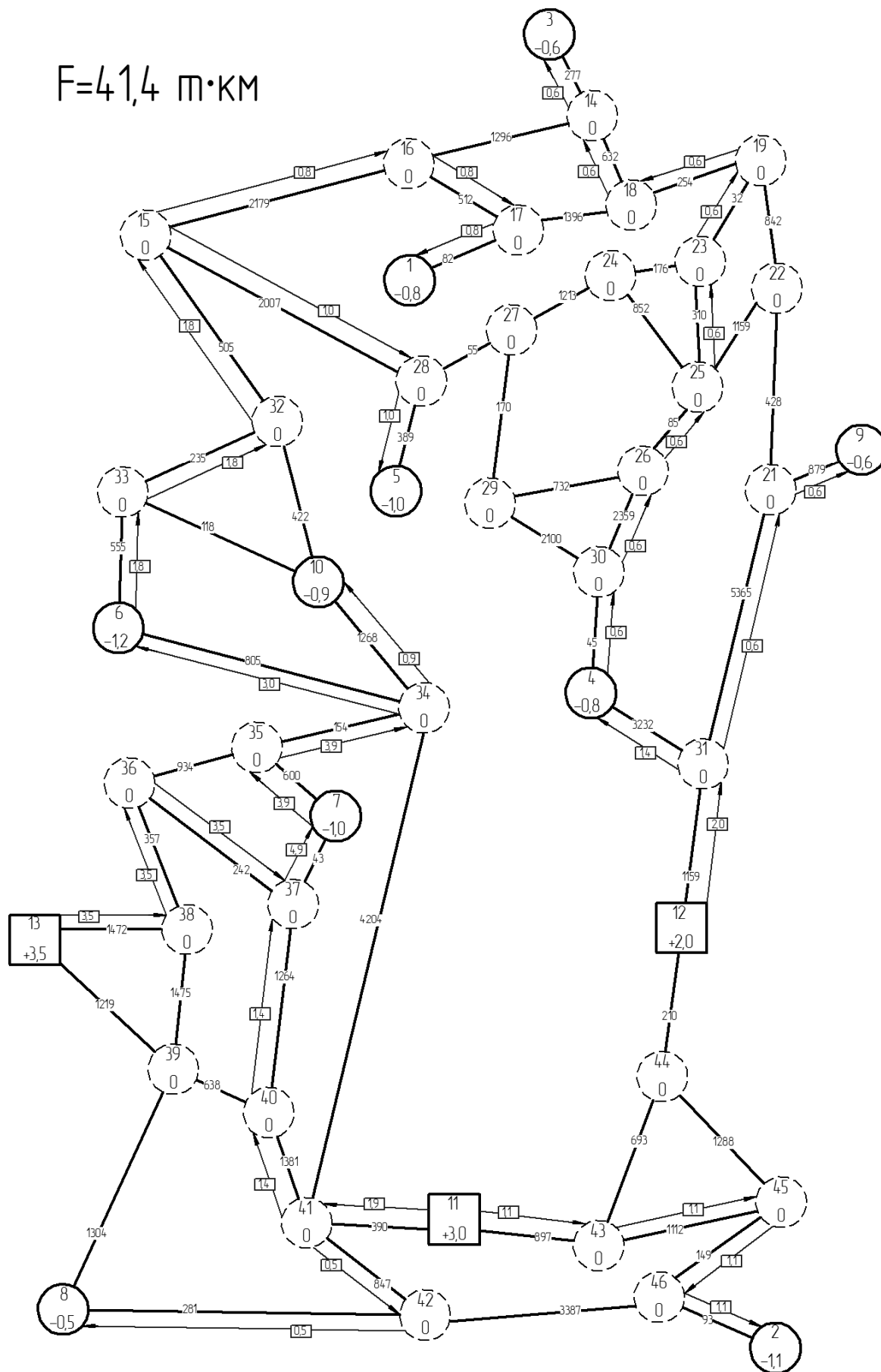


Рисунок 2 – Итоговое распределение поставок

Требуется определить, на каких маршрутах, какой марки и грузоподъемности автомобили следует использовать. Поскольку предприятие может использовать не только собственные, но и наемные автомобили, то выбор подвижного состава можно производить по экономическому критерию не только из имеющегося, но и из доступного для найма. Следует учитывать то обстоятельство, что чем больше грузоподъемность автомобиля, тем дороже его эксплуатация на каждый километр пробега, но тем меньше ездки необходимо сделать для выполнения объема перевозок.

Данная задача формулируется как «задача о назначениях» [6, 7]. Наиболее быстро данная задача решается с помощью средств Excel [2, 5, 6].

Алгоритм решения данной задачи в Excel сводится к следующему.

Количество рейсов i -го автомобиля у j -го клиента вычисляется по формуле [2, 6]

$$z_{ij} = \frac{Q_j}{q_i}, \text{ для всех } i = 1, 2, \mathbf{K}, k; j = 1, 2, \mathbf{K}, k. \quad (5)$$

Количество рейсов – величина целочисленная, принимающая значение, большее или равное 1. Для ее вычисления следует воспользоваться функцией округления частного от деления в большую сторону.

Пробег i -го автомобиля у j -го клиента вычисляется по формуле [2, 6]

$$R_{ij} = z_{ij} \cdot L_j, \quad (6)$$

Эксплуатационные затраты вычисляются по формуле [2, 6]

$$S_{ij} = R_{ij} \cdot c_i = z_{ij} \cdot L_j \cdot c_i, \quad (7)$$

где c_i – удельные эксплуатационные затраты, связанные с назначением i -го автомобиля для обслуживания j -го клиента.

Дополнительная целочисленная переменная логического типа принимает значения [2, 6]

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 - \text{при назначении;} \\ 0 - \text{иначе.} \end{cases} \quad (8)$$

Целевая функция имеет вид [2, 6]

$$F = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k S_{ij} \cdot x_{ij} \rightarrow \min, \quad (9)$$

при ограничениях [2, 6]

$$\sum_{i=1}^k x_{ij} = 1; \sum_{j=1}^k x_{ij} = 1; \text{ где } x_{ij} \geq 0 - \text{целое для всех } i, j = 1, 2, \mathbf{K}, k. \quad (10)$$

В результате решения задачи о назначениях получена таблица 5.

Таблица 5 – Назначение подвижного состава на маршруты (по маркам)

Номер маршрута	Марка подвижного состава
1	МАЗ-437130-332 «Зубренок»
2	ГАЗ-3302 «Газель»
3	ЗИЛ-5301Е2 «Бычок»
4	МАЗ-437130-332 «Зубренок»
5	ЗИЛ-5301Е2 «Бычок»
6	ГАЗ-3302 «Газель»
7	ЗИЛ-5301Е2 «Бычок»

Далее на основании стандартной методики [2] определены параметры маршрутов и рассчитано количество автомобилей по каждому маршруту.

В результате определено суммарное количество автомобилей каждой марки (таблица 6).

Таблица 6 – Закрепление маршрутов за автомобилями

Номер маршрута (тип маршрута)	Марка подвижного состава	Количество автомобилей, шт.	Итого по маркам, шт.
1 (маятниковый)	МАЗ-437130-332 «Зубренок»	1	1
4 (кольцевой)			
2 (маятниковый)	ГАЗ-3302 «Газель»	1	1
6 (маятниковый)			
3 (кольцевой)	ЗИЛ-5301Е2 «Бычок»	1	2
5 (маятниковый)			
7 (кольцевой)		1	

Таким образом, для обслуживания 7 маршрутов доставки грузов по магазинам по предлагаемому в проекте графику требуется один МАЗ-437130-332 «Зубренок», один ГАЗ-3302 «Газель» и два ЗИЛ-5301Е2 «Бычок».

В результате совершенствования транспортно-технологического процесса доставки разнородных грузов в городских условиях удалось снизить транспортную работу на 10,2 % и уменьшить потребность в автомобилях на один ГАЗ-3302 «Газель».

Расчет экономической эффективности предлагаемых мероприятий показал, что в результате оптимизации перевозок предприятие сможет снизить суммарные затраты на перевозках на 18 %. Годовая экономия затрат на данной операции может составить более 220 тыс. рублей, а чистый дисконтированный доход – более 1 млн. рублей.

Список литературы

1. Николаев, Н.Н. Оптимизация процесса доставки разнородных мелкопартионных грузов в условиях курортного города / Н.Н. Николаев // Вестник аграрной науки Дона. – 2011. - №3 – С. 46–51.
2. Николаев, Н.Н. Моделирование транспортных процессов и систем: учебное пособие / Н.Н. Николаев. – Зерноград: ФГБОУ ВПО АЧГАА, 2012. – 144 с.
3. Майника, Э. Алгоритмы оптимизации на сетях и графах / Э. Майника. – Москва: Мир, 1981. – 324 с.
4. Бурьянов, А.И. Оптимизация режимов работы грузового автопарка с применением информационных технологий / А.И. Бурьянов, Н.Н. Николаев // Вестник аграрной науки Дона. – 2011. - №4 – С. 34–39.
5. Св.-во гос. рег. прогр. для ЭВМ 2012610387, Российская Федерация. Программа формирования графика работы грузовых автомобилей на маршрутах / Н.Н. Николаев, С.К. Филатов; правообладатели Н.Н. Николаев, С.К. Филатов. – № 2011618398; дата поступл. 08.11.2011; дата регистр. 10.01.2012.
6. Таха, Хэмди А. Введение в исследование операций / Хэмди А. Таха. – 7-е изд.: перевод с англ. – Москва: Вильямс, 2005. – 912 с.
7. Баранов, В.В. Прийняття рішень в завданнях експлуатації транспортних систем / В.В. Баранов, О.П. Кравченко, В.О. Дроздов, К.О. Кравченко // «Наукові нотатки» Луцького національного технічного університету, Міжвузівський збірник. – Луцьк: ЛНТУ, 2010. – С. 46–51.

References

1. Nikolaev, N.N. Optimizacija processa dostavki raznorodnyh melkopartion-nyh gruzov v uslovijah kurortnogo goroda / N.N. Nikolaev // Vestnik agrarnoj nauki Dona. – 2011. - №3 – S. 46–51.
2. Nikolaev, N.N. Modelirovanie transportnyh processov i sistem: uchebnoe po-sobie / N.N. Nikolaev. – Zernograd: FGBOU VPO AChGAA, 2012. – 144 s.
3. Majnika, Je. Algoritmy optimizacii na setjah i grafah / Je. Majnika. – Mosk-va: Mir, 1981. – 324 s.
4. Bur'janov, A.I. Optimizacija rezhimov raboty gruzovogo avtoparka s primene-niem informacionnyh tehnologij / A.I. Bur'janov, N.N. Nikolaev // Vestnik agrarnoj nauki Dona. – 2011. - №4 – S. 34–39.
5. Sv.-vo gos. reg. progr. dlja JeVM 2012610387, Rossijskaja Federacija. Program-ma formirovanija grafika raboty gruzovyh avtomobilej na marshrutah / N.N. Nikola-ev, S.K. Filatov; pravoobladateli N.N. Nikolaev, S.K. Filatov. – № 2011618398; data postupl. 08.11.2011; data registr. 10.01.2012.
6. Taha, Hjemdi A. Vvedenie v issledovanie operacij / Hjemdi A. Taha. – 7-e izd.: perevod s angl. – Moskva: Vil'jams, 2005. – 912 s.
7. Baranov, V.V. Prijnjattja rishen' v zavdannjah ekspluatacii transportnih sistem / V.V. Baranov, O.P. Kravchenko, V.O. Drozdov, K.O. Kravchenko // «Naukovi notatki» Luc'kogo nacional'nogo tehničnogo universitetu, Mizhvuzivs'kij zbirnik. – Luc'k: LNTU, 2010. – S. 46–51.