

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Сергей Юрьевич Саблин¹
Алексей Васильевич Скрыпников¹
Ирина Алевтиновна Высоцкая²
Андрей Николаевич Брюховецкий³
Петр Викторович Тихомиров⁴

¹Воронежский государственный университет инженерных технологий

²Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)
Министерства обороны Российской Федерации

³Луганский государственный аграрный университет

⁴Брянский государственный инженерно-технологический университет

Дорожные сети аграрных территорий относятся к одним из самых трудноизменяемых элементов сельскохозяйственной транспортной инфраструктуры, поскольку представляют собой сложные физические объекты. Любые изменения структуры дорожной сети требуют обоснования ожидаемых результатов, в том числе с позиций количественной и качественной оценки эффективности. Скорость движения автомобиля является одной из важных характеристик, посредством которой можно оценить степень влияния параметров автомобильной дороги на экономические показатели ее эксплуатации, в том числе на пропускную способность и интенсивность движения. Предложена и обоснована методика проведения экспериментального исследования при условии обеспечения необходимой точности измерений по определению скорости движения автомобиля в зависимости от ширины проезжей части, интенсивности движения, состава потока движения и характеристик продольного профиля на примере асфальтобетонной автомобильной дороги сельскохозяйственного назначения с пересеченным рельефом местности. Представленная методика проведения экспериментов предполагает накопление и обработку значительного объема информации при условии обеспечения необходимой точности. Материал, собранный в процессе измерения скоростей автомобилей в различных дорожных условиях, систематизируется по выборкам с целью определения характера влияния дорожных условий на скорость автомобильного потока. Системные обработка, анализ и обобщение результатов полученных измерений по основным скоростным группам и типам автомобилей в различных дорожных условиях позволили оценить характер их влияния на скорость автомобильного потока. На основании результатов проведенных исследований сделан вывод о необходимости автоматизации процессов регулирования скоростей автомобилей и применения вспомогательных приборов и устройств для обработки экспериментальных данных.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: экспериментальные исследования; скорость движения; автомобильная дорога, методика, интенсивность, пропускная способность.

METHODOLOGY FOR EXPERIMENTAL STUDIES OF RURAL AUTOMOBILE ROAD FUNCTIONING

Sergey Yu. Sablin¹
Aleksey V. Skrypnikov¹
Irina A. Vysotskaya²
Andrey N. Bryukhovetskiy³
Petr V. Tikhomirov⁴

¹Voronezh State University of Engineering Technologies

²Military Educational and Scientific Center of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin
Air force Academy (Voronezh) the Ministry of Defence of the Russian Federation

³Luhansk State Agrarian University

⁴Bryansk State University of Engineering and Technology

Road networks of agricultural territories are one of the most hard-to-change elements of agricultural transport infrastructure, since they are complex physical objects. Any changes in the structure of the road network require justification of the expected results, including from the standpoint of quantitative and qualitative assessment of the efficiency. The speed of the car is one of the important characteristics by which it is possible to assess the degree of influence of the parameters of the road on the economic indicators of its operation, including the capacity and traffic intensity. A method of conducting an experimental study is proposed and justified, provided that the necessary accuracy of measurements is supported to determine the speed of a car depending on the surfaced width of the road, traffic intensity, traffic flow composition and longitudinal profile characteristics on the example of bituminous-concrete rural automobile road with rugged topography. The presented method of conducting experiments involves the accumulation and processing of a significant amount of information, provided that the necessary accuracy is ensured. The material collected in the process of measuring the speed of cars in various road conditions is systematized by samples in order to determine the nature of the influence of road conditions on the speed of automobile traffic. System processing, analysis and generalization of the results of the measurements obtained for the main speed groups and types of cars in various road conditions allowed assessing the nature of their influence on the speed of the traffic flow. Based on the results of the conducted studies, it is concluded that it is necessary to automate the processes of regulating the speed of cars and the use of auxiliary devices and devices for processing experimental data.

KEYWORDS: experimental studies, road speed, automobile road, methodology, intensity, traffic capacity.

В 2019 г. Постановлением Правительства Российской Федерации была утверждена государственная программа «Комплексное развитие сельских территорий» на 2020–2025 гг., один из проектов которой («Развитие транспортной инфраструктуры на сельских территориях») нацелен на обеспечение ввода в эксплуатацию в 2020–2025 годах не менее 2,58 тыс. км автодорог общего пользования с твердым покрытием, ведущих от сети трасс общего пользования к общественно значимым объектам сельских населенных пунктов, объектам производства и переработки [5].

Дорожные сети аграрных территорий относятся к одним из самых дорогих и трудноизменяемых элементов сельскохозяйственной транспортной инфраструктуры, поскольку представляют собой сложные физические объекты. Любые изменения их структуры требуют обоснования ожидаемых результатов, в том числе с позиций количественной и качественной оценки эффективности.

В работе проведено обоснование методики экспериментальных исследований для оценки показателей эффективности функционирования автомобильной дороги сельскохозяйственного назначения в зависимости от условий движения в целях моделирования транспортного потока и построения в дальнейшем систем его управления [9].

Задачей представленных исследований является определение характера зависимости скорости автомобильного потока от его состава, интенсивности движения, ширины проезжей части и характера продольного профиля участка дороги.

Выбрать необходимое количество участков дорог с требуемыми параметрами для проведения эксперимента представляется затруднительным, поскольку эти участки должны варьироваться по нескольким признакам и одновременно отвечать ряду требований с целью компенсации посторонних влияний. Поэтому экспериментальная работа была разделена на два самостоятельных направления, в результате осуществления которых должна быть получена общая закономерность.

Первое направление обуславливается необходимостью определения зависимости скорости движения автомобиля от ширины проезжей части, интенсивности и состава потока движения, второе – от характеристик продольного профиля автомобильной дороги [8].

Измерение скоростей автомобилей с целью определения зависимости от ширины проезжей части, интенсивности движения и состава потоков производилось на специально выбранных участках автомобильных дорог [2, 4].

Для исключения посторонних воздействий на режим движения выбирались участки дорог, не имеющие продольных уклонов, горизонтальных кривых, съездов, переездов, близко расположенных сооружений и других факторов, вызывающих снижение скорости.

Длина экспериментальных участков, отвечающих указанным требованиям, назначалась около 500 м в обе стороны от места установки регистрирующего прибора [4].

За единицу наблюдения принят час с определенной интенсивностью движения. Необходимое количество часов наблюдения для каждой ширины проезжей части определялось по формуле [4]

$$n = \frac{t^2 \sigma^2}{\Delta^2}, \quad (1)$$

где t – функция доверительной вероятности;

σ – среднее квадратическое отклонение, определяющееся из предварительных наблюдений;

Δ – необходимая точность наблюдения.

При доверительной вероятности, равной 0,95, и $t = 2$, точность наблюдений принимается $< 0,05$, т.е. ~ 2 км/ч [4].

По предварительным наблюдениям и по результатам исследований авторов работ [2, 4] среднее квадратическое отклонение может быть приближенно принято близким к параметрам нормального распределения

$$\sigma = \frac{R}{6}, \quad (2)$$

где R – размах значений выборки.

Размах выборки средних скоростей не превышал 20 км/час. Таким образом, можно принять $\sigma = 4$ км/ч. Тогда, используя формулу (1), получаем $n = 16$ часов.

Общее количество часов наблюдений и охваченные при этом диапазоны интенсивности движения отражены на рисунке 1, где N_u – интенсивность движения, t – количество часов наблюдения (рис. 1).

Общее количество автомобилей составило 3175, а количество часов наблюдения – 60.

По причине определенных трудностей, встречающихся при выборе участков дорог с различной шириной проезжей части и с сопоставимыми значениями интенсивности движения, совокупность экспериментальных данных характеризовалась различием средних уровней интенсивности движения для данных, относящихся к различным по ширине проезжим частям. Это обстоятельство учитывалось при обработке и анализе экспериментальных данных.

Формирование выборки для определения зависимости снижения средних скоростей автомобилей от распределения предельных продольных уклонов характеризуется необходимостью включения в исследование достаточного количества участков дороги требуемого диапазона длины со сложным продольным профилем.

Для наблюдений были выбраны участки дорог, характерные для районов с пересеченным рельефом местности. Для выявления влияния только характеристик продольного профиля к экспериментальным участкам предъявлялись определенные требования: в пределах выбранных участков не должно быть съездов, пересечений в одном уровне, кривых малых радиусов и знаков, ограничивающих скорость движения.

Покрытие всех участков – асфальтобетонное, в хорошем состоянии. Распределение уклонов экспериментальных участков приведено на рисунке 2.

Исследование распределений проектных продольных уклонов автомобильных сельскохозяйственных дорог различных технических категорий, изменение характера распределения в зависимости от сложности рельефа местности дает основание принять в качестве средних статических характеристик продольного профиля среднее значение распределения продольных уклонов \bar{t} и среднее квадратическое отклонение уклонов σ_i .

Так как цель эксперимента определяет методику его проведения, то в данном случае должны быть зарегистрированы скорости автомобилей при свободном движении на створах дороги, имеющих определенные значения продольных уклонов, т. е. записаны эпюры скоростей при известном продольном профиле, чтобы в процессе обработки результатов сопоставлять распределение скоростей и распределение продольных уклонов.

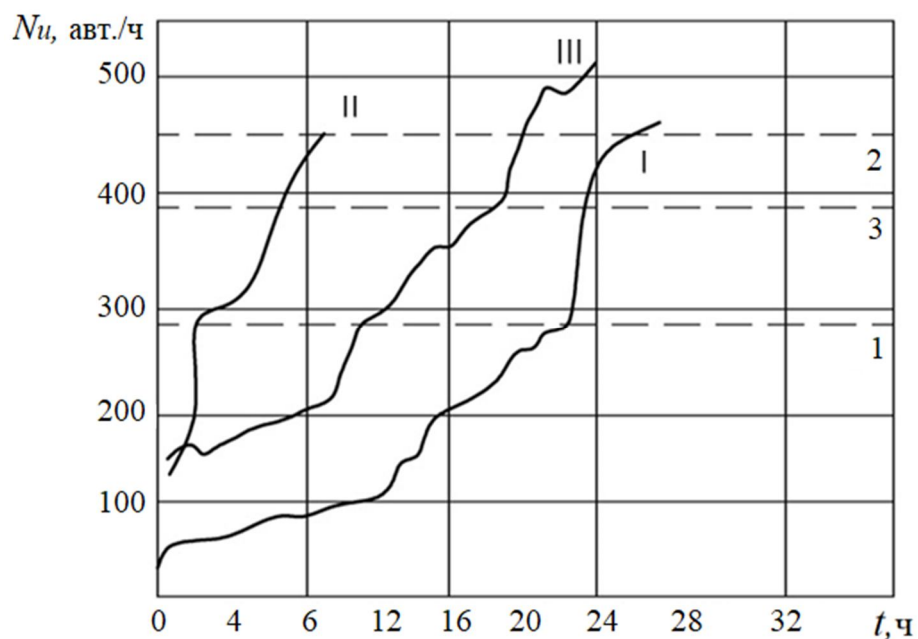


Рис. 1. Диапазоны и охваченные экспериментом средние уровни интенсивности движения: тип проезжей части шириной: I – 4,5 м; II – 6 м; III – 7,5 м; средний уровень интенсивности движения, относящийся к типу проезжей части: 1 – к I, 2 – к II, 3 – к III

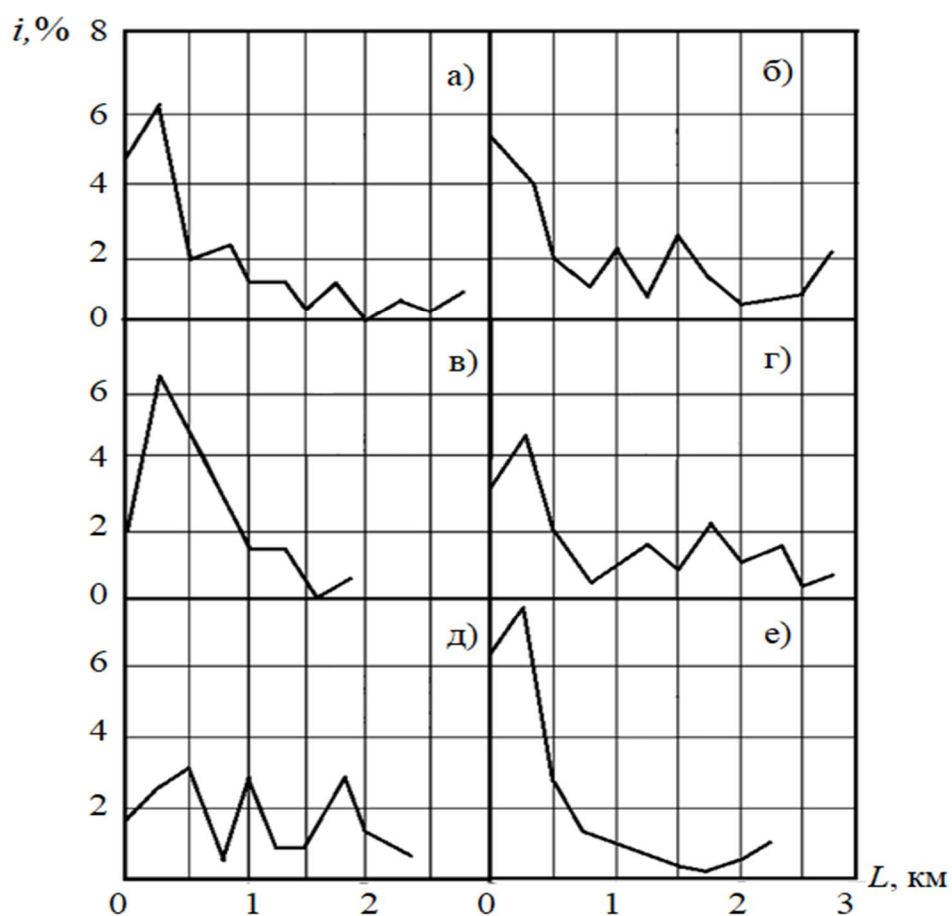


Рис. 2. Распределение уклонов экспериментальных участков автомобильных дорог:
 а) $\bar{i} = 14,79\%$, $\sigma_i = 14,30\%$; б) $\bar{i} = 20,56\%$, $\sigma_i = 17,50\%$; в) $\bar{i} = 13,21\%$, $\sigma_i = 8,25\%$;
 г) $\bar{i} = 21,87\%$, $\sigma_i = 16,70\%$; д) $\bar{i} = 23,72\%$, $\sigma_i = 18,10\%$; е) $\bar{i} = 9,87\%$, $\sigma_i = 10,10\%$

Одним из методов, позволяющих получить распределение скоростей автомобилей по длине дороге, является метод «следования за лидером», предполагающий проезды автомобиля-лаборатории за проходящими по участку автомобилями.

Важным моментом является определение минимально необходимой длины экспериментального участка. Пробные проезды показали, что размах значений скоростей достигает 40–60 км/час.

Среднее квадратическое отклонение получено приближенно по формуле (2): $\sigma = 8,4$ км/ч.

Для доверительной вероятности 0,95 и точности измерения 0,05 в соответствии с формулой (1) $n = 31$.

То есть, если за длину совокупности принимается 1 пикет продольного профиля, необходимая длина участка равна 3,1 км.

Далее определяется количество экспериментальных проездов по каждому участку. Размах значений средних скоростей равен 30–45 км/ч. Отсюда по формулам (1) и (2) $\sigma = 6,5$ км/ч, $n = 18$.

Одновременно при выборочных проездах регистрировались средние скорости всех без исключения проходящих автомобилей при помощи засечек времени прохождения створов.

Экспериментальные проезды производились при интенсивности движения до 17 авт./час, что соответствует свободным условиям движения [3, 6, 10].

Выбор автомобилей для исследования изменений скоростей на участке определялся необходимостью внесения в выборку основных скоростных групп. Скоростные группы включали следующие типы автомобилей:

- 1) легковые, микроавтобусы;
- 2) грузовые легковые, средние и автобусы;
- 3) грузовые тяжелые, средние с прицепами.

На каждом из участков обследовалось равное количество представителей разных скоростных групп [1, 7].

Представленная методика проведения экспериментов предполагает накопление и обработку значительного объема информации при условии обеспечения необходимой точности. Материал, собранный в процессе измерения скоростей автомобилей в различных дорожных условиях, систематизируется по выборкам с целью определения характера влияния дорожных условий на скорость автомобильного потока.

Системная обработка, анализ и обобщение результатов полученных измерений по основным скоростным группам и типам автомобилей в различных дорожных условиях позволили оценить характер их влияния на скорость автомобильного потока.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о необходимости автоматизации процессов регулирования скоростей автомобилей и применения вспомогательных приборов и устройств для обработки экспериментальных данных.

Библиографический список

1. Исследование технологии экспертной оценки качества информационного обеспечения автомобильного транспорта / А.В. Скрыпников, Е.В. Чернышова, Е.В. Быстрянец, В.С. Логойда // Автоматизация. Современные технологии. – 2017. – Т. 71, № 9. – С. 429–432.
2. Математическое моделирование оптимизации и управления транспортным потоком посредством применения датчиков регистрации проходящих автомобилей и информационных устройств / А.В. Скрыпников, Д.В. Бурмистров, В.Г. Козлов, Е.В. Чернышов // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2016. – № 2 (68). – С. 102–109.

3. Методы нелинейного программирования, используемые при проектировании трассы / А.В. Скрыпников, Е.В. Чернышова, В.В. Самцов, М.А. Абасов // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2018. – № 225. – С. 131–143.

4. Модель режимов движения транспортных потоков на лесовозных автомобильных дорогах / В.К. Курьянов, А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашова, В.А. Морковин // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2014. – № 2 (338). – С. 61–67.

5. Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Комплексное развитие сельских территорий» и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации (с изменениями и дополнениями) : Постановление Правительства Российской Федерации от 31 мая 2019 г. № 696 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/72260516/#friends> (дата обращения: 17.04.2021).

6. Рабочая гипотеза ритмичного строительства лесовозных автомобильных дорог и ее экономико-математическое развитие / Д.В. Бурмистров, А.В. Скрыпников, В.Г. Козлов и др. // Лесной вестник. – 2018. – Т. 22, № 5. – С. 69–76.

7. Расчет плановых элементов криволинейной трассы, подобранной на стереомодели местности / М.М. Умаров, А.В. Скрыпников, Д.В. Ломакин, Е.Ю. Микова // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2018. – № 4 (364). – С. 97–106.

8. Смирнов Г.А. Теория движения колесных машин / Г.А. Смирнов. – 2-е изд., доп. и перераб. – Москва : Машиностроение, 1990. – 352 с.

9. Тарасик В.П. Математическое моделирование технических систем : учебник / В.П. Тарасик. – 2-е изд., испр. и доп. – Минск : Дизайн ПРО, 1997. – 640 с.

10. Phillips W.S. A kinetic model for traffic flow with continuum implications / W.S. Phillips // Transportation Planning and Technology. – 1979. – Vol. 5 (3). – Pp. 131–158.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ Принадлежность к организации

Сергей Юрьевич Саблин – аспирант кафедры информационной безопасности ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», Россия, г. Воронеж, e-mail: sablinSYu@mail.ru.

Алексей Васильевич Скрыпников – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой информационной безопасности, декан факультета управления и информатики в технических системах ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», Россия, г. Воронеж, e-mail: skrypnikovvsafe@mail.ru.

Ирина Алевтиновна Высоцкая – кандидат физико-математических наук, преподаватель кафедры математики ФГКВУ ВО «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж) Министерства обороны Российской Федерации, Россия, г. Воронеж, e-mail: i.a.trishina@gmail.com.

Андрей Николаевич Брюховецкий – кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой тракторов и автомобилей, проректор по учебной работе ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный аграрный университет», ЛНР, г. Луганск, e-mail: bruhoveckiy@rambler.ru.

Петр Викторович Тихомиров – кандидат технических наук, доцент кафедры транспортно-технологических машин и сервиса ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», Россия, г. Брянск, e-mail: vtichomirov@mail.ru.

Дата поступления в редакцию 22.08.2021

Дата принятия к печати 28.09.2021

AUTHOR CREDENTIALS Affiliations

Sergey Yu. Sablin, Postgraduate Student, the Dept. of Information Security, Voronezh State University of Engineering Technologies, Russia, Voronezh, e-mail: sablinSYu@mail.ru.

Aleksey V. Skrypnikov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Dept. of Information Security, Dean of the Faculty of Management and Informatics in Technological Systems, Voronezh State University of Engineering Technologies, Russia, Voronezh, e-mail: skrypnikovvsafe@mail.ru.

Andrey N. Bryukhovetskiy, Candidate of Engineering Sciences, Docent, Head of the Dept. of Tractors and Automobiles, Vice Rector for Academic Work, Lugansk State Agrarian University, Lugansk People's Republic, Lugansk, e-mail: bruhoveckiy@rambler.ru.

Irina A. Vysotskaya, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Lecturer, the Dept. of Mathematics, Military Educational and Scientific Center of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air force Academy (Voronezh) the Ministry of Defence of the Russian Federation, Russia, Voronezh, e-mail: i.a.trishina@gmail.com.

Petr V. Tikhomirov, Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Transport and Technological Machinery and Service, Bryansk State Engineering and Technological University, Russia, Bryansk, e-mail: vtichomirov@mail.ru.

Received August 22, 2021

Accepted after revision September 28, 2021