**МОСКОВСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ (МАДИ)**

МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

лабораторных работ
по дисциплине (модулю)

«ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПАРКА ГРУЗОВОГО И ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА»

Лабораторная работа 1. Оптимизация распределения автобусов по маршрутам

Основные сведения из теоретического курса.

Задача распределения автобусов по маршрутам на ПАТП является оптимизационной. Цель распределения автобусов по маршрутам – достижение максимального уровня качества перевозок пассажиров на маршрутной сети ПАТП при существующей структуре парка подвижного состава.

Критерием оптимизации распределения автобусов по маршрутам является минимизация суммарных расчетных затрат времени всех пассажиров на ожидание транспортных средств по обслуживаемой маршрутной сети за исследуемый период (за час пик) $\sum t_{ож}$, так как при эксплуатации одного и того же парка автобусов на маршрутной сети ПАТП при одной и той же их сменности издержки предприятия будут составлять примерно одинаковую сумму.

$$\sum t_{ож} = \sum_{i=1}^{m} \overline{t_{ожi}} = \sum_{i=1}^{m} \left(\frac{t_{обi}}{2 \times \sum_{j=1}^{n} A_{ij}} \times Q_{чi} \right), \qquad (1)$$

где $\overline{t_{ожi}}$ - суммарные расчетные затраты времени пассажиров на ожидание транспортных средств на i-м маршруте за исследуемый период (за час пик), ч;

$t_{обi}$ – время оборота на i-м маршруте, ч;

$\sum A_{ij}$ – суммарное количество автобусов всех n классов, обслуживающих i-й маршрут;

$Q_{чi}$ – часовой пассажиропоток на i-м маршруте, пасс/ч;

m – количество автобусных маршрутов, обслуживаемых ПАТП.

При этом необходимо учитывать следующие ограничения:

1) количество предоставляемых пассажиромест на каждом маршруте должно быть достаточным (то есть коэффициент наполнения в часы пик на наиболее загруженном участке каждого маршрута γi должен быть менее заложенного уровня, обычно единицы);

2) интервалы движения автобусов в любое время суток на каждом маршруте Ii должны быть допустимыми;
3) количество автобусов определенного типа (класса, модели), работающих на маршрутной сети, не должно превышать количества этих автобусов, которое ежесуточно ПАТП может выпускать на линию.

Исходными данными для расчета являются: матрицы данных о моделях автобусов (2), матрица данных о технико-эксплуатационных показателях (ТЭП) маршрутов (3).

$$[\mathrm{A}] = \begin{pmatrix} q_{\text{н}1} & C_1 & \mathrm{A}_{\text{м}1} \\ \dots & \dots & \dots \\ q_{\text{н}j} & C_j & \mathrm{A}_{\text{м}j} \\ \dots & \dots & \dots \\ q_{\text{н}n} & C_n & \mathrm{A}_{\text{м}n} \end{pmatrix}, \tag{2}$$

где [A] – матрица данных о характеристиках различных типов (классов, моделей) автобусов, имеющихся на ПАТП.

$q_{\text{н}j}$ - пассажировместимость j-й модели автобуса, пасс.

C_j - средняя себестоимость эксплуатации j-й модели автобуса в условиях ПАТП, руб./км.

n – количество различных типов (классов, моделей) автобусов, имеющихся на ПАТП.

$$[\mathrm{M}] = \begin{pmatrix} l_{\text{м}1} & \dots & l_{\text{м}i} & \dots & l_{\text{м}m} \\ Q_{\text{ч}1} & \dots & Q_{\text{ч}i} & \dots & Q_{\text{ч}m} \\ Q_{max1} & \dots & Q_{maxi} & \dots & Q_{maxm} \\ t_{\text{об}1} & \dots & t_{\text{об}i} & \dots & t_{\text{об}m} \end{pmatrix}, \tag{3}$$

где [M] – матрица данных о технико-эксплуатационных показателях маршрутов, обслуживаемых ПАТП;

$l_{\text{м}i}$ – протяженность маршрута, км;

$Q_{\text{ч}i}$ – часовой пассажиропоток, пасс/ч;

Q_{maxi} – пассажиронапряженность на маршруте, пасс/ч;

$t_{\text{об}i}$ – время оборота на маршруте, ч;

m – количество автобусных маршрутов, обслуживаемых ПАТП.

Математическая модель задачи выглядит следующим образом (расчет производится для критических часов):

$$F = \sum_{i=1}^{m} \left(\frac{t_{\text{об}i}}{2 \times \sum_{j=1}^{n} \mathrm{A}_{ij}} \times Q_{\text{ч}i} \right) \to min,$$

при ограничениях

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{m} \mathrm{A}_{ij} \leq A_j^{max} \\ \frac{Q_{maxi} \times t_{\text{об}i}}{\sum_j^n q_{\text{н}j} \times \mathrm{A}_{ij}} \leq \gamma_i^{max} \\ I_i^{min} \leq \frac{60 \times t_{\text{об}i}}{\sum_j^n \mathrm{A}_{ij}} \leq I_i^{max}, \\ \mathrm{A}_{ij} \in \mathbb{Z} \\ \mathrm{A}_{ij} \geq 0 \end{cases} \quad (4)$$

где A_j^{max} – максимальное количество автобусов j-го типа (класса, модели), которое ПАТП может выпускать на линию ежедневно, ед.;

γ_i^{max} – максимально допустимый коэффициент наполнения на на i-м маршруте.

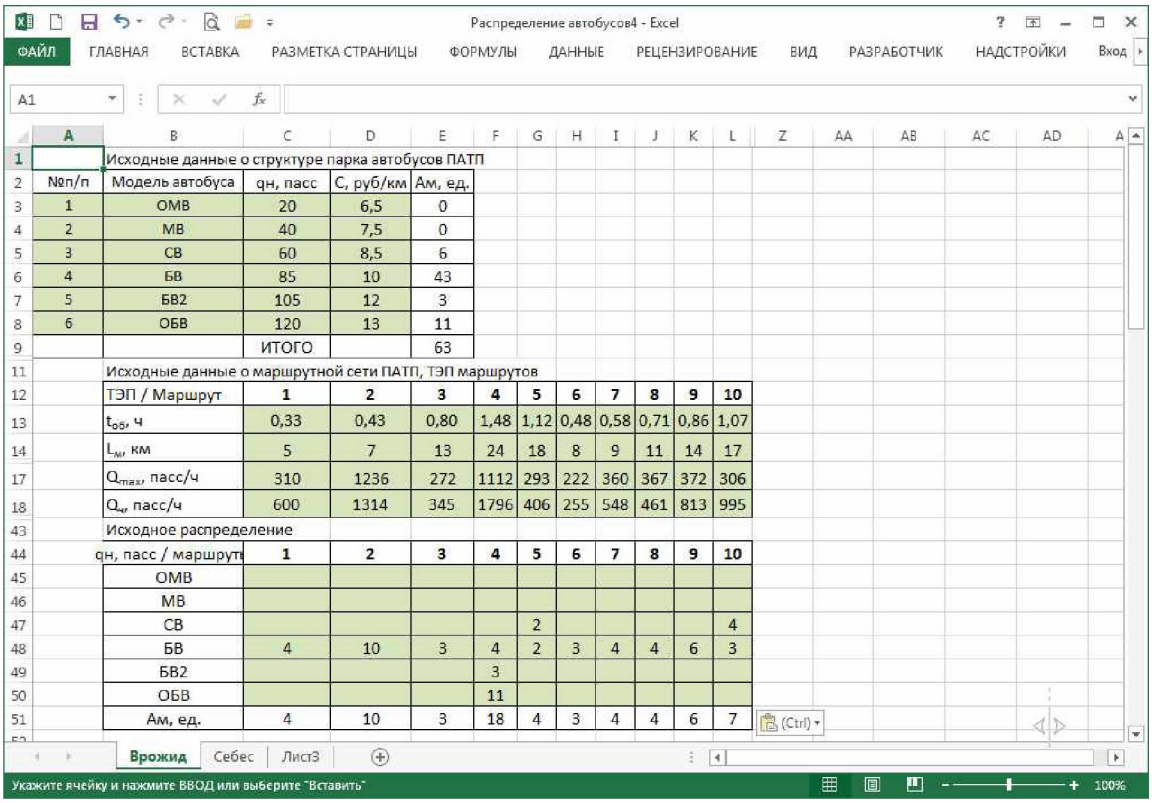
$I_i^{min(max)}$ – минимально (максимально) допустимый интервал движения на i-м маршруте, мин.

Рекомендации по выполнению работы.

Лабораторная работа выполняется индивидуально, если преподавателем не указано иное.

Исходные данные для расчетов выбираются по последним двум цифрам зачетной книжки и представляют собой перечень маршрутов, для которых будут производиться расчеты. Варианты заданий (табл. 14), информация об имеющемся подвижном составе (табл. 15) и его распределении по маршрутам (табл. 16), а также о технико-эксплуатационных показателях маршрутов (табл. 17) представлена в Приложении 3.

В MS Excel формируются таблицы исходных данных, содержащие информацию об имеющейся на ПАТП структуре парка автобусов, их распределении по обслуживаемой маршрутной сети и ТЭП этих маршрутов (Таблица 1, Таблица 2, Рисунок 1).



Исходные данные о структуре парка автобусов ПАТП

№п/п	Модель автобуса	qн, пасс	С, руб/км	Ам, ед.
1	ОМВ	20	6,5	0
2	МВ	40	7,5	0
3	СВ	60	8,5	6
4	БВ	85	10	43
5	БВ2	105	12	3
6	ОБВ	120	13	11
		ИТОГО		63

Исходные данные о маршрутной сети ПАТП, ТЭП маршрутов

ТЭП / Маршрут	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$t_{об}$, ч	0,33	0,43	0,80	1,48	1,12	0,48	0,58	0,71	0,86	1,07
$L_м$, км	5	7	13	24	18	8	9	11	14	17
Q_{max}, пасс/ч	310	1236	272	1112	293	222	360	367	372	306
$Q_ч$, пасс/ч	600	1314	345	1796	406	255	548	461	813	995

Исходное распределение

qн, пасс / маршрут	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ОМВ										
МВ										
СВ					2					4
БВ	4	10	3	4	2	3	4	4	6	3
БВ2				3						
ОБВ				11						
Ам, ед.	4	10	3	18	4	3	4	4	6	7

Рисунок 1. Исходные данные для расчета

Таблица 1. Данные по структуре парка автобусов ПАТП

№п/п	Модель	Пассажировместимость, пасс.	Себестоимость эксплуатации, руб/км	Количество автобусов на ПАТП, ед.
1	Модель 1	$q_{н1}$	C_1	A_1
…	…		…	…
j	Модель j	$q_{нj}$	C_j	A_j
…	…		…	…
n	Модель n	$q_{нn}$	C_n	A_n

Таблица 2. Данные маршрутной сети ПАТП[1]

ТЭП / Маршрут	№1	…	№i	…	№m
Длина маршрута, км	$l_{м1}$	…	$l_{мi}$	…	$l_{мm}$
Время оборота, ч	$t_{об1}$	…	$t_{обi}$	…	$t_{обm}$
Максимальная пассажиронапряженность, пасс/ч	Q_{max1}	…	Q_{maxi}	…	Q_{maxm}
Часовой пассажиропоток, пасс/ч	$Q_{ч1}$	…	$Q_{чi}$	…	$Q_{чm}$

[1] Таблица может быть дополнена информацией о часовых пассажиронапряженностях и пассажиропотоках в непиковые часы, однако в этом случае усложняются задачи (3, 4). При этом достигнутый оптимум, как показывает практика, будет не существенно ниже, чем достигнутый при расчете для пикового периода

Затем формируется таблица ограничений на ТЭП (Таблица 3).

Таблица 3. Информация о величинах принятых ограничений

ТЭП	Величина
Максимально допустимый коэффициент наполнения	γ_1^{max}
Минимально допустимый интервал движения, мин	I_1^{min}
Максимально допустимый интервал движения, мин	I_1^{max}

Формируется таблица переменных A_{ij} и опорный план (он может быть любым) (Рисунок 2, Таблица 4). В выделенной области таблицы будет происходить поиск решения оптимизационной задачи.

Таблица 4. Таблица переменных A_{ij}

Модель	№1	…	№i	…	№m	Всего по модели
Модель 1	A_{11}	…	A_{i1}	…	A_{m1}	A_1
…	…	…	…	…	…	…
Модель j	A_{1j}	…	A_{ij}	…	A_{mj}	A_j
…	…	…	…	…	…	…
Модель n	A_{1n}	…	A_{jn}	…	A_{mn}	A_n
Всего по маршруту	A_1		A_i		A_m	$A_{общ}$

Согласно (3) записываются в ячейки формулы целевой функции и расчетных переменных (Таблица 5, Рисунок 2, Рисунок 3), которые должны быть **связаны с таблицей переменных**, а не с исходным распределением автобусов по маршрутам.

Таблица 5. Таблица целевой функции и расчетных переменных для поиска оптимального решения

Расчетные переменные / маршруты	№1	…	№i	…	№m
tожi (компоненты ЦФ), ч	F_1	…	F_i	…	F_m
∑tожi (ЦФ), ч	F				
γi	γ_1	…	γ_i	…	γ_m
Ii, мин	I_1	…	I_i	…	I_m

Распределение автобусов5 - Excel

ФАЙЛ ГЛАВНАЯ ВСТАВКА РАЗМЕТКА СТРАНИЦЫ ФОРМУЛЫ ДАННЫЕ РЕЦЕНЗИРОВАНИЕ ВИД

C58 =C13*60/C28

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	W	X
30		Информация об ограничениях												
31		γ_i^{max}	1											
32		l_i^{min}, мин	2											
33		l_i^{max}, мин	15											
34														
35		Таблица переменных A_{ij}												
36		qн, пасс / маршруты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ам, ед.	
37		ОМВ											0	
38		МВ											0	
39		СВ	0	0	0	2	0	0	0	1	0	0	3	
40		БВ	8	7	10	0	9	4	4	2	2	3	49	
41		БВ2	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	3	
42		ОБВ	0	0	0	0	0	0	11	0	0	0	11	
43		Ам, ед.	8	7	11	2	9	4	15	4	2	4	66	
44														
45		Целевая функция и расчетные переменные												
46		маршруты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
47		tожi (компоненты ЦФ), ч	82,6	61,0	89,3	20,7	92,2	34,5	88,6	56,8	30,6	39,7		
48		∑tожi (ЦФ), ч	596,1	-2,70%										
49		γi	0,79	0,72	0,96	0,36	0,85	0,64	0,99	0,98	0,63	0,58		
50		li, мин	9,6	9,9	7,1	23,4	7,4	12,0	5,9	16,8	14,4	8,7		
51		tож ср	2,139											
52														
53		Величины ЦФ и РП при исходном распределении												
54		маршруты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		

Врожид Себес Лист3

ГОТОВО СРЕДНЕЕ: 11,7 КОЛИЧЕСТВО: 10 СУММА: 116,6 90%

Рисунок 2. Информация об ограничениях, таблица переменных, целевая функция и расчет ограничений задачи.

Далее формируется таблица аналогичная Таблица 5, но для расчета суммарных затрат времени ожидания всех пассажиров по маршрутной сети за исследуемый период, интервалов движения автобусов и коэффициентов наполнения на наиболее загруженных участках маршрутов, которые наблюдались **при исходном распределении автобусов** по маршрутам (Рисунок 6). В данной таблице формулы для расчета указанных выше показателей должны быть **связаны не с таблицей переменных, а с исходным распределением автобусов по маршрутам**.

После того, как все таблицы сформированы, формулы прописаны в соответствующие ячейки и проверены необходимо приступить к формированию задачи для поиска оптимального решения. На вкладке «Данные» выбирается «Поиск решения» (Рисунок 4). В диалоговом окне:

1. Прописывается ячейка, содержащая целевую функцию;
2. Выбирается направление оптимизации (в данном случае необходимо выбирать «минимум»);
3. Выбирается диапазон переменных A_{ij} (для данной задачи диапазон переменных можно ограничить только теми типами автобусов, которые имеются на предприятии согласно варианту задания);
4. Последовательно добавляются необходимые ограничения согласно математической модели задачи;
5. Нажимается кнопка «Найти решение».
6. Через некоторое время программа определяет оптимальный план распределения автобусов по маршрутам[2].

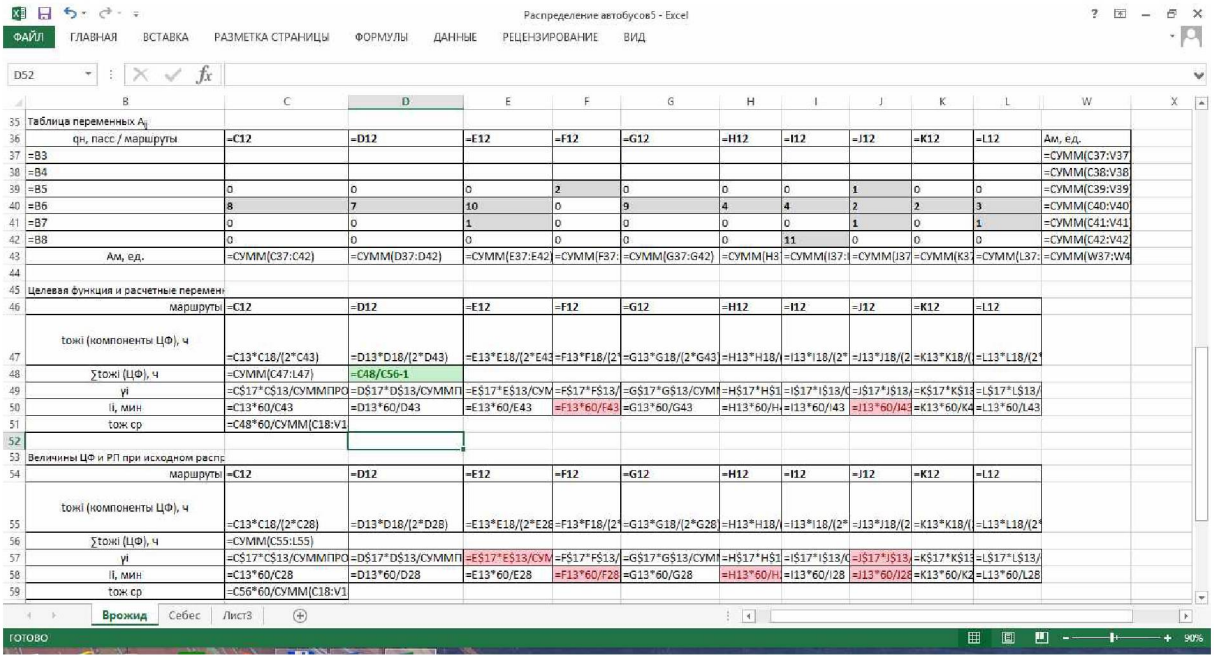


Рисунок 3. Целевая функция и расчет ограничений задачи с формулами.

[2] Если оптимальный план найти невозможно при данных ограничениях, их необходимо последовательно делать менее строгими до того момента, когда будет возможно отыскать допустимое решение. Оптимальным может быть и исходное распределение автобусов.

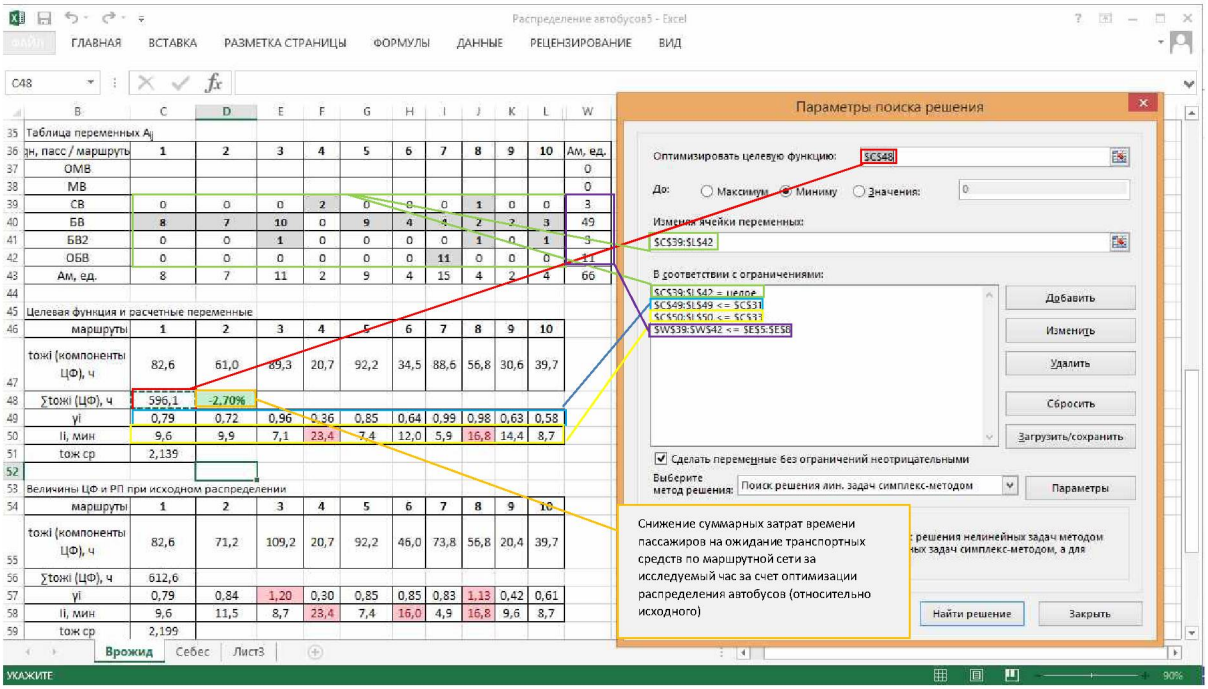


Рисунок 4. Решение задачи перераспределения автобусов по маршрутам с помощью инструмента «Поиск решения».

Альтернативный метод решения задачи

Если «Поиск решения» не дает результатов, можно воспользоваться итерационным методом подбора оптимального распределения парка автобусов по маршрутам.

Суть этого метода состоит в последовательной переброске одного автобуса с одного маршрута на другой по критерию минимизации целевой функции. То есть необходимо найти такую пару маршрутов, для которой при переброске одного автобуса с одного маршрута на другой целевая функция уменьшается на максимальную величину среди всех возможных пар маршрутов. Затем производится новый расчет и опять необходимо найти такую пару маршрутов, для которой при переброске одного автобуса с одного маршрута на другой целевая функция уменьшается на максимальную величину среди всех возможных пар маршрутов. Эти итерации повторяются до тех пор, пока максимальная величина снижения целевой функции не становится отрицательной (то есть при переброске одного автобуса для любой пары маршруты целевая функция не сократится, а увеличится). Таким

образом будет найдено оптимальное распределение имеющегося парка автобусов ПАТП по маршрутам.

Для решения такой задачи удобно воспользоваться MS Excel. На том же листе, где формировались таблицы с исходными данными, расчетными переменными и целевой функции необходимо создать две таблицы (Таблица 6, Таблица 7, Рисунок 5).

Таблица 6. Таблица изменений целевой функции при добавлении и удалении одного автобуса с маршрута

Расчетные переменные / маршруты	№1	…	№i	…	№m
Добавление одного автобуса (+1)	ΔF^{+1}_{1}	…	ΔF^{+1}_{i}	…	ΔF^{+1}_{m}
Удаление одного автобуса (-1)	ΔF^{-1}_{1}	…	ΔF^{-1}_{i}	…	ΔF^{-1}_{m}

$$\Delta F_i^{+1} = \frac{t_{\text{об}i}}{2 \times \sum_{j=1}^{n} \mathrm{A}_{ij}} \times Q_{\text{ч}i} - \frac{t_{\text{об}i}}{2 \times \left(\sum_{j=1}^{n} \mathrm{A}_{ij} + 1\right)} \times Q_{\text{ч}i}, \quad (5)$$

$$\Delta F_i^{-1} = \frac{t_{\text{об}i}}{2 \times \left(\sum_{j=1}^{n} \mathrm{A}_{ij} - 1\right)} \times Q_{\text{ч}i} - \frac{t_{\text{об}i}}{2 \times \sum_{j=1}^{n} \mathrm{A}_{ij}} \times Q_{\text{ч}i}, \quad (6)$$

Таблица 7. Вспомогательная таблица поиска оптимального распределения автобусов по маршрутам

	Удаление одного автобуса (-1)	ΔF^{-1}_{1}	…	ΔF^{+1}_{i}	…	ΔF^{+1}_{m}
Добавление одного автобуса (+1)	Маршрут	№1	…	№i	…	№m
ΔF^{+1}_{1}	№1		…	$\Delta\Delta F_{i1}$	…	$\Delta\Delta F_{m1}$
…	…	…		…	…	…
ΔF^{+1}_{i}	№i	$\Delta\Delta F_{1i}$	…		…	$\Delta\Delta F_{mi}$
…	…	…	…	…		…
ΔF^{+1}_{m}	№m	$\Delta\Delta F_{1m}$	…	$\Delta\Delta F_{jm}$	…	

$$\Delta\Delta F_{ii} = \Delta F_i^{+1} - \Delta F_i^{-1}. \quad (7)$$

Чтобы каждый раз не пересчитывать значения в таблицах, необходимо формулы в Таблица 7 связать с таблицами исходных данных и таблицей переменных (где будет осуществляться поиск оптимального распределения автобусов).

Как можно заметить, одна из строк Таблица 6 в Таблица 7 является столбцом. Чтобы транспонировать столбец с сохранением формул и зависимостей, необходимо воспользоваться формулой массива ТРАНСП. В первую ячейку предполагаемого столбца необходимо записать формулу: =ТРАНСП(C1:C11). При этом C1:C11 - это ссылка на строку с данными, которую необходимо транспонировать. После записи формулы необходимо нажать комбинацию клавиш Ctrl+Shift+Enter (без этой комбинации формула массива не сработает!). Также в Таблица 7 необходимо удалить диагональ (выделено серым).

Когда Таблица 7 готова (при условии что исходное распределение в таблице переменных задано) остается в ней найти максимальное значение[3]. Ячейка с максимальным значением будет показывать пару маршрутов, для которой нужно совершить переброску автобуса. Столбец будет показывать номер маршрута, с которого необходимо убрать один автобус, а строка будет показывать номер маршрута, на который необходимо добавить ЭТОТ САМЫЙ автобус.

Важное замечание! При перебрасывании автобуса необходимо иметь ввиду:

- Убирать можно автобус любой вместимости, который есть на маршруте, с которого этот автобус убирают;
- Добавлять на маршрут автобус можно только той вместимости, которую убрали с другого маршрута;
- Если при переброске на данной паре маршрутов нарушаются какие-либо установленные ограничения (по интервалу или коэффициенту вместимости), то такая пара маршрутов убирается из рассмотрения (в Таблица 7 формула в соответствующей ячейке удаляется).

[3] Для этого удобно воспользоваться формулой МАКС (прописать для значений всей Таблица 7 в одной из ячеек) и затем применив к Таблица 7 условное форматирование (с условием равенства значения значению ячейки, в которой была прописана формула МАКС)

32		ОБВ	0	0	0	1	3	0	3	0	3	0	10	10	0
33		Ам, ед.	3	9	8	11	7	6	7	4	6	4	65	65	0
34			3	9	8	11	7	6	7	4	6	4			
35															
36		1	6,5933333	7,338667	5,9337	7,45	7,2	5,4	7,2	5	6,7	6,9			
37		-1	13,186667	9,173333	7,629	8,93	9,6	7,6	9,6	8,3	9,4	11,5			
38	1	маршруты	4	1	2	3	13	18	13	14	15	16			
39	6,593333	4		-2,58	-1,036	-2,34	-3	-1	-3	-1,7	-2,8	-4,91			
40	7,338667	1	-5,848		-0,29	-1,6	-2,2	-0,2	-2,2	-0,9	-2,1	-4,16			
41	5,933681	2	-7,252986	-3,23965		-3	-3,6	-1,6	-3,6	-2,3	-3,5	-5,57			
42	7,445455	3	-5,741212	-1,72788	-0,184		-2,1	-0,1	-2,1	-0,8	-2	-4,05			
43	7,183571	13	-6,003095	-1,98976	-0,445	-1,75		-0,4	-2,4	-1,1	-2,2	-4,32			
44	5,413333	18	-7,773333	-3,76	-2,216	-3,52	-4,2		-4,2	-2,8	-4	-6,09			
45	7,183571	13	-6,003095	-1,98976	-0,445	-1,75	-2,4	-0,4		-1,1	-2,2	-4,32			
46	4,95	14	-8,236667	-4,22333	-2,679	-3,98	-4,6	-2,6	-4,6		-4,5	-6,55			
47	6,726429	15	-6,460238	-2,4469	-0,903	-2,21	-2,9	-0,9	-2,9	-1,5		-4,77			
48	6,9	16	-6,286667	-2,27333	-0,729	-2,03	-2,7	-0,7	-2,7	-1,4	-2,5				
49											Макс	-0,13			
50		Целевая функция и расчетные переменные													
51		маршруты	4	1	2	3	13	18	13	14	15	16			
52		Компоненты ЦФ	26,4	73,4	53,4	89,3	57,5	37,9	57,5	24,8	47,1	34,5			
53		ЦФ (время ожидания), ч	501,7	-6,15%											
54		Ограничения (гамма)	0,43	0,71	0,63	0,94	0,91	0,64	0,91	0,32	0,86	0,64	0,3989		

Рисунок 5. Поиск оптимального распределения автобусов по маршрутам с помощью вспомогательной таблицы.

Если все сделано правильно, то после переброски одного автобуса с одного маршрута на другой, все значения в Таблица 6, Таблица 7 автоматически пересчитаются и будет найдена новая пара маршрутов (она может быть той же самой!).

Переброску необходимо продолжать до тех пор, пока во всей Таблица 7 не останется положительных значений.

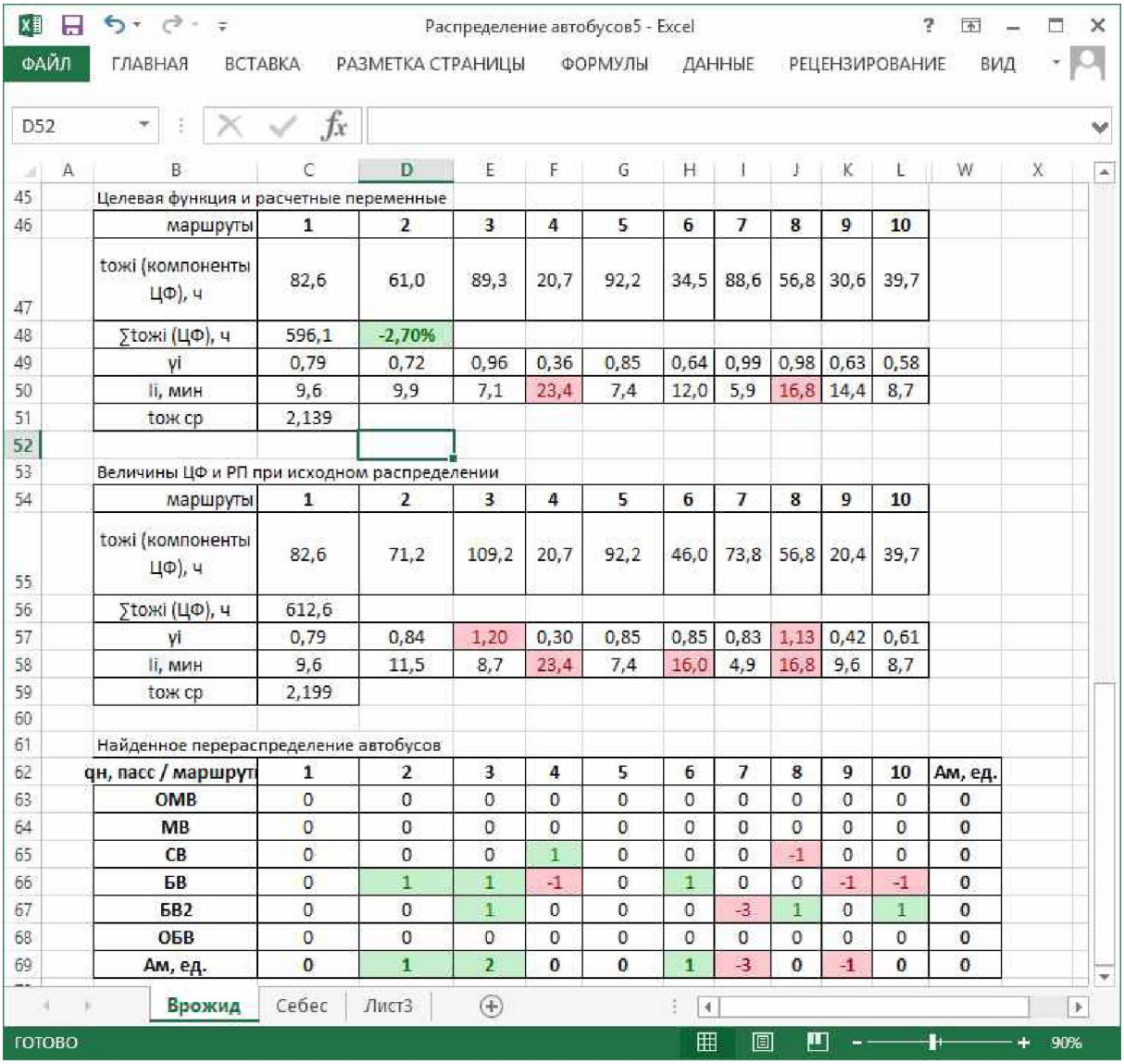
После нахождения оптимального распределения автобусов по маршрутам (любым из методов) рассчитывается таблица, где указывается необходимое перераспределение автобусов (Рисунок 6).

Задание.

1. Найти оптимальное распределение автобусов по маршрутам в соответствии с вариантом задания и определить в процентах, на сколько снизятся суммарные затраты времени всех пассажиров на ожидание транспортных средств по

маршрутной сети за исследуемый час по сравнению с исходным распределением.

2. Составить отчет по работе, сделать выводы о необходимом перераспределения автобусов по маршрутам. В отчете должны содержаться все построенные таблицы.



Распределение автобусов5 - Excel

D52

Целевая функция и расчетные переменные

маршруты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
tожi (компоненты ЦФ), ч	82,6	61,0	89,3	20,7	92,2	34,5	88,6	56,8	30,6	39,7
∑tожi (ЦФ), ч	596,1	-2,70%								
γi	0,79	0,72	0,96	0,36	0,85	0,64	0,99	0,98	0,63	0,58
li, мин	9,6	9,9	7,1	23,4	7,4	12,0	5,9	16,8	14,4	8,7
tож ср	2,139									

Величины ЦФ и РП при исходном распределении

маршруты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
tожi (компоненты ЦФ), ч	82,6	71,2	109,2	20,7	92,2	46,0	73,8	56,8	20,4	39,7
∑tожi (ЦФ), ч	612,6									
γi	0,79	0,84	1,20	0,30	0,85	0,85	0,83	1,13	0,42	0,61
li, мин	9,6	11,5	8,7	23,4	7,4	16,0	4,9	16,8	9,6	8,7
tож ср	2,199									

Найденное перераспределение автобусов

qн, пасс / маршрут	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ам, ед.
ОМВ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
МВ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
СВ	0	0	0	1	0	0	0	-1	0	0	0
БВ	0	1	1	-1	0	1	0	0	-1	-1	0
БВ2	0	0	1	0	0	0	-3	1	0	1	0
ОБВ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ам, ед.	0	1	2	0	0	1	-3	0	-1	0	0

Врожид Себес Лист3

ГОТОВО 90%

Рисунок 6. Таблицы для расчета необходимых показателей при исходном распределении автобусов по маршрутам и итоговое перераспределение автобусов между маршрутами

Лабораторная работа 2. Разработка оптимальной структуры парка подвижного состава ПАТП и плана изменения существующей структуры

Основные сведения из теоретического курса.

Расчет оптимальной структуры парка подвижного состава ПАТП относиться к задачам стратегического планирования, так как связана с обновлением парка подвижного состава. Цель этой задачи - оптимизация структуры парка подвижного состава ПАТП по критерию минимизации себестоимости перевозок при обслуживании маршрутной сети с учетом заданных целевых показателей качества перевозок пассажиров. Она должна быть связана с предыдущей задачей, так как изменение структуры парка подвижного состава не должно приводить к снижению уровня качества перевозок. Таким образом, в математической модели должны быть учтены следующие ограничения:

1) количество предоставляемых пассажиромест на каждом маршруте должно быть достаточным (то есть коэффициент наполнения в часы пик на наиболее загруженном участке маршрута должен быть менее заложенного уровня, обычно единицы);
2) интервалы движения автобусов в любое время суток на каждом маршруте должны быть допустимыми;
3) изменение структуры парка подвижного состава не должно приводить к снижению уровня качества перевозок (среднее расчетное время ожидания пассажиром автобуса не должно превышать данного показателя при оптимальном распределении существующего парка подвижного состава).

Математическая модель задачи (расчет производится для критических часов):

$$F = \sum_{i=1}^{m} S_i = \sum_{i=1}^{m} \left(\frac{l_{\text{м}i}}{t_{\text{об}i}} \times \sum_{j=1}^{n} C_j \times \text{A}_{ij} \right) \rightarrow min, \quad (8)$$

при условиях

$$\begin{cases} t_{\text{ожср}} = \dfrac{\sum_{i=1}^{m} \frac{t_{\text{об}i}}{2\times\sum_{j=1}^{n} \mathrm{A}_{ij}} \times Q_{\text{ч}i}}{\sum_{i=1}^{m} Q_{\text{ч}i}} \leq \bar{t}_{\text{ожср}}^{max} \\ \gamma_i = \frac{Q_{maxi} \times t_{\text{об}i}}{\sum_{j}^{n} q_{\text{н}j} \times \mathrm{A}_{ij}} \leq \gamma_i^{max} \\ I_i^{min} \leq \frac{60 \times t_{\text{об}i}}{\sum_{j}^{n} \mathrm{A}_{ij}} \leq I_i^{max} \\ \mathrm{A}_{ij} \in \mathbb{Z} \\ \mathrm{A}_{ij} \geq 0 \end{cases},$$

где S_i – себестоимость перевозок на i-м маршруте, руб/ч;

$l_{\text{м}i}$ – протяженность i-го маршрута, км;

C_j - средняя себестоимость эксплуатации j-й модели (типа) автобуса, руб/км;

A_{ij} – количество автобусов j-й модели (типа), необходимых для работы на i-м маршруте, ед.;

n – количество различных моделей (типов) автобусов, отобранных для проектирования структуры парка подвижного состава ПАТП;

$Q_{\text{ч}i}$ – часовой пассажиропоток на i-м маршруте, пасс/ч;

Q_{maxi} – максимальная пассажиронапряженность на i-м маршруте, пасс/ч;

$t_{\text{об}i}$ – время оборота на i-м маршруте, ч;

m – количество автобусных маршрутов, обслуживаемых ПАТП;

γ_i^{max} – максимально допустимый коэффициент наполнения на на i-м маршруте.

$I_i^{min(max)}$ – минимально (максимально) допустимый интервал движения на i-м маршруте, мин.

$\bar{t}_{\text{ожср}}^{max}$ - средние затраты времени одного пассажира на ожидание транспортного средства для заданной маршрутной сети в исследуемый час при оптимальном распределении имеющегося на ПАТП парка автобусов по маршрутам (величина данного ограничения находится при решении предыдущей задачи), мин/пасс.

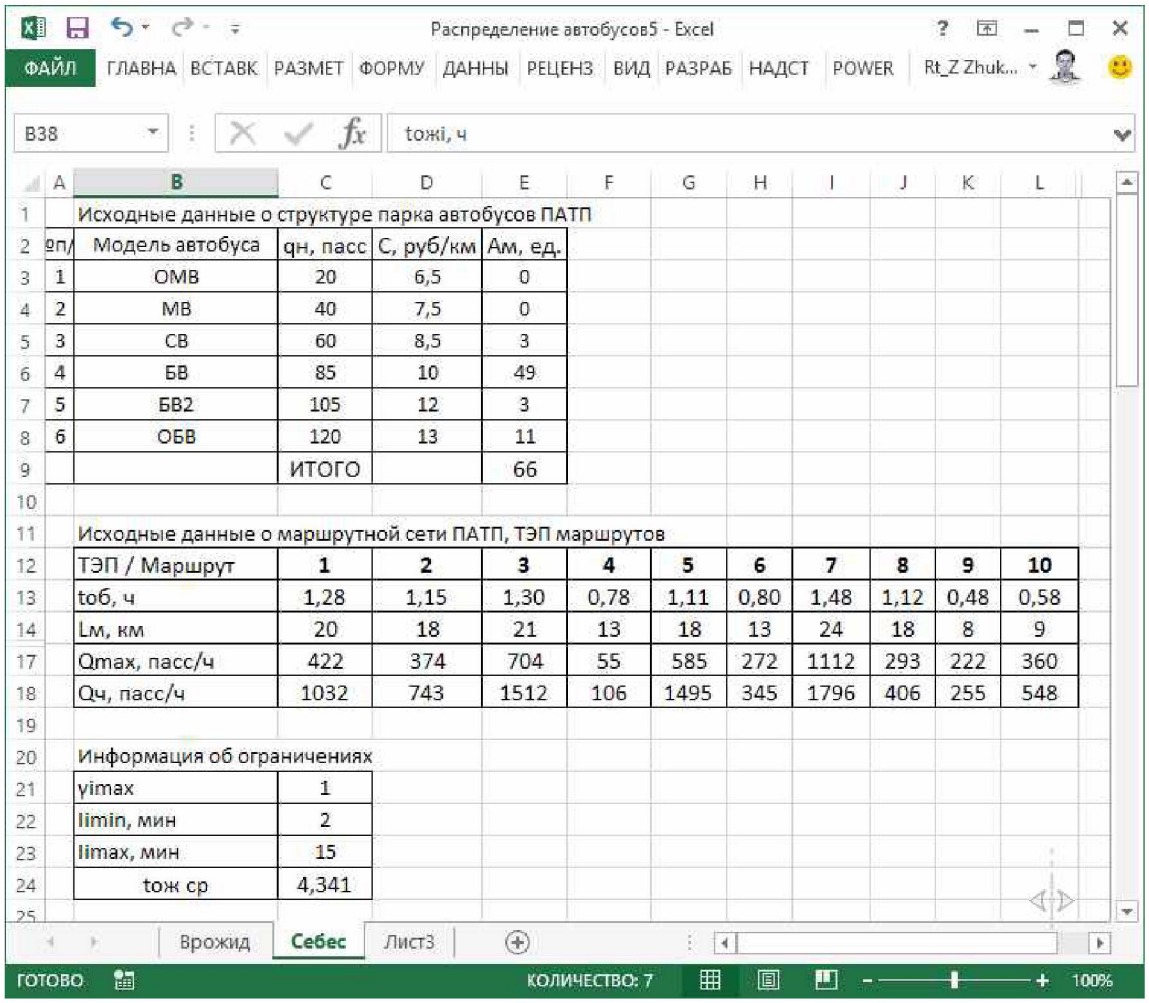
$$\bar{t}_{\text{ожср}}^{max} = \frac{\sum_{i=1}^{m} \left(\frac{t_{\text{об}i}}{2\times\sum_{j=1}^{n} \mathrm{A}_{ij}} \times Q_{\text{ч}i} \right)}{\sum_{i=1}^{m} Q_{\text{ч}i}}, \quad (9)$$

Рекомендации по выполнению работы.

Лабораторная работа выполняется индивидуально, если преподавателем не указано иное.

Исходные данные для расчетов аналогичны исходным данным предыдущей лабораторной работы, кроме того для выполнения данной работы потребуется величина $\bar{t}_{\text{ожср}}^{max}$, которую необходимо получить, используя результаты предыдущей работы.

Таблицы исходных данных, содержащие информацию об имеющейся на ПАТП структуре парка автобусов, их распределении по обслуживаемой маршрутной сети и ТЭП этих маршрутов аналогичны предыдущей работе (Рисунок 7).



Исходные данные о структуре парка автобусов ПАТП

п/п	Модель автобуса	qн, пасс	С, руб/км	Ам, ед.
1	ОМВ	20	6,5	0
2	МВ	40	7,5	0
3	СВ	60	8,5	3
4	БВ	85	10	49
5	БВ2	105	12	3
6	ОБВ	120	13	11
		ИТОГО		66

Исходные данные о маршрутной сети ПАТП, ТЭП маршрутов

ТЭП / Маршрут	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
tоб, ч	1,28	1,15	1,30	0,78	1,11	0,80	1,48	1,12	0,48	0,58
Lм, км	20	18	21	13	18	13	24	18	8	9
Qmax, пасс/ч	422	374	704	55	585	272	1112	293	222	360
Qч, пасс/ч	1032	743	1512	106	1495	345	1796	406	255	548

Информация об ограничениях

yimax	1
Iimin, мин	2
Iimax, мин	15
tож ср	4,341

Рисунок 7. Исходные данные для расчета

Затем формируется таблица ограничений на ТЭП, они могут отличаться от ограничений, выбранных для предыдущей работы. Форма таблицы аналогична (Таблица 8, Рисунок 7).

Таблица 8. Информация о величинах принятых ограничений

ТЭП	Величина
Максимально допустимый коэффициент наполнения	γ_1^{max}
Минимально допустимый интервал движения, мин	I_1^{min}
Максимально допустимый интервал движения, мин	I_1^{max}
Средние затраты времени одного пассажира на ожидание транспортного средства для заданной маршрутной сети в исследуемый час при оптимальном распределении имеющегося на ПАТП парка автобусов по маршрутам, мин/пасс	$\bar{t}_{ож}^{max}$

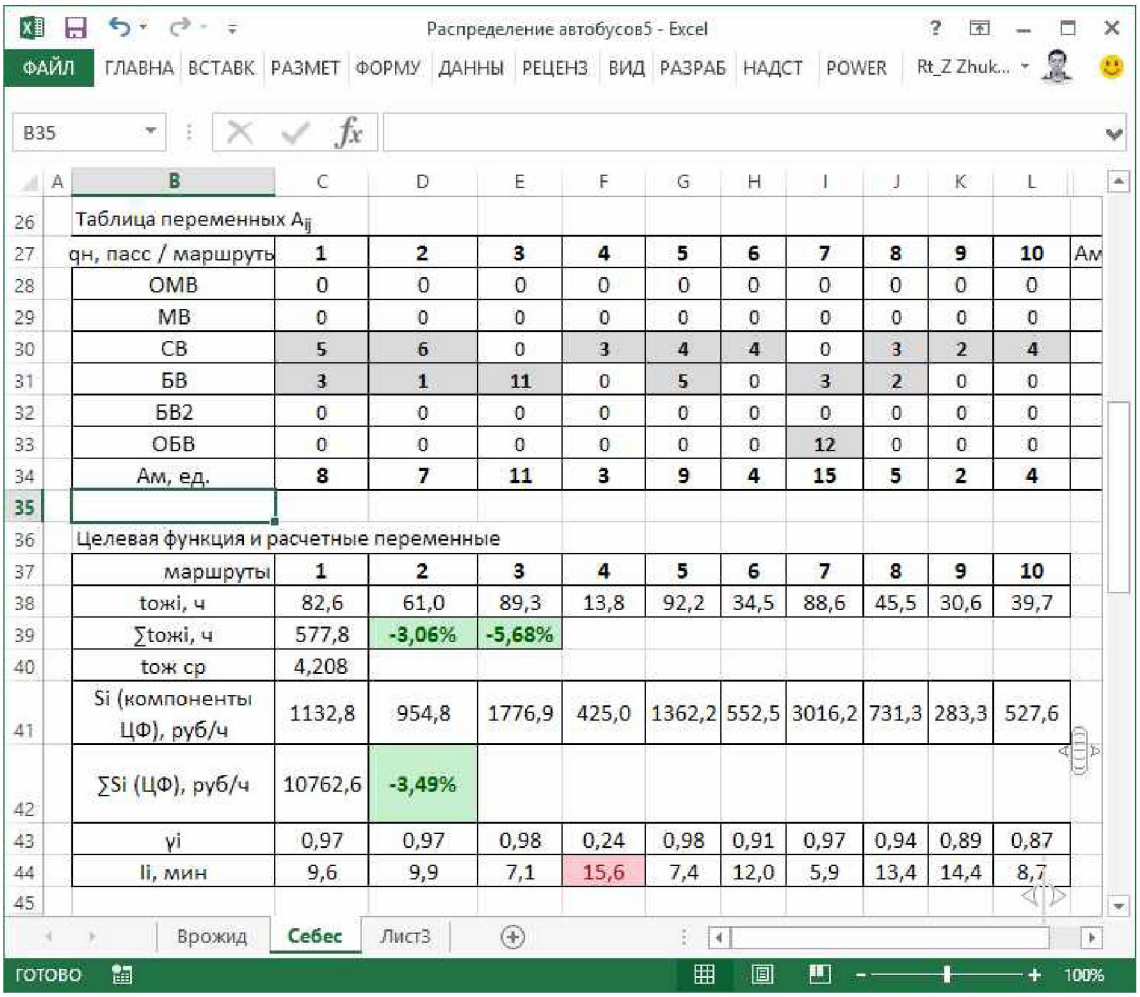
Формируется таблица переменных A_{ij} и опорный план (он может быть любым) (Таблица 4, Рисунок 8).

Согласно (5) записываются в ячейки формулы целевой функции и расчетных переменных, которые должны быть **связаны с таблицей переменных данной лабораторной работы** (Таблица 9, Рисунок 8).

Таблица 9. Таблица целевой функции и расчетных переменных для поиска оптимального решения

Расчетные переменные / маршруты	№1	…	№i	…	№m
$t_{ожi}$ (компоненты $\sum t_{ожi}$), ч					
$\sum t_{ожi}$, ч					
$t_{ож\ ср}$					
S_i (компоненты ЦФ), руб/ч	F_1	…	F_i	…	F_m
$\sum S_i$ (ЦФ), руб/ч	F				
γ_i	γ_1	…	γ_i	…	γ_m
I_i, мин	I_1	…	I_i	…	I_m

Далее формируется таблица аналогичная Таблица 9, но для расчета себестоимости перевозок, суммарных затрат времени ожидания всех пассажиров по маршрутной сети за исследуемый период, интервалов движения автобусов и коэффициентов наполнения на наиболее загруженных участках маршрутов, которые наблюдались **при исходной структуре парка автобусов** (Рисунок 9). В данной таблице формулы для расчета указанных выше показателей должны быть **связаны с оптимальным распределением автобусов по маршрутам, найденном в предыдущей работе**.



Распределение автобусов5 - Excel

B35

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	
26	Таблица переменных A_{ij}											
27	qн, пасс / маршруты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ам
28	ОМВ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
29	МВ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
30	СВ	5	6	0	3	4	4	0	3	2	4	
31	БВ	3	1	11	0	5	0	3	2	0	0	
32	БВ2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
33	ОБВ	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	
34	Ам, ед.	8	7	11	3	9	4	15	5	2	4	
35												
36	Целевая функция и расчетные переменные											
37	маршруты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
38	tожi, ч	82,6	61,0	89,3	13,8	92,2	34,5	88,6	45,5	30,6	39,7	
39	∑tожi, ч	577,8	-3,06%	-5,68%								
40	tож ср	4,208										
41	Si (компоненты ЦФ), руб/ч	1132,8	954,8	1776,9	425,0	1362,2	552,5	3016,2	731,3	283,3	527,6	
42	∑Si (ЦФ), руб/ч	10762,6	-3,49%									
43	γi	0,97	0,97	0,98	0,24	0,98	0,91	0,97	0,94	0,89	0,87	
44	li, мин	9,6	9,9	7,1	15,6	7,4	12,0	5,9	13,4	14,4	8,7	
45												

Врожид | Себес | Лист3

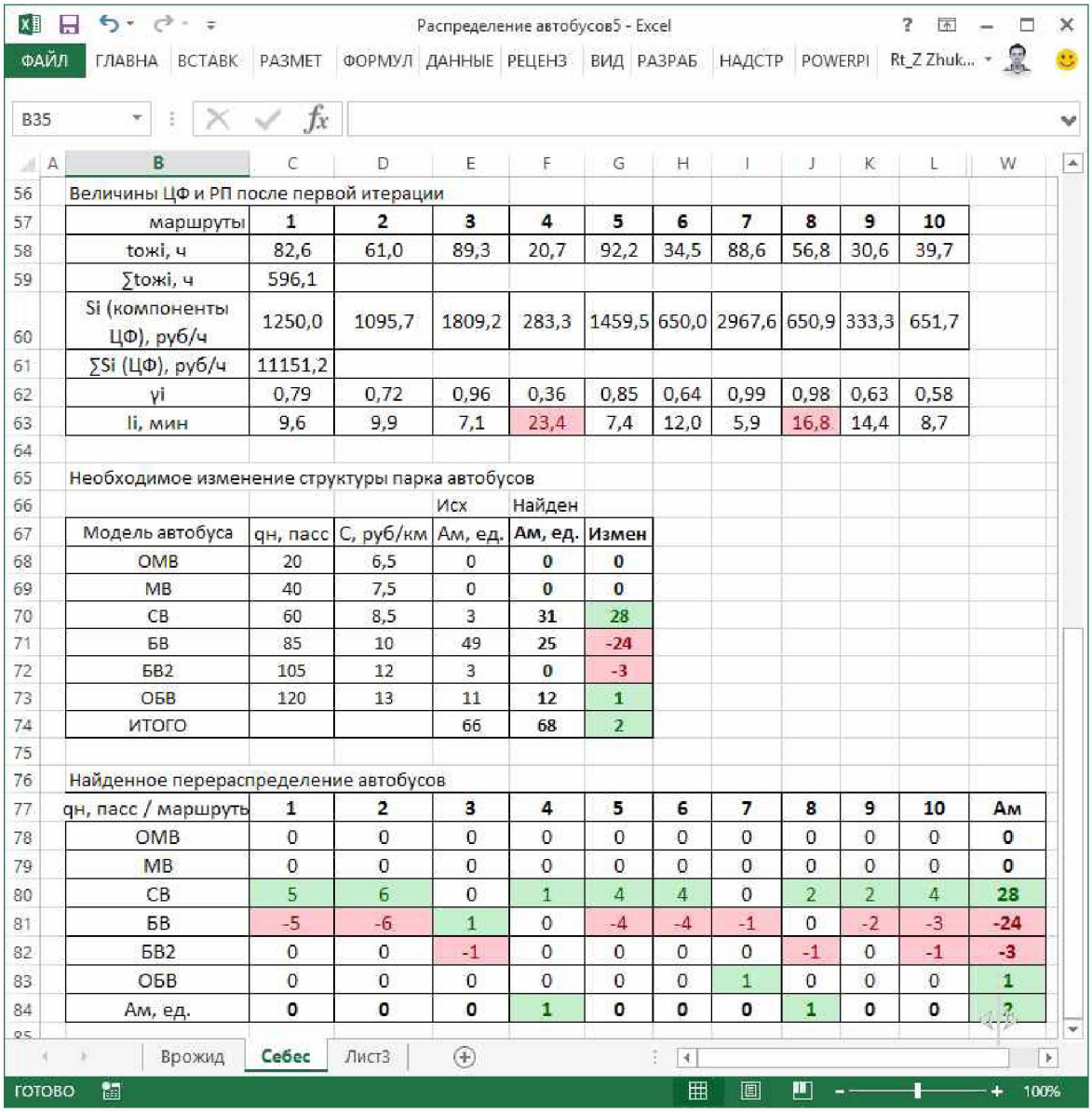
ГОТОВО 100%

Рисунок 8. Таблица переменных, целевая функция и расчет ограничений задачи

После того, как все таблицы сформированы, формулы прописаны в соответствующие ячейки и проверены необходимо приступить к формированию задачи для поиска оптимального решения. На вкладке «Данные» выбирается «Поиск решения» (Рисунок 10). В диалоговом окне:

1. Прописывается ячейка, содержащая целевую функцию;
2. Выбирается направление оптимизации (в данном случае необходимо выбирать «минимум»);
3. Выбирается диапазон переменных A_{ij} (для данной задачи этот диапазон включает в себя все возможные модели (типы) автобусов);
4. Последовательно добавляются необходимые ограничения согласно математической модели данной задачи;

5. Нажимается кнопка «Найти решение».
6. Через некоторое время программа определяет оптимальный план распределения автобусов по маршрутам.



Величины ЦФ и РП после первой итерации

маршруты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
tожi, ч	82,6	61,0	89,3	20,7	92,2	34,5	88,6	56,8	30,6	39,7
∑tожi, ч	596,1									
Si (компоненты ЦФ), руб/ч	1250,0	1095,7	1809,2	283,3	1459,5	650,0	2967,6	650,9	333,3	651,7
∑Si (ЦФ), руб/ч	11151,2									
γi	0,79	0,72	0,96	0,36	0,85	0,64	0,99	0,98	0,63	0,58
li, мин	9,6	9,9	7,1	23,4	7,4	12,0	5,9	16,8	14,4	8,7

Необходимое изменение структуры парка автобусов

			Исх	Найден	
Модель автобуса	qн, пасс	С, руб/км	Ам, ед.	Ам, ед.	Измен
ОМВ	20	6,5	0	0	0
МВ	40	7,5	0	0	0
СВ	60	8,5	3	31	28
БВ	85	10	49	25	-24
БВ2	105	12	3	0	-3
ОБВ	120	13	11	12	1
ИТОГО			66	68	2

Найденное перераспределение автобусов

qн, пасс / маршруть	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ам
ОМВ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
МВ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
СВ	5	6	0	1	4	4	0	2	2	4	28
БВ	-5	-6	1	0	-4	-4	-1	0	-2	-3	-24
БВ2	0	0	-1	0	0	0	0	-1	0	-1	-3
ОБВ	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Ам, ед.	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	2

Рисунок 9. Таблицы для расчета необходимых показателей при оптимальном распределении по маршрутам имеющегося парка автобусов и итоговое изменение структуры парка автобусов

Найденное распределение автобусов по маршрутам необходимо скорректировать так, чтобы:

- на одном и том же маршруте не было выпуска большого числа разных по вместимости автобусов;

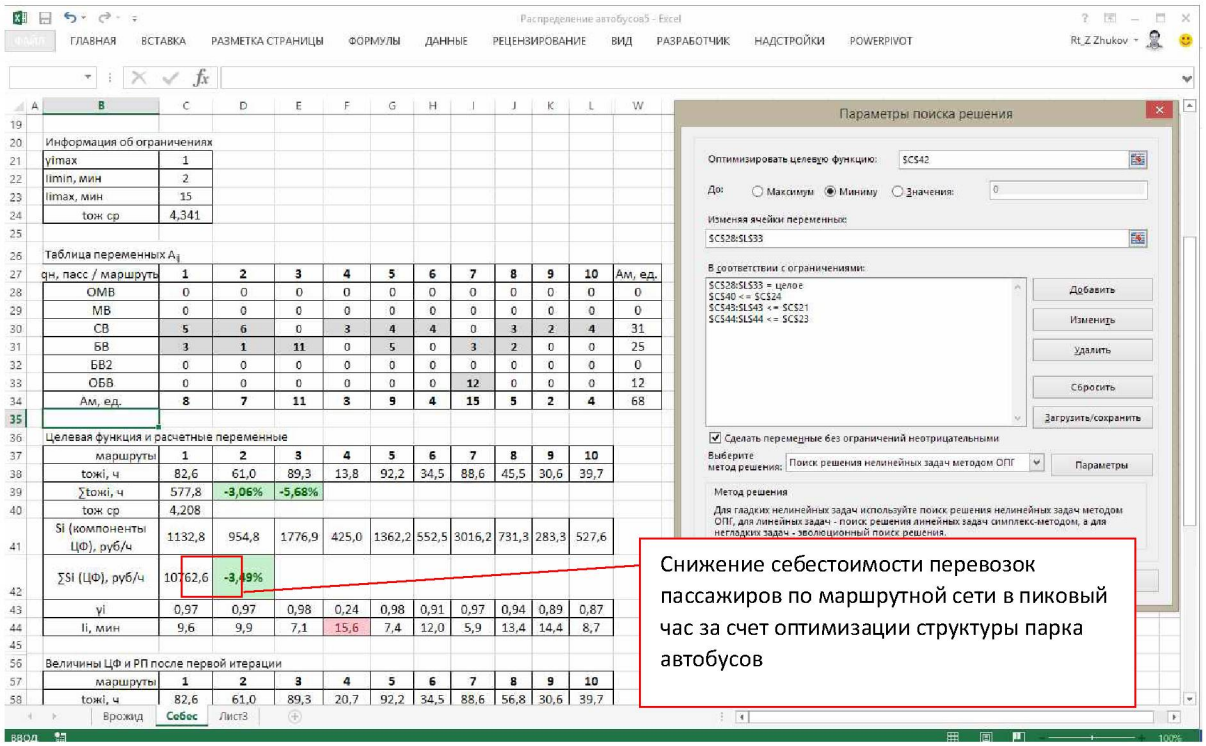
- на одном и том же маршруте не было выпуска автобусов, намного различающихся между собой по вместимости.

Если «Поиск решения» не дает результатов, можно воспользоваться эвристическим методом подбора оптимальной структуры парка автобусов для заданной маршрутной сети. Подбор оптимальной структуры парка осуществляется на рабочем листе Excel в таблице переменных в соответствии со следующими условиями:

- общий выпуск автобусов по каждому маршруту должен быть не менее того количества автобусов, которое получено при решении задачи оптимального распределения имеющегося парка автобусов по маршрутам;
- если указанное количество автобусов не позволяет на некотором маршруте соблюсти заданные ограничения по максимальному интервалу, необходимо последовательно на одну единицу увеличивать общий выпуск по маршруту до того, пока ограничение будет соблюдено;
- далее последовательно по каждому маршруту осуществляется подбор автобусов по вместимости в пределах найденного общего выпуска по маршруту так, чтобы коэффициент наполнения стремился к заданному ограничению, но не превышал его.

Также при подборе (корректировке) оптимальной структуры парка автобусов необходимо понимать, что малое количество (менее 5…10 единиц) автобусов какой-либо модели (типа) в структуре парка не желательно, так как ведет к увеличению себестоимости эксплуатации данной модели (типа) автобуса на ПАТП.

После нахождения оптимального распределения автобусов по маршрутам рассчитывается таблица, где указывается необходимое изменение структуры парка автобусов (Рисунок 9).



Информация об ограничениях

γimax	1
limin, мин	2
limax, мин	15
tож ср	4,341

Таблица переменных A_i

он, пасс / маршруты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ам, ед.
ОМВ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
МВ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
СВ	5	6	0	3	4	4	0	3	2	4	31
БВ	3	1	11	0	5	0	3	2	0	0	25
БВ2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ОБВ	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	12
Ам, ед.	8	7	11	3	9	4	15	5	2	4	68

Целевая функция и расчетные переменные

маршруты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
tожi, ч	82,6	61,0	89,3	13,8	92,2	34,5	88,6	45,5	30,6	39,7
∑tожi, ч	577,8	-3,06%	-5,68%							
tож ср	4,208									
Si (компоненты ЦФ), руб/ч	1132,8	954,8	1776,9	425,0	1362,2	552,5	3016,2	731,3	283,3	527,6
∑Si (ЦФ), руб/ч	10762,6	-3,49%								
γi	0,97	0,97	0,98	0,24	0,98	0,91	0,97	0,94	0,89	0,87
li, мин	9,6	9,9	7,1	15,6	7,4	12,0	5,9	13,4	14,4	8,7

Величины ЦФ и РП после первой итерации

маршруты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
tожi, ч	82,6	61,0	89,3	20,7	92,2	34,5	88,6	56,8	30,6	39,7

Рисунок 10. Решение задачи оптимизации структуры парка подвижного состава ПАТП

Задание.

1. Найти оптимальную структуру парка автобусов для обслуживания заданной маршрутной сети.
2. Определить, как изменится суммарная себестоимость перевозок пассажиров в час пик для заданной маршрутной сети (в%).

Составить отчет по работе, сделать выводы по оптимизации структуры парка подвижного состава для заданной маршрутной сети. В отчете должны содержаться все построенные в процессе выполнения работы таблиц

Лабораторная работа 3. Методы для выбора структуры парка подвижного состава

Целью данной работы является закрепление навыков студентов в принятии обоснованных управленческих решений, связанных с выбором структуры парка грузовых транспортных средств.

Для выбора используется подход, базирующийся на методах квалиметрии.

Метод включает в себя четыре этапа сравнения:

Этап 1 Составляется таблица, в которой по горизонтали указаны марки транспортных средств, а по вертикали - отобранные значимые характеристики транспортных средств, наблюдаемые в заданных условиях эксплуатации.

Этап 2 Среди значений параметров определяются «эталонные» значения, то есть наилучшие значения этих параметров, которые принимаются за 1. Далее проводится перерасчет остальных значений параметров относительно «эталонных». Это делается следующим образом: если параметр следует минимизировать, то значение этого «эталона» делится поочередно на все значения данной строки; если же параметр следует максимизировать, то все значения данной строки делятся на «эталонное» значение.

Этап 3 Заключается в ранжировании параметров транспортных средств в зависимости от их степени важности с присвоением им значения рангов. Значения распределяются по девятибалльной шкале по степени важности от 1 до 9: 1 - для самого значимого параметра, 9 - для самого незначимого параметра. Остальным параметрам присваиваются ранги в промежутке выбранной шкалы на основании экспертной оценки. Оценки проставляются также с учетом тесноты связей параметров. Значения рангов могут быть приближены или удалены друг от друга.

Этап 4 На этом этапе проводится корректировка относительных значений параметров с учетом их рангов. Для этого относительные значения делятся на значения рангов.

Выбор оптимальной модели транспортного средства производится суммированием полученных данных по столбцам. Максимальное значение суммы соответствует выбору оптимального вариант

Лабораторная работа 4. Разработка структуры парка подвижного состава

Целью данной работы является закрепление навыков студентов в принятии обоснованных управленческих решений, связанных с разработкой структуры парка грузовых транспортных средств.

Занятие посвящено изучению вопросов проектирования структуры парка грузовых автомобилей. Перевозки грузов различной партионности осуществляются помашинными отправками и мелкопартионными. В процессе перевозок грузов, выполняемых за продолжительный период наблюдений, формируется структура отправок по партионности. Организации транспортного обслуживания потребителей различных отраслей экономики требует учета наиболее значимых параметров транспортных средств, существенно влияющих на эффективность их работы в соответствующих условиях эксплуатации.

Студентам необходимо ознакомиться со следующими подходами:

формирования рынка качественных, безопасных, экологичных, конкурентоспособных транспортных услуг и приспособленностью структуры транспортных средств к происходящим изменениям;

расширения использования контейнерных перевозок и формирования структуры типов контейнеров, пользующих спросом;

развития инфраструктуры мультимодальных логистических центров для контейнерных перевозок, экспортно-импортных и транзитных перевозок грузов;

создания информационных систем взаимодействия участников процессов поставки товаров по транспортным коридорам, координации их работы, мониторинга и управления товародвижением, развития транспортно-логистической инфраструктуры международных транспортных коридоров.

Студенты закрепляют полученные знания в ходе выполнения расчетов с помощью инструментов электронных таблиц Microsoft Excel, отвечают на поставленные вопросы

Список использованных источников

1. Туревский И.С. Автомобильные перевозки : учеб. пособие / И.С. Туревский. — М. : ИД «ФОРУМ» : ИНФРА-М, 2018. — 223 с. — (Профессиональное образование).

2. Седюкевич В.Н. Автомобильные перевозки : учебное пособие / В. Н. Седюкевич, Д. В. Капский, С. А. Рынкевич. - Минск : РИПО, 2020. - 323 с. - ISBN 978-985-7234-13-4. - Текст : электронный.

3. Бирюков, В. В. Пассажирские перевозки в городах и агломерациях : учебник / В. В. Бирюков. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2020. - 368 с. - (Учебники НГТУ). - ISBN 978-5-7782-4264-7. - Текст : электронный. - URL: https://znanium.com/catalog/product/1870048

4. Панов С.А. Развитие парка в автотранспортных объединениях / С.А.Панов, А.М.Поляк, Ю.К.Поносов .— М. : Трансп., 1986 .— 198 с. : ил. — Библиогр.: с.198-199.

5. Васильева Е.М. Оптимизация планирования и управления транспортными системами / Е.М.Васильева, Р.В.Игудин, В.Н.Лившиц и др.; Под ред. В.Н.Лившица .— М. : Трансп., 1987 .— 207 с. : ил. — Библиогр.:с.197-205.с

6. Чеботаев А.А. Специализированные автотранспортные средства:Выбор и эффективность применения .— М : Транспорт, 1988 .— 156 с. : ил. — Библиогр.: с. 158.

7. Жуков А.И. Проектирование структуры парка пассажирского транспорта : учебное пособие / А.И. Жуков, А.И. Рощин ; МАДИ .— М. : МАДИ, 2017 .— 76 с. : ил., табл., схемы .— Авторы-преподаватели МАДИ .— Библиогр.: с. 70-71.