



УДК 65-01

UDC 65-01

2.9.5 – эксплуатация автомобильного транспорта

**РАЗРАБОТКА ДВУХФАКТОРНОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ КОЛИЧЕСТВА ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ С УЧАСТИЕМ ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА**

**DEVELOPMENT A TWO-FACTOR MATHEMATICAL MODEL FOR ESTIMATING THE NUMBER OF ROAD ACCIDENTS INVOLVING PASSENGER TRANSPORTATION ACCIDENTS INVOLVING PASSENGER TRANSPORT**

**Котов Роман Алексеевич**, аспирант, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж.

**Kotov Roman Alekseevich**, postgraduate, Voronezh state forestry university named after G.F. Morozov, Voronezh.

✉<sup>1</sup> **Дорохин Сергей Владимирович**, д.т.н., декан автомобильного факультета, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж, e-mail: [dsvvrn@yandex.ru](mailto:dsvvrn@yandex.ru)

✉<sup>1</sup> **Dorokhin Sergey Vladimirovich**, doctor of technical sciences, dean of the automotive faculty, Voronezh state forestry university named after G.F. Morozov, Voronezh, e-mail: [dsvvrn@yandex.ru](mailto:dsvvrn@yandex.ru)

**Аннотация.** В статье рассмотрена аварийность пассажирского транспорта, определены перспективные пути развития данного вида транспорта и основные целевые показатели в соответствии с Транспортной стратегией. Выполнен анализ основных факторов, влияющих на развитие пассажирского транспорта – пассажирооборот и наличие подвижного состава и разработана двухфакторная модель, позволяющая оценить изменение показателя аварийности в зависимости от изменения исследуемых факторов.

**Annotation.** The article considers the accident rate of passenger transport, determines perspective ways of development of this type of transport and the main target indicators in accordance with the Transport Strategy. The analysis of the main factors affecting the development of passenger transport - passenger turnover and availability of rolling stock - is carried out and a two-factor model is developed, which allows estimating the change in the accident rate depending on the changes in the factors under study.

**Ключевые слова:** ПАССАЖИРСКИЙ ТРАНСПОРТ, ВОРОНЕЖСКАЯ ОБЛАСТЬ, АВАРИЙНОСТЬ, КОЛИЧЕСТВО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА, ПАССАЖИРООБОРОТ, ДВУХФАКТОРНАЯ РЕГРЕССИОННАЯ МОДЕЛЬ.

**Keywords:** PASSENGER TRANSPORTATION, VORONEZH REGION, ACCIDENT RATE, NUMBER OF ROLLING STOCK, PASSENGER TURNOVER, TWO-FACTOR REGRESSION MODEL.

<sup>1</sup> Автор для ведения переписки

### 1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

Согласно Транспортной стратегии Российской Федерации к 2035 года [1] пассажиропоток во внутреннем сообщении вырастет на 37 % по сравнению с 2019 г., в свою очередь, средний прирост пассажирооборота транспорта общего пользования в российских городах к 2035 г. по сравнению с тем же базовым годом составит 11 %. Таким образом, запланированное перераспределение пассажиропотока в городах создаст определённую нагрузку на общественный транспорт, что повлияет на изменение маршрутов, а также номенклатуру подвижного состава с целью обеспечения непрерывности данного процесса и его безопасность.

В первую очередь такие изменения будут происходить в густонаселённых городах – городах-миллионниках, к числу которых относится г. Воронеж. Следует отметить, что согласно данным Воронежстат, представленным на официальном сайте [2], за период 2017-2022 гг. перевозки пассажиров автобусными видами транспорта изменились, наблюдается определённое снижение спроса на данный вид транспорта, которое может быть объяснимо недавней пандемией, а также изменением маршрутов, связанных с реформированием пассажирской системы г. Воронеж и Воронежской области в целом (табл. 1).

Таблица 1 – Перевозки пассажиров по отдельным видам транспорта общего пользования

Год	Перевозки пассажиров автобусным транспортным общего пользования, млн. чел.
2017	201,1
2018	224
2019	206,1
2020	158,2
2021	126,1
2022	146,3

В свою очередь, общее количество происшествий с участием водителей автобусов за рассматриваемый период 2017-2022 гг. увеличилось (рис. 1). Это свидетельствует о необходимости более тщательной проработки данного вопроса с учётом планируемого увеличения пассажирооборота. За рассматриваемый период в таких происшествиях погибло 44 человека и получили ранение 837 человек. Следует отметить, что безопасности пассажирского транспорта сегодня посвящено большое количество научных трудов, в которых даны определённые рекомендации по изменению ситуации, в частности её улучшения, связанные, в первую очередь, с ужесточением контроля за техническим состоянием пассажирских транспортных средств, а также повышением уровня знаний у водителей рассматриваемых транспортных средств [3-8].

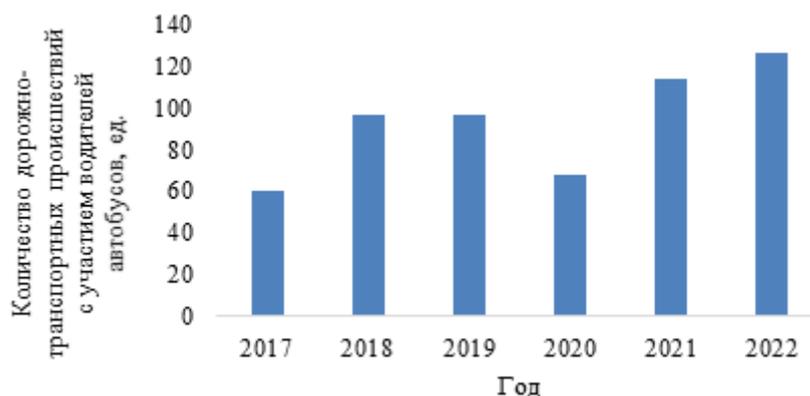


Рисунок 1 – Количество дорожно-транспортных происшествий в Воронежской области с участием водителей автобусов за период 2017-2022 гг.

С учётом установленных показателей роста пассажиропотока и изменения количества происшествий необходимым мероприятием является оценка изменения ситуации с учётом анализа двух факторов, таких как: пассажиропоток и количество подвижного состава. Двухфакторные модели позволяют оценить значимость каждого фактора и степень их влияния на рассматриваемый показатель, в нашем случае на количество дорожно-транспортных происшествий. Следует отметить, что в научной практике имеется ряд работ, посвящённых исследованию влияния определённых показателей на состояние аварийности [9-12].

## 2 Материалы и методы

Для исследования использован многофакторный анализ. В данном случае в качестве критерия (показателя) безопасности дорожного движения « $Y$ » принята величина количества дорожно-транспортных происшествий с участием водителей пассажирского транспорта. Ввиду неполного информирования по показателям аварийности в общедоступной базе данных государственной автомобильной инспекции, представленной на сайте показателей состояния безопасности дорожного движения [13], в качестве исследуемого параметра определён показатель «дорожно-транспортные происшествия из-за нарушения правил дорожного движения (ПДД) водителями автобусов». Следует отметить, что начиная с 2022 года показатели в общей статистической базе данных были немного изменены и появилась возможность отдельного анализа такого показателя как «Дорожно-транспортные происшествия (ДТП) с участием автобусов». Использование данного показателя в исследовании не представляется возможным в связи с неполным информированием по рассматриваемому периоду 2017-2022 гг., в котором «ДТП с участием автобусов» не было представлено. В связи с этим, в качестве первого рассматриваемого фактора ( $x_1$ ) принят показатель пассажирооборота автомобильного транспорта общего пользования в млн. пассажирокилометров (рис. 2) и второго фактора ( $x_2$ ) – наличие эксплуатационных автобусов, выполняющих перевозки по маршрутам регулярных перевозок, ед. (рис. 3). Все рассматриваемые параметры определены для отдельного субъекта – Воронежской области.

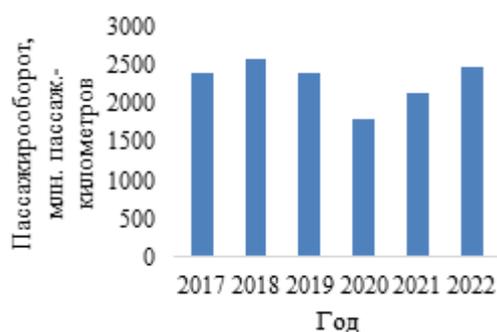


Рисунок 2 – Пассажирооборот автомобильного транспорта общего пользования Воронежской области

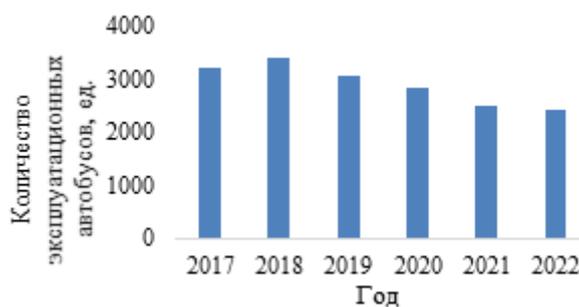


Рисунок 3 – Наличие эксплуатационных автобусов, выполняющих перевозки по маршрутам регулярных перевозок в Воронежской области

По полученным данным (рис. 2, 3) была построена двухфакторная регрессионная линейная модель:

$$Y = a + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2, \quad (1)$$

где  $Y$  – исследуемый параметр – количество ДТП по причине нарушения ПДД водителями пассажирского транспорта, ед.;  $x_1$  – пассажирооборот автомобильного транспорта общего пользования, млн. пассажиро-километров;  $x_2$  – наличие эксплуатационных автобусов, выполняющих перевозки по маршрутам регулярных перевозок, ед.;  $a$ ,  $b_1$ ,  $b_2$  – эмпирические коэффициенты.

### 3 Результаты исследований

Основная задача при выполнении многофакторного анализа заключается в поиске значений коэффициентов  $a$ ,  $b_1$  и  $b_2$  на основе алгоритма выполнения многофакторного регрессионного анализа, подробно описанных в научном направлении анализа данных – эконометрике [14, 15]. Находимые для расчёта данные представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Значения параметров и факторов для выполнения многофакторного регрессионного анализа

Год	№ п/п	y	$x_1$	$x_2$	$yx_1$	$yx_2$	$x_1x_2$
2017	1	60	2400,9	3202	144054	192120	7687681,8
2018	2	97	2578,6	3397	250124,2	329509	8759504,2
2019	3	97	2405,8	3067	233362,6	297499	7378588,6
2020	4	68	1806,4	2819	122835,2	191692	5092241,6
2021	5	114	2137,9	2502	243720,6	285228	5349025,8
2022	6	126	2465,4	2426	310640,4	305676	5981060,4
Σ		562	13795	17413	1304737	1601724	40248102,4
Среднее значение		93,67	2299,17	2902,17	217456,17	266954,00	6708017,07

Продолжение табл. 2

Год	№ п/п	$x_1^2$	$x_2^2$	$y^2$	$\hat{y}$	$y - \hat{y}$	$(y - \hat{y})^2$	$A_i$
2017	1	5764320,81	10252804	3600	83,12	-23,12	534,49	38,53
2018	2	6649177,96	11539609	9409	83,17	13,83	191,20	14,26
2019	3	5787873,64	9406489	9409	91,01	5,99	35,87	6,17
2020	4	3263080,96	7946761	4624	67,80	0,20	0,04	0,30
2021	5	4570616,41	6260004	12996	106,16	7,84	61,40	6,87
2022	6	6078197,16	5885476	15876	130,74	-4,74	22,43	3,76
Σ		32113266,94	51291143	55914	562	-	845,42	69,89
Среднее значение		5352211,16	8548523,83	9319,00	93,67	-	140,90	11,65

С использованием данных были определены значения парных коэффициентов корреляции по формулам:

$$r_{yx_1} = \frac{cov(y, x_1)}{\sigma_y \sigma_{x_1}}, \quad (2)$$

$$r_{yx_2} = \frac{cov(y, x_2)}{\sigma_y \sigma_{x_2}}, \quad (3)$$

$$r_{x_1x_2} = \frac{cov(x_1, x_2)}{\sigma_{x_1} \sigma_{x_2}}, \quad (4)$$

где  $\sigma_y$ ,  $\sigma_{x_1}$ ,  $\sigma_{x_2}$  – среднеквадратические отклонения признаков.

Расчёт по формулам 2, 3 и 4 позволил определить значения коэффициентов корреляции, которые составили 0,35, -0,59 и 0,39 соответственно.

Далее были определены коэффициенты  $b_1$ ,  $b_2$  и  $a$  с использованием формул:

$$b_1 = \frac{\sigma_y}{\sigma_{x_1}} \cdot \frac{r_{yx_1} - r_{yx_2}r_{x_1x_2}}{1 - r_{x_1x_2}^2}, \quad (5)$$

$$b_2 = \frac{\sigma_y}{\sigma_{x_2}} \cdot \frac{r_{yx_2} - r_{yx_1}r_{x_1x_2}}{1 - r_{x_1x_2}^2}, \quad (6)$$

$$a = \bar{y} - b_1\bar{x}_1 - b_2\bar{x}_2. \quad (7)$$

На данном этапе было получено уравнение двухфакторной регрессии вида (8), расчёт с использованием которого позволил получить необходимые данные, представленные в табл. 2 и произвести дальнейшие действия для оценки достоверности модели:

$$\hat{y} = 114,29 + 0,06x_1 - 0,06x_2. \quad (8)$$

Средняя ошибка аппроксимации, определённая методом наименьших квадратов, составила 11 %. Адекватность уравнения (8) была подтверждена с помощью критерия Фишера: расчётное значение  $F$ -критерия ( $F_{\text{факт}}$ ), как отношение факторной к остаточной дисперсии, составило 4,31, а табличное значение  $F$ -критерия ( $F_{\text{табл}}$ ) – 3,39. Следовательно, гипотеза об адекватности уравнения (8) не отвергается, т.к.  $F_{\text{факт}} > F_{\text{табл}}$ . Значимость коэффициентов регрессии  $a$ ,  $b_1$  и  $b_2$  подтвердилась с помощью критерия Стьюдента ( $t$ -критерия).

#### 4 Обсуждение и заключение

В ходе выполненного исследования была получена двухфакторная регрессионная модель (формула (8)), имеющая корреляционную связь факторов  $x_1$  и  $x_2$  с критерием  $Y$  при коэффициенте детерминации  $R^2 = 0,74$ ). Это доказывает наличие связи, позволяющей оценить изменение условного количества ДТП с участием автобусов при изменении пассажирооборота и численности подвижного состава на регулярных рейсах. Установлено, что увеличение пассажирооборота и сокращение количества подвижного состава на регулярных рейсах, будет способствовать увеличению рассматриваемых типов происшествий в случае отсутствия мероприятий, направленных на их снижение, например, направленных на обучение водителей, усиление контроль-надзорных мероприятий и иных мероприятий. В частности, оценить данное изменение позволил расчёт коэффициентов эластичности при учёте первого и второго фактора, значения которых составили  $\bar{\epsilon}_1 = 1,52$  и  $\bar{\epsilon}_2 = -1,74$  соответственно для первого и второго рассматриваемого фактора.

#### Список литературы

- 1 Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года / утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 г. № 3363-р.
- 2 Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Воронежской области / URL: <https://36.rosstat.gov.ru/> (дата обращения: 09.09.2024).
- 3 Агеева, Е. В. Повышение безопасности пассажирских перевозок в г. Курске / Е. В. Агеева, М. С. Королев, А. И. Пыхтин // Мир транспорта и технологических машин. – 2018. – № 4(63). – С. 96-103.
- 4 Котляренко, В. И. Тенденции развития автотранспортных средств в Российской Федерации / В. И. Котляренко // Труды НАМИ. – 2019. – № 4 (279). – С. 22-27.
- 5 Любимов, И. И. Анализ моделей взаимодействия субъектов пассажирских автомобильных перевозок / И. И. Любимов, Н. Н. Якунин, Н. В. Якунина // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2022. – Т. 19, № 6(88). – С. 878-889.

6 Локтионова, А. Г. Определение динамического показателя автомобиля в транспортных потоках городской транспортной системы / А. Г. Локтионова, А. Г. Шевцова // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – № 1-2(80). – С. 37-42.

7 Вопросы управления городскими транспортными системами / И. Е. Агуреев, В. А. Пышный, Л. Е. Кущенко [и др.] // Современные социально-экономические процессы: проблемы, закономерности, перспективы: монография. – Пенза: "Наука и Просвещение" (ИП Гуляев Г.Ю.), 2017. – С. 72-94.

8 Курганов, В. М. Надежность и снижение затрат на перевозки пассажиров в городах с градообразующими предприятиями / В. М. Курганов, М. В. Грязнов, К. А. Давыдов // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2020. – Т. 17, № 1(71). – С. 98-109.

9 Новиков, А. Н. Безопасное и эффективное управление транспортными потоками в городской транспортной системе / А. Н. Новиков, А. Г. Шевцова. – Москва: Академия, 2022. – 205 с. – ISBN 978-5-361-01115-5.

10 Куракина, Е. В. Повышение уровня безопасности дорожного движения в системе "Участник дорожного движения - Транспортное средство - Дорога - Внешняя среда" / Е. В. Куракина, А. А. Склярова // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2020. – Т. 17, № 4(74). – С. 488-499.

11 Анализ влияния внешнеэкономических факторов на развитие транзитных перевозок на территории ЕАЭС / С. В. Дорохин, В. А. Зеликов, А. Ш. Субхонбердиев [и др.] // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2020. – Т. 82, № 1(83). – С. 419-425.

12 Шевцова, А. Г. Прогнозирование количества дорожно-транспортных происшествий с участием средств индивидуальной мобильности на примере Краснодарского края / А. Г. Шевцова, С. Е. Савотченко, А. А. Юнг // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2024. – Т. 21, № 4(98). – С. 594-604.

13 Показатели состояния безопасности дорожного движения / URL: <http://stat.gibdd.ru/> (дата обращения 16.09.2024).

14 Орлова, И. В. Опыт применения пакета R при изучении темы "Предварительный анализ данных" в эконометрике / И. В. Орлова // Фундаментальные исследования. – 2019. – № 6. – С. 115-120.

15 Максимова, Т. Г. Эконометрика / Т. Г. Максимова, И. Н. Попова. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, 2018. – 70 с.

## References

1 Transport Strategy of the Russian Federation up to 2030 with a forecast for the period up to 2035, approved by the order of the Government of the Russian Federation on November 27, 2021 № 3363-р.

2 Territorial body of the Federal State Statistics Service for the Voronezh Region / URL: <https://36.rosstat.gov.ru/> (access date: 09.09.2024).

3 Ageyeva, E. V. Increasing the safety of passenger transportation in Kursk / E. V. Ageyeva, M. S. Korolev, A. I. Pykhtin // The world of transport and technological machines. - 2018. - № 4(63). - С. 96-103.

4 Kotlyarenko, V. I. Trends in the development of motor vehicles in the Russian Federation / V. I. Kotlyarenko // Proceedings of NAMI. - 2019. - № 4(279). - С. 22-27.

5 Lyubimov, I. I. Analysis of the interaction models of the subjects of passenger motor-vehicle transportation / I. I. Lyubimov, N. N. Yakunin, N. V. Yakunina // Bulletin of the Siberian State Automobile and Road University. - 2022. - Т. 19, № 6(88). - С. 878-889.

6 Loktionova, A. G. Determination of the dynamic index of the car in the transport flows of the urban transportation system / A. G. Loktionova, A. G. Shevtsova // World of transport and technological machines. - 2023. - № 1-2(80). - С. 37-42.

7 Issues of urban transportation systems management / I. E. Agureev, V. A. Pyshny, L. E. Kushchenko [et al.] // Modern socio-economic processes: problems, patterns, prospects : a monograph. - Penza : "Science and Enlightenment" (IP Gulyaev G.Yu.), 2017. - С. 72-94.

8 Kurganov, V. M. Reliability and cost reduction for passenger transportation in cities with city-forming enterprises / V. M. Kurganov, M. V. Gryaznov, K. A. Davydov // Bulletin of the Siberian State Automobile and Road University. - 2020. - Т. 17, № 1(71). - С. 98-109.

9 Novikov, A. N. Safe and efficient traffic flow management in the urban transportation system / A. N. Novikov, A. G. Shevtsova. - Moscow : Academia, 2022. - 205 с. - ISBN 978-5-361-01115-5.

10 Kurakina, E. V. Increasing the level of road safety in the system “Road user - Vehicle - Road - External environment” / E. V. Kurakina, A. A. Sklyarova // Bulletin of the Siberian State Automobile and Road University. - 2020. - Т. 17, № 4(74). - С. 488-499.

11 Analysis of the influence of foreign economic factors on the development of transit transportation in the EAEU territory / S. V. Dorokhin, V. A. Zelikov, A. Sh. Subkhonberdiev [et al.] // Bulletin of Voronezh State University of Engineering Technologies. - 2020. - Т. 82, № 1(83). - С. 419-425.

12 Shevtsova, A. G. Forecasting the number of road accidents involving means of individual mobility on the example of Krasnodar Krai / A. G. Shevtsova, S. E. Savotchenko, A. A. Yung // Bulletin of the Siberian State Automobile and Road University. - 2024. - Т. 21, № 4(98). - С. 594-604.

13 Road safety indicators / URL: <http://stat.gibdd.ru/> (access date 09/16/2024).

14 Orlova, I. V. Experience of using the R package when studying the topic “Preliminary data analysis” in econometrics / I. V. Orlova // Fundamental Research. - 2019. - № 6. - С. 115-120.

15 Maximova, T. G. Econometrics / T. G. Maximova, I. N. Popova. - St. Petersburg : St. Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, 2018. - 70 с.

© Котов Р. А., Дорохин С. В., 2024