

Экспериментальные и теоретические зависимости пройденного пути и расхода топлива от скорости движения автомобиля на опытных участках, имеющих различные уклоны

Д.Е. Болтнев^a, В.В. Денисенко^b, А.В. Скрыпников^c, В. В. Торопцев^d, О.Н. Тверитнев^e

Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр. Революции, 19, Воронеж, Россия

^a boltnevDE@mail.ru, ^b v.denisenko1@yandex.ru, ^c skrypnikovvsafe@mail.ru, ^d vsworkmail@bk.ru, ^e ontveritnev@mail.ru

^a <https://orcid.org/0000-0002-9557-7894>, ^b <https://orcid.org/0000-0002-8428-4826>,

^c <https://orcid.org/0000-0003-1073-9151>, ^d <https://orcid.org/0000-0001-6448-5586>,

^e <https://orcid.org/0000-0002-8183-0393>

Статья поступила 24.06.2021, принята 03.09.2021

В статье рассматриваются особенности расчета режимов движения автопоездов на участках лесовозных дорог, имеющих подъем, для определения динамических характеристик, таких как максимальная скорость движения, продолжительность и путь разгона, с использованием аналитических решений дифференциальных уравнений движения автомобиля. Обобщаются и анализируются данные экспериментальных исследований режимов движения лесовозных автопоездов на участках с различным уклоном. Параметры движения автомобиля, с учетом замены кривых динамической характеристики параболой 2-го порядка, могут быть определены с большой точностью, но при этом решение задач таким способом сложно и трудоемко. Поэтому, исходя из сравнения экспериментальных и теоретических данных, вполне оправдывает себя замена кривой динамической характеристики прямой линией на участке от критической до технически максимально возможной скорости. Это позволяет с точностью, достаточной для практического использования, определять параметры движения автомобиля при помощи относительно простых расчетов. Проведено сравнение экспериментальных данных и теоретических расчетов по расходу топлива при движении лесовозных автопоездов на подъемах. Установлен характер кривых, показывающих зависимость расхода топлива от скорости автомобиля при различных режимах движения. Описанный в статье метод определения расхода топлива при движении лесовозов на подъемах, основанный на аналитическом выражении кривых зависимости секундного расхода топлива от скорости движения и продолжительности движения лесовоза по дорожному участку, может быть использован при решении ряда задач, связанных с движением автомобиля, а также при сравнении вариантов проектной линии на участке лесовозной автомобильной дороги.

Ключевые слова: дифференциальные уравнения движения; лесовозные автопоезда; определение расхода топлива; расчет скорости движения.

Experimental and theoretical dependences of the distance traveled and fuel consumption on the vehicle speed along the test sites with different slopes

D.E. Boltnev^a, V.V. Denisenko^b, A.V. Skrypnikov^c, V.V. Toroptsev^d, O.N. Tveritnev^e

Voronezh State University of Engineering Technologies; 19, Revolyutsii Ave., Voronezh, Russia

^a boltnevDE@mail.ru, ^b v.denisenko1@yandex.ru, ^c skrypnikovvsafe@mail.ru, ^d vsworkmail@bk.ru, ^e ontveritnev@mail.ru

^a <https://orcid.org/0000-0002-9557-7894>, ^b <https://orcid.org/0000-0002-8428-4826>,

^c <https://orcid.org/0000-0003-1073-9151>, ^d <https://orcid.org/0000-0001-6448-5586>,

^e <https://orcid.org/0000-0002-8183-0393>

Received 24.06.2021, accepted 03.09.2021

The article discusses the features of calculating the modes of movement of road trains on sections of timber roads with a rise to determine the dynamic characteristics, such as the maximum speed, duration and acceleration path, using analytical solutions of the differential equations of vehicle motion. The data of experimental studies of the modes of movement of timber trucks on the sections with different slopes are generalized and analyzed. Vehicle motion parameters, taking into account the replacement of the dynamic response curves by second-order parabolas, can be determined with great accuracy, but at the same time, solving problems in this way is difficult and time-consuming. Therefore, based on a comparison of experimental and theoretical data, it is quite justified to replace the dynamic characteristic curve with a straight line in the section from the critical to the technically maximum possible speed. This allows, with an accuracy sufficient for practical use, to determine the parameters of a car's movement using relatively simple calculations. Comparison of experimental data and theoretical calculations on fuel consumption during the movement of timber road trains on the slopes is car-

ried out. The nature of the curves showing the dependence of fuel consumption on vehicle speed in different driving modes has been established. The method described in the article for determining fuel consumption during the movement of timber trucks on uphill, based on the analytical expression of the curves of dependence of the second fuel consumption on the speed of movement and the duration of movement of the timber truck on the road section, can be used to solve a number of problems related to the movement of a car, when comparing the options for the project line on the section of the timber road.

Keywords: differential equations of motion; timber road trains; determination of fuel consumption; calculation of travel speed.

Введение. При расчете режимов движения автопоездов на участках лесовозных дорог, имеющих подъем, для определения динамических характеристик, в частности, максимальной скорости движения, продолжительности и пути разгона, а также расхода топлива можно успешно использовать аналитические решения дифференциальных уравнений движения автомобиля [1; 2]. С учетом принимаемых при этом допущений можно с достаточной степенью точности рассчитывать скорости движения по отдельным участкам дорог [3; 4]. При этом стоит помнить, что вышеупомянутые расчеты и предпосылки относятся к идеализированным условиям движения с постоянной степенью подачи топлива. Для более точной оценки методики расчетов были проведены исследования, результаты которых позволили в первом приближении обосновывать принятые упрощения при решении вопросов движения автомобиля.

Анализ экспериментальных и теоретических зависимостей пройденного пути от скорости движения. На рис. 1...9 в виде графиков представлены полученные экспериментальным путем и теоретическими расчетами зависимости пройденного пути от скорости движения автомобиля на опытных участках, имеющих различные уклоны.

На графиках видно, что полученные экспериментальным путем точки скорости движения автомобиля образуют некоторую полосу, по которой можно установить пределы расстояния, проходимого автомобилем на данном подъеме.

Также, анализируя графические зависимости, можно предположить, что экспериментальным данным изменения скорости автомобиля на подъемах ближе всего соответствуют кривые, построенные по уравнению $D = A + BV + CV^2$.

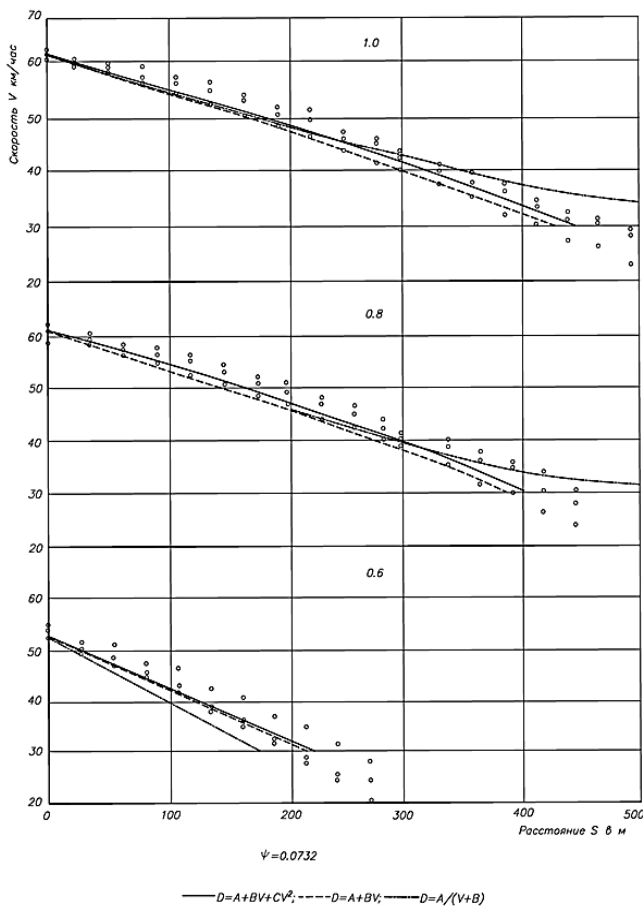


Рис. 1. Зависимости пройденного пути от скорости движения автомобиля на опытных участках при $\Psi = 0,0732$

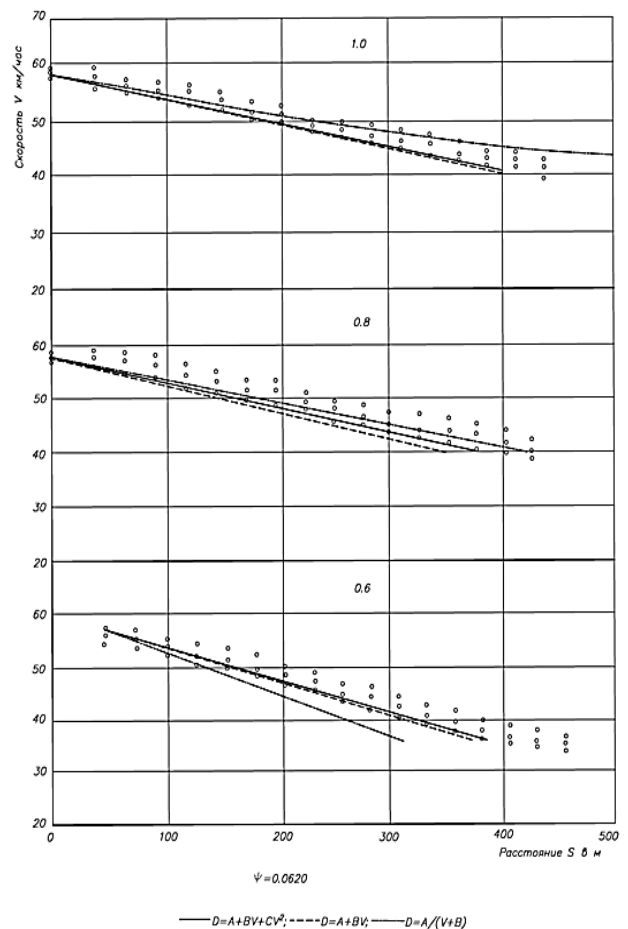


Рис. 2. Зависимости пройденного пути от скорости движения автомобиля на опытных участках при $\Psi = 0,062$

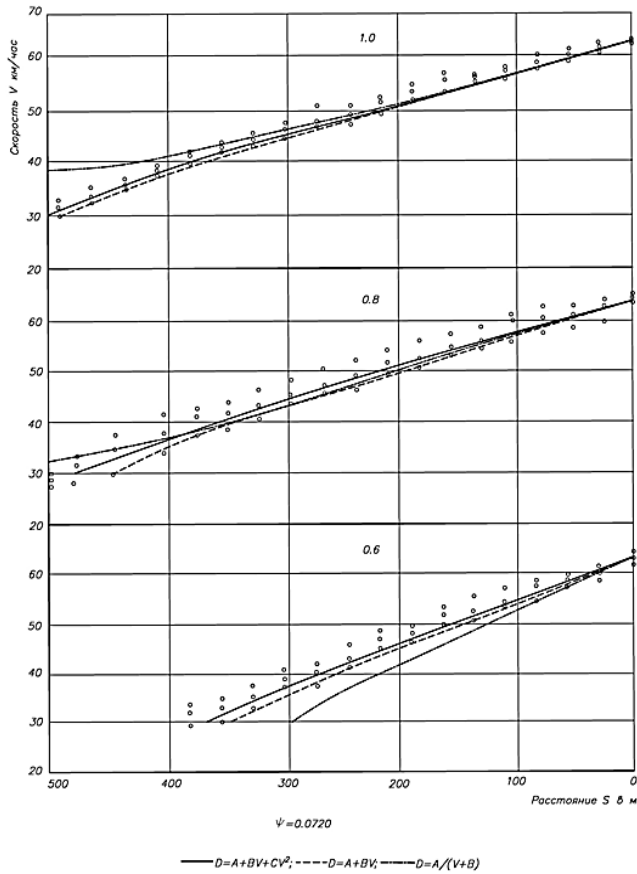


Рис. 3. Зависимости пройденного пути от скорости движения автомобиля на опытных участках при $\Psi = 0,072$

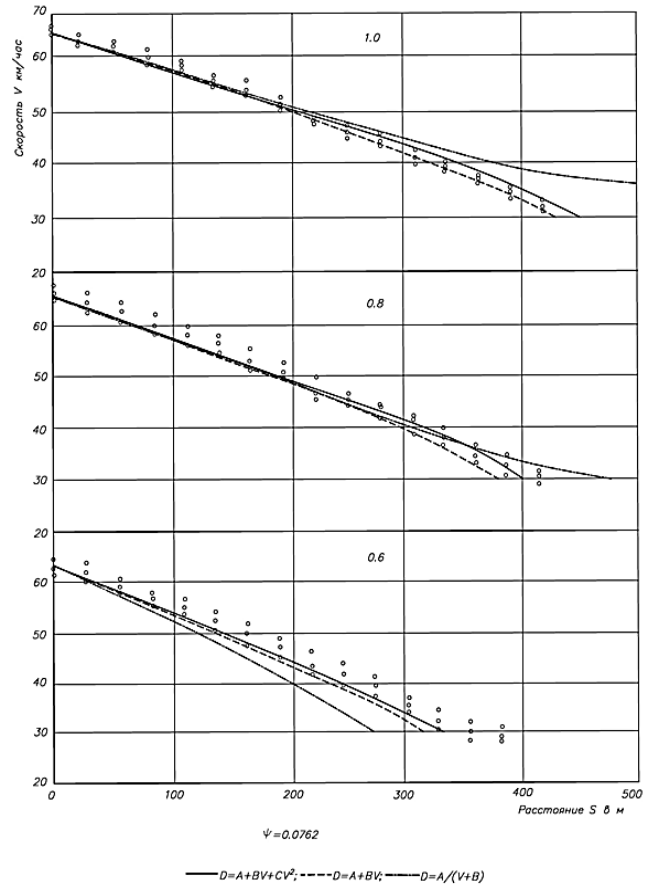


Рис. 4. Зависимости пройденного пути от скорости движения автомобиля на опытных участках при $\Psi = 0,0762$

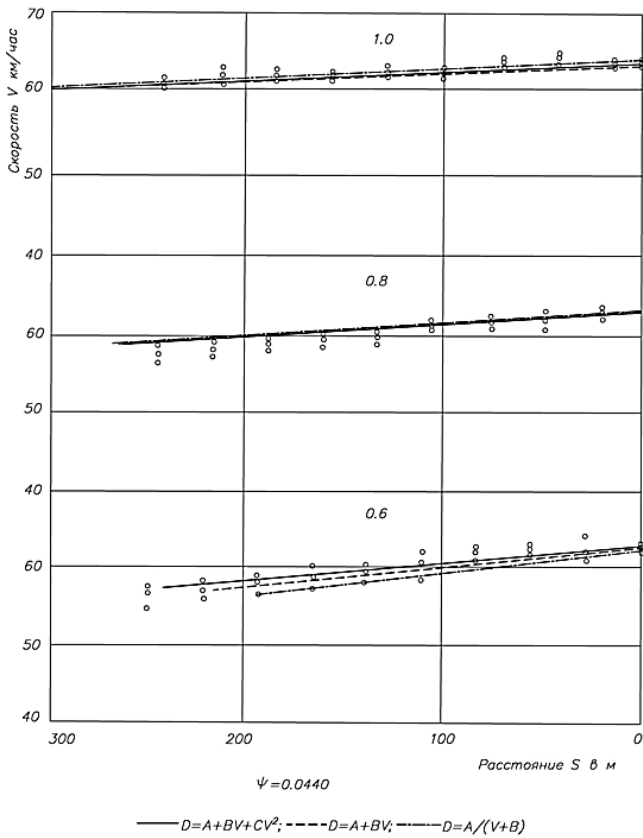


Рис. 5. Зависимости пройденного пути от скорости движения автомобиля на опытных участках при $\Psi = 0,044$

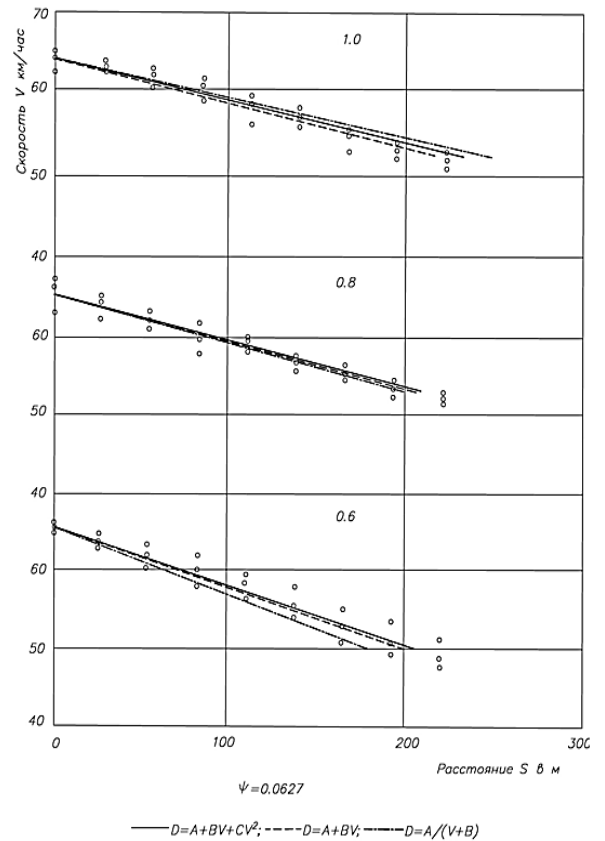


Рис. 6. Зависимости пройденного пути от скорости движения автомобиля на опытных участках при $\Psi = 0,0627$

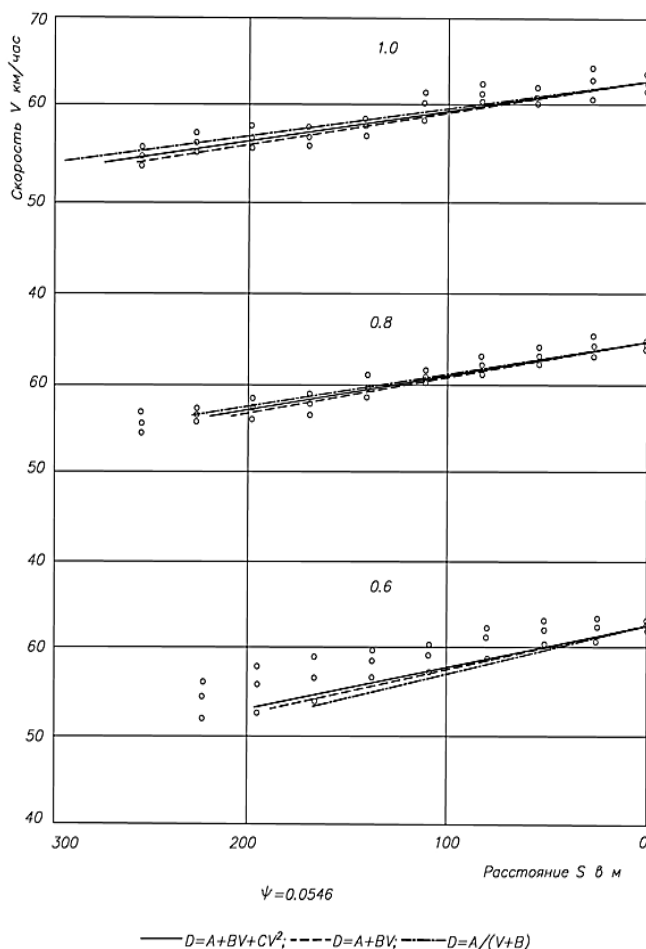


Рис. 7. Зависимости пройденного пути от скорости движения автомобиля на опытных участках при $\Psi = 0,0546$

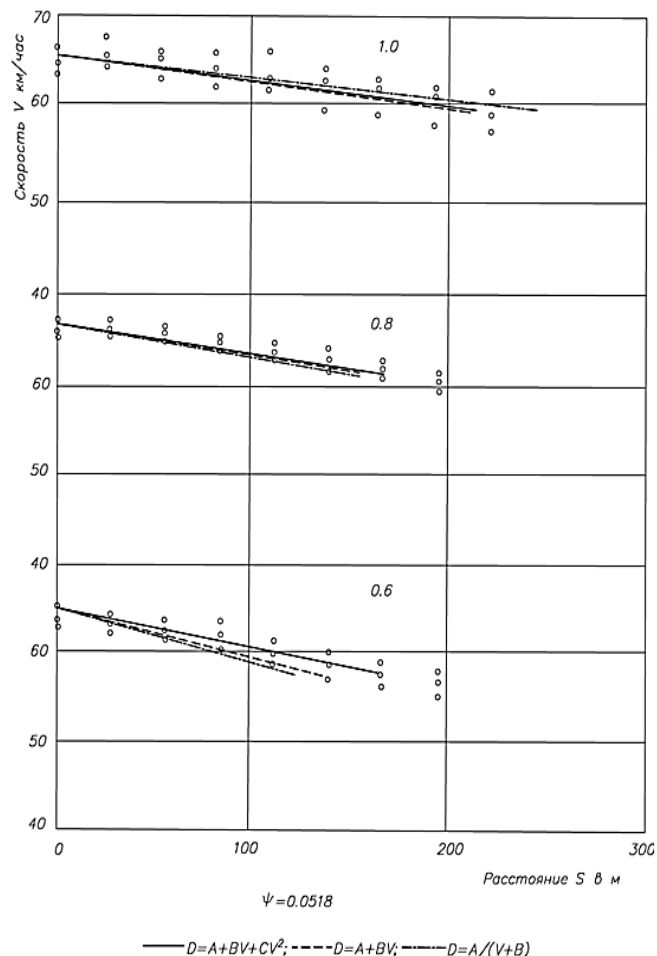


Рис. 8. Зависимости пройденного пути от скорости движения автомобиля на опытных участках при $\Psi = 0,0518$

От экспериментальных данных мало отличаются и кривые, полученные по уравнению $D = A + BV$. Кривые, построенные по уравнению $D = A / (V + B)$, при малых интервалах падения скорости хорошо соответствуют экспериментальным данным. При более резком падении скорости они выходят далеко за пределы зоны, в которой располагаются экспериментальные точки.

В некоторых случаях (см. рис. 2) кривые, полученные теоретическими расчетами, расположены в нижнем пределе полосы, образованной экспериментальными точками. Это можно объяснить некоторой неточностью определения коэффициента качения автомобиля [5]. Такая неточность могла иметь место в тех случаях, когда коэффициент качения определялся при более высокой температуре воздуха. Спустя некоторое время после опытных проездов, когда покрытие становилось мягче, абсолютное значение коэффициента качения могло увеличиться [6–8].

Это увеличение оценивают в 10 % от значения коэффициента качения при твердом покрытии. Влияние этого увеличения при определении пути и продолжительности разгона наглядно показывают приведенные ниже данные.

Путь разгона автомобиля марки КамАЗ 53229 на горизонтальном участке, имеющем коэффициент качения 0,020, от скорости 30,0 км/час до 70,0 км/час при полной степени подачи топлива составляет 820,0 м, а

продолжительность разгона — 55,7 с. Если же коэффициент качения увеличивается до 0,022, т. е. на 10 %, то путь разгона возрастает до 915,0 м, а продолжительность — до 61,5 с.

В итоге сравнения можно сделать вывод, что экспериментальным данным во всех случаях отвечают теоретические кривые, построенные по уравнениям $D = A + BV + CV^2$ и $D = A + BV$.

Анализируя результаты экспериментальных и теоретических исследований, можно сделать вывод, что принятая предпосылка, по которой кривые динамической характеристики заменяются одной огибающей кривой, в настоящее время не дает удовлетворительных результатов [9; 10]. Основным недостатком такой предпосылки является то, что теоретические расчеты, построенные на основе аналитического выражения огибающей кривой, дают завышенные результаты, в частности, широкие пределы равномерного движения автомобиля, далеко отходящие от реальных данных. Это можно объяснить характером кривых динамической характеристики. Поэтому в настоящее время было бы нецелесообразным применять в основу решения теоретических задач аналитическое выражение огибающей кривой вида $D = A / (V + B)$.

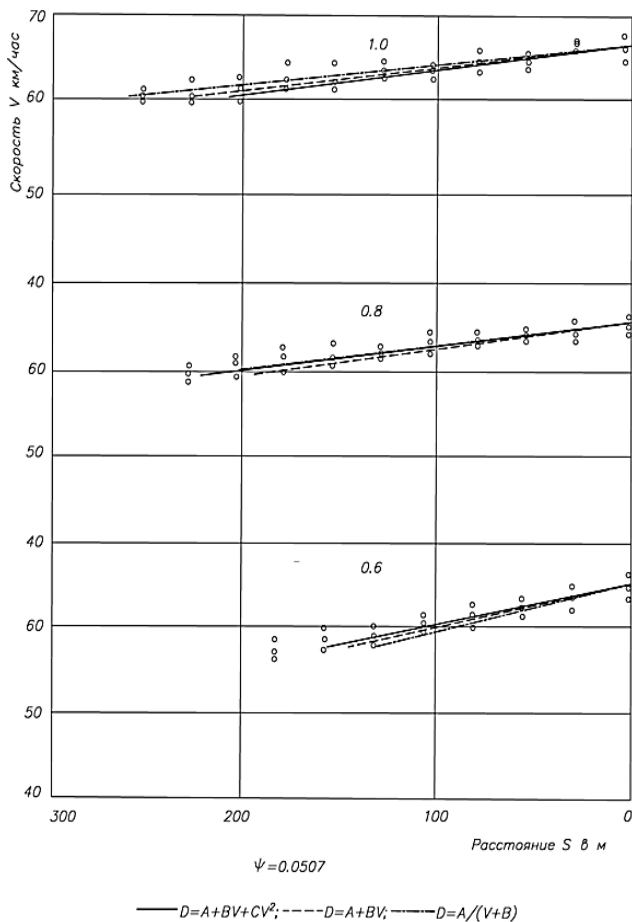


Рис. 9. Зависимости пройденного пути от скорости движения автомобиля на опытных участках при $\Psi = 0,0507$

Предпосылка, предусматривающая замену кривых динамической характеристики параболлами 2-го порядка $D = A + BV + CV^2$, вполне себя оправдывает. Применение такой кривой позволяет с большой точностью решать важнейшие задачи, связанные с движением автомобиля, однако такое решение задач сложно и трудоемко.

С другой стороны, такая высокая точность необходима и целесообразна не во всех случаях. Известно, что мощность двигателей одной и той же марки автомобилей, выпускаемых на предприятии, колеблется в пределах $\pm 5\%$ от номинальной. Также и техническое состояние автомобилей, движущихся на дорогах, не является одинаковым [11–13]. Упомянутое техническое состояние автомобилей Д.П. Великанов оценивает в $\pm 10\%$ от среднего.

Из вышесказанного следует, что большая точность решения практических задач в некоторых случаях может оказаться избыточной, и поэтому можно ограничиться меньшей точностью, например, в $\pm 5\%$.

Предпосылка о замене кривой динамической характеристики прямой линией $D = A + BV$ на участке от критической до технически максимально возможной скорости, исходя из сравнения экспериментальных и теоретических данных, вполне себя оправдывает. При этом расчеты весьма просты и удобны для практического использования [14; 15]. Погрешность расчетов по этому способу не превышает $\pm 5\%$.

Сравнение экспериментальных данных по расходу топлива с результатами теоретических расче-

тов. Расход топлива во время движения автомобиля является одним из важнейших факторов при определении себестоимости перевозок. Так как у нас в настоящее время перевозки лесоматериалов автотранспортом продолжают увеличиваться, уменьшение расхода топлива при движении автомобиля по той или иной дороге, а также и по отдельному дорожному участку приобрело весьма большое значение.

Расход топлива непосредственно зависит от мощности и экономичности работы двигателя при прохождении автомобилем какого-либо участка. Известно, что для того, чтобы двигатель работал наиболее экономично, расходуя минимальное количество топлива при определенных дорожных условиях, необходимо выдерживать соответствующие скорости движения.

Исходя из этого, к проектируемой дороге, наряду с другими требованиями, предъявляют и требование обеспечения минимального расхода топлива как по всей дороге, так и на отдельных участках. Расход топлива является одним из показателей транспортных качеств дороги. По расходу топлива можно сравнивать несколько вариантов трассы или отдельных дорожных участков и путем соответствующего выбора отдельных элементов повысить экономическую эффективность дороги в целом [16]. Надо отметить, что, несмотря на большое значение экономичности дороги по расходу топлива, этому вопросу при проектировании лесовозных автомобильных дорог уделяется весьма малое внимание.

Для суждения о расходе топлива автомобилем при различных условиях движения Е.А. Чудаков предложил график экономической характеристики автомобиля, по которому можно непосредственно определять расход топлива в кг на 100 км пути в зависимости от скорости движения и дорожных сопротивлений.

Вопросы расхода топлива во время движения автомобиля рассматривались в работах и ряда других отечественных ученых. Необходимо отметить работы проф. Г.В. Зимелева, Б.С. Фалькевич, Л.Л. Афанасьева, С.М. Красикова, В.К. Курьянова, К.А. Яковлева, Е.В. Кондрашовой, В.Г. Козлова, А.В. Скрышниковой и др.

Все предложенные методы для определения расхода топлива при движении автомобиля можно разделить на две группы, графические и аналитические.

При графическом определении расхода топлива обычно пользуются экономической характеристикой автомобиля и графоаналитическим определением скорости движения автомобиля. Точность расчетов зависит от величины участка, для которого определяется расчетная скорость движения, а также от точности определения скорости [17; 18].

В основу аналитического определения расхода топлива положена прямолинейная зависимость между расходом топлива на 1 л рабочего объема цилиндров и средним эффективным давлением в цилиндрах, установленная М.И. Лениным.

Упомянутые способы определения расхода топлива при движении автомобиля довольно сложны и трудоемки, поэтому широкого распространения не получили.

Такие расчеты дают хорошие результаты только на отдельных участках дороги, где автомобиль может двигаться с постоянной скоростью. При переменном режиме работы двигателя эти методы определения расхода топлива дают только приближенные результаты.

Ниже рассматривается способ определения расхода топлива при движении автомобиля на отдельных участках дороги с постоянными дорожными сопротивлениями [19]. При этом принимается условие, что скорость движения автомобиля в начале и конце участка, а также продолжительность движения по участку — величины известные.

Для характеристики участка дороги по расходу топлива параметры, характеризующие топливную экономичность автомобиля, малоприспособны, т. е. расхода топлива на 100 км пути или на 100 т/км работы хорошо характеризуют экономические качества автомобиля, но не могут полностью характеризовать тот или другой дорожный участок.

В настоящей работе для характеристики дорожного участка приняты следующие показатели:

а) фактический расход топлива в граммах, расходующий автомобилем при преодолении участка,

б) расход топлива в граммах на единицу длины участка.

Эти показатели дают возможность удобно и наглядно сравнивать по расходу топлива дорожные участки, имеющие одинаковую разницу в высотных отметках, но различные уклоны по величине, длине и их сочетанию [20].

Допустим, что скорость движения автомобиля в начале участка V_1 и в конце участка V_2 — величины известные. Также известно время T , за которое скорость движущегося по данному участку автомобиля изменится от V_1 до V_2 . Эти величины могут быть определены решением дифференциального уравнения движения автомобиля по одному из рассмотренных ранее способов.

Задача определения расхода топлива автомобилем на дорожном участке сводится к определению среднего расхода топлива q_s за одну секунду времени при изменении скорости в интервале от V_1 до V_2 .

Тогда, если q_s известно, суммарный расход топлива на участке будет:

$$Q = q_s \cdot T. \quad (1)$$

На основании полученных зависимостей расхода топлива от числа оборотов коленчатого вала и развиваемой мощности построены графики (рис. 10), показывающие зависимость расхода топлива от скорости движения для каждой передачи в коробке передач и различных степеней подачи топлива (1,0; 0,8; 0,6 и 0,4) для лесовоза на базе КамАЗ 53229.

Характер кривых, показывающих зависимость расхода топлива за 1 с времени от скорости движения автомобиля, $q = f(V)$ (рис. 10), позволяет предполагать,

что эти кривые можно выразить степенным уравнением такого вида:

$$Q = A + BV + CV^2. \quad (2)$$

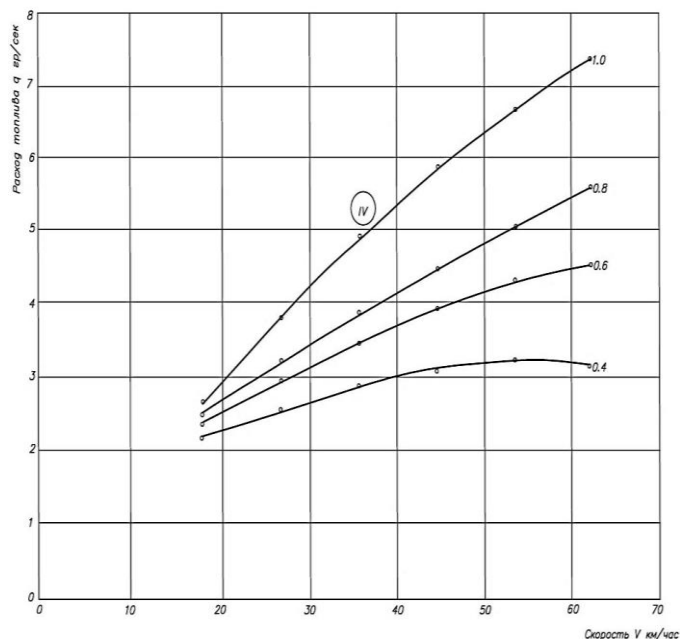


Рис. 10. Зависимости расхода топлива за единицу времени от скорости движения для каждой передачи в коробке передач и различных степеней подачи топлива

Нами была проверена пригодность этого уравнения для выражения вышеуказанных зависимостей. Совпадение при использовании экспериментальных данных в уравнении получается вполне удовлетворительным. Максимальные отклонения не превышают 0,4 % от абсолютной величины и 3 % от наименьшего значения расхода топлива в секунду.

Таким образом, указанного вида уравнение (2) можно считать приемлемым для решения практических задач.

Параметры уравнений кривых зависимости секундного расхода топлива от скорости движения были определены для автомобиля типа КамАЗ 53229 для каждой передачи в коробке передач и для каждой степени подачи топлива, а для автомобиля «Урал» 4320-6952-72 — только для IV передачи при различных степенях подачи топлива.

Значения этих параметров, определенных по способу наименьших квадратов, приведены в табл. 1.

Из полученных уравнений были рассчитаны значения секундного расхода топлива, показанные точками на рис. 10. В табл. 2 дано сравнение тех же величин и показаны отклонения.

На рис. 11 и 12 показаны ошибки, возникающие при аналитическом выражении секундного расхода топлива от скорости движения для IV передачи лесовозов на базе КамАЗ 53229 и «Урал» 4320-6952-72.

Таблица 1. Значение параметров уравнений кривых зависимости секундного расхода топлива от скорости движения $q = A + BV + CV^2$ автомобиля

Передача в коробке передач	Степень подачи топлива	Параметры		
		$A \cdot 10^3$	$B \cdot 10^3$	$C \cdot 10^3$
Лесовоз на базе КамАЗ 53229				
1	1,0	-743,0	+849,0	-2 210,0
	0,8	-642,0	+808,0	-2 640,0
	0,6	-489,0	+732,0	-2 560,0
	0,4	-260,0	+646,0	-2 590,0
2	1,0	-701,0	+405,0	-501,0
	0,8	-617,0	+387,0	607,0
	0,6	-466,0	+350,0	586,0
	0,4	-242,0	+309,0	596,0
3	1,0	-909,0	+239,0	-183,0
	0,8	-686,0	+217,0	-190,5
	0,6	-522,0	+195,4	-183,6
	0,4	-283,0	+172,4	-184,2
4	1,0	-746,0	+133,6	-55,0
	0,8	-658,0	+126,9	-65,3
	0,6	-490,0	+114,3	-62,5
	0,4	-261,0	+100,9	-63,2
Лесовоз на базе «Урал» 4320-6952-72				
4	1,0	-210,0	+118,6	-71,2
	0,8	+986,0	+83,4	-12,66
	0,6	+716,0	+96,3	-55,2
	0,4	+835,0	+76,8	-64,4

Таблица 2. Сравнение исходных значений секундного расхода топлива в зависимости от скорости движения автомобиля с рассчитанными по уравнению $q = A + BV + CV^2$ для прямых передач лесовозов на базе автомобиля типа КамАЗ 53229

Степень подачи топлива	$q_{расч}, \text{г}$	$q_{факт}, \text{г}$	Отклонение, $\delta \cdot 10^2$
1,0	1,65	1,63	-2
	2,69	2,69	0
	3,65	3,66	+1
	4,49	4,51	+2
	5,21	5,14	-7
	5,84	5,88	+4
0,8	1,61	1,59	-2
	2,50	2,51	+1
	3,32	3,33	+1
	4,02	4,01	-1
	4,62	4,57	-5
	4,96	4,98	+2
0,6	1,53	1,52	-1
	2,33	2,34	+1
	3,03	3,04	+1
	3,61	3,63	+2
	4,14	4,09	-5
	4,39	4,34	-5
0,4	1,49	1,48	-1
	2,17	2,16	-1
	2,69	2,73	+4
	3,17	3,18	+1
	3,53	3,50	-3
	3,67	3,69	+2

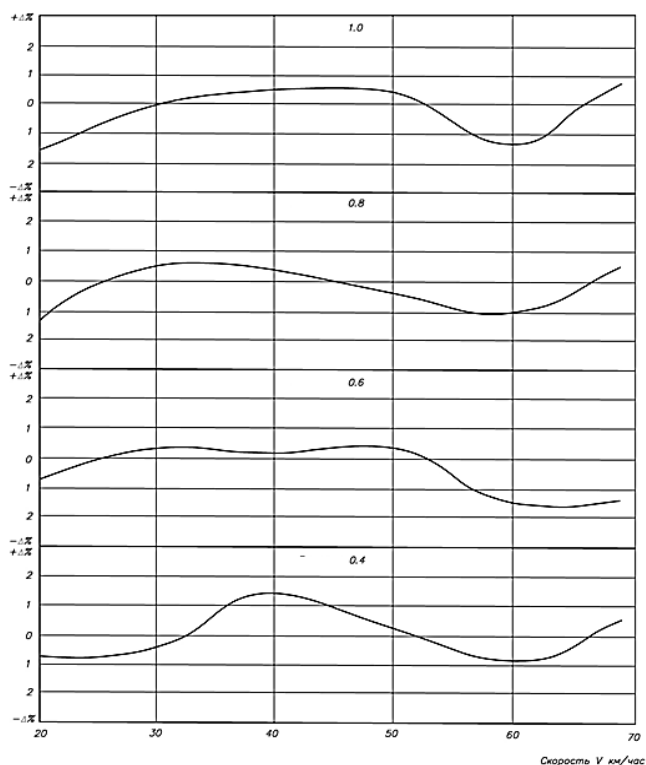


Рис. 11. Ошибки, возникающие при аналитическом выражении расхода топлива за 1 с для прямой передачи лесовоза на базе КамАЗ 53229

Среднеквадратические отклонения расчетных величин от исходных данных, выраженные в $\pm\%$, представлены в табл. 3. Как видно из этой таблицы, в большинстве случаев ошибки меньше $\pm 1\%$. Максимальная ошибка достигает лишь $\pm 1,23\%$.

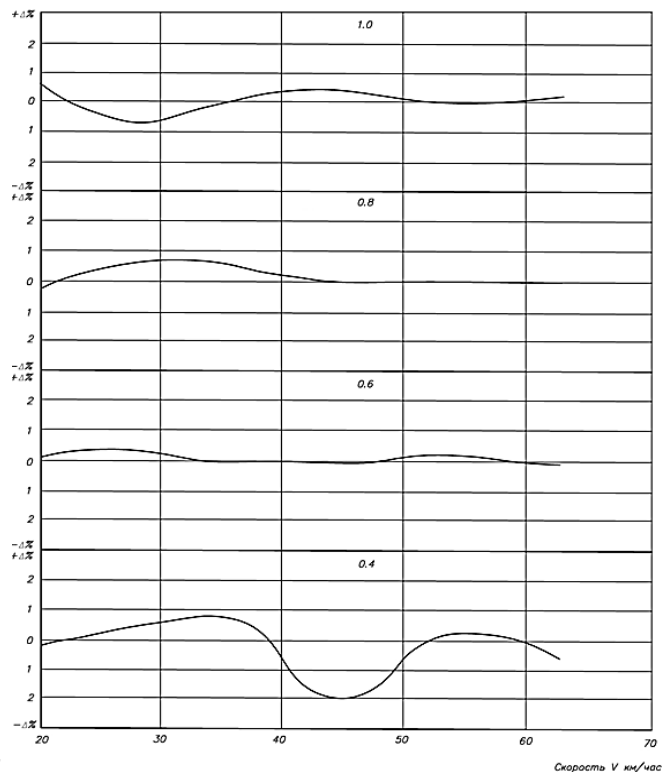


Рис. 12. Ошибки, возникающие при аналитическом выражении расхода топлива за 1 с для прямой передачи лесовоза на базе «Урал» 4320-6952-72

Такую точность определения кривых зависимости секундного расхода топлива от скорости движения автомобиля можно считать вполне приемлемой.

Таблица 3. Среднеквадратические отклонения расчетных величин от исходных данных

Передача	Среднеквадратические ошибки, выраженные в $\pm\%$ в зависимости от степени подачи топлива			
	1,0	0,8	0,6	0,4
Лесовоза на базе КамАЗ 53229				
1	0,91	0,83	0,89	0,88
2	0,91	0,95	0,98	0,84
3	1,23	1,04	1,01	1,10
4	0,89	0,68	0,98	0,82
Лесовоза на базе «Урал» 4320-6952-72				
4	0,29	0,35	0,16	0,98

Определение среднего секундного расхода топлива в интервале изменения скорости от V_1 до V_2 можно найти, определяя площадь криволинейной трапеции F_{abcd} на графике зависимости расхода топлива q от скорости движения (рис. 13).

В основу сравнения теоретических расчетов и экспериментальных данных по расходу топлива был положен расход топлива на определенных участках, полученный экспериментально и расчетами. Для этой цели из материалов, полученных экспериментальным путем на известной длине дорожного участка (S_0),

имеющего постоянное дорожное сопротивление (Ψ_0), при определенной степени подачи топлива, определялись расход топлива (Q_0), начальная и конечная скорости (V_{10} и V_{20}) и продолжительность движения лесовозного автопоезда по этому участку (T_0).

По известным V_{10} , V_{20} , Ψ_0 теоретическими расчетами определялась длина участка S_0 и продолжительность движения лесовоза по участку T_0 . Теоретические расчеты велись по уравнениям, основанным на предположении, что изменение динамического фактора в зависимости от скорости движения лесовоза происходит по

линейной зависимости ($D = A + BV$). Далее по уравнению (3) определялся средний секундный расход топлива q в том же интервале изменения скоростей.

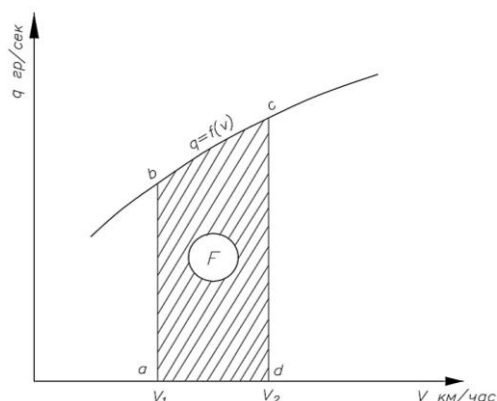


Рис. 13. График зависимости расхода топлива q от скорости движения

Теоретический расход топлива на данном участке дороги Q_0 рассчитывался по известному среднему секундному расходу топлива q и продолжительности

движения автомобиля T_0 по участку. Теоретические расчеты, также как и эксперименты, проводились для разной степени подачи топлива (1,0; 0,8; 0,6).

Так как во время экспериментов расход топлива определялся по объему ($см^3$), он был пересчитан на весовой ($г$). Удельный вес топлива был определен в лаборатории и получен равным 0,84.

Для большей наглядности приведены предельные и средние величины экспериментальных данных. Результаты теоретических расчетов сравнивались со средними показателями экспериментальных величин.

Из полученных материалов видно, что величины, полученные теоретическими расчетами, во всех случаях меньше полученных средних экспериментальных данных. Отклонения при определении пути средних колеблются в пределах от +0,67 до -5,30 %, при определении времени движения от -0,78 до -3,40 % и при определении расхода топлива от -0,11 до -5,7 %.

В табл. 4 представлены осредненные отклонения по всем опытным участкам для разных степеней подачи топлива.

Таблица 4. Осредненные отклонения по всем опытным участкам для разных степеней подачи топлива

Степень подачи топлива	Осредненные отклонения по всем опытным участкам, полученные при определении теоретическим путем, %		
	S	T	Q
1,0	-2,10	-2,65	-2,50
0,8	-2,72	-2,70	-4,00
0,6	-4,40	-3,70	-3,80

По данным, приведенным в табл. 4, видно, что результаты теоретических расчетов имеют одностороннее отклонение от экспериментальных данных. Такое явление можно объяснить двумя основными причинами:

1. Принимая предпосылку, что изменение величины динамического фактора в связи с изменением скорости движения автомобиля имеет линейную зависимость, мы допускаем некоторые ошибки при аналитическом определении длины участка и продолжительности движения автомобиля по последнему. Ошибки, как правило, получаются отрицательные (табл. 4).

2. Двигатель автомобиля во время опытных проездов работал в переменном (не установившемся) режиме, а определение среднего секундного расхода топлива основано на степенных характеристиках, которые были сняты при постоянной работе двигателя. Поэтому средний секундный расход топлива получен несколько меньшим, чем фактический секундный расход, что тоже имело влияние на конечный результат при определении абсолютного расхода топлива на участке.

Средние ошибки, возникающие при теоретическом определении расхода топлива при движении лесовозов

на подъемах, не превышают 4 % от фактического расхода. Такую точность определения можно считать удовлетворительной и достаточной для практических целей.

Заключение. С помощью уравнений, основанных на аналитическом выражении прямой линии $D = A + BV$, заменяющей кривую динамической характеристики на участке от критической до технически максимальной возможной скорости, можно с точностью, достаточной для практических целей, осуществлять расчет режимов движения автопоездов на участках лесовозных дорог, имеющих подъем.

Рассмотренный выше метод определения расхода топлива при движении лесовозов на подъемах, основанный на аналитическом выражении кривых зависимости секундного расхода топлива от скорости движения $q = A + BV + CV^2$ и продолжительности движения лесовоза по дорожному участку, может быть использован при решении ряда задач, связанных с движением автомобиля, а также при сравнении вариантов проектной линии на участке лесовозной автомобильной дороги.

Литература

1. Саблин С.Ю. Исследования скоростей движения лесовозного подвижного состава // Современные наукоемкие технологии. 2021. № 1. С. 37-43.

- Скрыпников А.В. Оценка влияния на скорость движения постоянных параметров плана и профиля при различных состояниях поверхности дороги // Бюллетень транспортной информации. 2018. № 6 (276). С. 23-27.
- Skrypnikov A.V. Theoretical background of road landscape zoning // IOP Conference Series: Earth and Environmental

- Science. International Conference on Engineering Studies and Cooperation in Global Agricultural Production. Bristol, 2021. P. 012011.
4. Zelikov V.A. Structural models of road landscapes and micro-landscapes // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Conference on Engineering Studies and Cooperation in Global Agricultural Production. Bristol, 2021. P. 012116.
 5. Скрыпников А.В., Дорохин С.В., Чистяков А.Г., Глазкова Е.В. Алгоритм статистической обработки результатов измерений участков лесных автомобильных дорог с помощью контрольно-измерительного комплекса // Вестн. Воронежского гос. ун-та инженерных технологий. 2014. № 4 (62). С. 92-95.
 6. Скрыпников А.В. Оценка влияния отдельных метеорологических факторов на обеспеченность расчетной скорости // Междунар. журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2018. № 5-2. С. 294-300.
 7. Козлов В.Г. Анализ влияния погодно-климатических факторов на системы комплекса водитель-автомобиль-дорога-среда // Инновационные технологии и технические средства для АПК: материалы междунар. науч.-практической конф. молодых ученых и специалистов (14-16 нояб. 2018 г.). Воронеж, 2018. С. 324-331.
 8. Kozlov V.G. Influence of natural and technogenic factors on the complexity of construction of timber highways // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Conference on Engineering Studies and Cooperation in Global Agricultural Production. Bristol, 2021. P. 012137.
 9. Kozlov V.G. Mathematical models to determine the influence of road parameters and conditions on vehicular speed // Journal of Physics: Conference Series. The proceedings International Conference «Information Technologies in Business and Industry», 2019. P. 032041.
 10. Mogutnov R.V. Designing mathematical models of geometric and technical parameters for modern road-building machines versus the main parameter of the system // Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology. Proceedings of the International Symposium «Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research» dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019), 2019. P. 823-827.
 11. Logoida V.S. Development of the method for individual forecasting of technical state of logging machines // International Journal of Engineering and Advanced Technology. 2019. V. 8. № 5. P. 2178-2183.
 12. Kozlov V.G., Gulevsky V.A., Skrypnikov A.V., Menzhulova A.S. Method of individual forecasting of technical state of logging machines // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Processing Equipment, Mechanical Engineering Processes and Metals Treatment, 2018. P. 042056.
 13. Козлов В.Г., Скрыпников А.В., Тихомиров П.В., Самцов В.В. Экспериментальные исследования сезонных изменений интенсивности подвижного состава автомобильного транспорта // Новые технологии и технические средства для эффективного развития АПК: материалы нац. науч.-практической конф. Воронежского гос. аграрного ун-та им. Петра I (26 фев. 2019 г.). Воронеж, 2019. С. 317-326.
 14. Скрыпников А.В., Дорохин С.В., Чирков Е.В. Определение оптимальной дальности перевозок и рациональной скорости сообщения на автомобильных дорогах // Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования. 2016. Т. 3. № 1 (4). С. 389-393.
 15. Бурмистров Д.В. Исследование вероятностных связей и зависимостей, определяющих оптимальные методы организации и планирования ритмичного строительства лесовозных автомобильных дорог // Лесной вестн. Forestry Bulletin. 2019. Т. 23. № 1. С. 70-76.
 16. Боровлев А.О., Высоцкая И.А., Скрыпников А.В., Тихомиров П.В., Никитин В.В., Мацнев М.В., Болтнев Д.Е. Повышение эффективности лесовозных автомобильных дорог // Современные наукоемкие технологии. 2021. № 4. С. 9-13.
 17. Кондрашова Е.В. Влияние транспортно-эксплуатационных качеств автомобильных дорог на маршрутную скорость // Теоретические и прикладные аспекты современной науки. 2014. № 4-1. С. 118-121.
 18. Скрыпников А.В. Влияние условий движения на скоростные режимы транспортных потоков при вывозке древесины // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 4. С. 153.
 19. Kozlov V.G. Enhancing quality of road pavements through adhesion improvement // Journal of the Balkan Tribological Association. 2019. V. 25. № 3. P. 678-694.
 20. Labudin B.V. Increasing pit road inclinations at high latitude deposits of solid minerals // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2020. V. 15. № 19. P. 2168-2173.

References

1. Sablin S.YU. Research of speeds of movement of timber rolling stock // Modern High Technologies. 2021. № 1. P. 37-43.
2. Skrypnikov A.V. Assessment of the impact on the speed of movement of constant parameters of the plan and profile at various states of the road surface // The Bulletin of Transport Information (BTI). 2018. № 6 (276). P. 23-27.
3. Skrypnikov A.V. Theoretical background of road landscape zoning // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Conference on Engineering Studies and Cooperation in Global Agricultural Production. Bristol, 2021. P. 012011.
4. Zelikov V.A. Structural models of road landscapes and micro-landscapes // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Conference on Engineering Studies and Cooperation in Global Agricultural Production. Bristol, 2021. P. 012116.
5. Skrypnikov A.V., Dorohin S.V., Chistyakov A.G., Glazkova E.V. Algorithm for statistical processing of the results of measurements of forest road sections using a control and measuring complex // Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2014. № 4 (62). P. 92-95.
6. Skrypnikov A.V. Assessment of the influence of individual meteorological factors on the provision of the design speed // International Journal of Applied and Fundamental Research. 2018. № 5-2. P. 294-300.
7. Kozlov V.G. Analysis of the influence of weather and climatic factors on the systems of the driver-car-road-environment complex // Innovacionnye tekhnologii i tekhnicheskie sredstva dlya APK: materialy mezhdunar. nauch.-prakticheskoy konf. molodyh uchenyh i specialistov (14-16 noyab. 2018 g.). Voronezh, 2018. P. 324-331.
8. Kozlov V.G. Influence of natural and technogenic factors on the complexity of construction of timber highways // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Conference on Engineering Studies and Cooperation in Global Agricultural Production. Bristol, 2021. P. 012137.
9. Kozlov V.G. Mathematical models to determine the influence of road parameters and conditions on vehicular speed // Journal of Physics: Conference Series. The proceedings International Conference «Information Technologies in Business and Industry», 2019. P. 032041.
10. Mogutnov R.V. Designing mathematical models of geometric and technical parameters for modern road-building machines versus the main parameter of the system // Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology. Proceedings of the International Symposium «Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research» dedicated to the 85th

- anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019), 2019. P. 823-827.
11. Logoida V.S. Development of the method for individual forecasting of technical state of logging machines // *International Journal of Engineering and Advanced Technology*. 2019. V. 8. № 5. P. 2178-2183.
 12. Kozlov V.G., Gulevsky V.A., Skrypnikov A.V., Menzhulova A.S. Method of individual forecasting of technical state of logging machines // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Processing Equipment, Mechanical Engineering Processes and Metals Treatment*, 2018. P. 042056.
 13. Kozlov V.G., Skrypnikov A.V., Tihomirov P.V., Samcov V.V. Experimental studies of seasonal changes in the intensity of the rolling stock of road transport // *Novye tekhnologii i tekhnicheskie sredstva dlya effektivnogo razvitiya APK: materialy nac. nauch.-prakticheskoy konf. Voronezhskogo gos. agrarnogo un-ta im. imp. Petra I (26 fev. 2019 g.)*. Voronezh, 2019. P. 317-326.
 14. Skrypnikov A.V., Dorohin S.V., CHirkov E.V. Determination of the optimal distance of transportation and the rational speed of communication on highways // *Alternativnye istochniki energii v transportno-tekhnologicheskoy kompleks: problemy i perspektivy racional'nogo ispol'zovaniya*. 2016. V. 3. № 1 (4). P. 389-393.
 15. Burmistrov D.V. Investigation of probabilistic connections and dependencies that determine the optimal methods of organizing and planning the rhythmic construction of timber highways // *Forestry Bulletin*. 2019. V. 23. № 1. P. 70-76.
 16. Borovlev A.O., Vysockaya I.A., Skrypnikov A.V., Tihomirov P.V., Nikitin V.V., Macnev M.V., Boltnev D.E. Improving the efficiency of timber-carrying highways // *Modern High Technologies*. 2021. № 4. P. 9-13.
 17. Kondrashova E.V. Influence of the transport and operational qualities of highways on the route speed // *Teoreticheskie i prikladnye aspekty sovremennoy nauki*. 2014. № 4-1. P. 118-121.
 18. Skrypnikov A.V. Influence of traffic conditions on high-speed modes of traffic flows during wood removal // *Modern High Technologies*. 2014. № 4. P. 153.
 19. Kozlov V.G. Enhancing quality of road pavements through adhesion improvement // *Journal of the Balkan Tribological Association*. 2019. V. 25. № 3. P. 678-694.
 20. Labudin B.V. Increasing pit road inclinations at high latitude deposits of solid minerals // *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2020. V. 15. № 19. P. 2168-2173.