

DOI: 10.15593/24111678/2018.02.10

УДК 656.132

Н.Н. Якунин¹, К.А. Паршакова¹, Н.В. Якунина¹, М.А. Арсланов²¹ Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия² Дагестанский государственный аграрный университет имени М.М. Джамбулатова, Махачкала, Россия**МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ИНТЕРВАЛА ДВИЖЕНИЯ ПАССАЖИРСКИХ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

Целью исследования является повышение эффективности перевозок пассажиров автомобильным транспортом по регулярным маршрутам на основе оптимизации интервалов движения автотранспортных средств.

Актуальность исследования состоит в том, что влияние интервалов движения пассажирских автотранспортных средств (АТС) на эффективность городских перевозок недостаточно изучено.

В работе использованы положения теории пассажирских автомобильных перевозок, функционального анализа, математической статистики.

Установлено влияние интервалов движения АТС в различных регионах России на суммарные общественные затраты, представленные в виде совокупности затрат перевозчиков на осуществление транспортного процесса по маршруту и недополученного общественного дохода, обусловленного ожиданием пассажиров транспортного средства на остановочном пункте и поездкой в транспортном средстве, а также на прибыль перевозчика от транспортной деятельности. Суммарные общественные затраты, приходящиеся на одного пассажира за час, изменяются в среднем во всех регионах на 14 % при изменении значений оптимального интервала от 0 до 8 мин, прибыль транспортного оператора за один час, в свою очередь, зависит от интервалов движения автобуса, его номинальной пассажирской вместимости, от стоимости проезда и затрат $Z_{тр.ласс}$ перевозчика, приходящиеся на одного пассажира. Обосновано применение минимума суммарных общественных затрат, приходящихся на одного пассажира, в качестве критерия оптимизации. Определена структура суммарных общественных затрат, указывающая, что доля затрат перевозчика многократно меньше доли затрат в виде недополученного общественного дохода. Доля затрат перевозчиков изменяется от 3 до 37 % в зависимости от номинальной вместимости автобусов и интервалов движения на маршруте. Доля затрат в виде недополученного общественного дохода в зависимости от региона – от 63 до 97 %.

Ключевые слова: автомобильный транспорт, эффективность, интервал движения, пассажир, регулярные перевозки.

N.N. Yakunin¹, K.A. Parshakova¹, N.V. Yakunina¹, M.A. Arslanov²¹ Orenburg state University, Orenburg, Russian Federation² Dagestan state agrarian University named after M.M. Dzhambulatov, Makhachkala, Russian Federation**MODELING OF OPTIMAL INTERVAL MOVEMENT OF PASSENGER VEHICLES**

The aim of the study is to improve the efficiency of passenger transport by road on regular routes by optimizing the intervals of movement of vehicles.

The relevance of the study is that the impact of passenger vehicle intervals (ATS) on urban transport efficiency has not been sufficiently studied.

The paper uses the provisions of the theory of passenger road transport, functional analysis, mathematical statistics.

Influence of intervals of movement of ATS in different regions of Russia on the total public expenses presented in the form of set of expenses of carriers on implementation of transport process and the lost public income caused by expectation of passengers of the vehicle at a stopping point and trip, and also on profit of the carrier from transport activity is established. The application of the minimum total social costs per 1 passenger as an optimization criterion is justified. The structure of total public expenses is defined, indicating that the share of carrier expenses is many times less than the share of expenses in the form of the lost public income. The share of costs of carriers varies from 3% to 37% depending on the nominal capacity of buses and intervals on the route. The share of costs in the form of public revenue lost depending on the region - from 63% to 97%.

Keywords: road transport, efficiency, range of motion, the passenger, a regular service.

Введение

Высокая социальная значимость перевозок пассажиров автомобильным транспортом вызывает повышенный интерес населения и операторов, оказывающих транспортные услуги [1]. Особое внимание в данной области уделяется экономической стороне, которая в подавляющем большинстве исследований [2–4] рассматривается с позиции перевозчика. Основными направлениями [5–8] повышения эффективности являются организационное, технологическое совершенствование процесса перевозок, модернизация его структурных показателей. На концептуальном уровне исследована эффективность [6–9] перевозок с позиции пассажира. С учетом сложной системы участников транспортного процесса в работах [10, 11] предпринята попытка исследовать суммарные общественные затраты, представленные в виде совокупности затрат перевозчиков на осуществление транспортного процесса и недополученного общественного дохода, обусловленного ожиданием пассажиров транспортного средства на остановочном пункте и поездкой. Вместе с тем остается неизученным влияние некоторых технологических показателей перевозок на их эффективность. Одним из таких показателей является интервал движения автотранспортных средств на маршруте.

Целью исследования является повышение эффективности перевозок пассажиров автомобильным транспортом по регулярным маршрутам на основе оптимизации интервалов движения транспортных средств.

Научный подход базируется на положениях теории пассажирских автомобильных перевозок, функционального анализа, математической статистики.

Гипотезой исследования является предположение о значительном влиянии интервала движения пассажирских автотранспортных средств по регулярным маршрутам на экономическую эффективность перевозок в различных регионах России.

1. Теоретико-методический подход

Сложность рассматриваемого процесса обуславливает необходимость поиска оптимального решения в соответствии с целевой функцией.

Недополученный общественный доход, обусловленный ожиданием пассажиров транспортного средства на остановочном пункте:

$$Z_{\text{ожид}} = 0,5 \cdot C_{\text{мин}} \cdot Q \cdot I, \quad (1)$$

где I – интервал движения транспортных средств на маршруте, мин; Q – пассажиропоток на маршруте, пасс./ч; $C_{\text{мин}}$ – недополученный общественный доход от одного потенциального пассажира, вызванный ожиданием транспортного средства или поездкой в транспортном средстве, руб./мин.

Недополученный общественный доход во время поездки пассажиров:

$$Z_{\text{движ}} = Q \cdot C_{\text{мин}} \cdot \frac{l_{\text{ср}}}{v}, \quad (2)$$

где $l_{\text{ср}}$ – средняя дальность поездки пассажира, м; v – средняя скорость движения автобуса на маршруте, м/с.

Средняя дальность поездки пассажира [12]

$$l_{\text{ср}} = a + b \cdot K_{\text{пл}} \cdot \sqrt{F}, \quad (3)$$

где a , b – коэффициенты, определяемые по результатам обследования, $a = 1,2 \dots 1,3$; $b = 0,15 \dots 0,25$; $K_{\text{пл}}$ – коэффициент планировочной структуры города: $K_{\text{пл}} \approx 1,4$ – при радиальной; $K_{\text{пл}} \approx 0,9$ – при радиально-кольцевой; $K_{\text{пл}} \approx 1,0$ – при прямоугольной городской планировке; F – селитебная площадь городской территории, км².

Затраты перевозчика на осуществление транспортного процесса по маршруту за час:

$$Z_{\text{тр}} = \frac{C_{\text{тр}} \cdot 3600}{I}, \quad (4)$$

где $C_{\text{тр}}$ – удельные затраты при передвижении автобусов продолжительностью в одну минуту.

Суммарные общественные затраты на осуществление транспортного процесса и от недополученного общественного дохода, обусловленного ожиданием пассажиров транспортного средства на остановочном пункте и поездкой за 1 ч:

$$Z_{\text{сумм}} = 0,5 \cdot I \cdot Q \cdot C_{\text{мин}} + C_{\text{мин}} \cdot Q \cdot \frac{l_{\text{ср}}}{v} + \frac{C_{\text{тр}} \cdot 3600}{I}. \quad (5)$$

Оптимальным интервалом движения $I_{\text{опт}}$ является интервал, при котором суммарные общественные затраты C , приходящиеся на одного пассажира, стремятся к минимуму. Значение параметра C рассчитывают по формуле

$$C = \frac{0,5 \cdot I_{\text{опт}} \cdot Q \cdot C_{\text{мин}} + C_{\text{мин}} \cdot Q \cdot \frac{l_{\text{ср}}}{v} + \frac{C_{\text{тр}} \cdot 3600}{I_{\text{опт}}}}{Q} \rightarrow \min. \quad (6)$$

Для определения оптимального интервала движения необходимо найти производную данной функции по переменной I :

$$\frac{dC}{dI} = 0,5 \cdot \frac{1}{Q} \cdot C_{\text{мин}} \cdot Q + 0 - \frac{C_{\text{тр}} \cdot 3600}{Q \cdot I_{\text{опт}}^2}. \quad (7)$$

Уравнение (7) решено относительно интервала I в точке минимального экстремума:

$$0,5 \cdot \frac{1}{Q} \cdot C_{\text{мин}} \cdot Q + 0 - \frac{C_{\text{тр}} \cdot 3600}{Q \cdot I_{\text{опт}}^2} = 0. \quad (8)$$

Оптимальный интервал движения транспортных средств на маршруте $I_{\text{опт}}$ может быть определен следующим образом:

$$I_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{C_{\text{тр}} \cdot 7200}{C_{\text{мин}} \cdot Q}}. \quad (9)$$

Необходимо иметь в виду два условия:

1) если $I_{\text{опт}} \geq I = \frac{60 \cdot q}{Q}$ (где q – пассажироместимость автобуса), тогда $I_{\text{опт}} = I$, это такой

интервал движения, при котором обеспечивается минимальное достаточное количество автобусов для пассажиропотока;

2) если $I_{\text{опт}} < I = \frac{60 \cdot q}{Q}$, то $I_{\text{опт}} = I_{\text{опт}}$.

Затраты перевозчика $Z_{\text{тр.пасс}}$, приходящиеся на одного пассажира, руб.:

$$Z_{\text{тр.пасс}} = \frac{C_{\text{тр}} \cdot 3600}{I \cdot Q}. \quad (10)$$

Этот показатель позволяет определить прибыль Π перевозчика в час от перевозки заданного количества пассажиров, руб.:

$$\Pi = C_{\text{пр}} \cdot Q - C_{\text{тр.пасс}} \cdot Q, \quad (11)$$

где $C_{\text{пр}}$ – стоимость проезда одного пассажира, руб.

2. Пример расчета

Исходными для расчета послужили известные данные [13] о значении удельных затрат $C_{тр}$ при передвижении автобусов продолжительностью в 1 мин. Использование правил экстраполяции [14] позволило установить зависимость (рис. 1) показателя $C_{тр}$ от номинальной вместимости автобусов.

Из официальной государственной статистики Российской Федерации [15] известна среднемесячная номинальная начисленная заработная плата работников за 2017 г. Полученные данные позволяют определить среднюю стоимость недополученного общественного дохода от одного потенциального пассажира, вызванного ожиданием транспортного средства или поездкой в транспортном средстве (рис. 2).

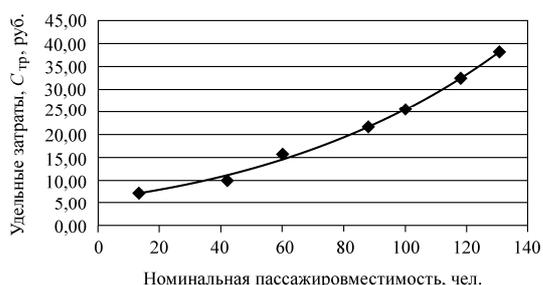


Рис. 1. Зависимость удельных затрат $C_{тр}$ при передвижении автобусов продолжительностью в 1 мин от номинальной вместимости автобусов

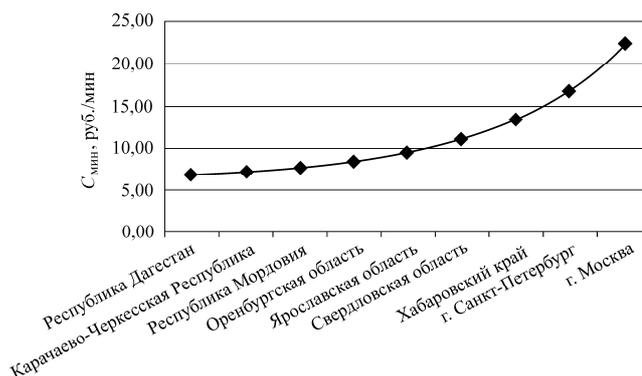


Рис. 2. Средняя стоимость недополученного общественного дохода от одного потенциального пассажира, вызванного ожиданием транспортного средства или поездкой в транспортном средстве

В расчете использованы следующие показатели, представленные в табл. 1.

Таблица 1

Данные для расчета оптимального интервала движения

Параметр	Обозначение	Значение	Единица измерения
1	2	3	4
Стоимость 1 пассажиро-минуты:			
– Республика Дагестан;		6,74	
– Карачаево-Черкесская Республика;		7,09	
– Республика Мордовия;		7,68	
– Оренбургская область;		8,53	
– Ярославская область;	$C_{мин}$	9,38	руб./мин
– Свердловская область;		10,72	
– Хабаровский край;		13,14	
– г. Санкт-Петербург;		16,62	
– г. Москва		22,25	
Пассажиропоток	Q	1000	чел./ч
Средняя дальность передвижения пассажира:			
– г. Махачкала;	$L_{ср1}$	5090	
– г. Черкесск;	$L_{ср2}$	2700	
– г. Саранск;	$L_{ср3}$	2720	
– г. Оренбург;	$L_{ср4}$	4100	
– г. Ярославль;	$L_{ср5}$	3780	
– г. Екатеринбург;	$L_{ср6}$	5090	
– г. Хабаровск;	$L_{ср7}$	4720	
– г. Санкт-Петербург;	$L_{ср8}$	8030	
– г. Москва	$L_{ср9}$	10 220	м

Окончание табл. 1

Параметр	Обозначение	Значение	Единица измерения
1	2	3	4
Коэффициенты, определяемые по результатам обследования	a, b	1,2;0,2	–
Коэффициент планировочной структуры города, равный	$K_{пл}$	0,9	–
– селитебная площадь (площадь расселения) городской территории: – г. Махачкала; – г. Черкесск; – г. Саранск; – г. Оренбург; – г. Ярославль; – г. Екатеринбург; – г. Хабаровск; – г. Санкт-Петербург; – г. Москва	F_1 F_2 F_3 F_4 F_5 F_6 F_7 F_8 F_9	468,1 69,8 71,5 259 205 468 383 1439 2511	км ²
Скорость	v	333,333	м/мин
Удельные затраты транспорта на 1 мин передвижения	$C_{тр1}$ $C_{тр2}$ $C_{тр3}$ $C_{тр4}$ $C_{тр5}$ $C_{тр6}$ $C_{тр7}$ $C_{тр8}$ $C_{тр9}$ $C_{тр10}$	7,73 8,76 10,29 13,47 15,56 21,26 25,14 32,32 38,21 57,70	руб./мин
Номинальная пассажировместимость автобусов	q_1 q_2 q_3 q_4 q_5 q_6 q_7 q_8 q_9 q_{10}	13 24 42 55 60 88 100 118 130 160	чел.

3. Результаты

Расчеты проведены при условии загруженности автобуса, равной его номинальной пассажировместимости, без учета сменности пассажиров. Результаты расчетов приведены на рис. 3.

Из полученной диаграммы (см. рис. 3) видно, что чем меньше средняя стоимость недополученного общественного дохода от одного потенциального пассажира, вызванного ожиданием транспортного средства или поездкой в транспортном средстве, тем больше оптимальный интервал движения для автобусов различной пассажироместимости при одинаковом пассажиропотоке. Исключение составляет пассажирский транспорт пассажироместимостью 13 и 24 пассажира, в данном случае оптимальный интервал движения равен такому интервалу движения, при котором обеспечивается минимальное достаточное количество автобусов для освоения пассажиропотока.

В табл. 2 представлен расчет оптимального интервала движения с учетом: минимальных общественных затрат, пассажироместимости ТС, средней стоимости недополученного обще-

ственного дохода от одного потенциального пассажира, вызванного ожиданием транспортного средства или поездкой в транспортном средстве – для разных регионов.

Таблица 2

Выбор оптимального интервала движения АТС для разных регионов

Регион	Номинальная пассажировместимость АТС, пасс.									
	13	24	42	55	60	88	100	118	130	160
г. Махачкала (6,74 руб./мин)	Интервал движения, мин									
	0,78	1,44	2,52	3,30	3,60	4,77	5,18	5,88	6,39	7,85
	Общественные затраты на 1 пассажира, руб.									
	141,23	129,68	126,11	128,73	130,61	135,04	137,85	142,52	145,98	155,8
г. Черкесск (7,09 руб./мин)	Интервал движения, мин									
	0,78	1,44	2,52	3,30	3,60	4,65	5,05	5,73	6,23	7,65
	Общественные затраты на 1 пассажира, руб.									
	95,87	84,44	81,06	83,82	85,75	90,37	93,25	98,05	101,59	111,7
г. Саранск (7,68 руб./мин)	Интервал движения, мин									
	0,78	1,44	2,52	3,30	3,60	4,46	4,85	5,50	5,99	7,35
	Общественные затраты на 1 пассажира, руб.									
	101,34	90,11	87,05	90,03	92,05	96,96	99,95	104,94	108,63	119,2
г. Оренбург (8,53 руб./мин)	Интервал движения, мин									
	0,78	1,44	2,52	3,30	3,60	4,24	4,61	5,22	5,68	6,98
	Общественные затраты на 1 пассажира, руб.									
	143,92	132,97	130,37	133,68	135,83	141,05	144,21	149,47	153,36	164,5
г. Ярославль (9,38 руб./мин)	Интервал движения, мин									
	0,78	1,44	2,52	3,22	3,46	4,04	4,39	4,98	5,42	6,66
	Общественные затраты на 1 пассажира, руб.									
	145,70	135,03	132,89	136,53	138,79	144,26	147,57	153,09	157,17	168,8
г. Екатеринбург (10,72 руб./мин)	Интервал движения, мин									
	0,78	1,44	2,52	3,01	3,23	3,78	4,11	4,66	5,07	6,23
	Общественные затраты на 1 пассажира, руб.									
	203,55	193,32	191,90	195,93	198,35	204,20	207,74	213,64	218,00	230,4
г. Хабаровск (13,14 руб./мин)	Интервал движения, мин									
	0,78	1,44	2,37	2,72	2,92	3,41	3,71	4,21	4,58	5,62
	Общественные затраты на 1 пассажира, руб.									
	226,86	217,43	217,26	221,76	224,43	230,91	234,83	241,36	246,19	259,9
г. Санкт-Петербург (16,62 руб./мин)	Интервал движения, мин									
	0,78	1,44	2,11	2,42	2,60	3,03	3,30	3,74	4,07	5,00
	Общественные затраты на 1 пассажира, руб.									
	442,53	434,25	435,47	440,52	443,53	450,81	455,22	462,57	468,00	483,5
г. Москва (22,25 руб./мин)	Интервал движения, мин									
	0,78	1,44	1,82	2,09	2,24	2,62	2,85	3,23	3,52	4,32
	Общественные затраты на 1 пассажира, руб.									
	726,54	720,11	722,79	728,63	732,11	740,55	745,65	754,14	760,42	778,3

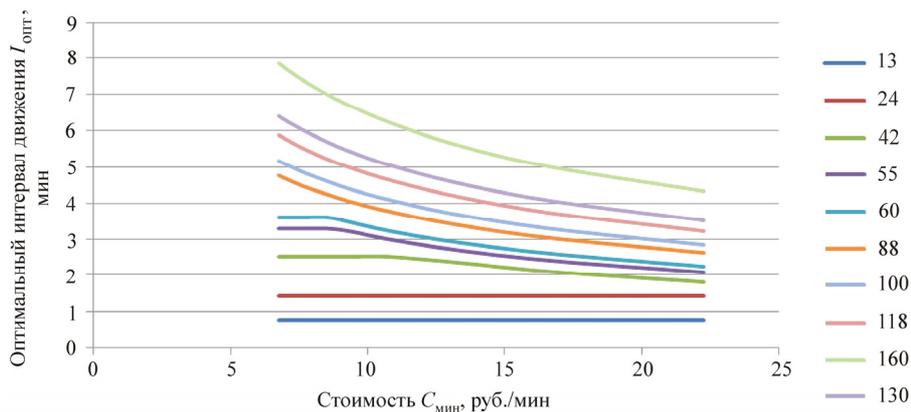


Рис. 3. Диаграмма зависимости оптимального интервала движения $I_{\text{опт}}$ от средней стоимости недополученного общественного дохода от одного потенциального пассажира, вызванного ожиданием транспортного средства или поездкой в транспортном средстве для автобусов разной пассажироместности

На рис. 4 представлена диаграмма зависимости минимальных общественных затрат, приходящихся на 1 пассажира (C , руб), от оптимального интервала движения транспортных средств различной пассажироместности, для разных регионов.

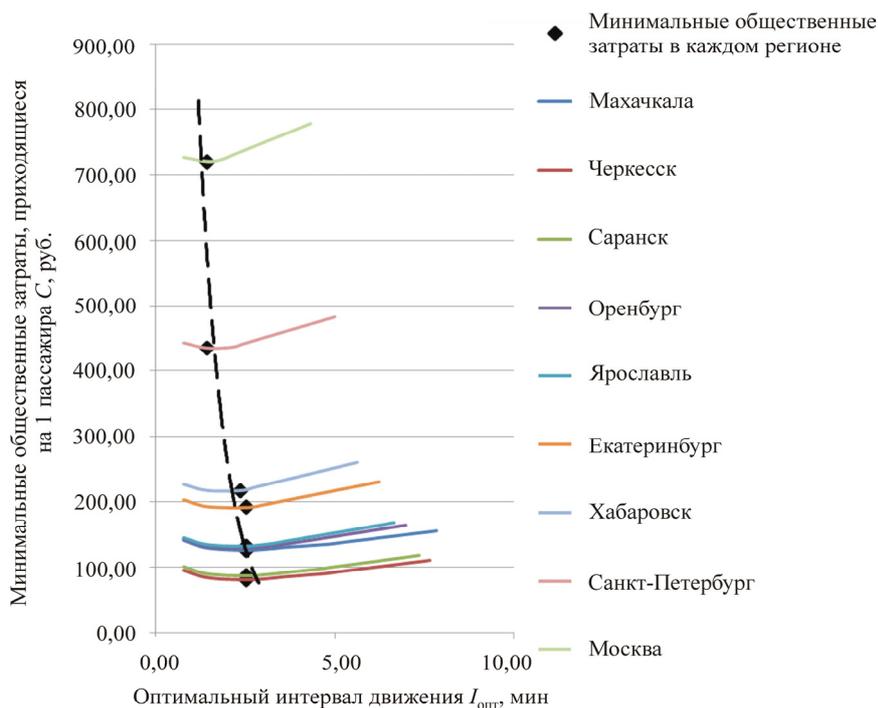


Рис. 4. Диаграмма минимальных общественных затрат, приходящихся на 1 пассажира C , в зависимости от оптимального интервала движения $I_{\text{опт}}$ для автобусов разной пассажироместности

Из табл. 2 и рис. 4 видно, что при пассажиропотоке 1000 пасс./ч и $C_{\text{мин}} = 6,74 \dots 13,14$ руб./мин наиболее оптимальный интервал движения обеспечивается при использовании автобусов с пассажироместностью, равной 42 пассажира. При $C_{\text{мин}} = 16,62 \dots 22,25$ руб/мин оптимальный интервал обеспечивается автобусами пассажироместностью 24 пассажира.

Результаты расчета затрат $Z_{\text{тр.пасс}}$ перевозчика, приходящихся на одного пассажира, представлены в табл. 3.

Таблица 3

Затраты $Z_{\text{тр.пасс}}$ перевозчика, приходящиеся на одного пассажира в зависимости от оптимального интервала движения $I_{\text{опт}}$ ТС

Регион	Номинальная пассажироместимость АТС, пасс									
	13	24	42	55	60	88	100	118	130	160
г. Махачкала (6,74 руб./мин)	Интервал движения, мин									
	0,78	1,44	2,52	3,30	3,60	4,77	5,18	5,88	6,39	7,85
	Затраты перевозчика, приходящиеся на 1 пассажира, руб.									
	35,68	21,90	14,70	14,69	15,56	16,05	17,47	19,79	21,53	26,46
г. Черкесск (7,09 руб./мин)	Интервал движения, мин									
	0,78	1,44	2,52	3,30	3,60	4,65	5,05	5,73	6,23	7,65
	Затраты перевозчика, приходящиеся на 1 пассажира, руб.									
	35,68	21,90	14,70	14,69	15,56	16,46	17,92	20,31	22,08	27,15
г. Саранск (7,68 руб./мин)	Интервал движения, мин									
	0,78	1,44	2,52	3,30	3,60	4,46	4,85	5,50	5,99	7,35
	Затраты перевозчика, приходящиеся на 1 пассажира, руб.									
	35,68	21,90	14,70	14,69	15,56	17,16	18,66	21,15	22,96	28,26
г. Оренбург (8,53 руб./мин)	Интервал движения, мин									
	0,78	1,44	2,52	3,30	3,60	4,24	4,61	5,22	5,68	6,98
	Затраты перевозчика, приходящиеся на 1 пассажира, руб.									
	35,68	21,90	14,70	14,69	15,56	18,05	19,63	22,29	24,22	29,76
г. Ярославль (9,38 руб./мин)	Интервал движения, мин									
	0,78	1,44	2,52	3,22	3,46	4,04	4,39	4,98	5,42	6,66
	Затраты перевозчика, приходящиеся на 1 пассажира, руб.									
	35,68	21,90	14,70	15,06	16,19	18,94	20,62	23,36	25,38	31,19
г. Екатеринбург (10,72 руб./мин)	Интервал движения, мин									
	0,78	1,44	2,52	3,01	3,23	3,78	4,11	4,66	5,07	6,23
	Затраты перевозчика, приходящиеся на 1 пассажира, руб.									
	35,68	21,90	14,70	16,11	17,34	20,25	22,02	24,97	27,13	33,34
г. Хабаровск (13,14 руб./мин)	Интервал движения, мин									
	0,78	1,44	2,37	2,72	2,92	3,41	3,71	4,21	4,58	5,62
	Затраты перевозчика, приходящиеся на 1 пассажира, руб.									
	35,68	21,90	15,63	17,83	19,18	22,44	24,39	27,64	30,03	36,96
г. Санкт-Петербург (16,62 руб./мин)	Интервал движения, мин									
	0,78	1,44	2,11	2,42	2,60	3,03	3,30	3,74	4,07	5,00
	Затраты перевозчика, приходящиеся на 1 пассажира, руб.									
	35,68	21,90	17,56	20,04	21,54	25,26	27,43	31,11	33,80	41,54
г. Москва (22,25 руб./мин)	Интервал движения, мин									
	0,78	1,44	1,82	2,09	2,24	2,62	2,85	3,23	3,52	4,32
	Затраты перевозчика, приходящиеся на 1 пассажира, руб.									
	35,68	21,90	20,35	23,20	25,01	29,21	31,76	36,02	39,08	48,08

На рис. 5 представлена диаграмма затрат $Z_{\text{тр.пасс}}$ перевозчика, приходящихся на одного пассажира в зависимости от оптимального интервала движения $I_{\text{опт}}$ транспортных средств разной пассажироместимости, для разных регионов.

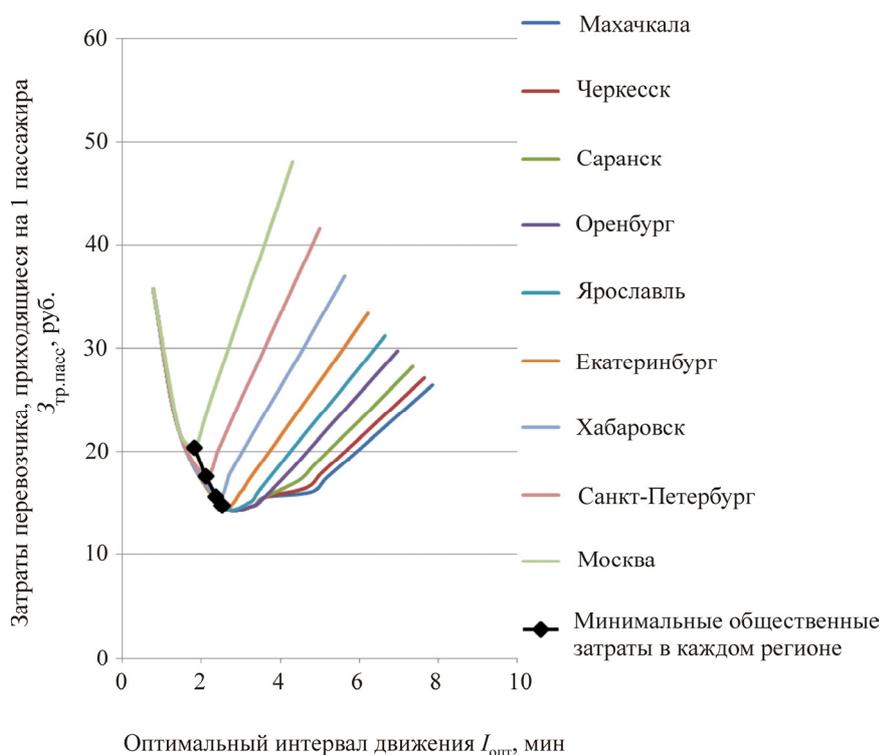


Рис. 5. Диаграмма затрат $Z_{\text{тр.пасс}}$ перевозчика, приходящихся на одного пассажира в зависимости от оптимального интервала движения $I_{\text{опт}}$ АТС

В табл. 4 приведены результаты расчетов долей затрат перевозчика и пассажиров в общих затратах за час.

Таблица 4

Результаты расчетов долей затрат перевозчика и пассажиров в общих затратах за час

Регион	Номинальная пассажироместимость автобусов, пасс.									
	13	24	42	55	60	88	100	118	130	160
г. Махачкала (6,74 руб./мин)	Интервал движения, мин									
	0,78	1,44	2,52	3,30	3,60	4,77	5,18	5,88	6,39	7,85
	Доли затрат перевозчика/пассажиров, %									
	25/75	17/83	12/88	11/89	12/88	12/88	13/87	14/86	15/85	17/83
г. Черкесск (7,09 руб./мин)	Интервал движения, мин									
	0,78	1,44	2,52	3,30	3,60	4,65	5,05	5,73	6,23	7,65
	Доли затрат перевозчика/пассажиров, %									
	37/63	22/78	18/82	18/82	18/82	18/82	19/81	21/79	22/78	24/76
г. Саранск (7,68 руб./мин)	Интервал движения, мин									
	0,78	1,44	2,52	3,30	3,60	4,46	4,85	5,50	5,99	7,35
	Доли затрат перевозчика/пассажиров, %									
	35/65	24/76	17/83	16/84	17/83	18/82	19/81	20/80	21/79	24/76

Регион	Номинальная пассажироместимость автобусов, пасс.									
	13	24	42	55	60	88	100	118	130	160
г. Оренбург (8,53 руб./мин)	Интервал движения, мин									
	0,78	1,44	2,52	3,30	3,60	4,24	4,61	5,22	5,68	6,98
	Доли затрат перевозчика/пассажира, %									
	25/75	16/84	11/89	11/89	11/89	13/87	14/86	15/85	16/84	18/82
г. Ярославль (9,38 руб./мин)	Интервал движения, мин									
	0,78	1,44	2,52	3,22	3,46	4,04	4,39	4,98	5,42	6,66
	Доли затрат перевозчика/пассажира, %									
	24/76	16/84	11/89	11/89	12/88	13/87	14/86	15/85	16/84	18/82
г. Екатеринбург (10,72 руб./мин)	Интервал движения, мин									
	0,78	1,44	2,52	3,01	3,23	3,78	4,11	4,66	5,07	6,23
	Доли затрат перевозчика/пассажира, %									
	18/82	11/89	8/92	8/92	9/91	10/90	11/89	12/88	13/87	14/86
г. Хабаровск (13,14 руб./мин)	Интервал движения, мин									
	0,78	1,44	2,37	2,72	2,92	3,41	3,71	4,21	4,58	5,62
	Доли затрат перевозчика/пассажира, %									
	16/84	10/90	7/93	8/92	9/91	10/90	10/90	12/88	12/88	14/86
г. Санкт-Петербург (16,62 руб./мин)	Интервал движения, мин									
	0,78	1,44	2,11	2,42	2,60	3,03	3,30	3,74	4,07	5,00
	Доли затрат перевозчика/пассажира, %									
	8/92	5/95	4/96	5/95	5/95	6/94	6/94	7/93	7/93	9/91
г. Москва (22,25 руб./мин)	Интервал движения, мин									
	0,78	1,44	1,82	2,09	2,24	2,62	2,85	3,23	3,52	4,32
	Доли затрат перевозчика/пассажира, %									
	5/95	3/97	3/97	3/97	3/97	4/96	4/96	5/95	5/95	6/94

На основании полученных данных следует, что оптимальный интервал движения автобусов оказывает существенное влияние на показатели эффективности перевозок пассажиров.

Суммарные общественные затраты, приходящиеся на одного пассажира за час, изменяются в среднем во всех регионах на 14 % при изменении значений оптимального интервала от 0 до 8 мин. Прибыль транспортного оператора за 1 ч зависит от интервалов движения автобусов, его номинальной пассажироместимости, стоимости проезда и затрат $Z_{тр.пасс}$ перевозчика, приходящихся на одного пассажира; чем меньше $Z_{тр.пасс}$, тем большую прибыль получит перевозчик при равной стоимости проезда. При этом выявленные зависимости имеют выраженные экстремумы, что упрощает процедуры идентификации сложившейся ситуации и принятия решений при совершенствовании технологии и организации перевозок.

Из полученных результатов (см. табл. 3, рис. 5) видно, что оптимальные интервалы движения транспортных средств по показателям затрат $Z_{тр.пасс}$ перевозчика, приходящихся на одного пассажира, не являются таковыми по показателям суммарных общественных затрат. По этой причине управление структурой подвижного состава и организация его работы на маршруте должны осуществляться с учетом устанавливаемых транспортными властями приоритетов.

Структура суммарных общественных затрат свидетельствует о том, что доля затрат перевозчика многократно меньше доли затрат в виде недополученного общественного дохода, обусловленного ожиданием пассажиров транспортного средства на остановочном пункте и поездкой. Доля затрат перевозчиков изменяется от 3 до 37 % в зависимости от номинальной вместимости.

мости автобусов и интервалов движения на маршруте. Доля затрат в виде недополученного общественного дохода в зависимости от региона – от 63 до 97 %. Это указывает на приоритеты в управлении городским пассажирским автотранспортным комплексом и на его важность для экономики. Инвестиции в пассажирский автомобильный транспорт, направленные на сокращение времени ожидания поездки и времени ее осуществления, способны существенно ускорить темпы социально-экономического развития.

Заключение

Подводя итоги исследования, можно говорить о решении важной научно-практической задачи оценки влияния интервалов движения автобусов по регулярным маршрутам на эффективность перевозок пассажиров. Оценку влияния необходимо осуществлять с учетом интервалов движения, номинальной пассажироместимости транспортных средств в условиях известного пассажиропотока и при использовании показателя средней стоимости недополученного общественного дохода от одного потенциального пассажира, вызванного ожиданием транспортного средства или поездкой в транспортном средстве в соответствии с регионом.

Результаты настоящей работы могут внести существенный вклад в повышение эффективности пассажирских автомобильных перевозок

Список литературы

1. Спиринов И.В. Организация и управление пассажирскими автомобильными перевозками. – М.: Академия, 2010. – 400 с.
2. Скиркоцкий С.В. Исследование влияния факторов на результативность работы городского пассажирского маршрутизированного транспорта // Вестник БелГут: Наука и транспорт. – 2017. – № 1(34). – С. 30–35.
3. Шмарин А.А., Шмарин А.П. Оптимизация модели взаимодействия участников рынка пассажирских перевозок // Региональные исследования. – 2014. – № 2. – С. 45–50.
4. Корягин М.Е. Интервал движения по маршруту, минимизирующий суммарные затраты транспорта и пассажиров // Вестник КузГТУ. – 2005. – № 1. – С. 92–93.
5. Нурғалиева Д.Х., Якунин Н.Н. Транспортная подвижность // Управление качеством в производственно-транспортной и социальной сферах: сб. науч. тр. по материалам XXXVI науч. конф. студентов транспортного факультета Оренбургского государственного университета, 8–15 апреля 2014 г. / Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург, 2014. – С. 61–67.
6. Якунин Н.Н., Якунина Н.В., Спиринов А.В. Модель организации транспортного обслуживания населения автомобильным транспортом по маршрутам регулярных перевозок // Грузовое и пассажирское хозяйство. – 2013. – № 3. – С. 63–66.
7. Пассажирские автомобильные перевозки / В.А. Гудков, Л.Б. Миротин, А.В. Вельможин, С.А. Ширяев. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 448 с.
8. Ларин О.Н. Методологические основы организации и функционирования транспортной системы региона: моногр. / под ред. Л.Б. Миротина. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2007. – 207 с.
9. Корягин М.Е. Оптимизация управления городскими пассажирскими перевозками на основе конфликтно-устойчивых решений: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Новокузнецк, 2011. – 39 с.
10. Оптимизация интервалов движения транспортных средств при городских перевозках пассажиров в регулярном сообщении / С.А. Аземша, А.Н. Старовойтов, С.Н. Карсевич, С.В. Скиркоцкий // Научный вестник автомобильного транспорта (НИИАТ). – 2014. – Вып.: январь–март. – С. 4–14.
11. Корягин М.Е. Равновесные модели системы городского пассажирского транспорта в условиях конфликта интересов. – Н.: Наука, 2011. – 140 с.

12. Якунина Н.В., Якунин Н.Н. Методология повышения качества перевозок пассажиров общественным автомобильным транспортом: монография. – Оренбург: ООО ИПК «Университет», 2013. – 289 с.

13. Дрючин Д.А. Структурно-ориентированное моделирование работы городского пассажирского транспортного комплекса // Автотранспортное предприятие. – 2016. – № 5. – С. 21–23.

14. Ларин О.Н. Организация пассажирских перевозок: учеб. пособие. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2005. – 104 с.

15. Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Оренбургской области [Электронный ресурс] // Муниципальная статистика. – URL: http://orenstat.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/orenstat/ru/municipal_statistics/ (дата обращения: 02.11.2017).

References

1. Spirin I.V. Organizatsiia i upravlenie passazhirskimi avtomobil'nymi perevozkami [Organization and management of passenger road transport]. Moscow, Akademiia, 2010, 400 p.

2. Skirkovskii S.V. Issledovanie vliianiia faktorov na rezul'tativnost' raboty gorodskogo passazhirskogo marshrutizirovannogo transporta [Research of influence of factors on efficiency of work of the city passenger routed transport]. *Vestnik BelGut: Nauka i transport*, 2017, no. 1 (34), pp. 30-35.

3. Shmarin A.A., Shmarin A.P. Optimizatsiia modeli vzaimodeistviia uchastnikov rynka passazhirskikh perevozk [Optimization of model of interaction of participants of the market of passenger transportation]. *Regional'nye issledovaniia*, 2014, no. 2, pp. 45-50.

4. Koriagin M.E. Interval dvizheniia po marshrutu, minimiziruiushchii summarnye zatraty transporta i passazhirov [Route interval that minimizes the total costs of transport and passengers]. *Vestnik KuzGTU*, 2005, no.1, pp. 92-93.

5. Nurgalieva D.Kh., Iakunin N.N. Transportnaia podvizhnost' [Transport mobility]. *Sbornik nauchnykh trudov po materialam XXXVI nauchnoi konferentsii studentov Transportnogo fakul'teta Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*. Orenburg, OGU, 2014, pp.61-67.

6. Iakunin N.N., Iakunina N.V., Spirin A.V. Model' organizatsii transportnogo obsluzhivaniia naseleniia avtomobil'nym transportom po marshrutam reguliarnykh perevozk [Model of organization of transport service of the population by motor transport on routes of regular transportations]. *Gruzovoe i passazhirskoe khoziaistvo*, 2013. no. 3. pp. 63-66.

7. Gudkov V.A., Mirotin L.B., Vel'mozhin A.V., Shiriaev S.A. Passazhirskie avtomobil'nye perevozki [Passenger road transport]. Moscow, Goriachaia liniia – Telekom, 2004, 448 p.

8. Larin O.N. Metodologicheskie osnovy organizatsii i funktsionirovaniia transportnoi sistemy regiona [Methodological basis of the organization and functioning of the transport system of the region]. Ed. L.B. Mirotin. Cheliabinsk, IuUrGU, 2007, 207 p.

9. Koriagin M.E. Optimizatsiia upravleniia gorodskimi passazhirskimi perevozkami na osnove konfliktno-ustoichivyykh reshenii [Optimization of urban passenger transport management based on conflict-resistant solutions]. Abstract of Doctor's degree engineering, Novokuznetsk, 2011, 39 p.

10. Azemsha S.A., Starovoitov A.N., Karasevich S.N., Skirkovskii S.V. Optimizatsiia intervalov dvizheniia transportnykh sredstv pri gorodskikh perevozkakh passazhirov v reguliarnom soobshchenii [Optimisation of the headways of vehicles in urban transport of passengers in the regular message]. *Nauchnyi vestnik avtomobil'nogo transporta (NIAT)*, 2014, iss. ianvar'-mart. pp. 4-14.

11. Koriagin M.E. Ravnovesnye modeli sistemy gorodskogo passazhirskogo transporta v usloviakh konflikta interesov [Equilibrium models of urban passenger transport in the context of conflict of interest]. Novokuznetsk, Nauka, 2011, 140 p.

12. Iakunina N.V., Iakunin N.N. Metodologiya povysheniia kachestva perevozk passazhirov obshchestvennym avtomobil'nym transportom [Methodology for improving the quality of public road transport of passengers]. Orenburg, Universitet, 2013, 289 p.

13. Driuchin D.A. Strukturno-orientirovannoe modelirovanie raboty gorodskogo passazhirskogo transportnogo kompleksa [Structurally-oriented modeling of the urban passenger transport complex]. *Avtotransportnoe predpriiatie*, 2016, no. 5, pp. 21-23.

14. Larin O.N. Organizatsiia passazhirskikh perevozk [Organization of passenger transportation]. Cheliabinsk, IuUrGU, 2005, 104 p.

15. Territorial'nyi organ federal'noi sluzhby gosudarstvennoi statistiki po Orenburgskoi oblasti. Munitsipal'naia statistika, available at: http://orenstat.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/orenstat/ru/municipal_statistics/ (accessed 2 November 2017).

Об авторах

Якунин Николай Николаевич (Оренбург, Россия) – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Автомобильный транспорт» Оренбургского государственного университета (460018, г. Оренбург, пр. Победы, 149, e-mail: Yakunin-N@yandex.ru).

Паршакова Кристина Алексеевна (Оренбург, Россия) – магистрант кафедры «Автомобильный транспорт» Оренбургского государственного университета (460018, г. Оренбург, пр. Победы, 149, e-mail: parshakova_k_a@mail.ru).

Якунина Наталья Владимировна (Оренбург, Россия) – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Автомобильный транспорт» Оренбургского государственного университета (460018, г. Оренбург, пр. Победы, 149, e-mail: nat.yakunina56@yandex.ru).

Арсланов Мурат Арсланович (Махачкала, Россия) – кандидат технических наук, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор кафедры «Техническая эксплуатация автомобилей» Дагестанского государственного аграрного университета имени М.М. Джамбулатова (367032, г. Махачкала, ул. Гаджиева, 180, e-mail: arsmurat@yandex.ru).

About the authors

Nikolay N. Yakunin (Orenburg, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Road Transport, Orenburg State University (149, Pobedy av., Orenburg, 460018, Russian Federation, e-mail: Yakunin-N@yandex.ru).

Kristina A. Parshakova (Orenburg, Russian Federation) – Master Student, Department of Road Transport, Orenburg State University (460018, Orenburg, Pobeda, 149, e-mail: parshakova_k_a@mail.ru)

Natalia V. Yakunina (Orenburg, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Associate Professor, Department of the Road Transport, Orenburg State University (149, Pobedy av., Orenburg, 460018, Russian Federation, e-mail: nat.yakunina56@yandex.ru).

Murat A. Arslanov (Makhachkala, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Professor, Department of Technical Operation of Automobiles, Dagestan State Agrarian University named after M.M. Dzhambulatov (180, Gadzhieva st., Makhachkala, 367032, Russian Federation, e-mail: arsmurat@yandex.ru).