



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ  
УДК 656.13  
DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-4-8>



Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 4 (101). С. 98–104

# Исследование влияния факторов на качество обслуживания пассажиров и эффективность использования подвижного состава



Ольга МАТАНЦЕВА



Анна АРЕДОВА



Ирина ЩЕГОЛЕВА

*Ольга Юрьевна Матанцева<sup>1</sup>, Анна Константиновна Аредова<sup>2</sup>, Ирина Викторовна Щеголева<sup>3</sup>*

<sup>1,2,3</sup> ОАО «Научно-исследовательский институт автомобильного транспорта» (ОАО «НИИАТ»), Москва, Россия.

✉ <sup>1</sup> [omat@niiat.ru](mailto:omat@niiat.ru).

## АННОТАЦИЯ

Транспортное планирование представляет собой насущную для большинства стран задачу, включающую её реализацию на региональном и локальном уровне. Разработка документов транспортного планирования в субъектах Российской Федерации актуальна и предполагает под собой достижение таких целей, как повышение качества перевозок пассажиров и снижение расходов на перевозки. Каждый из документов транспортного планирования включает перечень мероприятий, при исполнении которых повышается качество обслуживания пассажиров и эффективность использования подвижного состава.

Целью статьи является определение существенности влияния технико-эксплуатационных факторов на результирующие показатели качества обслуживания пассажиров и эффективность использования подвижного состава. В качестве метода определения использован метод планирования эксперимента, описанный в работе Ю. П. Адлера.

Используемый метод планирования эксперимента даёт возможность получить количественные оценки влияния факторов с такой же достоверностью, как и при других методах. Оценка проведена для независимых или условно независимых между собой факторов. В данном случае такими факторами являются: число автобусов на маршруте, длина маршрута, время оборота, время простоя на конечных пунктах, допустимое отклонение от расписания, время работы водителей, нулевой пробег всех автобусов.

Постоянными в расчётах принимаются независимые факторы, относящиеся к характеристикам спроса на перевозки, так как при проведении мероприятий по совершенствованию организации работы автобусов на маршрутах на них не может быть оказано влияние. Это такие факторы, как расстояние пешего хождения на маршруте, средняя дальность поездки пассажира на маршруте и пассажиропоток на максимально загруженном перегоне.

Методика определения реализована в статье на примере действующего автобуса на маршруте. Для всех базовых факторов устанавливаются верхний, нижний и основной уровни. На основе анализа фактических значений технико-эксплуатационных показателей на действующих маршрутах Московской области определялись численные значения вышеуказанных уровней. Далее выбирались

интервалы варьирования для каждого фактора. Эксперимент, в котором реализуются все возможные сочетания уровней факторов, известен как полный факторный эксперимент. Коэффициенты, вычисленные по результатам эксперимента, указывают на силу влияния фактора. Величина коэффициента соответствует вкладу данного фактора в величину параметра оптимизации при переходе фактора с нулевого уровня на верхний или нижний.

В результате исследований было установлено, что на затраты времени пассажира, комфортность поездки, полноту сбора выручки влияют пять базовых факторов, а на затраты перевозчика на маршруте в сутки влияют десять факторов. Специфика задачи состоит в том, что для всех четырёх параметров оптимизации можно построить одну и ту же матрицу. Для проведения полного факторного эксперимента при варьировании десяти факторов на двух уровнях необходимо провести более тысячи вариантов расчётов. Однако в соответствии с методикой можно ограничиться в данном случае минимальным количеством расчётов. На этом основании была построена матрица планирования эксперимента, по результатам расчётов которой могут быть определены коэффициенты в уравнениях регрессии для каждого из параметров оптимизации. Коэффициенты регрессии, получаемые при расчётах по матрице планирования эксперимента, схожи с теми, какие можно было бы получить в результате расчётов по методу наименьших квадратов. Исходя из этого можно рассчитывать все статистические характеристики базовых факторов, необходимые для определения тесноты связи между факторами и параметрами оптимизации и факторами между собой.

Метод планирования эксперимента, применённый в исследовании, позволил выявить факторы, оказывающие влияние на каждый из четырёх параметров оптимизации. В результате была подтверждена явная зависимость параметров оптимизации от такого фактора, как число автобусов на маршруте, но вместе с тем были проранжированы факторы по степени их влияния на конечный результат. В то же время соответствие полученных результатов реальным и очевидным зависимостям позволяет сделать вывод о правильности выбранного метода и верной его реализации.

**Ключевые слова:** городской пассажирский транспорт, качество обслуживания пассажиров, планирование эксперимента, транспортное планирование.

**Для цитирования:** Матанцева О. Ю., Аредова А. К., Щеголева И. В. Исследование влияния факторов на качество обслуживания пассажиров и эффективность использования подвижного состава // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 4 (101). С. 98–104. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-4-8>.

Полный текст статьи на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.  
The full text of the article in English is published in the second part of the issue.

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время актуальной является проблема разработки документов транспортного планирования в субъектах Российской Федерации [1; 2]. Документы включают схемы организации транспортного обслуживания населения, схемы организации дорожного движения и программы развития транспортной инфраструктуры [3–5]. Кроме того, субъекты должны разрабатывать документ планирования регулярных перевозок пассажиров<sup>1</sup>.

Основными целями, заложенными в формирование перечисленных документов, являются [6; 7]:

- повышение качества перевозок пассажиров;
- снижение расходов на перевозки при заданном уровне качества транспортного обслуживания.

Каждый из документов, связанных с транспортным планированием, включает перечень мероприятий по организации и технологии перевозок пассажиров.

Качество обслуживания пассажиров и эффективность использования подвижного состава зависят от тех или иных вариантов выбранных организационно-технологических мероприятий. Сам этот выбор зависит от многочисленных факторов, причём многие из этих факторов одновременно влияют как на качество обслуживания, так и на эффективность использования подвижного состава. Некоторые из показателей не могут быть оценены количественно или их величина не зависит от перевозчика, например, расходы пассажира на поездку или безопасность труда водителя [8–13].

В качестве метода определения существенности влияния факторов на результирующие показатели использован метод планирования эксперимента, описанный в работе Ю. П. Адлера [14]. Данный метод даёт возможность не только сократить число вариантов расчётов, но и получить количественные оценки влияния факторов с такой же достоверностью, как и при других методах.

<sup>1</sup> Методические рекомендации по разработке Документа планирования регулярных перевозок пассажиров и багажа по муниципальным и межмуниципальным маршрутам автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом (утв. Минтрансом России 30.06.2020 г.). Постановление Правительства Российской Федерации от 25 декабря 2015 г. № 1440 «Об утверждении требований к программам комплексного развития транспортной инфраструктуры поселений, городских округов». Методические рекомендации по разработке документов транспортного планирования субъектов Российской Федерации, утв. Протоколом заседания рабочей группы проектного комитета по национальному проекту «Безопасные и качественные автомобильные дороги» от 12.08.2019 г. № ИА-63.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### Выбор факторов и целевых функций

Для проведения анализа с помощью метода планирования эксперимента все входящие факторы были разделены на зависимые и независимые, далее из всего числа входящих факторов были отобраны не зависящие друг от друга, либо те, которые можно принять условно независимыми.

Для оценки качества и эффективности автобусных перевозок были проанализированы следующие факторы:

1. Число автобусов на маршруте –  $X_1$ .
2. Длина маршрута –  $X_2$ .
3. Время оборота –  $X_3$ .
4. Время простоя на конечных пунктах –  $X_4$ .
5. Допустимое отклонение от расписания, задаваемое в соответствии с нормативными документами –  $X_5$ .
6. Суммарное время работы водителей по разрывному графику –  $X_6$ .
7. Время работы водителей на маршруте в сутки –  $X_7$ .
8. Часы простоя –  $X_8$ .
9. Часы работы в праздничные дни –  $X_9$ .
10. Ночные часы работы всех водителей на маршруте за сутки –  $X_{10}$ .
11. Нулевой пробег всех автобусов на маршруте за сутки –  $X_{11}$ .

Планирование эксперимента – «это процедура выбора числа и условий проведения опытов, необходимых и достаточных для решения поставленной задачи с требуемой точностью» [4].

В данном случае рассчитывались значения четырёх целевых функций (параметров оптимизации): затраты времени пассажира, комфортность поездки, полнота сбора выручки и затраты пассажирской автотранспортной организации (ПАТП). На первом этапе расчётов по методике планирования эксперимента предполагается линейная зависимость каждого критериального показателя эффективности и качества от базовых факторов, т.е. строится экономико-статистическая модель в виде:

$$Y = a_1 X_1 + a_2 X_2 + \dots + a_n X_n. \quad (1)$$

Чтобы получить численные значения параметров данной модели, необходимо построить матрицу планирования эксперимента для получения значения каждого из четырёх параметров оптимизации (затраты времени пассажира ( $Y_T$ ), комфортность поездки ( $Y_N$ ), полнота сбора выручки ( $Y_P$ ) и затраты ПАТП на маршруте в сутки ( $Y_3$ )). Производится изменение значений базовых факторов.

Факторы разделяются на количественные и качественные. Качественным факторам не соответствует числовая шкала как для количе-





Таблица 1

## Зависимость регулярности движения от времени простоя на конечном пункте [15]

Наименование показателя	Условное обозначение	Значение показателя					
Время простоя на конечном пункте	$T_{\text{кон}}$	0	1	2	3	4	5
Регулярность	$R$	0,6	0,71	0,79	0,85	0,87	0,88

ственных факторов, однако можно построить условную порядковую шкалу [4].

Для проведения расчётов с помощью метода планирования эксперимента необходимо из всего числа входных факторов отобрать взаимонезависимые, либо такие, которые в расчётах можно принять условно независимыми.

В данном случае такими факторами являются  $X_1, X_2, X_3^2, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_{10}, X_{11}$ .

Независимые факторы, относящиеся к характеристикам спроса на перевозки, такие как  $(X_{22}) l_{\text{пк}}$  (расстояние пешего хождения на маршруте),  $(X_{20}) l_{\text{ср}}$  (средняя дальность поездки пассажира на маршруте),  $(X_{21}) Q_m$  (пассажиропоток на максимально загруженном перегоне) в расчётах принимаются постоянными, т.к. при проведении мероприятий по совершенствованию организации работы автобусов на маршрутах работник эксплуатационной службы не может оказать влияние на их значение.

Остальные входные факторы рассчитываются по следующим формулам:

1) Время в наряде всех автобусов на маршруте  $T_n(X_{12})$ :

$$T_n = A \cdot T_p \quad (2)$$

где  $A$  – число автобусов на маршруте;

$T_p$  – средняя продолжительность работы одного автобуса на маршруте.

2) Фактическое число рейсов на маршруте

$$f_{\text{ф}}(X_{13}): \quad f_{\text{ф}} = \frac{T_n}{T_{\text{об}}} \cdot 60, \quad (3)$$

где  $T_{\text{об}}$  – время оборота.

3) Плановое число рейсов на маршруте  $X_{21}$  принимается в расчётах равным  $X_{13}$ , т.е. предполагается, что выполняются все запланированные рейсы.

4) Число рейсов в исследуемый период времени  $f_{\text{иссл}}(X_{15})$ :

$$f_{\text{иссл}} = \frac{T_{\text{иссл}} \times A \times 60}{T_{\text{об}}}, \quad (4)$$

где  $T_{\text{иссл}}$  – исследуемый период времени, в расчётах равен 1 час.

В работе [15, табл. 9] между временем простоя на одном конечном пункте  $T_{\text{кон}}$  и регулярностью движения  $R$  приводится следующая взаимосвязь (см. табл. 1).

Поскольку, как известно из [15], регулярность равна частному от деления числа рейсов,

<sup>2</sup> Поскольку время оборота зависит от длины маршрута, то в матрицу первоначально подставляется эксплуатационная скорость, а затем исходя из её величины рассчитывается время оборота.

выполненных с допустимыми отклонениями,  $f_{\text{до}}$  на плановое число рейсов  $f_{\text{пл}}$ , значение  $f_{\text{до}}$  ( $X_{19}$ ) в расчётах будет определяться следующим образом:

$$f_{\text{до}} = R \cdot f_{\text{пл}}, \quad (5)$$

где  $R$  соответствует величине  $T_{\text{кон}}(X_4)$ , делённой на два, т.к. входной фактор  $T_{\text{об}}(X_3)$  учитывает время простоя на обоих конечных пунктах в среднем. Исходя из [3], соотношение между регулярностью  $R$  и допустимым отклонением от расписания  $\Delta$  может быть принято следующим:

$$R_2 = \Delta_2 \cdot 0,09 \quad (6)$$

или

$$f_{\text{до}} = f_{\text{пл}} \cdot 0,3\Delta. \quad (7)$$

Таким образом, значение входного фактора  $f_{\text{до}}$  определяется поэтапно. Сначала в зависимости от выбранного значения  $X_4$  (время простоя на конечных пунктах), затем корректируется в зависимости от принятого допустимого отклонения от расписания (в расчётах  $X_5 \leq 3$  мин).

5) время работы водителей на маршруте в сутки  $T_{\text{лин}}(X_7)$ :

$$T_{\text{лин}} = T_n + 0,3N_B, \quad (8)$$

где  $N_B$  – число водителей, работающих на маршруте в сутки;

0,3 – подготовительно-заключительное время каждого водителя.

### Выбор исходной информации для расчётов

Расчёт проводился для автобуса марки ЛИАЗ-5292.60, в соответствии с чем задаются значения предельной вместимости  $M_{\text{пр}}(X_{16})$  (числа мест для сидения  $M_c(X_{17})$  и свободной площади пола в салоне автобуса  $S_{\text{св}}(X_{18})$ .

В соответствии с требованиями теории планирования эксперимента они принимают максимальное и минимальное значения. Для всех базовых факторов устанавливаются верхний, нижний и основной (нулевой) уровни.

Численные значения этих уровней для каждого фактора определялись на основе анализа фактических значений технико-эксплуатационных показателей на 71 маршруте Московской области. Фактор  $X_1$  (число автобусов) имеет верхний уровень, который соответствует максимальному числу автобусов на маршруте из числа рассмотренных (пригородных и городских), то есть шести, а нижний уровень соответствует одному. Верхний

Таблица 2

Таблица уровней базовых факторов [выполнено авторами]

Уровни	Факторы									
	$X_1$ (шт.)	$X_2$ (км)	$X_3$ (мин)	$X_4$ (мин)	$X_5$ (мин)	$X_6$ (час)	$X_7$ (час)	$X_8$ (час)	$X_9$ (час)	$X_{10}$ (час)
Основной	3,5	15,7	<u>73,1</u> 157	6	2	42	6	6	3,84	122,5
Интервал варьирования	2,5	13,3	<u>61,9</u> 133	4	1	30	4	4	2,74	137,5
Верхний уровень	6	29	<u>135</u> 290	10	3	72	10	10	6,58	330
Нижний уровень	1	2,4	<u>11,2</u> 24,0	2	1	12	2	2	1,097	55

Таблица 3

Численные значения производных входных факторов [выполнено авторами]

№ п/п	$X_{12}$	$X_7$	$X_{14}$	$X_{13}$	$X_{15}$	$X_{19}$
1	2	3	4	5	6	7
1	12,0	12,3	64,3	64,3	5,36	45,55
2	12,0	12,3	2,48	2,48	0,207	3,78
3	12,0	12,3	30	30	2,5	21,3
4	12,0	12,3	5,33	5,33	0,44	3,78
5	12,0	12,3	37,5	37,5	3,125	29,7
6	12,0	12,3	5,03	5,03	0,4196	1,33
7	12,0	12,3	22,5	22,5	1,87	5,94
8	12,0	12,3	5,03	5,03	0,4196	3,32
9	72,0	73,8	386	386	32,16	274,06
10	72,0	73,8	180	189	15	127,8
11	72,0	73,8	32	32	2,67	22,72
12	72,0	73,8	225	225	18,75	339,68
13	72,0	73,8	34,5	34,5	1,21	11,48
14	72,0	72,8	135	135	11,25	35,64
15	72,0	73,8	30,2	30,2	2,52	7,98
16	72,0	73,8	14,89	14,89	1,241	10,57

и нижний уровень фактора  $X_3$  (время оборота) определены для каждого конкретного значения фактора  $X_2$  (длина маршрута) с учётом выполнения условия: эксплуатационная скорость на маршруте принимает максимальное значение, равное 25,7 км/час и минимальное значение, равное 12 км/час. В результате (см. табл. 2) верхнему уровню  $X_2 = 29$  соответствует верхний уровень  $X_3 = 290$  и нижний уровень  $X_3 = 135$ , нижнему уровню  $X_2 = 2,4$  соответствует верхний уровень  $X_3 = 24$  и нижний уровень  $X_3 = 11,2$ .

Далее выбираются интервалы варьирования (свои для каждого базового фактора), равные полусумме верхнего и нижнего уровней фактора. Эти уровни и интервалы варьирования представлены в табл. 2.

Характеристики спроса на перевозки на маршруте остаются постоянными, характеристика по «сети» приравнивается к нулю, а остальные входные факторы рассчитываются в соответствии с функциональными зависимостями. Результаты расчётов значений зависимых (производных) входных факторов приведены в табл. 3.

Полным факторным экспериментом, как известно, называется эксперимент, в котором реализуются все возможные сочетания уровней факторов. Если число уровней каждого фактора равно двум, то имеем полный факторный эксперимент типа  $2^k$ , где  $2$  – число уровней,  $k$  – число факторов (см. табл. 4).

Условия эксперимента представляются в виде таблицы – матрицы планирования, где строки соответствуют различным опытам, а столбцы – значениям факторов.

Коэффициенты, вычисленные по результатам эксперимента, указывают на силу влияния фактора. Величина коэффициента соответствует вкладу данного фактора в величину параметра оптимизации при переходе фактора с нулевого уровня на верхний или нижний.

### Результаты исследований на основе метода планирования эксперимента

В результате исследований было установлено, что на  $Y_p$ ,  $Y_N$ ,  $Y_{II}$  влияют пять базовых факторов, а на  $Y_3$  – десять. Специфика задачи состоит в том, что для всех четырёх парамет-



Матрица планирования эксперимента  $2^3$  [выполнено авторами]

Номер опыта	$x_1$	$x$	$y$	Номер опыта	$x_1$	$x_1$	$y$
1	-1	-1	$y_1$	3	-1	+1	$y_3$
2	+1	-1	$y_2$	4	+1	+1	$y_4$

Таблица 5

Матрица планирования эксперимента [выполнено авторами]

№ п/п	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_8$	$X_9$	$X_{10}$	$X_{17}$	$Y_T$	$Y_N$	$Y_{II}$	$Y_3$
1	-	-	-	-	+	+	+	+	+	-	23,26	0*	0,905	71,47
2	-	+	-	-	-	-	-	+	+	+	101,06	7,39	0,88	53,15
3	-	-	+	-	-	+	+	-	+	+	12,28	0	0,92	101,63
4	-	+	+	-	+	-	-	-	+	-	99,54	2,27	0,811	103,88
5	-	-	-	+	+	-	+	-	-	+	27,26	0	0,898	59,73
6	-	+	-	+	-	+	-	-	-	-	103,54	2,49	0,806	84,85
7	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	16,18	0	0,91	73,57
8	-	+	+	+	+	+	-	+	-	+	203,56	7,49	0,606	104,85
9	+	-	-	-	+	+	-	+	-	-	13,32	0	0,904	388,85
10	+	-	+	-	-	+	-	-	-	+	8,77	0	0,9	521,1
11	+	+	+	-	+	-	+	-	-	-	43,29	2,23	0,813	560,32
12	+	-	-	+	+	-	-	-	+	+	13,97	0	0,898	271,87
13	+	+	-	+	-	+	+	-	+	-	86,85	7,64	0,677	399,16
14	+	-	+	+	-	-	-	+	+	-	8,86	0	0,901	403,76
15	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	43,97	2,49	0,81	497,33
16	+	+	-	-	-	-	+	+	-	+	81,51	7,396	0,68	304,7

\* Наполнение ( $Y_N$ ) равное 0 означает, что все пассажиры в автобусе сидят, и нет ни одного стоящего.

ров оптимизации можно построить одну и ту же матрицу. Для проведения полного факторного эксперимента при варьировании десяти факторов на двух уровнях необходимо провести  $2^{10} = 1024$  вариантов расчётов. Однако в соответствии с [14, табл. 7.2] можно ограничиться в данном случае использованием  $1/64$  – реплики от  $2^{10}$  и провести всего  $2^{10-6} = 2^4 = 16$  вариантов расчётов, то есть в 64 раза меньше. При построении матрицы планирования эксперимента нет необходимости оценивать эффекты взаимодействия факторов, поскольку значения параметров оптимизации  $Y_T$ ,  $Y_N$ ,  $Y_{II}$ ,  $Y_3$  для каждой из строчек матрицы были определены зависимости между факторами и параметрами. Для проведения расчётов в соответствии с установленными зависимостями показателей и факторов были заданы значения всем факторам, относящимся к входным. Эти значения приняты следующими, исходя из рассматриваемых статистических данных: при  $X_8 = 2,4$  км  $X_{20} = 1,8$  км; при  $X_2 = 29$  км  $X_{20} = 8,9$  км;  $X_{17} = 25$  мест;  $X_{21} = 22$  чел. при  $X_1 = 1$  автобус; при  $X_1 = 6$  авт.  $X_{21} = 132$  чел;  $X_{16} = 110$  мест;  $X_{22} = 0,1$  км при  $X_2 = 2,4$  км и  $X_{22} = 0,3875$  км при  $X_2 = 29$  км;  $T_p = 12$  час;  $N_B = 1$  чел. на каждом автобусе. В табл. 5 приведена матрица планирования эксперимента с рассчитанными по установленным зависимостям

значениями параметров оптимизации для каждой строки матрицы.

По результатам расчётов, представленных в матрице планирования эксперимента, могут быть определены коэффициенты в уравнениях регрессии для каждого из параметров оптимизации из формулы (2). Однако для данного последования нет необходимости строить уравнения регрессии, поскольку здесь необходимо определить степень влияния каждого из факторов на параметры оптимизации.

Как показано в [14, глава 10] коэффициенты регрессии, получаемые при расчётах по матрице планирования эксперимента, тождественны тем, какие можно было бы получить в результате расчётов по методу наименьших квадратов. Исходя из этого можно рассчитывать все статистические характеристики базовых факторов, необходимые для определения тесноты связи между факторами и параметрами оптимизации и факторами между собой. Результаты расчётов представлены в табл. 6.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применённый в исследовании метод планирования эксперимента позволил выявить факторы, оказывающие влияние на каждый из четырёх параметров оптимизации.

Таблица 6

## Результаты расчётов статистических параметров [выполнено авторами]

Статистическая характеристика	Параметры оптимизации			
	$Y_T$	$Y_N$	$Y_{II}$	$Y_3$
$\bar{Y}_i$	55,45	2,15	0,832	250,01
$\bar{X}_1$	3,5	3,5	3,5	3,5
$\bar{X}_2$	15,7	15,7	15,7	15,7
$\bar{X}_4$	6	6	6	6
$\bar{X}_3$	109,36	109,36	109,36	109,36
$\bar{X}_5$	2	2	2	2
$\bar{X}_6$	21	21	21	21
$\bar{X}_8$	6	6	6	6
$\bar{X}_9$	6	6	6	6
$\bar{X}_{10}$	1,92	1,92	1,92	1,92
$\bar{X}_{11}$	96,25	96,25	96,25	36,25
$\sigma_{x1}$	2,5	2,5	2,5	2,5
$\sigma_{x2}$	13,3	13,3	13,3	13,3
$\sigma_{x3}$	4	4	4	4
$\sigma_{x4}$	102,36	102,36	102,36	102,36
$\sigma_{x5}$	1	1	1	1
$\sigma_{x6}$	29,85	29,85	29,85	29,85
$\sigma_{x8}$	4	4	4	4
$\sigma_{x9}$	4	4	4	4
$\sigma_{x10}$	2,73	2,73	2,73	2,73
$\sigma_{x11}$	136,81	136,81	136,81	136,81
$\sigma_Y$	51,72	52,72	0,0849	181,83
$r_{x1y}$	-0,346	-	-	0,926
$r_{x2y}$	0,773	0,776	-0,843	0,074
$r_{x3y}$	0,146	0,073	-0,082	-0,072
$r_{x4y}$	0,813	0,987	-0,993	-0,037
$r_{x5y}$	0,183	0,35	-0,28	0,029
$r_{x6y}$				0,58
$r_{x8y}$				0,046
$r_{x9y}$				0,084
$r_{x10y}$				0,38
$r_{x15y}$		-0,542	0,499	
$r_{x11y}$				0,534
$R$	0,812	0,636	0,579	0,989

Примечание:  $\bar{X}_i$ ,  $\bar{Y}$  – средняя арифметическая величина;  $\sigma_{xp}$ ,  $\sigma_y$  – среднее квадратическое отклонение;  $r_{xy}$  – коэффициент парной корреляции;  $R$  – совокупный коэффициент корреляции.

Анализ коэффициентов парной корреляции показывает, что наиболее существенное влияние на  $Y_T$ ,  $Y_N$ ,  $Y_{II}$  оказывают факторы  $X_2$  и  $X_3$ , а, следовательно, и зависимые от них функционально факторы  $X_{13}$  и  $X_{15}$ . Влияние фактора

$X_{15}$  на наполнение ( $Y_N$ ) и полноту сбора выручки ( $Y_{II}$ ) рассмотрено отдельно, поскольку на данные параметры, исходя из того, что они рассчитываются для часов пик, более существенное влияние оказывает не общее число



автобусов на маршруте в часы пик, а количество рейсов, выполненных ими ( $X_{15}$ ) в этот период.

Фактор  $X_1$  оказывает также существенное влияние на  $Y_p$ ,  $Y_{N^*}$ ,  $Y_{П^*}$ , однако коэффициент парной корреляции  $r_{x_1 y}$  имеет невысокое значение, поскольку параметр оптимизации  $Y_p$  включает четыре составляющие, а фактор  $X_1$  влияет только на одну составляющую затрат времени пассажира ( $Y_T$ ) –  $T_{ок}$  (время ожидания). На параметр оптимизации  $Y_3$  наиболее существенное влияние оказывают факторы  $X_1$  и  $X_{11}$ . Хотя полученные результаты подтвердили известную зависимость параметров оптимизации от фактора  $X_1$  (число автобусов), но вместе с тем они позволили ранжировать факторы по степени их влияния на конечный результат. В то же время соответствие полученных результатов реальным и очевидным зависимостям позволяет сделать вывод о правильности выбранного метода и верной его реализации.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Матанцева О. Ю. Экономические основы формирования документа планирования перевозок пассажиров // В сб. Национальные и международные финансово-экономические проблемы автомобильного транспорта. Сб. научных трудов. Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет. – М.: МАДИ, 2018. – С. 26–32. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36686707>. Доступ 24.08.2022.
2. Спирин И. В., Матанцева О. Ю., Гришаева Ю. М., Савосина М. И. Планирование устойчивого развития регулярных перевозок пассажиров в городах России // Безопасность колёсных транспортных средств в условиях эксплуатации: материалы 106-й Международной науч.-техн. конференции, Иркутск, 23–26 апреля 2019 года. – Иркутск: Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2019. – С. 629–636. [Электронный ресурс]: [https://www.niat.ru/files/publications/2019/planirovanie\\_ustojchivogo\\_razvitiya\\_regulyarnyh\\_perevozok\\_passazhirov\\_v\\_gorodah\\_rossii.pdf](https://www.niat.ru/files/publications/2019/planirovanie_ustojchivogo_razvitiya_regulyarnyh_perevozok_passazhirov_v_gorodah_rossii.pdf). Доступ 24.08.2022.
3. Спирин И. В. Городские автобусные перевозки: Справочник. – М.: Транспорт, 1991. – 237. ISBN 5-227-01139-0.
4. Матанцева О. Ю., Аредова А. К. Перевозки пассажиров транспортом общего пользования: основные экономические проблемы и пути их решения // Транспорт Российской Федерации. – 2018. – № 2 (75). – С. 65–69. [Электронный ресурс]: <https://cyberleninka.ru/article/n/perevozki-passazhirov-transportom-obshego-polzovaniya>

osnovnye-ekonomicheskie-problemy-i-puti-ih-resheniya. Доступ 24.08.2022.

5. Матанцева О. Ю. Основы экономики автомобильного транспорта: Учеб. пособие. – М.: Юстицинформ, 2020. – 256 с. ISBN 978-5-7205-1503-4.
6. Спирин И. В. Научные основы комплексной реструктуризации городского пассажирского транспорта: Монография. – М.: Каталог, 2007. – 200 с. ISBN 978-5-94349-128-3.
7. Улицкая Н. М., Скороходова А. В. Основные проблемы качества перевозок пассажиров городским общественным транспортом в России // Национальные и международные финансово-экономические проблемы автомобильного транспорта: Сб. научных трудов / Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ). – М.: ООО «Экон-Информ», 2018. – С. 11–18. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36846313>. Доступ 24.08.2022.
8. Гришаева Ю. М., Матанцева О. Ю., Спирин И. В., Савосина М. И., Ткачева З. Н., Васин Д. В. Устойчивое развитие транспорта в городах России: опыт и актуальные задачи // Юг России: экология, развитие. – 2018. – Т. 13. – № 4. – С. 24–46. DOI: 10.18470/1992-1098-2018-4-24-46.
9. Донченко В. В., Ибраев К. А., Енин Д. В., Евсеев О. В. Методологические подходы к разработке и применению стандартов транспортного обслуживания населения // Автотранспортное предприятие. – 2016. – № 6. – С. 22–25. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26165081>. Доступ 24.08.2022.
10. Енин Д. В., Венде Ф. Логистика в транспортных системах городов. Перспективы подготовки кадров // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2019. – № 1 (56). – С. 113–119. [Электронный ресурс]: <https://www.madi.ru/3803-vestnik-moskovskogo-avtomobilno-dorozhnogo-gosudarstvennogo.html>. Доступ 24.08.2022.
11. Alyoubi, B. A. Smart Cities in Shaping the Future of Urban Space: Technical Perspective and Utilitarian Aspects. Journal of Fundamental and Applied Sciences, 2017, Vol. 9, pp. 1749–1770. Appendix: 1, Special issue: SI. DOI: 10.4314/jfas.v9i1s.816.
12. Grishaeva, Yu. M., Spirin, J. V., Matantseva, O. Yu. Aspects of Professional Education in the Higher School in the Interests of the Techno-Sphere Safety // Современные исследования социальных проблем, 2016, Iss. 9, pp. 5–18. [Электронный ресурс]: <http://journal-s.org/index.php/sisp/article/view/9469>. Доступ 24.08.2022.
13. May, A. D. Urban Transport and Sustainability: The Key Challenges. International Journal of Sustainable Transportation, 2013, Vol. 7, Iss. 3, pp. 170–185. DOI: 10.1080/15568318.2013.710136.
14. Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1976. – 280 с. [Электронный ресурс]: <https://lib-bkm.ru/10467>. Доступ 24.08.2022.
15. Блатнов М. Д. Пассажиры автомобильные перевозки: Учебник для автотрансп. техникумов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1981. – 222 с. ●

### Информация об авторах:

**Матанцева Ольга Юрьевна** – доктор экономических наук, кандидат технических наук, доцент, заместитель генерального директора ОАО «НИИАТ» по научной работе, профессор Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ), Москва, Россия, [omat@niat.ru](mailto:omat@niat.ru).

**Аредова Анна Константиновна** – кандидат экономических наук, научный сотрудник ОАО «НИИАТ», Москва, Россия, [aredova@niat.ru](mailto:aredova@niat.ru).

**Щеголева Ирина Викторовна** – младший научный сотрудник ОАО «НИИАТ», Москва, Россия, [ishegoleva@niat.ru](mailto:ishegoleva@niat.ru).

Статья поступила в редакцию 24.08.2022, одобрена после рецензирования 12.09.2022, принята к публикации 14.09.2022.