



ФГБОУ ВО «ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра экономики и управления на предприятии
машиностроения

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Транспортно-складская логистика» для студентов направлений подготовки 38.03.02 «Менеджмент» профиль «Логистика и управление цепями поставок» и 27.03.02 «Управление качеством» профиль «Управление качеством в логистике» всех форм обучения



Воронеж 2018

Составитель: к.э.н., доцент Щеголева Т.В.

УДК 658.512

Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Основы логистики и управление цепями поставок» для студентов направлениям подготовки 38.03.02 «Менеджмент» профиль «Логистика и управление цепями поставок» и 27.03.02 «Управление качеством» профиль «Управление качеством в логистике» всех форм обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост. Т.В. Щеголева. - Воронеж, 2017. 75 с.

Методические указания содержат рекомендации к выполнению лабораторных работ, варианты индивидуальных заданий к лабораторным работам и список рекомендуемой литературы.

Рецензент: к.э.н., доцент Н.Л. Володина

Печатается по решению редакционно-издательского совета Воронежского государственного технического университета

© ФГБОУ ВО «Воронежский
государственный технический
университет», 2018

СОДЕРЖАНИЕ

Общие положения	4
Методические указания к выполнению лабораторных работ ...	5
1. Лабораторная работа №1. «Решение задачи о распределении заказов по транспортным средствам в MS Excel»	5
2. Лабораторная работа №2. «Решение задачи оптимизации городской транспортной сети в MS Excel»	19
3. Лабораторная работа №3. «Планирование маршрутов автотранспортной доставки мелкопартионных грузов с использованием ГИС Деловая карта»	30
4. Лабораторная работа №4. «Решение задачи оптимизации маршрутов автотранспортной доставки мелкопартионных грузов по методике Шапиро»	53
Приложение 1. Варианты индивидуальных заданий к лабораторной работе №1	64
Приложение 2. Варианты индивидуальных заданий к лабораторной работе №2	65
Приложение 3. Варианты индивидуальных заданий к лабораторной работе №3	66
Приложение 4. Маршруты доставки грузов из файла «ЛебедянскийМаршрутизацияVar1.txt»	68

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Дисциплина «Транспортно-складская логистика» предназначена для получения студентами необходимых теоретических знаний, а также практических навыков в области организации эффективного управления материальными и сопутствующими потоками на уровне крупных городов (мегаполисов).

Цель дисциплины – формирование у студентов теоретические знания основ логистики, ее принципов, методов и моделей при проектировании и анализе логистических систем (ЛС) городского уровня, к которым относятся системы грузовых и пассажирских перевозок, материальные потоки в системе ресурсного обеспечения различных отраслей городского хозяйства.

Знания и навыки, полученные студентами в результате изучения дисциплины, должны быть направлены на оптимизацию всех возможных ресурсов, связанных с функционированием городских транспортных логистических систем, учитывая их социально-экономический характер при решении задач развития крупных городов (регионов).

Задачами дисциплины являются:

- изучение транспортных проблем мегаполиса и методов их решения;
- изучение методов анализа и построения региональных транспортных логистических систем;
- изучение логистических систем городских пассажирских перевозок;
- изучение технологии пассажирских перевозок и методов оценки эффективности системы городского общественного транспорта;
- изучение организации пассажирских перевозок, а также методов проектирования маршрутов городского общественного транспорта с использованием автоматизированных информационных систем;
- изучение основных подходов к определению качества перевозок пассажиров;
- изучение методов планирования и моделирования городских транспортных логистических систем;

- приобретение навыков построения и оптимизации моделей транспортных систем и процессов.

Целью проведения лабораторных работ по дисциплине «Транспортно-складская логистика» является овладение практическими навыками по решению задач:

- распределение заказов по транспортным средствам при организации доставки мелкопартионных грузов;
- оптимизации городской транспортной сети;
- планирования маршрутов доставки мелкопартионных грузов с использованием автоматизированной информационной системы Деловая карта;
- оптимизации маршрутов доставки мелкопартионных грузов по методике Шапиро.

Для выполнения цикла лабораторных работ, студентам необходимо образовать рабочие группы по 2 человека.

Задание для выполнения лабораторной работы выдается преподавателем каждой рабочей группе индивидуально. Варианты заданий представлены в Приложениях 1 – 3.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

1. Лабораторная работа №1.

«Решение задачи о распределении заказов по транспортным средствам в MS Excel»

Задание на лабораторную работу

Создать и оптимизировать в Microsoft Excel табличную модель задачи о распределении заказов по транспортным средствам. Варианты индивидуальных заданий представлены в Приложении 1.

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомиться с теоретическим введением и примером выполнения задания в Microsoft Excel.
2. Получить индивидуальное задание у преподавателя.
3. Открыть новую рабочую книгу MS Excel.

4. Создать табличную модель данной задачи. В рабочий лист также должны быть занесены расчетные формулы, связывающие переменные модели.
5. Оптимизировать модель, т.е. получить оптимальный вариант распределения заказов по автомобилям, используя средство **Поиск решения**.
6. Проанализировать полученное решение и сделать выводы.

Теоретическое введение

Предположим, что имеется n различных работ, каждую из которых может выполнить любой из n привлеченных исполнителей. Стоимость выполнения i -й работы j -м исполнителем известна и равна c_{ij} (в денежных единицах). Необходимо распределить исполнителей по работам (назначить одного исполнителя на каждую работу) так, чтобы минимизировать суммарные затраты, связанные с выполнением всего комплекса работ.

В исследовании операций задача, сформулированная выше известна как *задача о назначениях*. Введем в рассмотрение двоичные (булевы) переменные $x_{i,j}$, которые будут соответствовать назначению кандидатов на выполнение работ. В этом случае резонно предположить, что $x_{i,j} = 1$, если i -й кандидат назначается на выполнение j -й работы, и $x_{i,j} = 0$, если i -й кандидат не назначается на выполнение j -й работы. Стоимость выполнения всего комплекса работ равна $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{i,j} x_{i,j}$.

Таким образом, задача о назначениях имеет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{i,j} x_{i,j} \rightarrow \min; \\ \sum_{j=1}^n x_{i,j} = 1, \quad i = 1, \dots, n; \\ \sum_{i=1}^n x_{i,j} = 1, \quad j = 1, \dots, n; \\ x_{i,j} \in \{0,1\}, \quad i, j = 1, \dots, n. \end{array} \right. \quad (1)$$

Задача о назначениях является частным случаем классической транспортной задачи, в которой надо положить $m = n$,

$S_i = 1, i = 1, \dots, n, D_j = 1, j = 1, \dots, n$. В математической постановке задачи о назначениях (1), первая группа ограничений гарантирует выполнение каждой работы лишь одним исполнителем, вторая группа ограничений гарантирует, что каждый из исполнителей будет выполнять лишь одну работу. При этом условие $x_{i,j} \in \{0,1\}, i, j = 1, \dots, n$, означает выполнение требования булевости (двоичности) переменных $x_{i,j}$. Это связано с тем, что мощности всех источников и стоков равны единице, откуда следует, что в допустимом решении значениями переменных могут быть только 0 и 1. При этом в любом допустимом решении лишь n переменных могут принимать значения 1. Таким образом, любое допустимое базисное решение задачи о назначениях будет *вырожденным*, т.е. представлено вырожденной квадратной матрицей, определитель которой равен нулю.

На практике встречаются задачи о назначениях, в постановках которых параметр $c_{i,j}, \forall i, j \in \{1, \dots, n\}$ понимается как эффективность выполнения i -й работы j -м исполнителем. В этих случаях нужно так распределить работы между исполнителями, чтобы суммарная эффективность их выполнения была бы максимальной,

т.е. $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{i,j} x_{i,j} \rightarrow \max$, где максимум ищется при указанных вы-

ше ограничениях.

В управлении цепями поставок существует ряд задач, математическая постановка которых может быть сведена к задаче о назначениях, например, *задача о распределении заказов по транспортным средствам*, возникающая при организации доставки мелкопартионных грузов.

Рассмотрим постановку задачи о распределении заказов по транспортным средствам при мелкопартионных перевозках и методику ее решения. Такая задача, по нашему мнению, является более актуальной, поскольку первым этапом формирования развозочных маршрутов является именно раскладка заказов по транспортным средствам. Данную задачу можно решить как частный случай задачи о назначениях. Ниже рассматривается алгоритм решения данной задачи и пример его практического использования.

Рассмотрим локальную задачу обеспечения поставок мелкопартионных грузов. Особенностью данной задачи является то, что клиенты компактно расположены внутри одного территориального района и обеспечиваются с одного склада. Такое упрощение имеет практическое обоснование. Действительно, при договоре аренды автомобиля часто обговаривается район его использования и от этого зависит арендная плата. Итак, предположим, что нам необходимо обеспечить множество клиентов $M = \{1, \dots, m\}$ грузами в количестве $d_i, \forall i \in M$.

Для перевозки грузов мы можем задействовать множество автомобилей $N = \{1, \dots, n\}$. Каждый j -й автомобиль характеризуется грузоподъемностью q_j и затратами на использование c_j , которую мы будем называть арендной платой. Мы предполагаем, что в арендную плату включены все затраты, которые не зависят от пробега, времени использования и т.д. Чтобы учесть пробег автомобиля, маршрут должен состоять не только из списка клиентов, но также из последовательности их объезда по строгому маршруту следования. Но для данной задачи этот подход не представляется целесообразным по следующим причинам.

1. Задача маршрутизации транспортных средств (*Vehicle Routing Problem – VPR*), представляет из себя одну из сложнейших задач целочисленного программирования и не существует эффективных методов решения таких задач большой размерности, которые возникают на практике.

2. Для формализации данной задачи потребуется найти оптимальные маршруты между всеми парами узлов транспортной сети. С математической точки зрения это не сложная задача, но ее наполнение фактическими данными является задачей нетривиальной даже с использованием современных геоинформационных систем.

3. В связи с постоянными изменениями ситуации на дорогах, оптимальные маршруты следования изменяются. Оперативно отслеживать эти изменения не представляется возможным в силу причин перечисленных выше.

4. Опыт практического решения данной задачи показывает, что в тех случаях, когда клиенты расположены компактно, эффект от решения оптимальной маршрутизации незначителен.

Причем решение на момент использования может стать неоптимальным или даже недопустимым.

Далее, предполагаем, что все клиенты требуют, чтобы их заказы были доставлены не позднее некоторого времени, причем время перемещения между клиентами и время их обслуживания (погрузка, разгрузка, оформление документов) одинаково. Это ограничение можно выразить простейшим способом – заданием максимального числа клиентов в каждом рейсе, скажем, величиной L .

Рассмотрим математическую формулировку этой задачи.

Введем переменные $x_{i,j}, \forall i \in M, \forall j \in N$, принимающие значение $x_{i,j} \in \{0,1\}$. Очевидно, что $x_{i,j}$ принимает значение 1, если i -й клиент включен в рейс j -го автомобиля, и значение 0, если i -й клиент не включен в рейс j -го автомобиля.

Введем дополнительные переменные $c_j, \forall j \in N$, представляющие собой затраты на транспортировку на j -м маршруте, $y_j, \forall j \in N$, принимающие значения:

$$y_j = \begin{cases} 1, & \text{если автомобиль } j \text{ используется,} \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases}$$

и рассмотрим задачу

$$\sum_{i \in M} \sum_{j \in N} c_j y_j \rightarrow \min, \quad (2)$$

при ограничениях

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j \in N} x_{i,j} = 1, \quad \forall i \in M; \\ \sum_{i \in M} d_j x_{i,j} \leq q_j y_j, \quad \forall j \in N; \\ \sum_{i \in M} x_{i,j} \leq L, \quad \forall j \in N; \\ x_{i,j} \in \{0,1\}, \quad \forall i \in M, \quad \forall j \in N; \\ y_j \in \{0,1\}, \quad \forall j \in N. \end{array} \right. \quad (3)$$

Целевая функция (2) равна реальным транспортным расходам. Первая группа ограничений в системе (3) нам гарантирует,

что все клиенты будут обслужены. Вторая группа ограничений в (3) одновременно гарантируют обслуживание только арендованными автомобилями и удовлетворение условий грузоподъемности. Третья группа ограничений в (3) – ограничения на количество обслуживаемых одним автомобилем клиентов, которые косвенно учитывают ограничения по времени доставки, и, наконец, последние две группы ограничений – это условия двоичности переменных $x_{i,j}$ и y_j . Данная задача относится к классу обобщенных задач о назначениях (*Generalized Assignment Problem – GAP*).

Исходные данные

Решить задачу о распределении заказов по транспортным средствам, используя в качестве исходных данных данные о клиентах компании и о заказах, представленные в табл. 1.

Таблица 1

Данные о клиентах компании и о заказах

№ п/п	Регион развозки	Код клиента	Адрес клиента	Вес заказа, кг
1	Московский р-н РЦ «Центр»	40414	СПб, Московский пр., д.36/38	62,50
2		42815	СПб, Московский пр.д.186	181,60
3		42818	СПб, ул. Решетникова д.12	66,40
4		42819	СПб, Благодатная д.42	88,00
5		42828	СПб, ул.Коли Томчака д.28	196,10
6		42830	СПб, ул.Свеаборгская д.15	70,40
7		42841	СПб, Московский пр.д.128	178,40
8		42845	СПб, ул.Заозерная д. 8	68,00
9		42968	СПб, ул.Благодатная, 34	639,60
10		43006	СПб, пр.Московский, д.109	483,00
11		43009	СПб, ул. Киевская, 5, конт. № 38	155,70
12		43175	СПб, ул.Иркутская, д.4 а, склад 25	288,00
13		43351	СПб, ул.Цветочная д.16	194,40
14		43448	СПб, ул.Парковая, д.6	81,66
15		43455	СПб, пр.Космонавтов, д.45	618,60
16	Московский р-н РЦ «Сервис»	1638	ул.Варшавская д.112	70,40
17		3062	СПб, пр. Космонавтов д.42	163,40
18		4271	СПб, Московское шоссе д.36	41,76
19		4276	СПб, ул. Костюшко д. 2 (больница № 26)	65,90
20		4277	СПб, Пулковское шоссе 3	533,35

Продолжение табл. 1

№ п/п	Регион развозки	Код клиента	Адрес клиента	Вес заказа, кг
21	Московский р-н РЦ «Сервис»	4335	СПб, Авиагородок, ул.Штурманская д.36	88,20
22		4568	СПб, Московское ш.14 к.1	252,96
23		4615	СПб, ул.Варшавская д.56	76,00
24		4677	СПб, пр.Витебский д.23/1	61,00
25		4683	СПб, ул.Бассейная д.12	145,33
26		4686	СПб, пр.Московский д.155	77,10
27		4896	СПб, пр.Космонавтов д.29 к.7	578,10
28		5030	СПб, Авиагородок, ул. Пилотов д.28	74,00
29		5041	СПб, ул. Гастелло д.16	91,10
30		5069	СПб, Пулковское ш.д.91	86,88
31		5340	СПб, ул.Авиационная д.15	518,20
32		5360	СПб, Московское ш.д.6	323,00
33		5555	СПб, Пулковское ш.д.107	201,55
34		5685	СПб, ул.Фрунзе д.6	69,76
35		5798	СПб, пр.Космонавтов д.17	76,70
36		5985	СПб, ул.Краснопутиловская 66	342,20
37		6166	СПб, Пулковское ш. 13/4	94,60
38		6455	СПб, ул. Орджоникидзе д. 61	582,30
39		6501	СПб, Витебский пр. д.41	351,20
40		6518	СПб, ул. Фрунзе д.7	80,96
41		6540	СПб, Авиагородок ул.Взлетная д.7	351,60
42		6794	СПб, пр. Московский д.207	74,34
43		8290	СПб, ул.Варшавская д. 48	38,20
44		8366	СПб, Краснопутиловская д. 121	47,80
45		8375	СПб, Московский пр.д. 171	328,90
46		8989	СПб, ул. Пулковская, 11	66,40
47		9190	СПб, ул.Звездная д.16	733,60
48		9208	СПб, ул. Ленсовета д.34	72,00
49		9556	СПб, ул. Кузнецовская д.11	412,30
50		9603	СПб, пр. Космонавтов д.48 к.2	72,69
51		9719	СПб, ул.Благодатная д.35	285,20
52		9742	СПб, ул. Фрунзе д.16	145,38
53		991	СПб, пр.Московский д.205а	200,40
54	Фрунзенский р-н РЦ «Центр»	41114	СПб, ул.Фучика д.8	800,55
55		42846	СПб, Лиговский пр., 222	108,00
56		42857	СПб, ул. Бухарестская д.90	782,80
57		42858	СПб, ул.Пражская д.26к.1	1337,00
58		42860	СПб, Будапештская д.33	690,80
59		42861	СПб, ул.Бухарестская д.31/1	496,90
60		42864	СПб, пр.Славы д.30/1	465,70
61		42865	СПб, ул.Пражская д.35	654,10
62		42867	СПб, ул.Будапештская ,д.3	108,11
63		42868	СПб, ул. Софийская д.39	156,75

Продолжение табл. 1

№ п/п	Регион развозки	Код клиента	Адрес клиента	Вес заказа, кг	
64	Фрунзенский р-н РЦ «Центр»	42870	СПб, ул.Софийская д.44	227,70	
65		42873	СПб, ул.Софийская д.47 (универмаг "Василек")	367,96	
66		42875	СПб, ул.Софийская д.33	123,60	
67		42917	СПб, ул.Софийская д.22	95,76	
68		42878	СПб, ул.Тамбовская д.4	89,00	
69		42881	СПб, ул. Курская ,д.11/72	203,10	
70		42887	СПб, ул.Пражская д.11 б	112,70	
71		42891	СПб, ул.Бухарестская д.74 (Т.Ц.)	169,70	
72		42903	СПб, ул. Турку д.12	99,60	
73		42914	СПб, Лиговский пр. д.198	112,20	
74		42916	СПб, ул.Белградская , д.6/1	196,30	
75		42919	СПб, Лиговский пр. д.177-179	77,36	
76		42924	СПб, Будапештская д.19 к.1 лит.Б	76,20	
77		42930	СПб, ул. Тамбовская д.43	73,76	
78		42931	СПб, ул.Бухарестская д.23	91,00	
79		43256	СПб, Лиговский пр., д.210	73,50	
80		43281	СПб, ул. Будапештская д.44	128,80	
81		43362	СПб, наб.Обводного канала, д.38	47,54	
82		43394	СПб, ул.Бухарестская, д.69	1797,80	
83		43465	СПб, ул.Курская, д.24	96,00	
84		43477	СПб, ул.Стрельбищенская, д.16	79,60	
85		43495	СПб, ул.Будапештская, д.19	150,85	
86		43537	СПб, ул.Пражская, д.29	41,56	
87		43543	СПб, пр.Славы, д.15	110,70	
88		43552	СПб, ул. Будапештская, д.11	83,40	
89		43554	СПб, ул.Будапештская, д.19	358,30	
90		43577	СПб, ул.Софийская, д.29	142,10	
91		Фрунзенский р-н РЦ «Сервис»	1559	СПб, пр.Славы д.43\49	129,80
92			4382	СПб, ул. Пловдивская д. 1/10	311,88
93			4392	СПб, ул. Купчинская д.32/1	544,22
94	4498		СПб, ул.Будапештская д.97 павильон "Ладога"	198,30	
95	4543		СПб, ул.Белградская д.40	251,20	
96	4814		СПб, ул.Будапештская д.94	717,26	
97	4971		СПб, ул.Димитрова д.22 к.2	529,60	
98	42894		СПб, пр.Славы д.58а	55,00	
99	5641		СПб, ул.Будапештская д.49	906,10	
100	6243		СПб, ул.Будапештская д.68	125,45	
101	6587		СПб, ул. Димитрова д. 12/1	99,96	
102	6743		СПб, ул. М.Балканская д. 60/1-А	85,00	
103	8077		СПб, ул. Пловдивская д.9	358,30	
104	8104		СПб, ул.Купчинская д.1/5	818,60	
105	8268		СПб, ул.Димитрова д. 16/1	136,00	

Окончание табл. 1

№ п/п	Регион развозки	Код клиента	Адрес клиента	Вес заказа, кг
106	Фрунзенский р-н РЦ «Сервис»	8326	СПб, ул. Димитрова д.20/1	123,30
107		8354	СПб, ст. метро «Купчино»	63,76
108		8618	СПб, ул. Ярослава Гашека, 7	139,56
109		8929	СПб, ул. Бухарестская, 144	1404,30
110		9580	СПб, Загребский б-р д.21	285,70
Итого:				29357,20

Пример выполнения задания

Допустим, нам необходимо сформировать развозочные маршруты для обслуживания первых пятнадцати клиентов, представленных в табл. 1. Все клиенты территориально расположены в Московском районе Санкт-Петербурга их обслуживание производится из РЦ «Центр». Вес партии товара каждого из них колеблется в диапазоне от 62,5 до 639,6 кг, а общий вес всех товаров составляет 3372,36 кг. В нашем распоряжении имеется шесть автомобилей:

- ГАЗ-3307 грузоподъемностью 4500 кг – 1 ед.;
- ГАЗ-52 грузоподъемностью 2500 кг – 2 ед.;
- ГАЗ-3302 «Газель» грузоподъемностью 1500 кг – 3 ед.

Стоимость аренды автомобиля ГАЗ-3307 составляет 3600 руб., автомобиля ГАЗ-52 – 3200 руб., а автомобиля ГАЗ-3302 «Газель» – 2800 руб. Таким образом, имеется избыток провозных возможностей, следовательно, необходимо определить подвижной состав, использование которого минимизирует транспортные издержки, и оптимально загрузить его, т.е. распределить заказы по транспортным средствам.

Решение

Для решения задачи откроем новую рабочую книгу Excel и выполним следующие подготовительные действия:

1. Внесем необходимые надписи в ячейки рабочего листа, как это изображено на рис. 1 и рис. 2.

Вспомогательная матрица								
№ п/п	Заказы	Номер автомобиля						Вес заказа, кг
		1	2	3	4	5	6	
		Тип подвижного состава						
		ГАЗ-3307	ГАЗ-52	ГАЗ-52	Газель	Газель	Газель	
Затраты на аренду, руб.								
		3600	3200	3200	2800	2800	2800	
9	40414	=S19*L9	=S19*M9	=S19*N9	=S19*O9	=S19*P9	=S19*Q9	62,5
10	42815	=S10*L10	=S10*M10	=S10*N10	=S10*O10	=S10*P10	=S10*Q10	181,6
11	42818	=S11*L11	=S11*M11	=S11*N11	=S11*O11	=S11*P11	=S11*Q11	66,4
12	42819	=S12*L12	=S12*M12	=S12*N12	=S12*O12	=S12*P12	=S12*Q12	88
13	42828	=S13*L13	=S13*M13	=S13*N13	=S13*O13	=S13*P13	=S13*Q13	196,1
14	42830	=S14*L14	=S14*M14	=S14*N14	=S14*O14	=S14*P14	=S14*Q14	70,4
15	42841	=S15*L15	=S15*M15	=S15*N15	=S15*O15	=S15*P15	=S15*Q15	178,4
16	42845	=S16*L16	=S16*M16	=S16*N16	=S16*O16	=S16*P16	=S16*Q16	68
17	42968	=S17*L17	=S17*M17	=S17*N17	=S17*O17	=S17*P17	=S17*Q17	639,6
18	43006	=S18*L18	=S18*M18	=S18*N18	=S18*O18	=S18*P18	=S18*Q18	483
19	43009	=S19*L19	=S19*M19	=S19*N19	=S19*O19	=S19*P19	=S19*Q19	155,7
20	43175	=S20*L20	=S20*M20	=S20*N20	=S20*O20	=S20*P20	=S20*Q20	288
21	43351	=S21*L21	=S21*M21	=S21*N21	=S21*O21	=S21*P21	=S21*Q21	194,4
22	43448	=S22*L22	=S22*M22	=S22*N22	=S22*O22	=S22*P22	=S22*Q22	81,66
23	43455	=S23*L23	=S23*M23	=S23*N23	=S23*O23	=S23*P23	=S23*Q23	618,6
24	Доставлено кг	=СУММ(C9:Q23)	=СУММ(D9:Q23)	=СУММ(E9:Q23)	=СУММ(F9:Q23)	=СУММ(G9:Q23)	=СУММ(H9:Q23)	=СУММ(I9:Q23)
25	Провозная способность, кг	=C26*L26	=D26*M26	=E26*N26	=F26*O26	=G26*P26	=H26*Q26	=СУММ(C25:H25)
26	Грузоподъемность, кг	4500	2500	2500	1500	1500	1500	=СУММ(C26:H26)
27	Коэффициент использования грузоподъемности	=C24/C26	=D24/D26	=E24/E26	=F24/F26	=G24/G26	=H24/H26	=I24/I25
28	Общие затраты, руб	=СУММПРОИЗВ(L8:Q8;L16:Q16)						

Рис. 1. Исходные данные и табличная модель (начало)

Матрица решения								
Заказы	Номер автомобиля						Сумма	
	1	2	3	4	5	6		
	Тип подвижного состава							
	ГАЗ-3307	ГАЗ-52	ГАЗ-52	Газель	Газель	Газель		
Затраты на аренду, руб.								
		3600	3200	3200	2800	2800	2800	
9	40414							=СУММ(L9:Q9)
10	42815							=СУММ(L10:Q10)
11	42818							=СУММ(L11:Q11)
12	42819							=СУММ(L12:Q12)
13	42828							=СУММ(L13:Q13)
14	42830							=СУММ(L14:Q14)
15	42841							=СУММ(L15:Q15)
16	42845							=СУММ(L16:Q16)
17	42968							=СУММ(L17:Q17)
18	43006							=СУММ(L18:Q18)
19	43009							=СУММ(L19:Q19)
20	43175							=СУММ(L20:Q20)
21	43351							=СУММ(L21:Q21)
22	43448							=СУММ(L22:Q22)
23	43455							=СУММ(L23:Q23)
24	Сумма	=СУММ(L9:L23)	=СУММ(M9:M23)	=СУММ(N9:N23)	=СУММ(O9:O23)	=СУММ(P9:P23)	=СУММ(Q9:Q23)	=СУММ(R9:R23)
25	Ограничение	12	12	12	12	12	12	
26	Выбор,							

Рис. 2. Исходные данные и табличная модель (продолжение)

2. В ячейки **C3:H3** (см. рис. 1) и **L3:Q3** (см. рис. 2) введем порядковые номера автомобилей, которые используются для обслуживания заказов.

3. В ячейки **C6:H6** (см. рис. 1) и **L6:Q6** (см. рис. 2) введем марку/тип подвижного состава, который используется для обслуживания заказов.

4. В ячейки **C8:H8** (см. рис. 1) и **L8:Q8** (см. рис. 2) введем значения затрат на аренду автомобиля, руб./день.

5. В ячейки **B9:B23** (см. рис. 1) введем значение кода (идентификационного номера) клиентов из табл. 1.

6. В ячейки **I9:I23** (см. рис. 1) введем значения веса заказа, кг, из табл. 1.

7. В ячейки **C26:H26** (см. рис.1) введем значения грузоподъемности автомобиля, кг.

8. В ячейки **L25:Q25** (см. рис. 2) введем значения ограничения на максимальное число заказов, которое может быть обслужено одним рейсом.

9. В ячейки **C9** введем формулу: $=\$I9*L9$ и распространим эту формулу на весь диапазон ячеек **C9:H23** (см. рис. 1). Данная формула позволяет рассчитать фактический вес заказа, доставленного данным автомобилем.

10. В ячейку **C25** введем формулу: $=C26*L26$ и распространим эту формулу на диапазон ячеек **C25:H25** (см. рис. 1). Данная формула позволяет рассчитать провозную способность автомобиля, которая равна его грузоподъемности, если данный автомобиль используется или равна 0, если данный автомобиль не используется.

11. В ячейку **C27** введем формулу: $=C24/C26$, которая позволяет рассчитать коэффициент использования грузоподъемности, и распространим эту формулу на диапазон ячеек **C27:H27** (см. рис. 1).

12. В ячейках **R9:R23** суммируются значения переменной $x_{i,j}$ по строкам.

13. В ячейках **L24:Q24** суммируются значения переменной $x_{i,j}$ по столбцам.

14. В ячейку **C29** введем формулу: $=\text{СУММПРОИЗВ}(L8:Q8;L26:Q26)$, которая представляет собой целевую функцию (2) рассматриваемой задачи.

Остальные данные и вычисления, произведенные на рабочем листе, носят вспомогательный характер.

Для дальнейшего решения задачи следует вызвать мастер поиска решения, для чего необходимо выполнить операцию главного меню: **Сервис**→**Поиск решения**.

После появления диалогового окна **Поиск решения** следует выполнить следующие действия:

1. В поле с именем **Установить целевую ячейку:** ввести абсолютный адрес ячейки **\$C\$29**.

2. Для группы **Равной:** выбрать вариант поиска решения - **минимальному значению**.

3. В поле с именем **Изменяя ячейки:** ввести абсолютный адрес диапазона ячеек **\$L\$9:\$Q\$23;\$L\$26:\$Q\$26**.

4. В поле с именем **Ограничения:** ввести ограничения, как показано на рис. 3

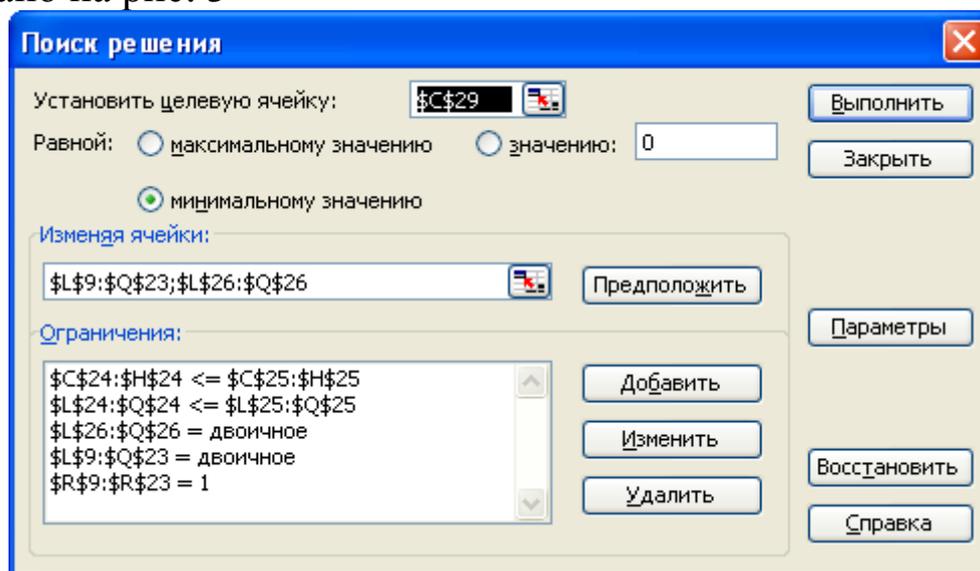


Рис. 3. Окно **Поиск решения** с введенными ограничениями

5. В окне дополнительных параметров поиска решения выбрать отметки **Линейная модель** и **Неотрицательные значения**.

После задания ограничений и целевой функции можно приступить к поиску численного решения, для чего следует нажать кнопку **Выполнить**. Результат выполнения расчетов программой MS Excel представлен на рис. 4 и 5.

Вспомогательная матрица								
№ п/п	Заказы	Номер автомобиля						Вес заказа, кг
		1	2	3	4	5	6	
		Тип подвижного состава						
		ГАЗ-3307	ГАЗ-52	ГАЗ-52	Газель	Газель	Газель	
		Затраты на аренду, руб.						
		3600	3200	3200	2800	2800	2800	
1	40414	0	0	63	0	0	0	62,5
2	42815	0	0	182	0	0	0	181,6
3	42818	0	0	66	0	0	0	66,4
4	42819	0	0	88	0	0	0	88
5	42828	0	0	196	0	0	0	196,1
6	42830	0	0	70	0	0	0	70,4
7	42841	0	0	178	0	0	0	178,4
8	42845	0	0	68	0	0	0	68
9	42968	0	0	640	0	0	0	639,6
10	43006	0	0	483	0	0	0	483
11	43009	0	0	156	0	0	0	155,7
12	43175	0	0	0	288	0	0	288
13	43351	0	0	194	0	0	0	194,4
14	43448	0	0	0	82	0	0	81,66
15	43455	0	0	0	619	0	0	618,6
	Доставлено кг	0	0	2384	988	0	0	3372,36
	Провозная способность, кг	0	0	2500	1500	0	0	4000
	Грузоподъемность, кг	4500	2500	2500	1500	1500	1500	14000
	Коэффициент использования грузоподъемности	0,00	0,00	0,95	0,66	0,00	0,00	0,84
	Общие затраты, руб	6000						

Рис. 4. Результат решения задачи (начало)

Матрица решения							
Заказы	Номер автомобиля						Сумма
	1	2	3	4	5	6	
	Тип подвижного состава						
	ГАЗ-3307	ГАЗ-52	ГАЗ-52	Газель	Газель	Газель	
	Затраты на аренду, руб.						
	3600	3200	3200	2800	2800	2800	
40414	0	0	1	0	0	0	1
42815	0	0	1	0	0	0	1
42818	0	0	1	0	0	0	1
42819	0	0	1	0	0	0	1
42828	0	0	1	0	0	0	1
42830	0	0	1	0	0	0	1
42841	0	0	1	0	0	0	1
42845	0	0	1	0	0	0	1
42968	0	0	1	0	0	0	1
43006	0	0	1	0	0	0	1
43009	0	0	1	0	0	0	1
43175	0	0	0	1	0	0	1
43351	0	0	1	0	0	0	1
43448	0	0	0	1	0	0	1
43455	0	0	0	1	0	0	1
Сумма	0	0	12	3	0	0	15
Ограничение	12	12	12	12	12	12	
Выбор, $У_j$	0	0	1	1	0	0	

Рис. 5. Результат решение задачи (окончание)

Вывод. В представленном решении используются две единицы подвижного состава: ГАЗ-52 грузоподъемностью 2500 кг – 1 ед.; ГАЗ-3302 «Газель» грузоподъемностью 1500 кг – 1 ед. Автомобилем ГАЗ-52 обслуживается 12 заказов, общий вес которых составляет 2384 кг. Автомобилем ГАЗ-3302 «Газель» обслуживается 3 заказа, общий вес которых составляет 988 кг. Коэффициент использования грузоподъемности при выполнении рейса автомобилем ГАЗ-52 составляет 0,95, а при выполнении рейса автомобилем ГАЗ-3302 «Газель» – 0,66. Общие затраты на перевозку при этом минимальны и составляют 6000 руб.

2. Лабораторная работа №2.

«Решение задачи оптимизации городской транспортной сети в MS Excel»

Задание на лабораторную работу

Создать и оптимизировать в Microsoft Excel табличную модель задачи оптимизации городской транспортной сети. Варианты индивидуальных заданий представлены в Приложении 2.

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомиться с теоретическим введением и примером выполнения задания в Microsoft Excel.
2. Получить индивидуальное задание у преподавателя.
3. Построить математическую модель данной задачи.
4. С помощью программы MS Excel создать новую рабочую книгу.
5. На рабочем листе MS Excel создать табличную модель данной задачи, т.е. таблицы исходных данных и результатов решения. В рабочий лист также должны быть занесены расчетные формулы, связывающие переменные модели.
6. Оптимизировать модель, т.е. построить минимальное покрывающее дерево исходного графа, используя средство **Поиск решения**.
7. Проанализировать полученное решение и сделать выводы.

Теоретическое введение

Периодическое открытие новых автобусных маршрутов, связанное с формированием пассажиропотоков в новых жилых и промышленных районах, оказывает существенное влияние на функционирование действующей маршрутной системы автобусного транспорта города. В связи с этим возникает периодическая необходимость уточнения, совершенствования и оптимизации всей маршрутной системы города в целом. Оптимизация маршрутной системы осуществляется с помощью экономико-математических методов планирования, при этом используются два основных методических подхода.

В одном из них рассматривают маршрутную систему в совокупности с наличным парком автобусов и установленными нормативами скорости движения по участкам маршрута. В результате выявляются общие затраты времени пассажиров на по-

ездки и их систематическое сокращение принимается в качестве основного критерия.

При втором подходе маршрутную систему автобусного транспорта города рассматривают как взаимоувязанную конфигурацию прямых транспортных связей между взаимодействующими (тяготеющими) конечными и основными промежуточными пунктами массового передвижения пассажиров на всей территории города. При этом основным критерием является минимум пересадочности. Поскольку маршрутная система базируется на транспортной сети, ее совершенствуют путем выбора лучшего варианта при равных условиях обеспеченности подвижным составом. Таким образом, второй методический подход является более рациональным, отвечающим цели и постановке задачи.

Рассмотрим алгоритм (последовательность действий) ее решения:

- на плане города с границами районов отмечают важнейшие узлы (площади) массового формирования пассажиропотоков; осуществляют ранжирование пассажирообразующих узлов (пунктов) по ожидаемым трудовым и культурно-бытовым поездкам и выявляется их примерный объем (спрос на перевозки);

- определяют первоочередные кратчайшие транспортные связи (маршруты) по перевозке пассажиров в часы пик (к местам приложения труда), а также связи районов с железнодорожными (речным, морским, автомобильным) вокзалами, рынками, станциями метрополитена и др.;

- территорию городских районов разбивают на микрорайоны и устанавливают первоочередные конечные пункты автобусных маршрутов. Выявляют первоочередность прямых транспортных связей между отдельными конечными пунктами, как для трудовых, так и культурно-бытовых поездок;

- устанавливают наиболее важные промежуточные узлы большой сменяемости пассажиров между конечными пунктами основных автобусных маршрутов, производят выбор и обоснование наиболее рациональных вариантов ожидаемой трассы маршрута;

- определяют примерное ожидаемое распределение пассажиропотока по промежуточным узловым пунктам автобусных маршрутов. Составляют примерную матрицу ожидаемых коррес-

понденций пассажиров между конечными и промежуточными пунктами автобусных маршрутов во времени суток. Выявляют наиболее рациональную маршрутную систему автобусного транспорта города, имеющую наибольшую прямолинейность маршрутов и минимальный коэффициент пересадочности.

Конфигурация автобусных линий на плане города образует *автобусную транспортную сеть* города. Автобусная транспортная сеть со всеми пролегающими по ней городскими автобусными маршрутами представляет собой *маршрутную систему*.

Оптимальная, с точки зрения затрат времени пассажиров на передвижение, маршрутная система должна быть проложена по кратчайшей транспортной сети. Задача нахождения кратчайшей транспортной сети сводится к задаче о минимальном покрывающем дереве в графе.

Содержательная постановка задачи заключается в следующем. Необходимо разработать проект транспортной сети, которая должна соединить конечное число микрорайонов в некотором городе. Из экономических соображений требуется, чтобы общая стоимость реализации проекта (общая протяженность сети) была минимальной, при этом должно быть выполнено обязательное условие – из любого микрорайона по данной транспортной сети можно было бы попасть в любой другой микрорайон города.

Дадим математическую постановку задачи о минимальном покрывающем дереве в графе.

Рассмотрим неориентированный связный граф: $G = \{V, E, h\}$, в котором $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ – конечное множество вершин, $E = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$ – конечное множество ребер, h – весовая функция ребер. Для математической постановки задачи удобно обозначить отдельные значения весовой функции ребер через: $c_{ij} = h(e_k)$, где ребро $e_k \in E$ соответствует паре вершин $\{v_i, v_j\} \subset V$. Согласно содержательной постановке рассматриваемой задачи отдельные значения: $c_{ij} = h(\{v_i, v_j\})$ могут интерпретироваться как затраты времени пассажиров на передвижение по участку (i, j) исходного графа.

Стоимость любого подмножества ребер $E_k \subset E$ в графе G равна сумме весов ребер, входящих в это подмножество. Требу-

ется определить такое подмножество ребер, которое образует покрывающее или остовное дерево в графе G и обладает минимальной стоимостью.

Для формальной записи условий задачи о минимальном покрывающем дереве в графе в виде модели булева программирования следует воспользоваться двумя условиями покрывающего дерева в графе:

1. Каждая из вершин исходного графа должна иметь хотя бы одно инцидентное ей ребро, входящее в минимальное покрывающее дерево. В противном случае такие вершины в искомом дереве окажутся изолированными, и, следовательно, дерево не будет являться покрывающим.

2. Общее количество ребер в минимальном покрывающем дереве должно быть в точности равно $n-1$, где n – общее количество вершин исходного графа. Действительно, если некоторое дерево содержит меньше $n-1$ ребер, то оно не будет покрывающим, если же дерево содержит более $n-1$ ребер, то оно будет содержать цикл.

Введем в рассмотрение m булевых переменных, которые для удобства обозначаются через x_{ij} и интерпретируются следующим образом. Переменная $x_{ij} = 1$, если ребро $e_k \in E$, которому соответствует пара вершин $\{v_i, v_j\}$, входит в искомое покрывающее дерево минимальной стоимости, и $x_{ij} = 0$, в противном случае, т.е. если ребро $\{v_i, v_j\}$ не входит в оптимальное покрывающее дерево. Заметим, что количество рассматриваемых булевых переменных конечно и равно m , где m – количество ребер исходного графа.

Тогда математическая постановка задачи о минимальном покрывающем дереве в графе может быть сформулирована следующим образом.

Найти минимум целевой функции

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min ; \quad (4)$$

при ограничениях

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=2}^n x_{1j} \geq 1; \\ \sum_{i=1}^{k-1} x_{ik} + \sum_{j=k+1}^n x_{kj} \geq 1 (\forall k \in \{2, \dots, n-1\}); \\ \sum_{i=1}^{n-1} x_{in} \geq 1; \\ \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n x_{ij} = n-1; \\ x_{ij} \in \{0,1\} (\forall i, j \in \{1,2,\dots,n\}). \end{array} \right. \quad (5)$$

Первые три ограничения в системе ограничений (5) требуют выполнения первого из отмеченных ранее свойств, т.е. в искомом покрывающем дереве не должно быть изолированных вершин. Четвертое ограничение в (5) требует выполнения второго из отмеченных ранее свойств, т.е. искомое покрывающее дерево должно содержать ровно $n-1$ ребер. Наконец, последнее ограничение в (5) требует, чтобы переменные принимали только булевы значения.

Примечание: В исходном графе рассматриваемой задачи не должно быть висячих вершин. Для того чтобы минимальное покрывающее дерево было связным и не имело циклов необходимо указать в качестве ограничений для ребер, связывающих эти вершины, значения $x_{ij} = 1$.

Исходные данные

Решить задачу о минимальном покрывающем дереве в графе, используя в качестве исходных данных граф транспортных связей микрорайонов города, представленный на рис. 6, и матрицу смежности исходного графа, представленную в табл. 2.

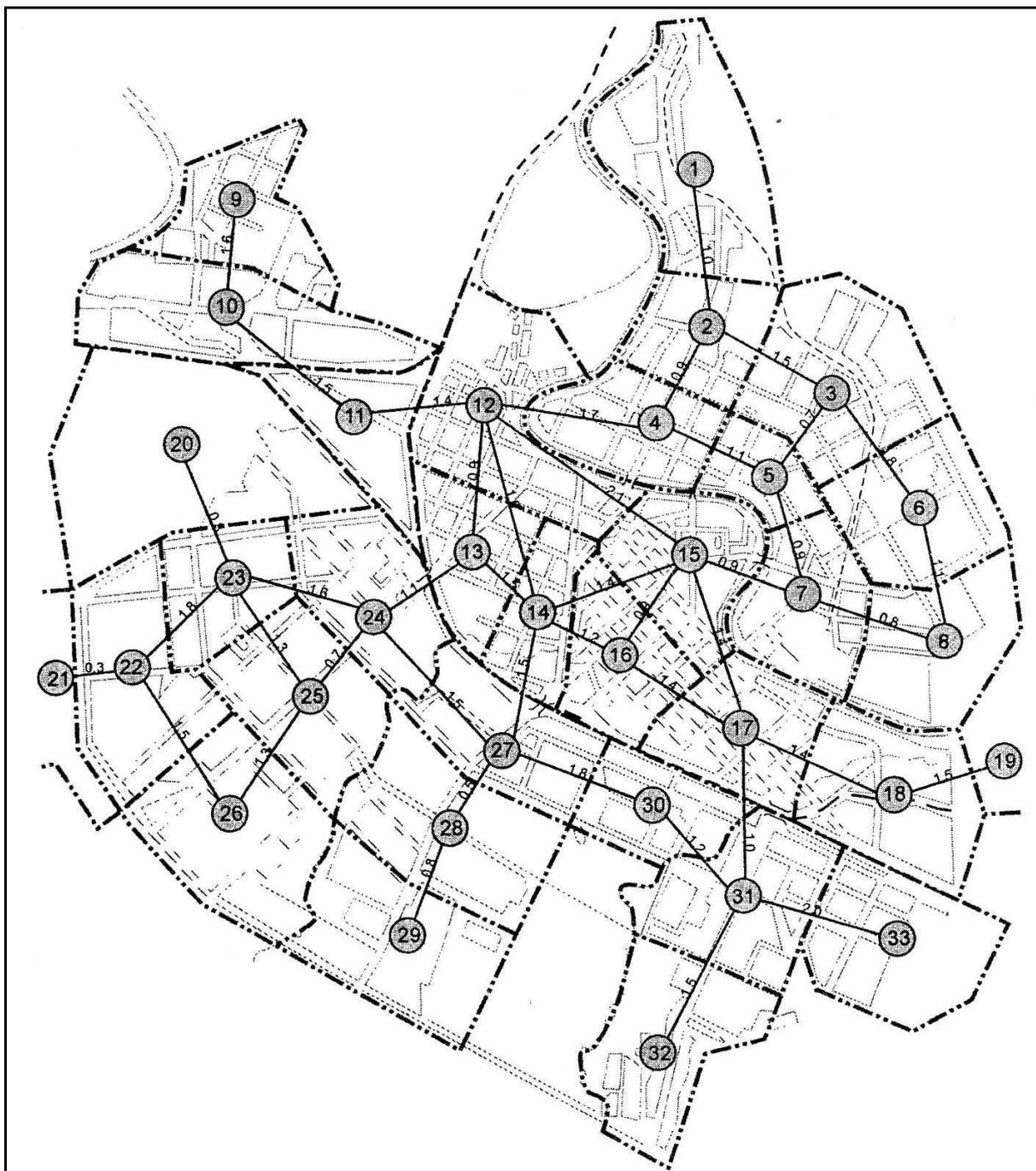


Рис. 6. Граф транспортных связей микрорайонов города

Таблица 2

Матрица смежности исходного графа

	v ₁	v ₂	v ₃	v ₄	v ₅	v ₆	v ₇	v ₈	v ₉	v ₁₀	v ₁₁	v ₁₂	v ₁₃	v ₁₄	v ₁₅	v ₁₆	v ₁₇	v ₁₈	v ₁₉	v ₂₀	v ₂₁	v ₂₂	v ₂₃	v ₂₄	v ₂₅	v ₂₆	v ₂₇	v ₂₈	v ₂₉	v ₃₀	v ₃₁	v ₃₂	v ₃₃							
v ₁	0	1,0	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞							
v ₂		0	1,5	0,9	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞						
v ₃			0	∞	0,7	0,8	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞						
v ₄				0	1,1	∞	∞	∞	∞	∞	∞	1,7	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞						
v ₅					0	∞	0,9	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞					
v ₆						0	∞	1,2	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞					
v ₇							0	0,8	∞	∞	∞	∞	∞	∞	0,9	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞					
v ₈								0	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞					
v ₉									0	1,6	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞					
v ₁₀										0	1,5	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞					
v ₁₁											0	1,4	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞					
v ₁₂												0	0,9	1,6	2,1	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞					
v ₁₃													0	1,5	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	1,1	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞					
v ₁₄														0	1,4	1,2	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞					
v ₁₅															0	0,9	1,4	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞				
v ₁₆																0	1,4	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞				
v ₁₇																	0	1,4	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞				
v ₁₈																		0	1,5	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞			
v ₁₉																			0	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞			
v ₂₀																				0	∞	∞	∞	0,8	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞			
v ₂₁																					0	0,3	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞			
v ₂₂																						0	1,8	∞	∞	1,5	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞			
v ₂₃																								0	1,6	1,3	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞			
v ₂₄																									0	0,7	∞	1,5	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞		
v ₂₅																										0	1,3	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞		
v ₂₆																											0	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞		
v ₂₇																												0	0,5	∞	∞	∞	∞	1,8	∞	∞	∞	∞		
v ₂₈																												0	0,8	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	
v ₂₉																													0	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	
v ₃₀																																		0	1,2	∞	∞	∞		
v ₃₁																																			0	1,5	2,0	∞	∞	
v ₃₂																																				0	∞	∞	∞	
v ₃₃																																						0	∞	∞

Примечание: Матрица смежности является симметричной, т.е. расстояния между пунктами в прямом и обратном направлении равны. Знак «∞» означает отсутствие прямой связи между пунктами.

Пример выполнения задания

Рассчитать кратчайшую транспортную сеть, используя в качестве исходных данных первые 12 пунктов графа транспортных связей микрорайонов города, представленного на рис. 6, и матрицы смежности исходного графа, представленной в табл. 2.

Решение

Для рассматриваемого примера математическая постановка задачи о минимальном покрывающем дереве может быть записана в следующем виде:

$$1,0x_{1,2} + 1,5x_{2,3} + 0,9x_{2,4} + 0,7x_{3,5} + 0,8x_{3,6} + 1,1x_{4,5} + 1,7x_{4,12} + \\ + 0,9x_{5,7} + 1,2x_{6,8} + 0,8x_{7,8} + 1,6x_{9,10} + 1,5x_{10,11} + 1,4x_{11,12} \rightarrow \min, \quad (3)$$

где множество допустимых альтернатив формируется следующей системой ограничений:

$$\left\{ \begin{array}{l} x_{1,2} \geq 1; \\ x_{1,2} + x_{2,3} + x_{2,4} \geq 1; \\ x_{2,3} + x_{3,5} + x_{3,6} \geq 1; \\ x_{2,4} + x_{4,5} + x_{4,12} \geq 1; \\ x_{3,5} + x_{4,5} + x_{5,7} \geq 1; \\ x_{3,6} + x_{6,8} \geq 1; \\ x_{5,7} + x_{7,8} \geq 1; \\ x_{6,8} + x_{7,8} \geq 1; \\ x_{9,10} \geq 1; \\ x_{9,10} + x_{10,11} \geq 1; \\ x_{10,11} + x_{11,12} \geq 1; \\ x_{4,12} + x_{11,12} \geq 1; \\ x_{1,2} + x_{2,3} + x_{2,4} + x_{3,5} + x_{3,6} + x_{4,5} + x_{4,12} + x_{5,7} + x_{6,8} + \\ + x_{7,8} + x_{9,10} + x_{10,11} + x_{11,12} = 11; \\ x_{i,j} \in \{0,1\} (\forall i, j \in \{1, 2, \dots, 12\}). \end{array} \right. \quad (4)$$

Для решения данной задачи с помощью программы MS Excel создадим новую книгу и изменим имя ее первого листа на **Покрывающее дерево**. Для решения поставленной задачи выпол-

ним следующие подготовительные действия.

1. Внесем необходимые надписи в ячейки **A1:F1**, **A11** (рис. 7). Следует отметить, что конкретное содержание этих надписей не оказывает влияние на решение рассматриваемой задачи.

2. В ячейки **A2:A14** введем индексы начальных вершин, а в ячейки **B2:B14** – индексы конечных вершин всех имеющихся ребер исходного графа.

3. В ячейки **C2:C14** введем значения коэффициентов целевой функции (1).

4. В ячейку **F2** введем формулу: $=\text{СУММПРОИЗВ}(C2:C14; D2:D14)$, которая представляет собой целевую функцию (3).

5. В ячейки **E2:E13** введем значение левых частей первых двенадцати ограничений системы ограничений (4) (см. рис. 7).

6. В ячейку **D15** введем формулу: $=\text{СУММ}(D2:D14)$, которая представляет собой левую часть тринадцатого ограничения в системе (4).

Внешний вид рабочего листа MS Excel с исходными данными решения задачи о минимальном покрывающем дереве в графе имеет вид, представленный на рис. 7.

	A	B	C	D	E	F
1	Вершина-начало v(i)	Вершина-конец v(j)	Длина участка c(ij)	Переменные x(ij)	Ограничения	Значение ЦФ
2	1	2	1		=СУММ(D2)	=СУММПРОИЗВ(C2:C14;D2:D14)
3	2	3	1,5		=СУММ(D2:D4)	
4	2	4	0,9		=СУММ(D3:D5:D6)	
5	3	5	0,7		=СУММ(D4:D7:D8)	
6	3	6	0,8		=СУММ(D5:D7:D9)	
7	4	5	1,1		=СУММ(D6:D10)	
8	4	12	1,7		=СУММ(D9:D11)	
9	5	7	0,9		=СУММ(D10:D11)	
10	6	8	1,2		=СУММ(D12)	
11	7	8	0,8		=СУММ(D12:D13)	
12	9	10	1,6		=СУММ(D13:D14)	
13	10	11	1,5		=СУММ(D8:D14)	
14	11	12	1,4			
15	Общее ограничение:			=СУММ(D2:D14)		
16						

Рис. 7. Исходные данные для решения задачи о минимальном покрывающем дереве в графе

Далее следует вызвать мастер поиска решения, для чего необходимо выполнить операцию главного меню **Сервис**→**Поиск решения**.

После появления диалогового окна **Поиск решения** следует выполнить следующие действия:

1. В поле с именем **Установить целевую ячейку**: ввести абсолютный адрес ячейки **\$F\$2**.

2. Для группы **Равной**: выбрать вариант поиска решения – **минимальному значению**.

3. В поле с именем **Изменяя ячейки**: ввести абсолютный адрес ячеек $\$D\$2:\$D\14 .

4. Задать ограничения рассматриваемой задачи, как показано на рис. 8.

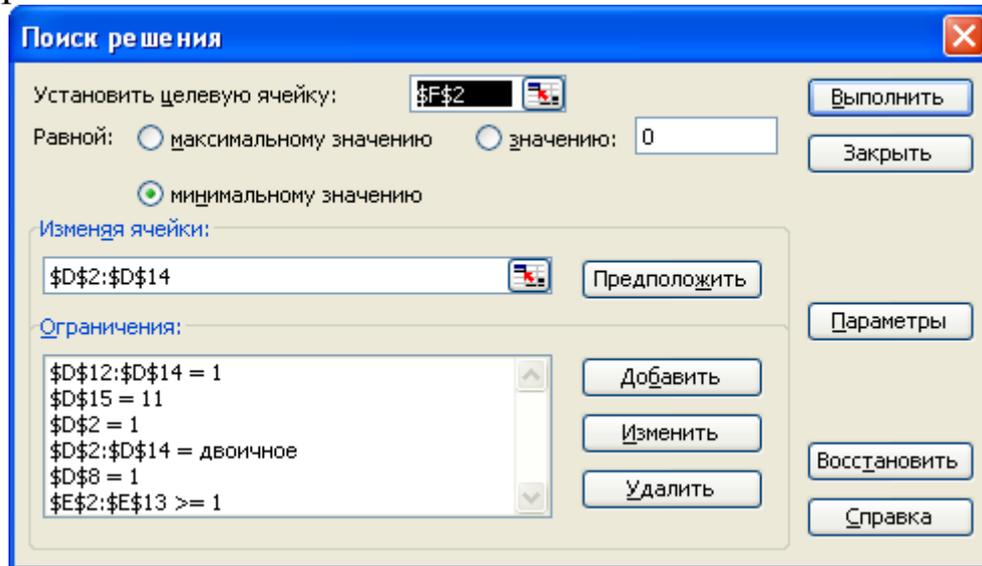


Рис. 8. Переменные и параметры поиска решения

Примечание – В исходном графе рассматриваемой задачи не должно быть висячих вершин. В данном случае имеются висячие вершины – это вершины с номерами 1, 9, 10, 11 и 12. Для того чтобы минимальное покрывающее дерево было связным и не имело циклов необходимо указать в качестве ограничений для ребер, связывающих эти вершины, значения $x_{i,j} = 1$, т.е. $\$D\$2=1$, $\$D\$8=1$, $\$D\$12:\$D\$14=1$ (см. рис. 8).

5. В окне дополнительных параметров поиска решения выбрать отметки **Линейная модель** и **Неотрицательные значения**.

После задания ограничений и целевой функции можно приступить к поиску численного решения. После выполнения расчетов программой MS Excel будет получено количественное решение, представленное на рис. 9.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Вершина-начало v(i)	Вершина-конец v(j)	Длина участка c(ij)	Переменные x(ij)	Ограничения	Значение ЦФ	
2	1	2	1	1	1	12,4	
3	2	3	1,5	0	2		
4	2	4	0,9	1	2		
5	3	5	0,7	1	3		
6	3	6	0,8	1	3		
7	4	5	1,1	1	1		
8	4	12	1,7	1	2		
9	5	7	0,9	1	1		
10	6	8	1,2	0	1		
11	7	8	0,8	1	2		
12	9	10	1,6	1	2		
13	10	11	1,5	1	2		
14	11	12	1,4	1			
15	Общее ограничение:			11			
16							

Рис. 9. Результат решения задачи о минимальном покрывающем дереве в графе

Результатом решения задачи о минимальном покрывающем дереве в графе являются найденные оптимальные значения переменных:

$$x_{1,2} = 1; x_{2,3} = 0; x_{2,4} = 1; x_{3,5} = 1; x_{3,6} = 1; x_{4,5} = 1; x_{4,12} = 1; x_{5,7} = 1;$$

$$x_{6,8} = 0; x_{7,8} = 1; x_{9,10} = 1; x_{10,11} = 1; x_{11,12} = 1.$$

Найденному оптимальному решению соответствует значение целевой функции: $f_{opt} = 12,4$.

На рис. 10 представлено минимальное покрывающее дерево исходного графа.

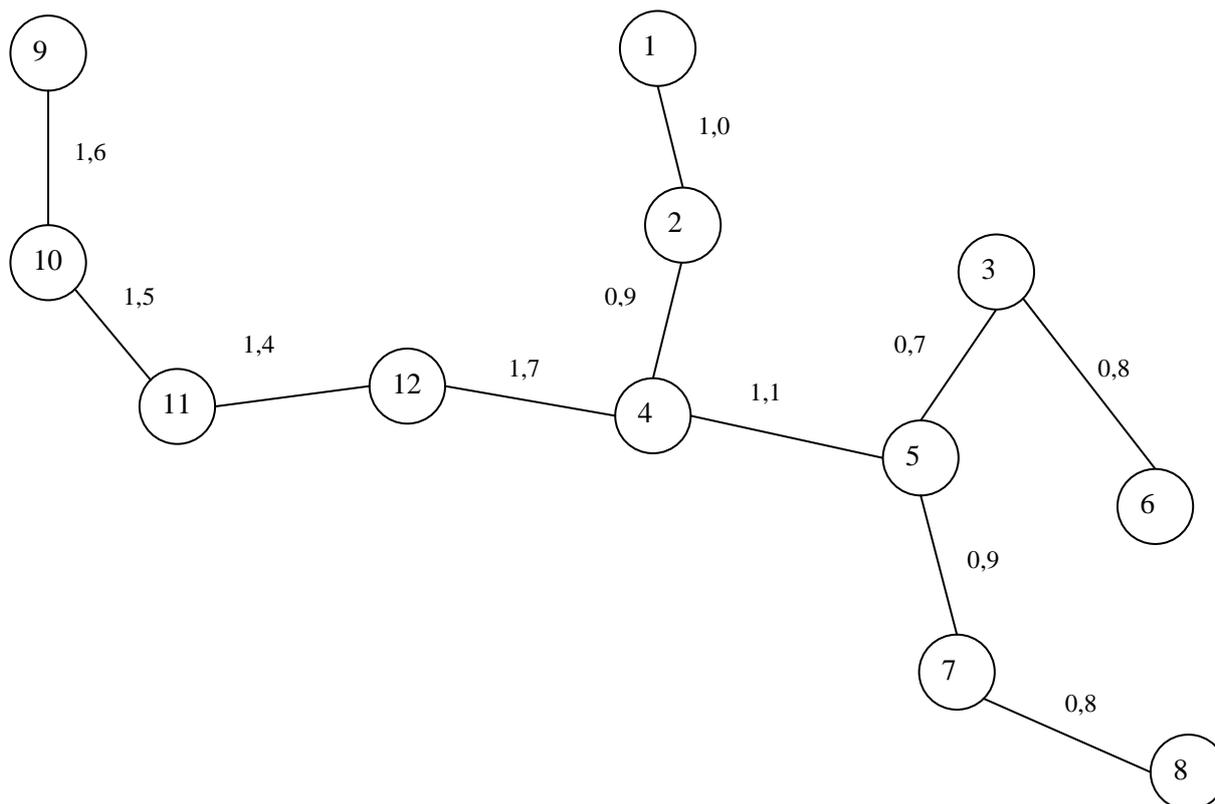


Рис. 10. Минимальное покрывающее дерево исходного графа

Вывод. Найден оптимальный проект транспортной сети, связывающей по кратчайшему расстоянию все микрорайоны города. Суммарная протяженность всех автодорог, по которым пройдут автобусные маршруты, минимальна и составляет 12,4 км.

3. Лабораторная работа №3.

«Планирование маршрутов автотранспортной доставки мелкопартионных грузов с использованием ГИС Деловая карта»

Задание на лабораторную работу

Решить задачу маршрутизации автотранспортной доставки мелкопартионных грузов с использованием ГИС Деловая карта. Варианты индивидуальных заданий представлены в Приложении 3.

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомиться с теоретическим введением и примером выполнения задания с использованием ГИС Деловая карта.
2. Получить индивидуальное задание у преподавателя.

3. Запустить программу Деловая карта. Для запуска программы щелкните по иконе программы, расположенной на Рабочем столе вашего компьютера.
4. Открыть проект «ЭКЗ_Лебедянский.brj».
5. Сформировать таблицу заказов Деловой карты.
6. Сформировать таблицу транспорта Деловой карты.
7. Установить параметры расчета маршрутов, выбрав в качестве критерия минимизации «Время», а в качестве способа предварительной раскладки заказов «Начинать с отдаленных точек». Результаты расчета маршрутов необходимо сохранить в текстовом файле.
8. Рассчитать маршруты доставки.
9. Повторить пункты 7 и 8, указав в качестве способов предварительной раскладки заказов: «Выбирать попутные заказы», «Определять дальние направления» и «Искать самые выгодные совмещения».
10. Импортировать результаты расчета маршрутов, сохраненные в текстовых файлах, в программу MS Excel.
11. На рабочем листе MS Excel рассчитать величину транспортных затрат по каждому варианту маршрутизации (способу предварительной раскладки заказов).
12. Проанализировать полученное решение и сделать выводы.

Теоретическое введение

Задача маршрутизации, предназначенная для определения маршрутов и составления графиков перевозок, вызывает у фирм все больший практический интерес в результате широкого распространения эффективных и относительно дешевых средств программного обеспечения. Благодаря анализу транспортировки – оперативному или стратегическому – многим компаниям, ежедневно занимающимся перевозками, удалось сократить транспортные расходы на 10 – 15%. И поскольку тенденция к развитию мелкопартионных поставок требует от фирм повышения эффективности маршрутов, значение транспортного анализа будет только возрастать.

Программа Деловая карта 4 для WINDOWS-NT (95, 98, 2000, XP) предназначена для расширения баз данных пользователей функциями пространственных сортировок и обработок ин-

формации в интересах решения широкого круга аналитических, транспортных и коммерческих задач.

С помощью программы обеспечивается:

- отображение, масштабирование, просмотр карт;
- работа со справочниками и быстрый поиск необходимой информации;
- подключение баз данных Access, Excel, FoxPro, Paradox, Lotus, dBase, 1С Предприятие для обработки средствами Деловой карты;
- ведение баз данных пользователей с автоматической привязкой объектов к карте;
- пространственная сортировка объектов баз данных по произвольным, создаваемым и редактируемым зонам;
- пространственный отбор объектов баз данных по произвольным создаваемым и редактируемым группам;
- расчет и прокладка маршрутов с учетом загрузки транспорта, времени доставки и других условий в целях оптимального использования автотранспорта для доставки товаров грузов и услуг;
- оперативная калькуляция маршрутов с учетом протяженности, классификации пунктов объезда, зональных коэффициентов;
- наложение на карту отобранной в результате логических и пространственных запросов информации баз данных в необходимом виде представления;
- печати карт и наложенной информации баз данных на принтерах;
- печати отобранной в результате логических и пространственных запросов информации баз данных в произвольных, создаваемых и редактируемых формах (формирование отчетных документов);
- сохранение наложенной графической информации в формате GWGF для передачи в программу GisMaster, обеспечивающей высококачественную печать карты с наложенной графической информацией.

Расчет доставки грузов производится в терминах «заказ», «транспортное средство» (автомобиль), «пункт» и «маршрут».

Заказ – это задание перевезти груз из одной точки в другую. Кроме координат точек погрузки и разгрузки, заказ характеризуется приоритетом, весом, объемом, стоимостью, типом машины, в которой может перевозиться груз, временными ограничениями на начальную и конечную точки, продолжительностью погрузки/разгрузки.

Пункт – постоянная точка, которая может использоваться по имени для обозначения точки загрузки или доставки для заказов или для определения положения машин. При формировании заказов из таблицы клиентов можно, например, задавать для всех заказов в качестве начальной точки местонахождение склада, с которого загружается груз, а в качестве конечной точки каждого заказа – координаты соответствующего клиента. Таким образом, все заказы будут развозиться со склада по адресам клиентов. Если задавать в качестве начальных точек координаты клиентов, а в качестве конечной для всех заказов – один и тот же пункт, то будет осуществляться сбор грузов с разных точек в одну, например, сбор многооборотной тары из магазинов (контейнеров, поддонов, фляг и др.) и возврат ее владельцу.

Транспортное средство – объект, осуществляющий перевозку заказа из точки погрузки в точку разгрузки. Характеризуется типом, грузоподъемностью, максимальной вместимостью по объему, относительной скоростью, исходным местоположением и другими характеристиками.

Маршрут – совокупность заказов, доставляемых одной машиной. Маршрут характеризуется длиной, временем, количеством обработанных заказов, последовательностью объезда точек загрузки и разгрузки заказов.

Целью расчета доставки грузов является *формирование маршрутов*, т.е. распределение заказов по машинам и составление для каждой машины задания, т.е. очередность объезда точек маршрута с указанием, в каких точках какой заказ загружать или разгружать. При этом соблюдаются все требования по времени доставки, максимальной вместимости каждой машины, а выбранные суммарные характеристики всех маршрутов минимизируются. Кроме того, для каждой машины на карте отображается путь, который она должна пройти.

Деловая карта предлагает четыре различных способа оптимизации маршрутов («Начинать с отдаленных точек», «Выбирать попутные заказы», «Определять дальние направления» и «Искать самые выгодные совмещения») по четырем различным критериям (минимизировать: «Время», «Длину», «Длину * Вес» и «Расход топлива»). Таким образом, пользователю предлагается выбор из шестнадцати возможных вариантов маршрутизации. Для того чтобы выбор был обоснованным необходимо провести анализ результатов маршрутизации.

Каждый вариант маршрутизации – это набор маршрутов, обеспечивающих оптимальное решение, в смысле используемого критерия оптимизации, выполнение всех заказов клиентов, с учетом наложенных ограничений. Сложность анализа результатов заключается, во-первых, в том, что в Деловой карте реализованы приближенные методы расчета маршрутов по указанным критериям. Следовательно, ни один из вариантов не дает оптимального решения.

Во-вторых, пользователя, как правило, интересует не оптимизация по указанным критериям, а минимизация транспортных затрат. В свою очередь, транспортные затраты зависят не только от пробега и времени использования подвижного состава, но и от применяемых тарифов, дорожно-эксплуатационных факторов. Таким образом, для принятия решения о выборе того или иного варианта маршрутизации необходимо провести расчет затрат на транспортировку по каждому из вариантов.

Расчет транспортных затрат сложно выполнять средствами Деловой карты, поскольку все расчеты, выполняемые по алгоритмам пользователя, требуют написания специальных программ – скриптов. Возможным вариантом решения данной проблемы является импорт результатов расчета, выполненных средствами Деловой карты, в MS Excel и расчет транспортных затрат в Excel.

Исходные данные

Решить задачу маршрутизации перевозки мелкопартионных грузов используя в качестве исходных данных, представленные в табл. 3, данные о клиентах компании ООО «Экспериментальный консервный завод «Лебедянский» (далее ЭКЗ «Лебедянский»).

Таблица 3

Данные о клиентах компании ЭКЗ «Лебедянский»

№ п/п	Имя/Организация	Город	Улица	Тип	Дом	Вес, кг
1	ООО Народная копейка	Санкт-Петербург	Бухарестская	ул.	23	272
2	ООО Народная копейка	Санкт-Петербург	Ярослава Гашека	ул.	9	207
3	ООО Народная копейка	Санкт-Петербург	Димитрова	ул.	18	220
4	ООО Народная копейка	Санкт-Петербург	Бухарестская	ул.	116	104
5	ООО Народная копейка	Санкт-Петербург	Бабушкина	ул.	9	258
6	ООО Народная копейка	Санкт-Петербург	Прибрежная	ул.	4	142
7	ООО Народная копейка	Санкт-Петербург	Большевиков	пр.	21	272
8	ООО Народная копейка	Санкт-Петербург	Ивановская	ул.	6	155
9	ООО Народная копейка	Санкт-Петербург	Индустриальный	пр.	30	246
10	ООО Народная копейка	Санкт-Петербург	Кондратьевский	пр.	48	246
11	ООО Народная копейка	Санкт-Петербург	Косыгина	пр.	7	103
12	ООО Народная копейка	Санкт-Петербург	Культуры	пр.	22	363
13	ООО Народная копейка	Санкт-Петербург	Средний	пр.	39	207
14	ООО Народная копейка	Санкт-Петербург	Сытнинская	ул.	10	117
15	ООО Народная копейка	Санкт-Петербург	Гаванская	ул.	45	103
16	ООО Магазин Ижорец	Санкт-Петербург	Тельмана	ул.	1	7015
17	ООО Перто-Гост	Колпино	Культуры	ул.	2	116
18	ООО Содексo Евразия	Санкт-Петербург	Волхонское	шосс.	7	708
19	ЗАО МаксМикс	Санкт-Петербург	Ярослава Гашека	ул.	6	686
20	ООО Фирма Омега-97	Санкт-Петербург	Балканская	пл.	5	532
21	ООО Поликом	Санкт-Петербург	Ярослава Гашека	ул.	26	103
22	ООО Елизавета	Санкт-Петербург	Смоленская	ул.	3-5	114
23	ООО Агроторг	Санкт-Петербург	Седова	ул.	11	774
24	ООО Вайлэкс	Санкт-Петербург	Мельничная	ул.	14	3926
25	ООО Веласк	Санкт-Петербург	Обуховской Обороны	пр.	75	177
26	ООО Марс	Санкт-Петербург	Ивановская	ул.	9/75	78
27	НОУ Д и ПСО Праздник+	Санкт-Петербург	Октябрьская	наб.	48	167
28	ООО ТКФ Охта	Санкт-Петербург	Большая Пороховская	ул.	29	116
29	ООО Полус	Санкт-Петербург	Среднеохтинский	пр.	51/13	169
30	ООО Радуга	Санкт-Петербург	Пискаревский	пр.	40	271
31	ООО Система быстрого питания Подорожник	Санкт-Петербург	Свердловская	наб.	60	238
32	ООО Фирма Омега-97	Санкт-Петербург	Гражданский	пр.	41	628
33	ООО Фирма Омега-97	Санкт-Петербург	Просвещения	пр.	20	400
34	ООО Магазин 10	Санкт-Петербург	Культуры	пр.	22	440
35	ЧШ Шиакха	Санкт-Петербург	Светлановский	пр.	117	154
36	ЧП Никольская	Санкт-Петербург	Луначарского	пр.	44	185
37	РОСТ Детский сад НОУ	Санкт-Петербург	Болотная	ул.	2	37

Продолжение табл. 3

№ п/п	Имя/Организация	Город	Улица	Тип	Дом	Вес, кг
38	ЧП Цурцумиа	Санкт-Петербург	Лесной	пр.	75	226
39	РОСТ Детский сад НОУ	Санкт-Петербург	Новороссийская	ул.	32	104
40	ООО Сириус-77	Санкт-Петербург	Просвещения	пр.	87	371
41	ЧП Шиакха	Санкт-Петербург	Луначарского	пр.	72	95
42	ЧП Жерделев П.В.	Санкт-Петербург	Учебный	пер.	5	193
43	ООО Омега	Санкт-Петербург	Кондратьевский	пр.	60	149
44	ЧП Ромашко П.Б.	Санкт-Петербург	Калинининская база	ул.		128
45	ООО Стайл	Санкт-Петербург	Коломяжский	пр.	13	1414
46	ООО Нева	Санкт-Петербург	Шафировский	пр.	8	3334
47	ЧП Шишигина И.Л.	Санкт-Петербург	Непокоренных	ул.	33	56
48	ООО Фирма Омега-97	Санкт-Петербург	Савушкина	ул.	143	608
49	ООО Венец	Санкт-Петербург	Репищева	ул.	14	12850
50	ООО Юлия	Санкт-Петербург	Серебристый	бул.	22	200
51	ООО Фирма Омега-97	Санкт-Петербург	Савушкина	ул.	143	659
52	ЧП Мельник В.А.	Санкт-Петербург	Щербакова	ул.	6	244
53	ООО Грузтранс	Санкт-Петербург	Коломяжский	пр.	13	4516
54	ООО Фирма Омега-97	Санкт-Петербург	Кораблестроителей	ул.	31	395
55	ООО Радуга	Санкт-Петербург	Каменноостровский	пр.	40	65
56	ООО Фирма Омега-97	Санкт-Петербург	Средний	пр.	36	789
57	ЧП Ромашко П.Б.	Санкт-Петербург	Кронверкская	ул.	13	75
58	ЧП Смирнова Д.Б.	Санкт-Петербург	Малый	пр.	75	168
59	ЧП Бурова	Санкт-Петербург	Малый	пр.	45	64
60	ЧП Шиакха	Санкт-Петербург	Бойцова	пер.	4	103
61	ЧП Шиакха	Санкт-Петербург	Невский	пр.	60	130
62	ООО Адмирал	Санкт-Петербург	Реки Фонтанки	наб.	91	161
63	ЧП Зима	Санкт-Петербург	Малодетскосельский	пр.	10	143
64	ООО ОРТ КРИГ-Грант	Санкт-Петербург	Реки Фонтанки	наб.	96	103
65	СПб гос. университет	Санкт-Петербург	Радищева	ул.	39	126
66	СПб гос. университет	Санкт-Петербург	Чайковского	ул.	62	201
67	РГТУ им. А.И. Герцена	Санкт-Петербург	Реки Мойки	наб.	48	289
68	ООО Тюльпан	Санкт-Петербург	Реки Мойки	наб.	17	115
69	ООО Купец	Санкт-Петербург	Гороховая	ул.	52	193
70	ООО Вента	Санкт-Петербург	Бронницкая	ул.	16/17	97
71	ООО СаПеНик	Санкт-Петербург	Бакунина	пр.	6	2330
72	ООО Фирма СВ	Санкт-Петербург	Кузнечный	пер.	1	258
73	ООО Мясной Дом	Санкт-Петербург	Марата	ул.	27	284
74	ЧП Мочалов	Санкт-Петербург	Ветеранов	пр.	120	1736
75	ЗАО МаксМикс	Санкт-Петербург	Ветеранов	пр.	89	1358
76	ООО ТД Интерторг	Санкт-Петербург	Ветеранов	пр.	52/1	710

Окончание табл. 3

№ п/п	Имя/Организация	Город	Улица	Тип	Дом	Вес, кг
77	ООО Дельта-Строй	Санкт-Петербург	Дачный	пр.	9	192
78	ООО Дельта-Строй	Санкт-Петербург	Ленинский	пр.	118	253
79	ООО Дельта-Строй	Санкт-Петербург	Новаторов	бул.	112	244
80	ЧП Возакова Г.А.	Санкт-Петербург	Ленинский	пр.	67	103

Примечание – В табл. 3 в графу «№ п/п» занесен порядковый номер клиента в таблице клиентов Деловой карты. Порядковый номер клиента может не совпадать с идентификационным номером, занесенным в индексное поле данной таблицы.

Обслуживание клиентов в Санкт-Петербурге компания ЭКЗ «Лебедянский» осуществляет со склада, расположенного по адресу Софийская ул. 95. Фирма не располагает собственным парком подвижного состава, а использует транспортные средства различных перевозчиков, с которыми заключены договора на перевозку.

Стоимость аренды транспортного средства зависит от его типа и грузоподъемности, а также от времени его использования:

- ГАЗ-3302 («Газель»), до 1500 кг, стоимость 220 руб./час;
- Mercedes-Benz Sprinter, до 2500 кг., стоимость 300 руб./час;
- ЗИЛ-4331, до 5000 кг, стоимость 330 руб./час;
- тягач с полуприцепом (20 фут. контейнер), до 10000 кг, стоимость 320 руб./час;
- тягач с полуприцепом (40 фут. контейнер), до 15000 кг, стоимость 380 руб./час;
- тягач с полуприцепом (тент 82 м³), до 20000 кг, стоимость 420 руб./час.

Тягачи с полуприцепами могут быть использованы только для перевозки больших заказов, общий вес которых превышает 5000 кг.

На основании договора с перевозчиками компания оплачивает каждый час работы автомобиля, при условии, что время его работы составило не менее 4-х часов.

Клиенты предъявляют определенные требования по времени доставки товара, которые должны быть учтены в расчетах. Кроме того, заказы не могут быть разбиты между двумя или более грузоземщиками и каждый клиент может быть посещен только один раз.

Задача состоит в составлении маршрутов таким образом, чтобы все ограничения были соблюдены при минимальных общих затратах.

Пример выполнения задания

Решить задачу маршрутизации автотранспортной доставки мелкопартионных грузов с помощью Деловой карты, используя в качестве исходных данных данные о клиентах компании ЭКЗ «Лебедянский», представленные в табл. 3.

Решение

Запустите программу Деловая карта, для чего щелкните по иконе программы Деловая карта, созданной при инсталляции, которая расположена на Рабочем столе вашего компьютера.

Откройте проект «ЭКЗ_Лебедянский.brj». Для этого необходимо открыть закладку «Параметры», щелкнуть мышкой по кнопке **Загрузить проект** и в открывшемся окне выбора файла проекта выбрать проект «ЭКЗ_Лебедянский.brj».

Сформируйте таблицу заказов Деловой карты. Для формирования таблицы заказов необходимо выполнить следующие действия.

1. Откройте закладку «Заказы» панели «Расчет доставки грузов» Деловой карты.

2. Щелкните по кнопке **Куда** на панели инструментов и в появившемся списке выберите пункт «Заполнить из выборки клиентов».

3. Щелкните по кнопке **Откуда** на панели инструментов и в появившемся списке выберите пункт «Склад».

Сформированная таблица заказов представлена на рис. 11. Кроме информации об адресах поставщиков (в данном случае единственного поставщика – склада) и потребителей, а также суммарного веса (или объема) каждого заказа, данная таблица содержит поля, в которые заносятся ограничения по каждому конкретному заказу: «Тип машины», «Загрузить после», «Загрузить до», «Разгрузить после», «Разгрузить до», «Продолжительность погрузки», «Продолжительность разгрузки» и ряд других. Кроме того, следующие поля используются для сохранения результата расчета в таблице заказов: «Время загрузки», «Время разгрузки», «Номер машины», «Номер точки загрузки», «Номер точки разгрузки».

Номер заказа	Откуда	Адрес загрузки	Вес груза	Куда	Адрес разгрузки	Разгрузить до
1	Склад	Софийская ул. 95	272	ООО Народная копейка	Бухарестская ул. 23 кор.	17:00
2	Склад	Софийская ул. 95	207	ООО Народная копейка	Ярослава Гашека ул. 9	17:00
3	Склад	Софийская ул. 95	220	ООО Народная копейка	Димитрова ул. 18	17:00
4	Склад	Софийская ул. 95	104	ООО Народная копейка	Бухарестская ул. 116 ко	17:00
5	Склад	Софийская ул. 95	258	ООО Народная копейка	Бабушкина ул. 9	17:00
6	Склад	Софийская ул. 95	142	ООО Народная копейка	Прибрежная ул. 4	17:00
7	Склад	Софийская ул. 95	272	ООО Народная копейка	Большевиков пр. 21	17:00
8	Склад	Софийская ул. 95	155	ООО Народная копейка	Ивановская ул. 6	17:00
9	Склад	Софийская ул. 95	246	ООО Народная копейка	Индустриальный пр. 30	17:00
10	Склад	Софийская ул. 95	246	ООО Народная копейка	Кондратьевский пр. 48	17:00
11	Склад	Софийская ул. 95	103	ООО Народная копейка	Косыгина пр. 7 кор. 1	17:00
12	Склад	Софийская ул. 95	363	ООО Народная копейка	Культуры пр. 22 кор. 1	17:00
13	Склад	Софийская ул. 95	207	ООО Народная копейка	Средний пр. 39	17:00
14	Склад	Софийская ул. 95	117	ООО Народная копейка	Сытнинская ул. 10	17:00
15	Склад	Софийская ул. 95	103	ООО Народная копейка	Гаванская ул. 45	17:00
16	Склад	Софийская ул. 95	7015	ООО Магазин Ижорец	Тельмана ул. 1	17:00
17	Склад	Софийская ул. 95	116	ООО Перго-Гост	Колпино Культуры ул. 2	17:00
18	Склад	Софийская ул. 95	708	ООО Содексо Евразия	Волхонское шоссе. 7	17:00
19	Склад	Софийская ул. 95	686	ЗАО МаксМикс	Ярослава Гашека ул. 6	17:00
20	Склад	Софийская ул. 95	532	ООО Фирма Омега-97	Балканская пл. 5	17:00
21	Склад	Софийская ул. 95	103	ООО Поликом	Ярослава Гашека ул. 26	17:00
22	Склад	Софийская ул. 95	114	ООО Елизавета	Смоленская ул. 3	17:00
23	Склад	Софийская ул. 95	774	ООО Агроторг	Седова ул. 11	17:00
24	Склад	Софийская ул. 95	3926	ООО Вайлэкс	Мельничная ул. 14	17:00
25	Склад	Софийская ул. 95	177	ООО Веласк	Обуховской Обороны пр.	17:00
26	Склад	Софийская ул. 95	78	ООО Марс	Ивановская ул. 9	17:00
27	Склад	Софийская ул. 95	167	НОУ Д и ПСО Праздник	Октябрьская наб. 48	17:00
28	Склад	Софийская ул. 95	116	ООО ТКФ Охта	Большая Пороховская у	17:00
29	Склад	Софийская ул. 95	169	ООО Полюс	Среднеохтинский пр. 51	17:00
30	Склад	Софийская ул. 95	271	ООО Радуга	Пискаревский пр. 40	17:00
31	Склад	Софийская ул. 95	238	ООО Система быстрого г	Свердловская наб. 60	17:00
32	Склад	Софийская ул. 95	628	ООО Фирма Омега-97	Гражданский пр. 41	17:00
33	Склад	Софийская ул. 95	400	ООО Фирма Омега-97	Просвещения пр. 20	17:00
34	Склад	Софийская ул. 95	440	ООО Магазин 10	Культуры пр. 22 кор. 1	17:00
35	Склад	Софийская ул. 95	154	ЧШ Шиакха	Светлановский пр. 117	17:00
36	Склад	Софийская ул. 95	185	ЧП Никольская	Луначарского пр. 44	17:00
37	Склад	Софийская ул. 95	37	РОСТ Детский сад НОУ	1 БОЛОТНАЯ Болотная	17:00
38	Склад	Софийская ул. 95	226	ЧП Цурцумиа	Лесной пр. 75	17:00
39	Склад	Софийская ул. 95	104	РОСТ Детский сад НОУ	Новороссийская ул. 32	17:00
40	Склад	Софийская ул. 95	371	ООО Сириус-77	Просвещения пр. 87	17:00
41	Склад	Софийская ул. 95	95	ЧП Шиакха	Луначарского пр. 72	17:00
42	Склад	Софийская ул. 95	193	ЧП Жерделев П.В.	Учебный пер. 5	17:00
43	Склад	Софийская ул. 95	149	ООО Омега	Кондратьевский пр. 60	17:00

Рис. 11. Таблица заказов Деловой карты (фрагмент)

Сформируем таблицу транспорта Деловой карты. Данная таблица содержит две группы полей. Поля первой группы: «Номер», «Описание», «Грузоподъемность», «Максим. кол-во заказов», «Тип машины», «Использовать», «Категория транспорта», «Пропуска, лицензии» и ряд других, предназначены для идентификации транспортного средства и введения ограничений по его использованию. Поля второй группы: «Начало маршрута», «Ко-

нец маршрута, км», «Продолжительность маршрута, час», «Колво заказов», «Расход топлива, л», «Описание маршрута», предназначены для сохранения результатов расчета и заполняются автоматически по результатам расчета доставки грузов.

На рис. 12 представлена таблица транспорта Деловой карты, сформированная для рассматриваемого примера. В рассматриваемом примере используются все 30 единиц подвижного состава. Максимальное количество заказов, перевозимых автомобилем за один маршрут, составляет: 23 заказа для транспортных средств грузоподъемностью от 1500 до 5000 кг, 2 заказа для транспортных средств грузоподъемностью 10000 кг и выше.

Номер	Описание	Грузоподъемность	Максим. колво заказов	Тип машины	Использовать	Категория транспорта	Пропуска, лицензии
1	ГАЗ-3302	1500	23	бортовая	Да	3.5	Легковой и грузовой
2	ГАЗ-3302	1500	23	бортовая	Да	3.5	Легковой и грузовой
3	ГАЗ-3302	1500	23	бортовая	Да	3.5	Легковой и грузовой
4	ГАЗ-3302	1500	23	бортовая	Да	3.5	Легковой и грузовой
5	ГАЗ-3302	1500	23	бортовая	Да	3.5	Легковой и грузовой
6	ГАЗ-3302	1500	23	бортовая	Да	3.5	Легковой и грузовой
7	ГАЗ-3302	1500	23	бортовая	Да	3.5	Легковой и грузовой
8	ГАЗ-3302	1500	23	бортовая	Да	3.5	Легковой и грузовой
9	ГАЗ-3302	1500	23	бортовая	Да	3.5	Легковой и грузовой
10	ГАЗ-3302	1500	23	бортовая	Да	3.5	Легковой и грузовой
11	MB Sprinter	2500	23	бортовая	Да	7	Грузовой с пропуском
12	MB Sprinter	2500	23	бортовая	Да	7	Грузовой с пропуском
13	MB Sprinter	2500	23	бортовая	Да	7	Грузовой с пропуском
14	MB Sprinter	2500	23	бортовая	Да	7	Грузовой с пропуском
15	MB Sprinter	2500	23	бортовая	Да	7	Грузовой с пропуском
16	ЗИЛ-4331	5000	23	бортовая	Да	7.85	Грузовой с пропуском
17	ЗИЛ-4331	5000	23	бортовая	Да	7.85	Грузовой с пропуском
18	ЗИЛ-4331	5000	23	бортовая	Да	7.85	Грузовой с пропуском
19	ЗИЛ-4331	5000	23	бортовая	Да	7.85	Грузовой с пропуском
20	ЗИЛ-4331	5000	23	бортовая	Да	7.85	Грузовой с пропуском
21	20 фуг. конт.	10000	2	тягач	Да	7.85	Грузовой с пропуском
22	20 фуг. конт.	10000	2	тягач	Да	19	Грузовой с пропуском
23	20 фуг. конт.	10000	2	тягач	Да	19	Грузовой с пропуском
24	20 фуг. конт.	10000	2	тягач	Да	19	Грузовой с пропуском
25	20 фуг. конт.	10000	2	тягач	Да	19	Грузовой с пропуском
26	40 фуг. конт.	15000	2	тягач	Да	38	Грузовой с пропуском
27	40 фуг. конт.	15000	2	тягач	Да	38	Грузовой с пропуском
28	40 фуг. конт.	15000	2	тягач	Да	38	Грузовой с пропуском
29	Тент 82 м3	20000	2	тягач	Да	38	Грузовой с пропуском
30	Тент 82 м3	20000	2	тягач	Да	38	Грузовой с пропуском

Рис. 12. Таблица транспорта Деловой карты

Откройте закладку «Параметры» Деловой карты и установите параметры расчета маршрутов. Как было отмечено выше, Деловая карта обеспечивает выбор одного из четырех способов предварительного расчета маршрутов. Это алгоритмы, которым в соответствии с их свойствами присвоены следующие названия – «Начинать с отдаленных точек», «Выбирать попутные заказы», «Определять дальние направления» и «Искать самые выгодные совмещения». После предварительной раскладки заказов по ма-

шинам и оптимизации порядка их следования осуществляется дополнительная оптимизация путем попыток переноса заказов с одной машины на другую. Установим в качестве параметра оптимизации – минимизировать «Время» и воспользуемся возможностями всех четырех алгоритмов оптимизации для формирования набора допустимых маршрутов.

Для получения первого возможного решения задачи маршрутизации установим в качестве способа предварительного расчета маршрутов – «Начинать с отдаленных точек», как показано на рис. 13. Результаты расчета маршрутов необходимо сохранить в файле, данном случае «ЛебедянскийМаршрутизацияVar1.txt». Аналогично, будем сохранять в файлах результаты решения задачи маршрутизации, полученные другими способами, предлагаемыми Деловой картой.

Заказы	Транспорт	Пункты	Параметры	Маршруты
Минимизировать:	Время			
Предварительная раскладка	Начинать с отдаленных точек			
Коэффициент скорости	Начинать с отдаленных точек			
Макс. длина маршрута, км.	Выбирать попутные заказы			
Макс. продолжительность, ч.	Определять дальние направления			
Начало работы	Искать самые выгодные совмещения			
Конец работы	Восстановить по номерам точек			
Дата	7:00			
Длительность погрузки, мин.	18:00			
Длительность разгрузки, мин.	10.0			
Ширина проезжей части	20.0			
Высота проезжей части				
Категория транспорта	Грузовой с пропуском 1-й категории			
Маршрут в таблице транспорта	Сохранять без списка улиц			
Сохранение маршрутов в файле	Сохранять без списка улиц			
Имя файла для сохранения	C:\BUSMAP\PROJECTS\ЛебедянскийМаршрутизацияVar1.txt			
<input checked="" type="checkbox"/>	Разгрузка в порядке, обратном загрузке			
<input checked="" type="checkbox"/>	Включать путь из гаража до первой точки			
<input checked="" type="checkbox"/>	Включать путь от последней точки до гаража			
<input checked="" type="checkbox"/>	Заезжать в каждую точку только один раз			

Рис. 13. Закладка «Параметры» Деловой карты

Откройте закладку «Маршруты» Деловой карты и запустите процедуру расчета, щелкнув кнопкой мыши по инструменту «Рассчитать маршруты» Результаты расчета маршрутов представлены на рис. 14.

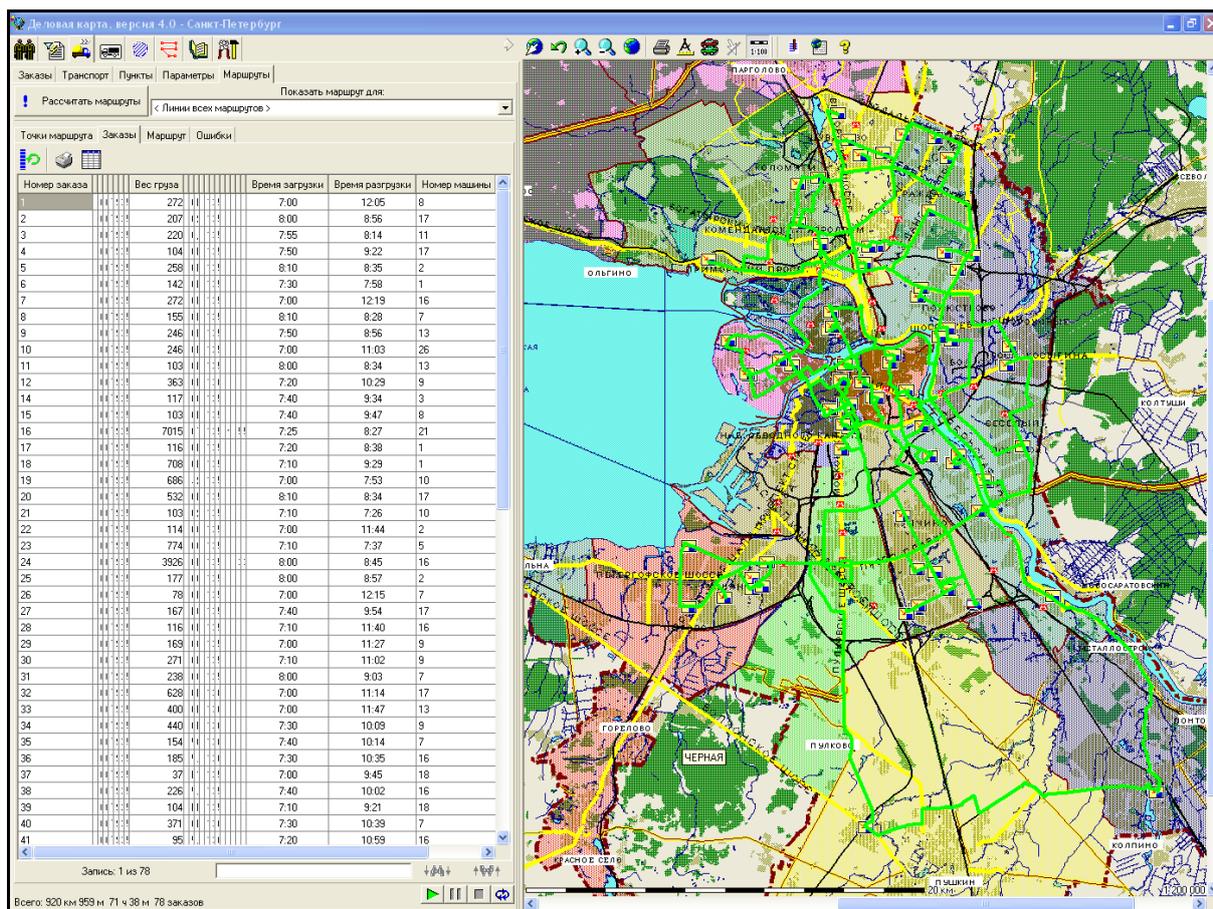


Рис. 14. Первое возможное решение задачи маршрутизации («Начинать с отдаленных точек»)

Таким образом, первое возможное решение задачи маршрутизации дает нам 17 маршрутов, которыми обслужено 78 заказов, общей протяженностью 920 км 959 м и общими затратами времени 71 час 38 минут.

Следует отметить, что заказы номер 13 и 56 не обслужены в данном варианте маршрутизации. Поэтому необходимо сформировать дополнительный маршрут, включающий в качестве начального и конечного пунктов склад и два пункта разгрузки заказов номер 13 и 56. Поскольку суммарный вес заказов составляет $207+789=996$ кг, то целесообразно для перевозки этих грузов использовать автомобиль ГАЗ-3302 («Газель»), грузоподъемностью 1500 кг. Для проведения расчета дополнительного маршрута необходимо проанализировать данные, представленные в таблице транспорта Деловой карты, после расчета по первому варианту маршрутизации «Начинать с отдаленных точек». В этом варианте не используется автомобиль ГАЗ-3302 («Газель»), имеющий но-

мер 6 в таблице транспорта. На эту единицу подвижного состава запланируем обслуживание заказов номер 13 и 56.

Планирование производится следующим образом:

1) открываем закладку «Параметры», где в качестве способа предварительной раскладки заказов по маршрутам выбираем пункт «Восстановить по номерам точек» (см. рис. 13) и сохраняем результаты расчетов в файле;

2) переходим на закладку «Заказы», где в таблицу заказов для 13 и 56 заказа заносим в поля «Номер машины», «Номер точки загрузки» и «Номер точки разгрузки» данные, как показано на рис. 15. Номера точек загрузки/разгрузки заказов, относящиеся к одной машине должны быть все разные, нумерация начинается с 1. Таким образом, в поля таблицы заказов «Номер точки загрузки» и «Номер точки разгрузки» заносится последовательность операций с грузом для каждой конкретной машины. В рассмотренном примере загрузка заказа номер 13 является первой операцией, а разгрузка данного заказа – четвертой операцией (см. рис. 15, верхняя строка таблицы заказов);

3) открываем закладку «Маршруты» и запускаем процедуру расчета.

Результаты расчета проложенного «вручную» дополнительного маршрута представлены на рис. 16.

Заказы		Транспорт		Пункты		Параметры		Маршруты	
Откуда		Куда		Очистить		Скрыты...			
Номер заказа	Вес груза	Номер машины	Номер точки загрузки	Номер точки разгрузки					
13	207	6	1	4					
14	117	3	5	10					
15	103	8	5	10					
16	7015	21	2	3					
17	116	1	3	6					
18	708	1	2	7					
19	686	10	1	4					
20	532	17	6	7					
21	103	10	2	3					
22	114	2	1	16					
23	774	5	2	3					
24	3926	16	7	8					
25	177	2	7	10					
26	78	7	1	16					
27	167	17	3	10					
28	116	16	2	13					
29	169	9	1	12					
30	271	9	2	11					
31	238	7	7	10					
32	628	17	1	12					
33	400	13	1	14					
34	440	9	4	9					
35	154	7	5	12					
36	185	16	4	11					
37	37	18	1	6					
38	226	16	5	10					
39	104	18	2	5					
40	371	7	4	13					
41	95	16	3	12					
42	193	7	6	11					
43	149	16	6	9					
44	128	7	3	14					
45	1414	21	1	4					
46	3334	17	2	11					
47	56	7	2	15					
48	608	13	4	11					
49	12850	26	2	3					
50	200	13	3	12					
51	659	13	5	10					
52	244	13	2	13					
53	4516	18	3	4					
54	395	8	4	11					
55	65	3	7	8					
56	789	6	2	3					

Запись: 56 из 13

Рис. 15. Таблицы заказов Деловой карты (прокладка дополнительного маршрута «вручную»)

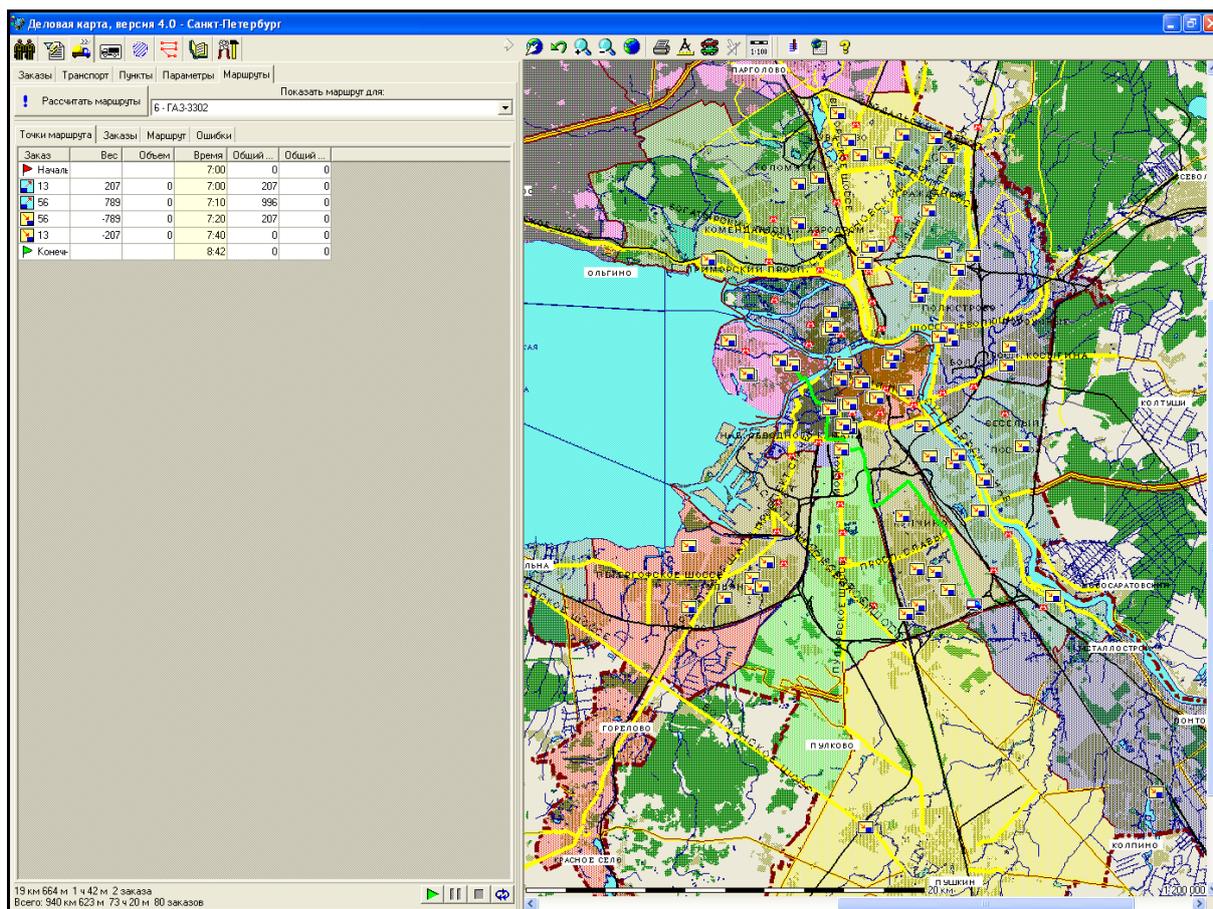


Рис. 16. Проложенный «вручную» дополнительный маршрут

Таким образом, сформирован маршрут протяженностью 19 км 664 м, обслуживающий 2 заказа за время 1 час 42 минуты. Следует также отметить, что теперь по первому варианту маршрутизации обслужены все 80 пунктов, пробег подвижного состава на маршрутах составит 940 км 73 м, а общее время обслуживания – 73 часа 20 минут. Результат решения задачи маршрутизации по первому варианту «Начинать с отдаленных точек», сохраненные в файле «ЛебедянскийМаршрутизацияVar1.txt», представлены в Приложении 4.

Рассчитаем маршруты, указав в качестве способов предварительной раскладки заказов: «Выбирать попутные заказы», «Определять дальние направления» и «Искать самые выгодные совмещения». Результаты маршрутизации следует сохранить в текстовых файлах, указав в качестве имени файлов, соответственно, «ЛебедянскийМаршрутизацияVar2.txt», «ЛебедянскийМаршрутизацияVar3.txt» и «ЛебедянскийМаршрутизацияVar4.txt».

Рассчитаем затраты по каждому из вариантов маршрутизации. Для этого необходимо выполнить следующие подготовительные действия.

1. Откроем новую рабочую книгу MS Excel и изменим имя первого листа на **Исходные данные**.

2. Откроем текстовые файлы, содержащие результаты маршрутизации.

3. Скопируем данные, содержащиеся в текстовых файлах, и вставим их в рабочий лист MS Excel с именем **Исходные данные**. Результат выполнения этих действий представлен на рис. 17.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Минимизировать Время						Минимизировать Время			
2	Начинать с отдаленных точек						Выбирать попутные заказы			
3	[1] 74.906 3:48						[1] 63.691 4:49			
4	V	7:00	Склад		0		V	7:00	Склад	
5	L	7:00	78 Софийская ул. 95		0		L	7:00	48 Софийская ул. 95	
6	L	7:10	18 Софийская ул. 95		0		L	7:10	66 Софийская ул. 95	
7	L	7:20	17 Софийская ул. 95		0		L	7:20	65 Софийская ул. 95	
8	L	7:30	6 Софийская ул. 95		12514		L	7:30	3 Софийская ул. 95	
9	U	7:58	6 Прибрежная ул. 4		13470		L	7:40	4 Софийская ул. 95	
10	U	8:38	17 Колпино Культуры ул. 2		18082		L	7:50	21 Софийская ул. 95	
11	U	9:29	18 Волхонское шосс. 7		17210		U	8:06	21 Ярослава Гашека ул. 26 кор.	
12	U	10:09	78 Ленинский пр. 118		13630		U	8:29	4 Бухарестская ул. 116 кор. 1	
13	E	10:48	Склад		0		U	8:51	3 Димитрова ул. 18	
14							U	9:40	65 Радищева ул. 39	
15	[2] 40.958 5:26						[2] 11.682 1:60			
16	V	7:00	Склад		0		U	10:44	48 Савушкина ул. 143 кор. 2	
17	L	7:00	22 Софийская ул. 95		0		E	11:48	Склад	
18	L	7:10	63 Софийская ул. 95		0					
19	L	7:20	70 Софийская ул. 95		0					
20	L	7:30	64 Софийская ул. 95		0		V	7:00	Склад	
21	L	7:40	62 Софийская ул. 95		0		L	7:00	20 Софийская ул. 95	
22	L	7:50	67 Софийская ул. 95		0		L	7:10	2 Софийская ул. 95	
23	L	8:00	25 Софийская ул. 95		0		L	7:20	19 Софийская ул. 95	
24	L	8:10	5 Софийская ул. 95		9834		U	7:43	19 Ярослава Гашека ул. 6	
25	U	8:35	5 Бабушкина ул. 9		672		U	8:03	2 Ярослава Гашека ул. 9	
26	U	8:57	25 Обуховской Обороны пр. 75		10115		U	8:25	20 Балканская пл. 5	
27	U	9:41	67 Реки Мойки наб. 48		2132		E	8:59	Склад	
28	U	10:09	62 Реки Фонтанки наб. 91		441					
29	U	10:31	64 Реки Фонтанки наб. 96		1408					
30	U	10:56	70 Бронницкая ул. 16		534		V	7:00	Склад	
31	U	11:18	63 Малодетскосельский пр. 10		2142		L	7:00	26 Софийская ул. 95	
32	U	11:44	22 Смоленская ул. 3		13680		L	7:10	7 Софийская ул. 95	

Рис. 17. Исходные данные для расчета затрат

Здесь мы видим, что каждая запись в текстовом файле начинается с идентификатора записи:

V – точка начала маршрута;

E – точка конца маршрута;

L – точка погрузки;

U – точка разгрузки.

После идентификатора идут записи, содержащие данные о маршруте.

Для точек начала и конца маршрута – это время, описание точки (склад, гараж и т.п.), расстояние до следующей точки погрузки/разгрузки/конца маршрута (для точки конца маршрута всегда равно 0).

Для точек погрузки/разгрузки: время прибытия в точку, номер заказа, адрес точки, расстояние до следующей точки погрузки/разгрузки/конца маршрута.

4. Откроем второй лист рабочей книги MS Excel и изменим его имя на **Расчет затрат**.

5. Создадим таблицу, содержащую исходные данные и результаты расчета затрат. Внесем необходимые надписи в ячейки **A2:H2**, как это изображено на рис. 18.

Первый вариант («Начинать с отдаленных точек»)								
Маршрут	Порядок обслуживания заказов	Автомобиль	Тариф, руб./ч	Обслужено заказов	Доставлено, кг	Время маршрута, ч	Затраты, руб.	
1	0-6-17-18-78-0	Газель	220	4	1219	3,80	880	
2	0-5-25-67-62-64-70-63-22-0	Газель	220	8	1342	5,43	1320	
3	0-55-57-14-68-61-73-72-0	Газель	220	7	1044	5,12	1320	
4	0-75-0	Газель	220	1	1358	1,70	880	
5	0-23-76-0	Газель	220	2	1484	2,17	880	
6	0-56-13-0	Газель	220	2	996	1,70	880	
7	0-8-31-42-35-40-44-47-26-0	Газель	220	8	1373	5,73	1320	
8	0-65-66-15-54-60-69-1-0	Газель	220	7	1393	5,60	1320	
9	0-58-59-34-12-30-29-0	Газель	220	6	1475	5,22	1320	
10	0-21-19-0	Газель	220	2	789	1,42	880	
11	0-3-77-79-74-80-0	МВ	300	5	2495	4,25	1500	
12	0-71-0	МВ	300	1	2330	1,62	1200	
13	0-11-9-51-48-50-52-33-0	МВ	300	7	2460	5,93	1800	
14	0-24-43-38-36-41-28-7-0	ЗИЛ	330	7	4969	5,92	1980	
15	0-20-2-4-27-46-32-0	ЗИЛ	330	6	4972	5,18	1980	
16	0-53-39-37-0	ЗИЛ	330	3	4657	3,73	1320	
17	0-16-45-0	20-фут.	320	2	8429	3,93	1280	
18	0-49-10-0	40-фут.	380	2	13096	4,90	1900	
Сумма				80	55881	73,35	23960	
Второй вариант («Выбирать попутные заказы»)								
Маршрут	Порядок обслуживания заказов	Автомобиль		Обслужено заказов	Доставлено, кг	Время маршрута, ч	Затраты, руб.	

Рис. 18. Экранная форма расчета затрат

6. В ячейки **A3:A20** введем порядковые номера маршрутов.

7. В ячейки **B3:B20** введем порядок обслуживания заказов на каждом маршруте.

8. В ячейки **C3:C20** введем модель/тип подвижного состава, используемого на каждом маршруте.

9. В ячейки **D3:D20** введем значения используемого тарифа.

10. В ячейки **E3:E20** введем значения количества обслуженных заказов на каждом маршруте.

11. В ячейки **F3:F20** введем значения суммарного веса заказов всех клиентов, обслуженных данным маршрутом.

12. В ячейки **G3:G20** введем значения времени работы транспортного средства на маршруте.

13. В ячейку **H3** введем формулу: $=\text{ЕСЛИ}(\text{G3}>4; \text{D3}*\text{ОКРУГЛВВЕРХ}(\text{G3};0); \text{D3}*4)$, вычисляющую величину затрат на первом маршруте, и распространим ее на весь диапазон ячеек **H3:H20**, содержащих величину затрат на каждом маршруте. Затраты рассчитываются умножением почасового тарифа на расчетное время работы транспортного средства на маршруте (время маршрута), округленное в большую сторону. Если время маршрута менее 4-х часов, то плата взимается за полные 4 часа работы транспортного средства.

14. В ячейку **H21** введем формулу: $=\text{СУММ}(\text{H3:H20})$, которая позволяет рассчитать суммарные затраты на транспортировку.

Остальные вычисления, выполненные на рабочем листе, носят вспомогательный характер. Это относится к суммам, вычисляемым по столбцам: «Обслужено заказов», «Доставлено, кг» и «Время маршрута, ч».

Результаты расчета затрат по первому возможному решению задачи маршрутизации «Начинать с отдаленных точек» представлено в табл. 4.

Аналогично проведем расчет затрат по второму, третьему и четвертому возможному решению задачи маршрутизации, когда в качестве способа предварительной раскладки заказов по транспортным средствам выбрано, соответственно: «Выбирать попутные заказы», «Определять дальние направления» и «Искать самые выгодные совмещения». Результаты расчетов представлены в табл. 5, 6 и 7.

Таблица 4

Первое возможное решение задачи маршрутизации
(«Начинать с отдаленных точек»)

Маршрут	Порядок обслуживания заказов	Автомобиль	Тариф, руб./ч	Обслужено заказов	Доставлено, кг	Время маршрута, ч	Затраты, руб.
1	0-6-17-18-78-0	Газель	220	4	1219	3,80	880
2	0-5-25-67-62-64-70-63-22-0	Газель	220	8	1342	5,43	1320
3	0-55-57-14-68-61-73-72-0	Газель	220	7	1044	5,12	1320
4	0-75-0	Газель	220	1	1358	1,70	880
5	0-23-76-0	Газель	220	2	1484	2,17	880
6	0-56-13-0	Газель	220	2	996	1,70	880
7	0-8-31-42-35-40-44-47-26-0	Газель	220	8	1373	5,73	1320
8	0-65-66-15-54-60-69-1-0	Газель	220	7	1393	5,60	1320
9	0-58-59-34-12-30-29-0	Газель	220	6	1475	5,22	1320
10	0-21-19-0	Газель	220	2	789	1,42	880
11	0-3-77-79-74-80-0	МВ	300	5	2495	4,25	1500
12	0-71-0	МВ	300	1	2330	1,62	1200
13	0-11-9-51-48-50-52-33-0	МВ	300	7	2460	5,93	1800
14	0-24-43-38-36-41-28-7-0	ЗИЛ	330	7	4969	5,92	1980
15	0-20-2-4-27-46-32-0	ЗИЛ	330	6	4972	5,18	1980
16	0-53-39-37-0	ЗИЛ	330	3	4657	3,73	1320
17	0-16-45-0	20-фут.	320	2	8429	3,93	1280
18	0-49-10-0	40-фут.	380	2	13096	4,90	1900
Сумма				80	55881	73,35	23960

Таблица 5

Второе возможное решение задачи маршрутизации
 («Выбирать попутные заказы»)

Маршрут	Порядок обслуживания заказов	Автомобиль	Тариф, руб./ч	Обслужено заказов	Доставлено, кг	Время маршрута, ч	Затраты, руб.
19	0-21-4-3-65-66-48-0	Газель	220	6	1362	4,82	1100
20	0-19-2-20-0	Газель	220	3	1425	2,00	880
21	0-31-29-28-9-11-7-26-0	Газель	220	7	1222	4,57	1100
22	0-23-69-64-70-63-22-0	Газель	220	5	1321	3,65	880
23	0-77-76-79-0	Газель	220	3	1146	2,35	880
24	0-73-72-64-62-67-68-61-0	Газель	220	7	1340	4,92	1100
25	0-30-44-47-37-39-55-54-60-1-0	Газель	220	9	1431	6,82	1540
26	0-75-0	Газель	220	1	1358	1,70	880
27	0-6-17-18-0	Газель	220	3	966	3,15	880
28	0-52-33-36-42-34-0	Газель	220	5	1462	4,52	1100
29	0-56-13-0	МВ	300	2	996	1,72	1200
30	0-78-74-80-0	МВ	300	3	2092	3,03	1200
31	0-8-27-57-14-59-15-58-51-50-38-43-10-0	МВ	300	12	2329	8,87	2700
32	0-24-40-35-12-41-0	ЗИЛ	330	5	4909	4,72	1650
33	0-46-45-0	ЗИЛ	330	2	4748	3,40	1320
34	0-5-25-53-0	ЗИЛ	330	3	4951	3,75	1320
35	0-16-71-0	20-фут.	320	2	9345	3,37	1280
36	0-49-32-0	40-фут.	380	2	13478	4,92	1900
Сумма				80	55881	72,25	22910

Таблица 6

Третье возможное решение задачи маршрутизации
(«Определять дальние направления»)

Маршрут	Порядок обслуживания заказов	Автомобиль	Тариф, руб./ч	Обслужено заказов	Доставлено, кг	Время маршрута, ч	Затраты, руб.
37	0-79-15-54-59-57-52-64-1-0	Газель	220	8	1500	7,03	1760
38	0-23-76-0	Газель	220	2	1484	2,17	880
39	0-19-48-55-68-0	Газель	220	4	1474	4,03	1100
40	0-20-11-50-51-0	Газель	220	4	1494	4,12	1100
41	0-34-36-58-67-60-78-0	Газель	220	6	1438	5,80	1320
42	0-3-73-69-14-12-5-0	Газель	220	6	1435	5,22	1320
43	0-72-42-41-32-7-0	Газель	220	5	1446	4,30	1100
44	0-77-61-66-39-37-40-35-9-0	Газель	220	8	1435	6,55	1540
45	0-27-44-47-43-10-29-28-65-63-25-0	Газель	220	10	1477	6,82	1540
46	0-21-2-4-8-31-30-38-26-0	Газель	220	8	1382	5,52	1320
47	0-6-71-0	МВ	300	2	2472	2,43	1200
48	0-56-13-0	МВ	300	2	996	1,72	1200
49	0-53-33-0	ЗИЛ	330	2	4916	3,50	1320
50	0-75-80-62-46-0	ЗИЛ	330	4	4956	5,00	1650
51	0-17-18-22-70-24-0	ЗИЛ	330	5	4961	5,37	1980
52	0-16-45-0	20-фут.	320	2	8429	3,93	1280
53	0-49-74-0	40-фут.	380	2	14586	5,87	2280
Сумма				80	55881	79,37	23890

Таблица 7

Четвертое возможное решение задачи маршрутизации
(«Искать самые выгодные совмещения»)

Маршрут	Порядок обслуживания заказов	Автомобиль	Тариф, руб./ч	Обслужено заказов	Доставлено, кг	Время маршрута, ч	Затраты, руб.
54	0-67-15-58-54-59-60-70-63-22-0	Газель	220	9	1476	6,52	1540
55	0-55-57-14-68-61-62-69-64-1-0	Газель	220	9	1231	6,18	1540
56	0-18-17-6-0	Газель	220	3	966	3,17	880
57	0-8-27-31-28-29-9-11-7-0	Газель	220	8	1466	5,07	1320
58	0-56-13-0	Газель	220	2	996	1,70	880
59	0-21-4-3-20-2-19-0	МВ	300	6	1852	3,58	1200
60	0-24-23-5-0	ЗИЛ	330	3	4958	2,73	1320
61	0-51-48-50-37-39-38-66-65-71-25-0	ЗИЛ	330	10	4668	7,52	2640
62	0-73-72-33-36-42-41-12-34-32-43-10-0	ЗИЛ	330	11	3241	7,55	2640
63	0-78-77-79-76-75-74-80-0	ЗИЛ	330	7	4596	5,57	1980
64	0-47-44-35-40-46-30-26-0	ЗИЛ	330	7	4392	5,57	1980
65	0-53-45-0	20-фут.	320	2	5930	3,43	1280
66	0-16-0	20-фут.	320	1	7015	2,08	1280
67	0-52-49-0	40-фут.	380	2	13094	4,83	1900
Сумма				80	55881	65,50	22380

Выводы. Четвертое возможное решение задачи маршрутизации «Искать самые выгодные совмещения» явно выигрывает как по времени обслуживания клиентов, так и по общим затратам по сравнению с другими вариантами (см. табл. 4 – 7). Эффект здесь получен за счет того, что в данном варианте в ходе предварительной раскладки заказов по транспортным средствам использован, в основном, более грузоподъемный подвижной состав: автомобили ЗИЛ-4331, грузоподъемностью, до 5000 кг, в количестве 5 ед., тягачи с полуприцепами, предназначенными для перевозки 20 фут. и 40 фут. контейнеров, в количестве 3 ед. В результате чего общее количество единиц использованных транспортных средств сократилось с 18 в первом и втором возможных решениях задачи маршрутизации (см. табл. 4 и 5) и 17 в третьем возможном решении задачи маршрутизации (см. табл. 6) до 14 в данном случае (см. табл. 7).

4. Лабораторная работа №4.

«Решение задачи оптимизации маршрутов доставки мелкопартионных грузов по методике Шапиро»

Задание на лабораторную работу

Решить задачу оптимизации маршрутов доставки мелкопартионных грузов по методике Шапиро, используя программу MS Excel.

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомиться с теоретическим введением и примером выполнения задания.
2. Открыть рабочую книгу MS Excel, в которой сохранены результаты расчета маршрутов, созданных средствами Деловой карты, в процессе выполнения лабораторной работы №3.
3. Сформировать допустимые маршруты, включаемые в модель линейного программирования.
4. Создать табличную модель данной задачи. В рабочий лист также должны быть занесены расчетные формулы, связывающие переменные модели.

5. Оптимизировать модель, т.е. получить оптимальное решение задачи маршрутизации доставки мелкопартионных грузов, используя средство **Поиск решения**.
6. Проанализировать полученное решение и сделать выводы.

Теоретическое введение

Найти решение самого широкого круга оптимизационных задач в логистике позволяет использование моделей линейного и целочисленного программирования, рассмотренные нами выше. Задача маршрутизации автотранспортных средств осуществляется простыми и эффективными методами эвристики (приближенными методами), позволяющими быстро найти нужное решение. Однако они не гарантируют нахождение оптимального решения. В настоящее время разрабатываются методы, которые объединяют гибкость эвристики и строгость моделей линейного программирования, что позволяет получить оптимальное или, по крайней мере, доказуемо лучшее решение. Один из эффективных методов, позволяющих находить оптимальное решение при маршрутизации перевозок мелкопартионных грузов, предложенный Дж. Шапиро, получил название унифицированной методики оптимизации.

На рис. 19 представлена логика унифицированной методики оптимизации для задачи локальных поставок. Сначала используют методы эвристики для создания одного или более возможных решений маршрутизации, т.е. набора допустимых развозочных или сборных маршрутов. В качестве стоимости решения рассматриваются общие транспортные издержки, которые могут рассчитаны различными способами, например, представлять собой сумму постоянных (накладных) затрат за определенный период (например, за день) для каждой единицы подвижного состава и переменных затрат на 1 километр пробега. Затем переходят к модели линейного программирования, содержащей допустимые маршруты, созданные с помощью эвристики, и оптимизируют ее. Эта модель ищет пути минимизации общей стоимости маршрутов, требующих посещения клиентов лишь один раз, но и дает нерелевантные комбинации, такие как «использование 0,4 маршрута j и 0,6 маршрута k ». Для исключения дробных частей используется модель целочисленного программирования, оптимизация которой

позволяет получить строгое решение задачи маршрутизации автотранспортных средств.

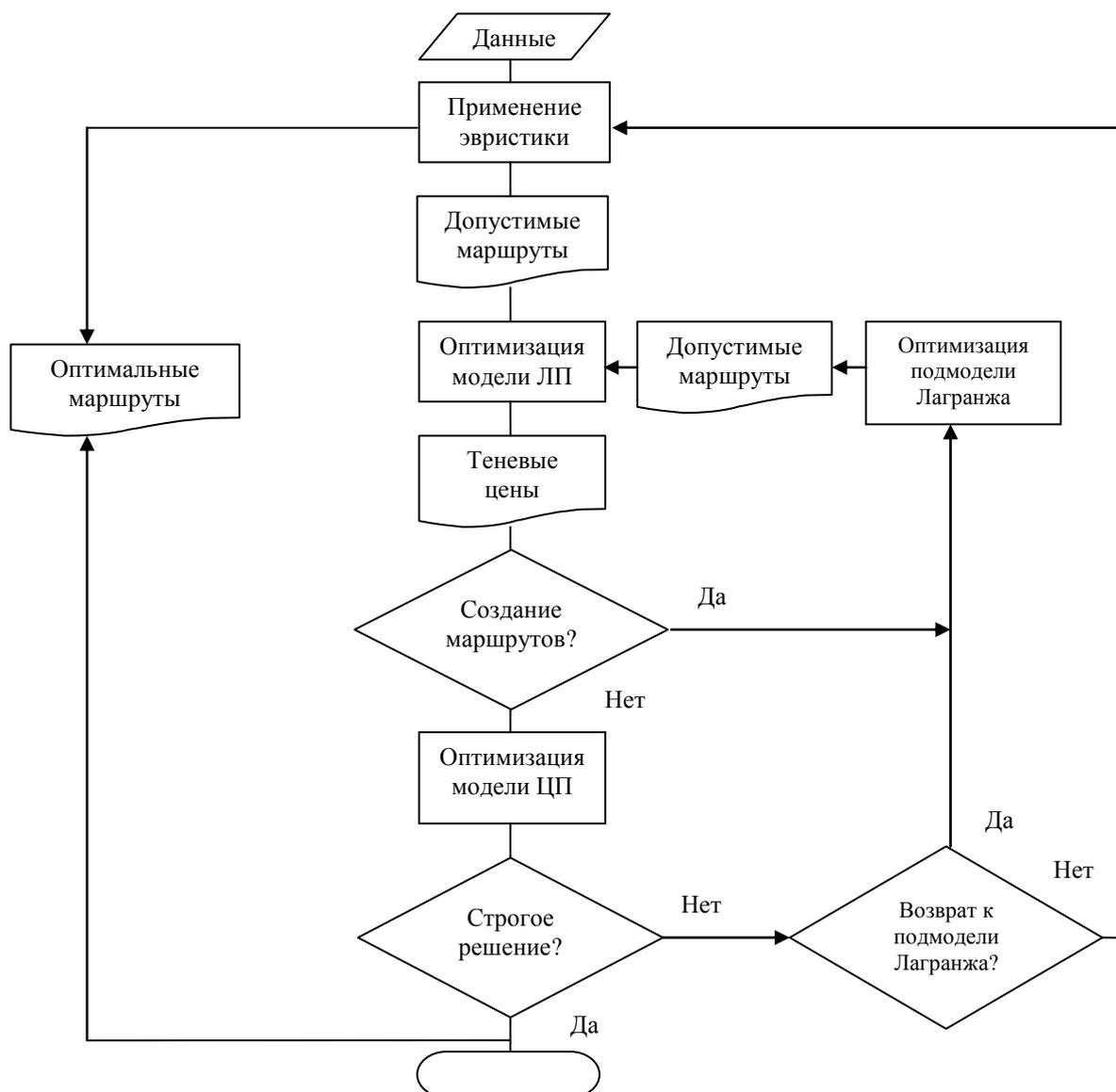


Рис. 19. Логика унифицированной методики оптимизации

Наряду с эвристикой при формировании допустимых маршрутов используются возможности линейного программирования, точнее строится и оптимизируется модель двойственная к основной модели линейного программирования. Первоначально в нее включаются все допустимые маршруты, найденные с помощью эвристики. Оптимизация этой модели заключается в максимизации общего вознаграждения за включение допустимых маршрутов в окончательное решение. Вознаграждение равно разнице валового дохода и затрат маршрута. Валовой доход равен сумме двойственных (теневых) цен для обслуженных клиентов. Если

общее вознаграждение конкретного маршрута положительно, то этот маршрут добавляется в модель линейного программирования. С другой стороны, если общее вознаграждение равно нулю, то можно сказать, что нет допустимых маршрутов для добавления в модель линейного программирования.

Двойственную модель ЛП, как уже было отмечено, строят и оптимизируют в том случае, если для формирования дополнительных маршрутов используются возможности линейного программирования. Если же дополнительные маршруты созданы средствами Деловой карты, то необходимость создания и оптимизации двойственной модели ЛП отсутствует.

Создаваемая нами модель ЛП, включающая допустимые маршруты, является вариантом *модели назначений*. Модель назначений часто встречается в разнообразных управленческих ситуациях, связанных с распределением n неделимых агентов или объектов по n заданиям.

Предположим, мы имеем множество клиентов $M = \{1, \dots, m\}$, для обслуживания которых можем задействовать множество автомобилей $N = \{1, \dots, n\}$. Введем в рассмотрение переменные $x_{i,j}, \forall i \in M, \forall j \in N$, принимающие значение $x_{i,j} \in \{0,1\}$. Очевидно, что $x_{i,j}$ принимает значение 1, если i -й клиент включен в маршрут j -го автомобиля, и значение 0, если i -й клиент не включен в маршрут j -го автомобиля. Введем дополнительные переменные $c_j, \forall j \in \{1,2,\dots,n\}$, представляющие собой затраты на транспортировку на j -м маршруте, и $y_j, \forall j \in \{1,2,\dots,n\}$, принимающие значения:

$$y_j = \begin{cases} 1, & \text{если } j\text{-й маршрут включен в оптимальный вариант,} \\ 0, & \text{если } j\text{-й маршрут не включен в оптимальный вариант.} \end{cases}$$

Формируемая нами модель линейного программирования отличается от рассмотренной выше классической модели задачи о назначениях. Отличие заключается, прежде всего, в том, что каждый автомобиль может обслуживать несколько заказов клиентов, следовательно, сумма по столбцам для булевой матрицы переменных $x_{i,j}$, в данном случае, не равна 1. Другое существенное отличие заключается в том, что булева матрица переменных

$x_{i,j}$ уже сформирована, т.к. мы имеем набор маршрутов, рассчитанных и проложенных средствами Деловой карты.

Таким образом, математическая модель данной задачи можно сформулировать следующим образом.

Найти минимум целевой функции

$$\sum_{j=1}^n c_j y_j \rightarrow \min, \quad (5)$$

при ограничениях

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n x_{i,j} y_j = 1, \forall i \in \{1, 2, \dots, m\}, \\ y_j \in \{0, 1\}, \forall j \in \{1, 2, \dots, n\}. \end{cases} \quad (6)$$

Целевая функция (5) представляет собой общую величину транспортных затрат на обслуживание заказов всех клиентов. Первое ограничение в (6) гарантируют обслуживание каждого заказа лишь одним исполнителем (маршрутом), т.е. заказы клиентов не должны разбиваться между двумя и более маршрутами. Условия двоичности переменных y_j выражены во втором ограничении. В математической постановке задачи о назначениях (5)-(6) переменные $x_{i,j}$ являются коэффициентами в системе ограничений, наряду с c_j , являющимися коэффициентами целевой функции. Переменными в данной модели являются только y_j .

Исходные данные

В качестве исходных данных при решении задачи используются результаты расчета маршрутов, выполненные средствами Деловой карты в процессе выполнения лабораторной работы №3.

Пример выполнения задания

Оптимизировать маршруты доставки мелкопартионных грузов по методике Шапиро, используя в качестве исходных данных возможные решения задачи маршрутизации для компании ЭКЗ «Лебедянский», представленные в табл. 4 – табл. 7.

Решение

Для решения сформулированной задачи о назначениях откроем рабочую книгу MS Excel, в которой сохранены результаты расчета маршрутов, созданных средствами Деловой карты, в про-

цессе выполнения лабораторной работы №3. Изменим имя третьего листа на **Оптимизация**.

Сформируем допустимые маршруты. Проанализируем варианты маршрутизации, полученные средствами Деловой карты, в процессе выполнения лабораторной работы №3 (см. табл. 4 – 7). В соответствии с методикой Шапиро допустимые маршруты, включаемые в модель линейного программирования, должны быть неповторяющимися. Поэтому исключаем маршруты номер 48, 52 и 58 из третьего и четвертого вариантов маршрутизации, которые повторяют маршруты, соответственно 29, 17 и 6 из второго и первого вариантов маршрутизации. Окончательно мы имеем набор из 64 неповторяющихся маршрутов.

Для решения задачи выполним следующие подготовительные действия.

1. Внесем необходимые надписи в ячейки рабочего листа, как это изображено на рис. 20 и рис. 21. Следует отметить, что конкретное содержание этих надписей не оказывает никакого влияния на решение рассматриваемой задачи о назначении, а служит для лучшего восприятия информации.

1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V		
2	Прямая задача линейного программирования для модели локальных поставок компании ЭКЗ "Лебедянский" с 64 маршрутами																							
3		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
4		Первый вариант ("Начинать с отдаленных точек")																						
5																								
6	Заказы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	16	17	18	21	26	1	2	3	4	
7																								
8																								
9		Газель	Газель	Газель	Газель	Газель	Газель	Газель	Газель	Газель	Газель	Газель	Газель	Газель	Газель	Газель	Газель	Газель	Газель	Газель	Газель	Газель	Газель	Газель
10																								
11			220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220
71		60																						
72		61			1						1													
73		62		1																				
74		63		1																				
75	64		1																					
76	65									1												1		
77	66									1												1		
78	67		1																					
79	68			1																				
80	69									1														
81	70		1																					
82	71													1										
83	72			1																				
84	73			1																				
85	74													1										
86	75				1																			
87	76					1																		
88	77																							
89	78		1																					
90	79																							
91	80																							
92	Обслужено заказов	4	8	7	1	2	2	8	7	6	2	5	1	7	7	6	3	2	2	6	3	7		
93	Доставлено, кг	1219	1342	1044	1358	1484	996	1373	1147	1475	789	2495	2330	2460	4969	4972	4657	8429	13096	1362	1425	1222	1100	
94	Время обслуживания, ч:мм	3:48	5:26	5:07	1:42	2:10	1:42	5:44	5:36	5:13	1:25	4:15	1:37	5:56	5:55	5:11	3:44	3:56	4:54	4:49	2:00	4:34	3:00	
95	Время обслуживания, ч	3.8	5.43	5.12	1.7	2.17	1.7	5.73	5.6	5.22	1.42	4.25	1.62	5.93	5.92	5.183	3.733	3.933	4.9	4.817	2	4.567	3	
96	Затраты, руб (с _г)	880	1320	1320	880	880	880	1320	1320	1320	880	1500	1200	1800	1980	1980	1320	1280	1900	1100	880	1100	880	
97	Выбор маршрута (I _г)																							
98																								
99	Общие затраты, руб	0																						
100																								
101																								

Рис. 20. Экранная форма задачи оптимизации маршрутов по методике Шапиро (начало)

	A	BA	BB	BC	BD	BE	BF	BG	BH	BI	BJ	BK	BL	BM	BN	BO	BP	BQ	BR	BS
1	Прямая задача линейн																			
2																				
3		52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64						
4		Четвертый вариант ("Искать самые выгодные совмещения")																		
5		1	2	3	4	11	16	17	18	19	20	21	22	26	Сумма	Вес				
6	Заказы															заказа,				
7																кг				
8																				
9		Газель	Газель	Газель	Газель	МВ	ЗИП	ЗИП	ЗИП	ЗИП	ЗИП	20-фут.	20-фут.	40-фут.						
10																				
11		220	220	220	220	300	330	330	330	330	330	320	320	380						
71	60	1													0	103				
72	61		1												0	130				
73	62		1												0	161				
74	63		1												0	143				
75	64			1											0	103				
76	65							1							0	126				
77	66								1						0	201				
78	67		1												0	289				
79	68			1											0	115				
80	69			1											0	193				
81	70		1												0	97				
82	71							1							0	2330				
83	72								1						0	258				
84	73									1					0	284				
85	74										1				0	1736				
86	75											1			0	1358				
87	76												1		0	710				
88	77													1	0	192				
89	78														1	0	253			
90	79														1	0	244			
91	80														1	0	103			
92	Обслужено заказов	9	9	3	8	6	3	10	11	7	7	2	1	2	0					
93	Доставлено, кг	1476	1231	966	1466	1852	4958	4668	3241	4596	4392	5930	7015	13094	0					
94	Время обслуживания, ч.мм	6:31	6:11	3:10	5:04	3:35	2:44	7:31	7:33	5:34	5:34	3:26	2:05	4:50	0:00:00					
95	Время обслуживания, ч	6,517	6,183	3,167	5,067	3,583	2,733	7,517	7,55	5,567	5,567	3,433	2,083	4,833	0,00					
96	Затраты, руб (c _{ij})	1540	1540	880	1320	1200	1320	2640	2640	1980	1980	1280	1280	1900	0					
97	Выбор маршрута (y _j)														0					
98																				
99	Общие затраты, руб														21500					
100																63,8				
101																				

Рис. 21. Экранная форма задачи оптимизации маршрутов по методике Шапиро (окончание)

2. В ячейки **V3:VM3** введем порядковые номера маршрутов, созданных средствами Деловой карты.

3. В ячейки **V7:VM7** введем номера машин, которые используются для обслуживания заказов в каждом из вариантов маршрутизации.

4. В ячейки **V9:VM9** введем марку/тип подвижного состава, который используется для обслуживания заказов в каждом из вариантов маршрутизации.

5. В ячейки **V11:VM11** введем значения затраты на аренду автомобиля, руб./ч, на каждом маршруте.

6. В ячейки **V12:VM91** введем значения коэффициентов x_{ij} , равные 1, если заказ обслуживается данным маршрутом и равные 0 – в противном случае.

7. В ячейки **V94:VM94** введем время работы автомобилей на соответствующих маршрутах. Значения, содержащиеся в ячейках **V94:VM94** должны быть заданы в формате времени.

8. В ячейку **V95** введем формулу: =V94*24, которая позволяет преобразовать время в десятичный формат, и распространим

эту формулу на весь диапазон ячеек **B95:BM95**, содержащих значение времени.

9. Рассчитаем величину затрат на каждом маршруте, т.е. значения коэффициентов c_j . Для чего в ячейку **B96** введем формулу: =ЕСЛИ(B95>4;B11*ОКРУГЛВВЕРХ(B95;0);B11*4) и распространим ее на весь диапазон ячеек **B96:BM96**, содержащих значения коэффициентов c_j . В этой формуле отражено то, что заказчик (компания ЭКЗ «Лебедянский») должен оплатить перевозчику первые четыре часа работы на маршруте независимо от того сколько времени перевозчик отработал. В том случае, если время работы превышает четыре часа, то округленное вверх фактическое время работы умножается на тариф.

10. В ячейку **B99** введем целевую функцию (5) в виде формулы: =СУММПРОИЗВ(B96:BM96;B97:BM97).

11. В ячейку **BN12** введем формулу: =СУММПРОИЗВ(B71:BM71;B\$97:\$BM\$97), которая представляет собой первое ограничение в системе (6).

12. Скопируем формулу, введенную в ячейку **BN12**, в ячейки **BN13:BN91**.

Остальные данные и вычисления, произведенные на рабочем листе, носят вспомогательный характер. Это относится к данным, занесенным в столбец «Вес заказа, кг», а также данных в вычисляемых сроках «Обслужено заказов» и «Доставлено, кг».

Для дальнейшего решения задачи следует вызвать мастер поиска решения, для чего необходимо выполнить операцию главного меню: **Сервис**→**Поиск решения**.

После появления диалогового окна **Поиск решения** следует выполнить следующие действия:

1. В поле с именем **Установить целевую ячейку**: ввести абсолютный адрес ячейки **\$B\$99**.

2. Для группы **Равной**: выбрать вариант поиска решения - **минимальному значению**.

3. В поле с именем **Изменяя ячейки**: ввести абсолютный адрес диапазона ячеек **\$B\$97:\$BN\$97**.

4. Задать первую группу ограничений (6). С этой целью выполнить следующие действия:

- в исходном диалоговом окне **Поиск решения** нажать кнопку с надписью **Добавить**;
- в появившемся дополнительном окне выбрать диапазон ячеек **\$BN\$12:\$BN\$91**, который должен отобразиться в поле с именем **Ссылка на ячейку**;
- в качестве знака ограничения из выпадающего списка выбрать равенство;
- в качестве значения правой части ограничения ввести с клавиатуры число 1;
- для добавления первой группы ограничений в дополнительном окне нажать кнопку с надписью **Добавить**.

5. Задать ограничения на булевы значения переменных задачи. С этой целью выполнить следующие действия:

- в исходном диалоговом окне **Поиск решения** нажать кнопку с надписью **Добавить**;
- в появившемся дополнительном окне выбрать диапазон ячеек **\$B\$97:\$BM\$97**, который должен отобразиться в поле с именем **Ссылка на ячейку**;
- в качестве знака ограничения из выпадающего списка выбрать строку **«двоичн»**;
- в качестве значения правой части ограничения в поле с именем **Ограничение**: оставить без изменения вставленное программой значение **«двоичное»**;
- для добавления ограничения в дополнительном окне нажать кнопку с надписью **Добавить**.

6. В окне дополнительных параметров поиска решения выбрать отметки **Линейная модель** и **Неотрицательные значения**.

Общий вид диалогового окна спецификации параметров мастера поиска решения представлен на рис. 22.

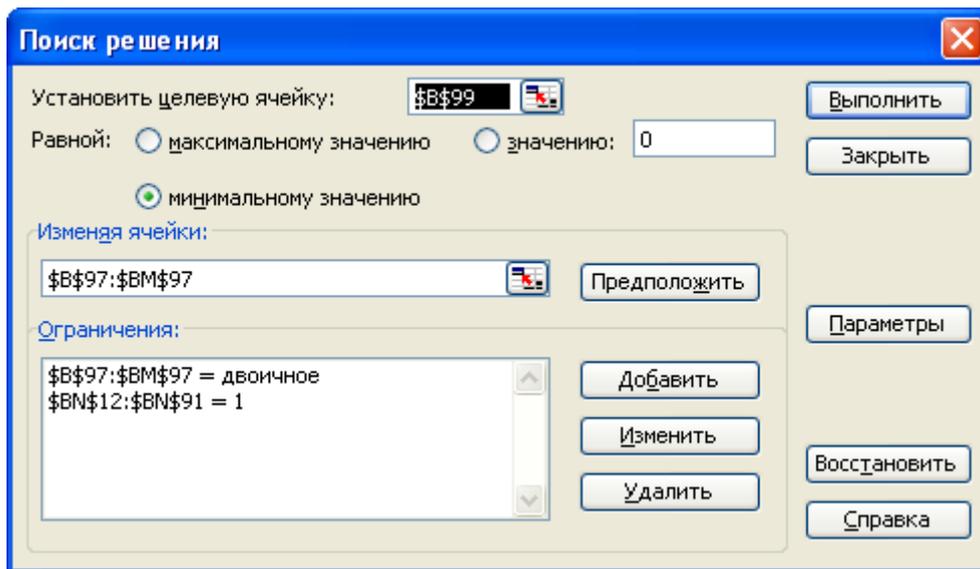


Рис. 22. Окно **Поиск решения** с введенными ограничениями

После задания ограничений и целевой функции можно приступить к поиску численного решения, для чего следует нажать кнопку **Выполнить**. Результат выполнения расчетов программой MS Excel представлен на рис. 23. На рис. 23 видно, что в строку **Выбор маршрута** (y_j) заносятся значения переменной y_j , которая и является результатом решения данной задачи.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W				
1	Прямая задача линейного программирования для модели локальных поставок компании ЭКЗ "Лебедянский" с 64 маршрутами																										
2		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22				
4		Первый вариант ("Начинать с отдаленных точек")																									
5																											
6		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	16	17	18	21	26	1	2	3					
7	Заказы																										
8		Газель	Газель	Газель	Газель	Газель	Газель	Газель	Газель	Газель	Газель	Газель	Газель	Газель	МВ	МВ	МВ	ЗИЛ	ЗИЛ	ЗИЛ	20-фуг.	40-фуг.	Газель	Газель	Газель		
9		220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	300	300	300	330	330	330	320	380	220	220	220		
71	60									1																	
72	61			1																							
73	62		1																								
74	63			1																							
75	64		1																								
76	65								1															1			
77	66									1														1			
78	67		1																								
79	68			1																							
80	69				1																						
81	70		1																								
82	71													1													
83	72			1																							
84	73			1																							
85	74												1														
86	75				1																						
87	76					1																					
88	77													1													
89	78		1																								
90	79														1												
91	80															1											
92	Обслужено заказов	4	8	7	1	2	2	8	7	6	2	5	1	7	7	6	3	2	2	6	3	7					
93	Доставлено, кг	1219	1342	1044	1358	1484	996	1373	1147	1475	789	2495	2330	2460	4969	4972	4657	8429	13096	1362	1425	1222	1100				
94	Время обслуживания, ч.мм	3:48	5:26	5:07	1:42	2:10	1:42	5:44	5:36	5:13	1:25	4:15	1:37	5:56	5:55	5:11	3:44	3:56	4:54	4:49	2:00	4:34	3:00				
95	Время обслуживания, ч	3,8	5,43	5,12	1,7	2,17	1,7	5,73	5,6	5,22	1,42	4,25	1,62	5,93	5,92	5,183	3,733	3,933	4,9	4,817	2	4,567	3				
96	Затраты, руб (c_j)	880	1320	1320	880	880	880	1320	1320	1320	880	1500	1200	1800	1980	1980	1320	1280	1900	1100	880	1100	880				
97	Выбор маршрута (y_j)	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1				
99	Общие затраты, руб	21610															Затраты по первому варианту, руб							23960	Целевая ячейка		
100																	Время обслуживания по первому варианту, ч							73,35			

Рис. 23. Результат решения задачи оптимизации маршрутов по методике Шапиро (фрагмент)

Экранная форма представления результатов расчетов не очень удобна ввиду большого размера таблицы. Поэтому в табл. 8 сведены результаты решения данной задачи. Здесь мы видим, что в оптимальный вариант включены 16 маршрутов, причем 13 из них представляют второе возможное решение задачи маршрутизации, к которым добавляется маршрут номер 6 из первого возможного решения задачи маршрутизации и маршруты номер 56 и 63 из четвертого возможного решения задачи маршрутизации.

Таблица 8

Оптимальное решение задачи маршрутизации

№ маршрута	Порядок обслуживания заказов	Автомобиль	Обслужено заказов	Доставлено, кг	Время маршрута, ч	Затраты, руб.
6	0-56-13-0	Газель	2	996	1,70	880
19	0-21-4-3-65-66-48-0	Газель	6	1362	4,82	1100
20	0-19-2-20-0	Газель	3	1425	2,00	880
21	0-31-29-28-9-11-7-26-0	Газель	7	1222	4,57	1100
22	0-23-69-64-70-63-22-0	Газель	5	1321	3,65	880
24	0-73-72-64-62-67-68-61-0	Газель	7	1340	4,92	1100
25	0-30-44-47-37-39-55-54-60-1-0	Газель	9	1431	6,82	1540
28	0-52-33-36-42-34-0	Газель	5	1462	4,52	1100
31	0-8-27-57-14-59-15-58-51-50-38-43-10-0	МВ	12	2329	8,87	2700
32	0-24-40-35-12-41-0	ЗИЛ	5	4909	4,72	1650
33	0-46-45-0	ЗИЛ	2	4748	3,40	1320
34	0-5-25-53-0	ЗИЛ	3	4951	3,75	1320
35	0-16-71-0	20-фут.	2	9345	3,37	1280
36	0-49-32-0	40-фут.	2	13478	4,92	1900
56	0-18-17-6-0	Газель	3	966	3,17	880
63	0-78-77-79-76-75-74-80-0	ЗИЛ	7	4596	5,57	1980
Сумма			80	55881	70,73	21610

Вывод. В оптимальном варианте затраты на транспортировку составят 21610 руб., это на 770 рублей меньше того, что дает четвертое возможное решение задачи маршрутизации (см. табл. 7). Таким образом, по сравнению с лучшим вариантом доставки, рассчитанным средствами Деловой карты, удалось сократить транспортные затраты приблизительно на 3,5%.

**Варианты индивидуальных заданий
к лабораторной работе №1**

Таблица П.1

Варианты индивидуальных заданий

Номер варианта	Подвижной состав	Максимальное количество заказов	Номера заказов по табл. 1
1	ГАЗ-3307 – 2 ед.; ГАЗ-52 – 2 ед.; ГАЗ-3302 «Газель» – 2 ед.	12	16 – 30
2	"	12	31 – 45
3	"	12	39 – 53
4	"	12	54 – 68
5	"	12	69 – 83
6	"	12	76 – 90
7	"	12	91 – 105
8	"	12	96 – 110
9	ГАЗ-3307 – 1 ед.; ГАЗ-52 – 3 ед.; ГАЗ-3302 «Газель» – 2 ед.	10	16 – 30
10	"	10	31 – 45
11	"	10	39 – 53
12	"	10	54 – 68
13	"	10	69 – 83
14	"	10	76 – 90
15	"	10	91 – 105
16	"	10	96 – 110
17	ГАЗ-3307 – 1 ед.; ГАЗ-52 – 2 ед.; ГАЗ-3302 «Газель» – 3 ед.	8	16 – 30
18	"	8	31 – 45
19	"	8	39 – 53
20	"	8	54 – 68
21	"	8	69 – 83
22	"	8	76 – 90
23	"	8	91 – 105
24	"	8	96 – 110
25	"	8	1 – 15

Примечание – Номера заказов, представленные в табл. П.1, соответствуют их нумерации в табл. 1 методических указаний.

**Варианты индивидуальных заданий
к лабораторной работе №2**

Таблица П.2

Варианты индивидуальных заданий

Номер варианта	Номера вершин
1	1 – 8, 12, 13, 14, 15
2	11 – 19, 27, 30, 31, 33
3	13, 14, 20 – 29
4	14 – 19, 27 – 32
5	13 – 19, 24, 27, 30, 31, 33
6	12 – 16, 20 – 26
7	1 – 8, 14, 15, 16, 17
8	1 – 8, 12, 13, 14, 15
9	11 – 19, 27, 30, 31, 33
10	13, 14, 20 – 29
11	14 – 19, 27 – 32
12	13 – 19, 24, 27, 30, 31, 33
13	12 – 16, 20 – 26
14	1 – 8, 14, 15, 16, 17
15	1 – 8, 12, 13, 14, 15
16	11 – 19, 27, 30, 31, 33
17	13, 14, 20 – 29
18	14 – 19, 27 – 32
19	13 – 19, 24, 27, 30, 31, 33
20	12 – 16, 20 – 26
21	1 – 8, 14, 15, 16, 17
22	1 – 8, 12, 13, 14, 15
23	11 – 19, 27, 30, 31, 33
24	13, 14, 20 – 29
25	14 – 19, 27 – 32

Примечания:

1. Номера вершин, представленные в табл. П.1, соответствуют их нумерации на рис. 1 методических указаний.
2. Веса ребер выбираются по табл. 1. методических указаний.

**Варианты индивидуальных заданий
к лабораторной работе №3**

Таблица П.3

Варианты индивидуальных заданий

Но- мер вари- анта	Подвижной состав	Макс. кол-во заказов	Параметры оптимизации		
			Миними- зировать	Макс. дли- на маршру- та, км	Макс. продол- житель- ность, ч
1	ГАЗ-3307 – 10 ед.; МВ Sprinter – 0 ед.; ЗИЛ-4331 – 5 ед.	24	Время	100	11
2	"	22	Время	90	11
3	"	20	Время	80	11
4	"	18	Время	70	11
5	"	16	Время	60	11
6	ГАЗ-3307 – 10 ед.; МВ Sprinter – 5 ед.; ЗИЛ-4331 – 0 ед.	24	Время	100	11
7	"	22	Время	100	10
8	"	20	Время	100	9
9	"	18	Время	100	8
10	"	16	Время	100	7
11	ГАЗ-3307 – 5 ед.; МВ Sprinter – 5 ед.; ЗИЛ-4331 – 5 ед.	24	Время	100	11
12	"	22	Время	90	11
13	"	20	Время	80	11
14	"	18	Время	70	11
15	"	16	Время	60	11
16	ГАЗ-3307 – 10 ед.; МВ Sprinter – 0 ед.; ЗИЛ-4331 – 5 ед.	24	Длину	100	11
17	"	22	Длину	90	11
18	"	20	Длину	80	11
19	"	18	Длину	70	11
20	"	16	Длину	60	11

Окончание табл. П.3

Но- мер вари- анта	Подвижной состав	Макс. кол-во заказов	Параметры расчета маршрутов		
			Миними- зировать	Макс. длина маршрута, км	Макс. про- должи- тель- ность, ч
21	ГАЗ-3307 – 10 ед.; МВ Sprinter – 5 ед.; ЗИЛ-4331 – 0 ед.	24	Длину	100	11
22	"	22	Длину	100	10
23	"	20	Длину	100	9
24	"	18	Длину	100	8
25	"	16	Длину	100	7

Примечания:

1. Во всех вариантах используются тягачи с полуприцепами: 20 фут. контейнер – 5 ед.; 40 фут. контейнер – 3 ед.; тент 82 м³ – 2 ед. Для подвижного состава, использование которого запрещено в данном варианте, в таблицу транспорта Деловой карты в поле «Использовать» необходимо ввести «Нет».
2. Максимальное количество заказов, представленное в табл. П.3, относится только к указанным транспортным средствам. Для тягачей с полуприцепами (20 фут. контейнер, 40 фут. контейнер, тент 82 м³) максимальное количество заказов – 2. Максимальное количество заказов вводится в соответствующее поле таблицы транспорта Деловой карты.
3. Параметры расчета маршрутов, представленные в табл. П.3, указываются в закладке «Параметры» Деловой карты.
4. Остальные параметры и ограничения, накладываемые на решение задачи маршрутизации, остаются неизменными во всех вариантах и учтены в базовом проекте «ЭКЗ_Лебедянский.brj».

**Маршруты доставки грузов из файла
«ЛебедянскийМаршрутизацияVar1.txt»**

[1] 74.906 3:48

В	7:00	Склад	0	
L	7:00	78	Софийская ул. 95	0
L	7:10	18	Софийская ул. 95	0
L	7:20	17	Софийская ул. 95	0
L	7:30	6	Софийская ул. 95	12514
U	7:58	6	Прибрежная ул. 4	13470
U	8:38	17	Колпино Культуры ул. 2	18082
U	9:29	18	Волхонское шосс. 7	17210
U	10:09	78	Ленинский пр. 118	13630
E	10:48	Склад	0	

[2] 40.958 5:26

В	7:00	Склад	0	
L	7:00	22	Софийская ул. 95	0
L	7:10	63	Софийская ул. 95	0
L	7:20	70	Софийская ул. 95	0
L	7:30	64	Софийская ул. 95	0
L	7:40	62	Софийская ул. 95	0
L	7:50	67	Софийская ул. 95	0
L	8:00	25	Софийская ул. 95	0
L	8:10	5	Софийская ул. 95	9834
U	8:35	5	Бабушкина ул. 9	672
U	8:57	25	Обуховской Обороны пр. 75	10115
U	9:41	67	Реки Мойки наб. 48	2132
U	10:09	62	Реки Фонтанки наб. 91	441
U	10:31	64	Реки Фонтанки наб. 96	1408
U	10:56	70	Бронницкая ул. 16	534
U	11:18	63	Малодетскосельский пр. 10	2142
U	11:44	22	Смоленская ул. 3	13680
E	12:25	Склад	0	

[3] 48.606 5:07

В	7:00	Склад	0	
---	------	-------	---	--

L	7:00	72	Софийская ул. 95	0	
L	7:10	73	Софийская ул. 95	0	
L	7:20	61	Софийская ул. 95	0	
L	7:30	68	Софийская ул. 95	0	
L	7:40	14	Софийская ул. 95	0	
L	7:50	57	Софийская ул. 95	0	
L	8:00	55	Софийская ул. 95	25714	
U	8:49	55	Каменноостровский пр. 40		973
U	9:12	57	Кронверкская ул. 13	399	
U	9:34	14	Сытнинская ул. 10	3770	
U	10:06	68	Реки Мойки наб. 17	2125	
U	10:34	61	Невский пр. 60	1876	
U	11:00	73	Марата ул. 27	268	
U	11:20	72	Кузнечный пер. 1	13481	
E	12:06		Склад	0	

[4] 35.159 1:42

В	7:00		Склад	0	
L	7:00	75	Софийская ул. 95	17711	
U	7:51	75	Ветеранов пр. 89	17448	
E	8:42		Склад	0	

[5] 43.691 2:10

В	7:00		Склад	0	
L	7:00	76	Софийская ул. 95	0	
L	7:10	23	Софийская ул. 95	12275	
U	7:37	23	Седова ул. 11	16165	
U	8:25	76	Ветеранов пр. 52 кор. 1	15251	
E	9:10		Склад	0	

[6] 0.000 0:00

В	7:00		Склад	0	
---	------	--	-------	---	--

[7] 70.036 5:44

В	7:00		Склад	0	
L	7:00	26	Софийская ул. 95	0	
L	7:10	47	Софийская ул. 95	0	
L	7:20	44	Софийская ул. 95	0	

L	7:30	40	Софийская ул. 95	0
L	7:40	35	Софийская ул. 95	0
L	7:50	42	Софийская ул. 95	0
L	8:00	31	Софийская ул. 95	0
L	8:10	8	Софийская ул. 95	6062
U	8:28	8	Ивановская ул. 6	10894
U	9:03	31	Свердловская наб. 60	13843
U	9:44	42	Учебный пер. 56248	
U	10:14	35	Светлановский пр. 117	2906
U	10:39	40	Просвещения пр. 87	7565
U	11:09	44	Непокоренных пр. 63	0
U	11:29	47	Непокоренных ул. 63	16590
U	12:15	26	Ивановская ул. 9	5928
E	12:43		Склад	0

[8] 53.351 5:36

В	7:00		Склад	0
L	7:00	1	Софийская ул. 95	0
L	7:10	69	Софийская ул. 95	0
L	7:20	60	Софийская ул. 95	0
L	7:30	54	Софийская ул. 95	0
L	7:40	15	Софийская ул. 95	0
L	7:50	66	Софийская ул. 95	0
L	8:00	65	Софийская ул. 95	14939
U	8:39	65	Радищева ул. 39	628
U	9:02	66	Чайковского ул. 62	9734
U	9:47	15	Гаванская ул. 45	2790
U	10:16	54	Кораблестроителей ул. 31 кор. 1	8243
U	11:03	60	Бойцова пер. 4	1412
U	11:28	69	Гороховая ул. 52	8274
U	12:05	1	Бухарестская ул. 23 кор. 1	7331
E	12:35		Склад	0

[9] 72.264 5:13

В	7:00		Склад	0
L	7:00	29	Софийская ул. 95	0
L	7:10	30	Софийская ул. 95	0
L	7:20	12	Софийская ул. 95	0

L	7:30	34	Софийская ул. 95	0
L	7:40	59	Софийская ул. 95	0
L	7:50	58	Софийская ул. 95	22090
U	8:49	58	Во Малый пр. 75	1830
U	9:15	59	Во Малый пр. 45	17244
U	10:09	34	Культуры пр. 22 кор. 1	0
U	10:29	12	Культуры пр. 22 кор. 1	9616
U	11:02	30	Пискаревский пр. 403602	
U	11:27	29	Среднеохтинский пр. 51	17882
E	12:12		Склад	0

[10] 9.724 1:25

В	7:00		Склад	0
L	7:00	19	Софийская ул. 95	0
L	7:10	21	Софийская ул. 95	3221
U	7:26	21	Ярослава Гашека ул. 26 кор. 1	1694
U	7:53	19	Ярослава Гашека ул. 6	4809
E	8:24		Склад	0

[11] 44.330 4:15

В	7:00		Склад	0
L	7:00	80	Софийская ул. 95	0
L	7:10	74	Софийская ул. 95	0
L	7:35	79	Софийская ул. 95	0
L	7:45	77	Софийская ул. 95	0
L	7:55	3	Софийская ул. 95	4872
U	8:14	3	Димитрова ул. 18	10926
U	8:55	77	Дачный пр. 9 кор. 7	461
U	9:17	79	Новаторов бул. 112	5235
U	9:47	74	Ветеранов пр. 120	3967
U	10:23	80	Ленинский пр. 67	18869
E	11:15		Склад	0

[12] 27.298 1:37

В	7:00		Склад	0
L	7:00	71	Софийская ул. 95	13424
U	7:47	71	Бакунина пр. 6	13874
E	8:36		Склад	0

[13] 89.883 5:56

В	7:00	Склад	0	
L	7:00	33	Софийская ул. 95	0
L	7:10	52	Софийская ул. 95	0
L	7:20	50	Софийская ул. 95	0
L	7:30	48	Софийская ул. 95	0
L	7:40	51	Софийская ул. 95	0
L	7:50	9	Софийская ул. 95	0
L	8:00	11	Софийская ул. 95	18044
U	8:34	11	Косыгина пр. 7 кор. 1	1330
U	8:56	9	Индустриальный пр. 30	18656
U	9:46	51	Савушкина ул. 143 кор. 2	0
U	10:06	48	Савушкина ул. 143 кор. 2	7322
U	10:41	50	Серебристый бул. 22 кор. 1	3933
U	11:13	52	Щербакова ул. 6	5813
U	11:47	33	Просвещения пр. 20	34785
E	12:56	Склад	0	

[14] 0.000 0:00

В	7:00	Склад	0	
---	------	-------	---	--

[15] 0.000 0:00

В	7:00	Склад	0	
---	------	-------	---	--

[16] 69.646 5:55

В	7:00	Склад	0	
L	7:00	7	Софийская ул. 95	0
L	7:10	28	Софийская ул. 95	0
L	7:20	41	Софийская ул. 95	0
L	7:30	36	Софийская ул. 95	0
L	7:40	38	Софийская ул. 95	0
L	7:50	43	Софийская ул. 95	0
L	8:00	24	Софийская ул. 95	11569
U	8:45	24	Мельничная ул. 14	10535
U	9:36	43	Кондратьевский пр. 60	3639
U	10:02	38	Лесной пр. 75	7315
U	10:35	36	Луначарского пр. 44	1906
U	10:59	41	Луначарского пр. 72	13377

U 11:40 28 Большая Пороховская ул. 29 10255
U 12:19 7 Большевигов пр. 21 11050
E 12:55 Склад 0

[17] 60.391 5:11

V 7:00 Склад 0
L 7:00 32 Софийская ул. 95 0
L 7:10 46 Софийская ул. 95 0
L 7:40 27 Софийская ул. 95 0
L 7:50 4 Софийская ул. 95 0
L 8:00 2 Софийская ул. 95 0
L 8:10 20 Софийская ул. 95 5962
U 8:34 20 Балканская пл. 5 727
U 8:56 2 Ярослава Гашека ул. 9 2763
U 9:22 4 Бухарестская ул. 116 кор. 1 7674
U 9:54 27 Октябрьская наб. 48 13091
U 10:35 46 Шафировский пр. 6 4128
U 11:14 32 Гражданский пр. 41 26046
E 12:10 Склад 0

[18] 57.955 3:44

V 7:00 Склад 0
L 7:00 37 Софийская ул. 95 0
L 7:10 39 Софийская ул. 95 0
L 7:20 53 Софийская ул. 95 27716
U 8:38 53 Коломяжский пр. 13 3813
U 9:21 39 Новороссийская ул. 32 687
U 9:45 37 Болотная ул. 1 25739
E 10:44 Склад 0

[19] 0.000 0:00

V 7:00 Склад 0

[20] 0.000 0:00

V 7:00 Склад 0

[21] 58.254 3:56

V 7:00 Склад 0

L 7:00 45 Софийская ул. 95 0
L 7:25 16 Софийская ул. 95 9326
U 8:27 16 Тельмана ул. 1 19255
U 9:48 45 Коломяжский пр. 13 29673
E 10:55 Склад 0

[22] 0.000 0:00

V 7:00 Склад 0

[23] 0.000 0:00

V 7:00 Склад 0

[24] 0.000 0:00

V 7:00 Склад 0

[25] 0.000 0:00

V 7:00 Склад 0

[26] 64.507 4:54

V 7:00 Склад 0

L 7:00 10 Софийская ул. 95 0

L 7:10 49 Софийская ул. 95 32102

U 9:20 49 Репищева ул. 14 12464

U 11:03 10 Кондратьевский пр. 48 19941

E 11:54 Склад 0

[27] 0.000 0:00

V 7:00 Склад 0

[28] 0.000 0:00

V 7:00 Склад 0

[29] 0.000 0:00

V 7:00 Склад 0

[30] 0.000 0:00

V 7:00 Склад 0