

УДК 62-581.38

## ОПТИМИЗАЦИЯ ДВИЖЕНИЯ ЛЕСОВОЗНОГО АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА НА ПОДЪЕМАХ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ

<sup>1</sup>Болтнев Д.Е., <sup>1</sup>Высоцкая И.А., <sup>1</sup>Скрыпников А.В., <sup>2</sup>Брюховецкий А.Н.,  
<sup>1</sup>Тверитнев О.Н., <sup>3</sup>Тихомиров П.В.

<sup>1</sup>Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж,  
e-mail: BoltnevDE@mail.ru, i.a.trishina@gmail.com, skrypnikovvsafe@mail.ru, olegtveritnev@mail.com;

<sup>2</sup>Луганский национальный аграрный университет, Луганск, e-mail: bruhoveckiy@rambler.ru;

<sup>3</sup>Брянский государственный инженерно-технологический университет,  
Брянск, e-mail: vtichomirov@mail.ru

Строительство сети лесовозных дорог обеспечивает доступ к лесным ресурсам и является одной из наиболее затратных статей расходов для лесозаготовительных предприятий. По мере увеличения интенсивности движения на лесовозных автомобильных дорогах возникает необходимость модернизации и оптимального проектирования её элементов для увеличения пропускной способности. Скорость движения автомобиля является одной из важных характеристик, посредством которой можно оценить степень влияния параметров автомобильной дороги на экономические показатели её эксплуатации, в том числе на пропускную способность и интенсивность движения. В работе рассмотрены условия движения лесовозов на подъемах, проведены специальные наблюдения с целью выявления скоростного режима грузового лесовозного транспорта. Сочетание отдельных участков проектной линии на подъемах, имеющих разную длину и разные уклоны, должно, по возможности, обеспечить преодоление лесовозом подъема на прямой передаче, причем скорость движения лесовоза в конце подъема не должна снижаться ниже критической для данной передачи. В результате анализа наблюдений построены графики, показывающие, при каких дорожных сопротивлениях и каких скоростях лесовозов возможна их равномерная скорость движения. Получены выводы о возможности графического способа определения среднего расхода топлива лесовозов, для расчета и сравнения различных вариантов проектной линии лесовозной дороги.

**Ключевые слова:** лесовозные автомобильные дороги, проектирование дорог, интенсивность дорожного движения, скорость автомобиля по подъему, проектная линия лесовозной дороги

## OPTIMIZATION OF FOREST TRUCK TRAFFIC TRAFFIC ON THE LIFTS OF FOREST ROADS

<sup>1</sup>Boltnev D.E., <sup>1</sup>Vysotskaya I.A., <sup>1</sup>Skrypnikov A.V., <sup>2</sup>Bryukhovetskiy A.N.,  
<sup>1</sup>Tveritnev O.N., <sup>3</sup>Tikhomirov P.V.

<sup>1</sup>Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, e-mail: BoltnevDE@mail.ru,  
i.a.trishina@gmail.com, skrypnikovvsafe@mail.ru, olegtveritnev@mail.com;

<sup>2</sup>Lugansk National Agrarian University, Lugansk, e-mail: bruhoveckiy@rambler.ru;

<sup>3</sup>Bryansk State Engineering and Technological University, Bryansk, e-mail: vtichomirov@mail.ru

The construction of a network of logging roads provides access to forest resources and is one of the most expensive items of expenditure for logging companies. As the intensity of traffic on timber highways increases, it becomes necessary to modernize and optimally design its elements to increase the throughput. The speed of a car is one of the important characteristics by means of which it is possible to assess the degree of influence of the parameters of a road on the economic indicators of its operation, including on throughput and traffic intensity. The paper discusses the conditions for the movement of timber trucks on the rise, carried out special observations in order to identify the speed of timber freight transport. The combination of individual sections of the project line on lifts with different lengths and different slopes should, if possible, ensure that the timber truck overcomes the lift in a direct drive, and the speed of the timber truck at the end of the lift should not decrease below the critical speed for this transfer. As a result of the analysis of observations, graphs were constructed showing at what road resistance and what speeds of timber trucks their uniform speed of movement is possible. Conclusions are obtained about the possibility of a graphical method for determining the average fuel consumption of timber trucks, for calculating and comparing various options for the design line of a timber road.

**Keywords:** timber highways, road design, traffic intensity, vehicle uphill speed, timber road design line

Идеальным профилем автомобильной дороги с точки зрения вождения автомобиля является прямой горизонтальный участок или участок, имеющий малые (до 1–2%) уклоны, на котором автомобиль может двигаться с максимальной скоростью, используя все свои динамические качества. Построить дорогу с таким продольным профилем очень проблематично и дорого,

а в некоторых случаях, например в лесном массиве, не представляется возможным. В большинстве случаев ось лесовозной автомобильной дороги (далее – дороги) в продольном профиле представляет собой ломаную линию, состоящую из отдельных участков с различными уклонами. В зависимости от сочетания элементов продольного профиля дороги постоянно меняется и ско-

рость движения лесовозного автомобиля (далее – лесовоза).

Исследования, связанные с определением скоростей автомобилей на подъемах, описанные в работах [1, 2], содержат неточности, поскольку они проводились при постоянной степени подачи топлива. Это не соответствует реальным условиям движения автомобиля, при котором водитель постоянно меняет степень подачи топлива в зависимости от дорожных условий, скорости движения, дорожных сопротивлений. В связи с этим скорость движения автомобилей непрерывно меняется.

Для определения реальных условий движения лесовозов на подъемах, а также и с целью выявления действительных скоростей движения автомобилей, при тех же условиях были проведены специальные исследования (наблюдения), которые проводились на одном из дорожных участков, имеющем наибольшую разницу в высотных отметках и крутые уклоны дороги. Исследование скоростей движения лесовозов при различном сочетании уклонов продольного профиля дороги, несомненно, может внести существенные поправки в существующие нормы и методы проектирования продольного профиля дорог.

*Наблюдения за движением лесовозов на подъеме.* Наблюдения имеют цель выявления оптимальных скоростей движения лесовозов на подъемах и подходах к ним. Для этого был выбран тот же дорожный участок, на котором проводились и наблюдения за скоростными показателями автомобилей на фиксированных участках дороги.

Во время наблюдений фиксировалось время, за которое лесовоз проезжал участок длиной 100 м. Выбор створов для наблюдений возле пикетных столбов давал возможность в дальнейшем их легко восстановить. Всего на опытном участке было подобрано 16 створов дороги. У каждого створа находился один наблюдатель, имеющий при себе секундомер, которым он измерял время, за которое автомобиль проходил фиксированный участок дороги. Каждый наблюдатель включал секундомер по сигналу предыдущего, подававшего сигнал в момент прохождения автомобилем его створа дороги. Секундомер выключался в тот момент, когда передние колеса автомобиля проходили створ наблюдателя. Таким образом, фиксировалось время, за которое автомобиль проходил расстояние между двумя соседними пикетными столбами (створами).

Количество наблюдаемых лесовозов составило 41 единицу, в том числе по маркам автомобилей: КАМАЗ 53229 – 27; УРАЛ 4320-6952-72 – 14. По полученным данным

определялись средние скорости лесовозов на фиксированных участках дороги.

Приведенные наблюдения за движением автомобилей на уклонах позволили установить параметры их скоростного режима для дальнейших теоретических исследований.

Из анализа наблюдений скоростного режима лесовозов выявлено, что водители автомобилей стремятся поддерживать постоянную скорость движения при преодолении подъема путем большей степени подачи топлива. Нормальная степень подачи топлива на горизонтальном участке или близкого к горизонтальному (коэффициент дорожных сопротивлений  $\Psi$  до 0,025) имеет степень около 0,4. Во время движения на участке с уклонами до 0,02 ( $\Psi$  до 0,045) степень подачи топлива постепенно увеличивается до 0,6. С увеличением уклона до 0,03 ( $\Psi$  до 0,055) в периоде снижения скорости степень подачи топлива резко увеличивается до 0,8. Более крутые уклоны лесовозы проходят при максимальной степени подачи топлива, а скорости на подходах автомобилей к подъемам, по полученным данным, невелики: от 38,0 до 55,0 км/час.

По итогам проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. В условиях движения лесовозов по дорогам имеется достаточно устойчивая и закономерная связь между величиной дорожных сопротивлений и степенью подачи топлива.

2. Для тяговых расчетов элементов продольного профиля дорог на подъемах, при разнице между высотными отметками от 10,0 до 40,0–50,0 (м), рекомендуются режимы движения лесовозов, показанные в табл. 1.

**Таблица 1**

Степень подачи топлива в зависимости от дорожных сопротивлений

Суммарное дорожное сопротивление $\Psi$	Степень подачи топлива
менее 0,02	0,4
от 0,02 до 0,04	0,6
от 0,04 до 0,06	0,8
более 0,06	1,0

Соотношение передач в коробках передач лесовозов и их скорости при подходах к подъемам дороги показано в табл. 2.

**Таблица 2**

Передачи в коробке передач на подъемах и подходе

Передача в коробке передач	Подходная к подъему скорость лесовоза км/час
Прямая	50,0–60,0
Возможное включение третьей	40,0–50,0

Сочетание элементов проектной линии на подъемах. Далее рассматривалось влияние средней скорости лесовозов, при расчёте элементов проектной линии продольного профиля дороги, исходящих из технических возможностей лесовозов [3, 4]. Представлены исследования применительно к лесовозу марки КАМАЗ 53229.

Исходными данными для расчетов приняты:

а) расчетная (начальная перед подъемом) скорость движения лесовоза ( $V_1$ );

б) длина рассматриваемого участка ( $S$ ), или скорость движения лесовоза в конце участка ( $V_2$ );

в) коэффициент дорожных сопротивлений ( $\Psi$ ), который принимается постоянным.

В основу расчетов скорости и времени движения лесовозов положено аналитическое выражение динамической характеристики, построенное с предпосылкой, что изменение динамического фактора в зависимости от изменения скорости движения лесовоза имеет линейный характер. После решения дифференциального уравнения движения лесовоза были получены уравнения для выражения участка ( $S$ ), проходимого при изменении скорости движения в интервале от  $V_1$  до  $V_2$  и для определения продолжительности ( $T$ ) движений лесовозов по участку.

На рис. 1 и 2 представлены графики, связывающие между собой скорости движения ( $V_1$  и  $V_2$ ) лесовоза со временем движения ( $T$ ) и дорожными сопротивлениями ( $\Psi$ ).

Упомянутые графики построены для разных степеней подачи топлива (1,0; 0,8; 0,6 и 0,4) IV-й и III-й передач в коробке передач лесовоза марки КАМАЗ 53229.

Для удобства пользования на графиках длина участка ( $S$ ) и время движения ( $T$ ) отложены в логарифмической шкале, применение которой позволяет более точно определять интересующие нас величины на коротких дорожных участках.

Убывающие кривые дорожных сопротивлений на графиках показывают, что при данных условиях движения произойдет затухание скорости и, наоборот, возрастающие кривые показывают, что произойдет разгон автомобиля. По графикам видно, при каких дорожных сопротивлениях и каких скоростях возможна равномерная скорость движения лесовозов. В данном случае кривые дорожных сопротивлений асимптотически приближаются к горизонтальным линиям. Кривые дорожных сопротивлений даны на графиках через каждую сотую их величины. Более мелкие доли получают интегрированием.

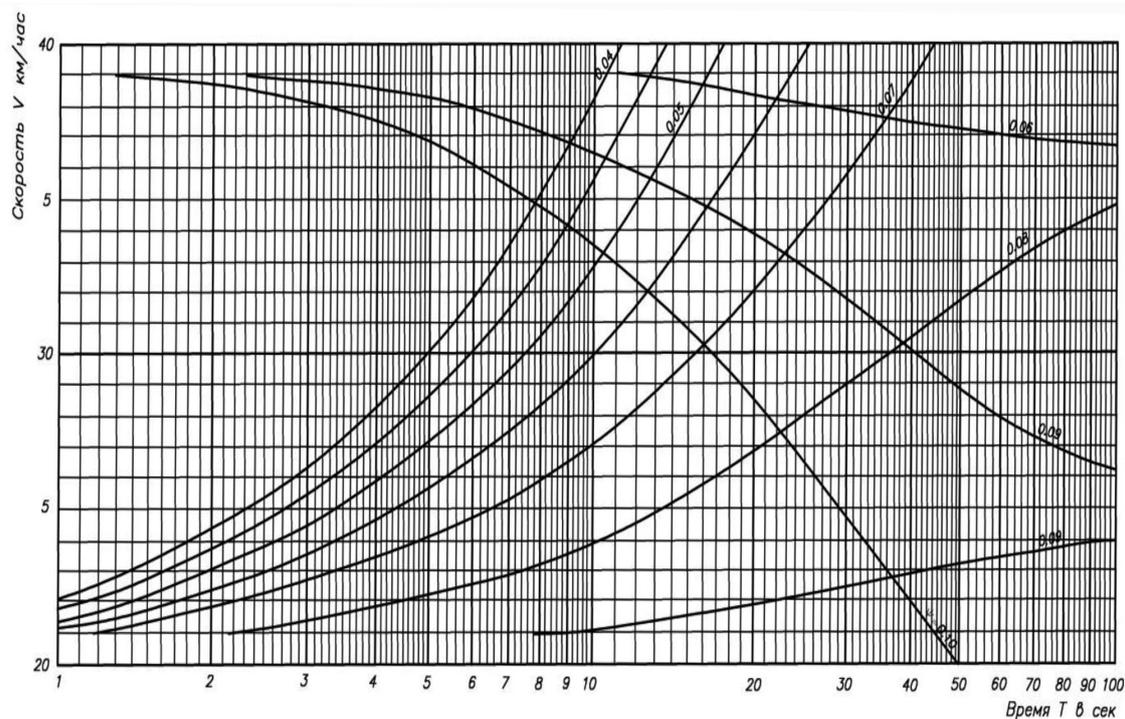


Рис. 1. Графики, связывающие скорость движения ( $V_1$  и  $V_2$ ) автомобиля со временем движения ( $T$ ) и дорожными сопротивлениями ( $\Psi$ ) для автомобиля КАМАЗ 53229 (степень подачи топлива 0,8)

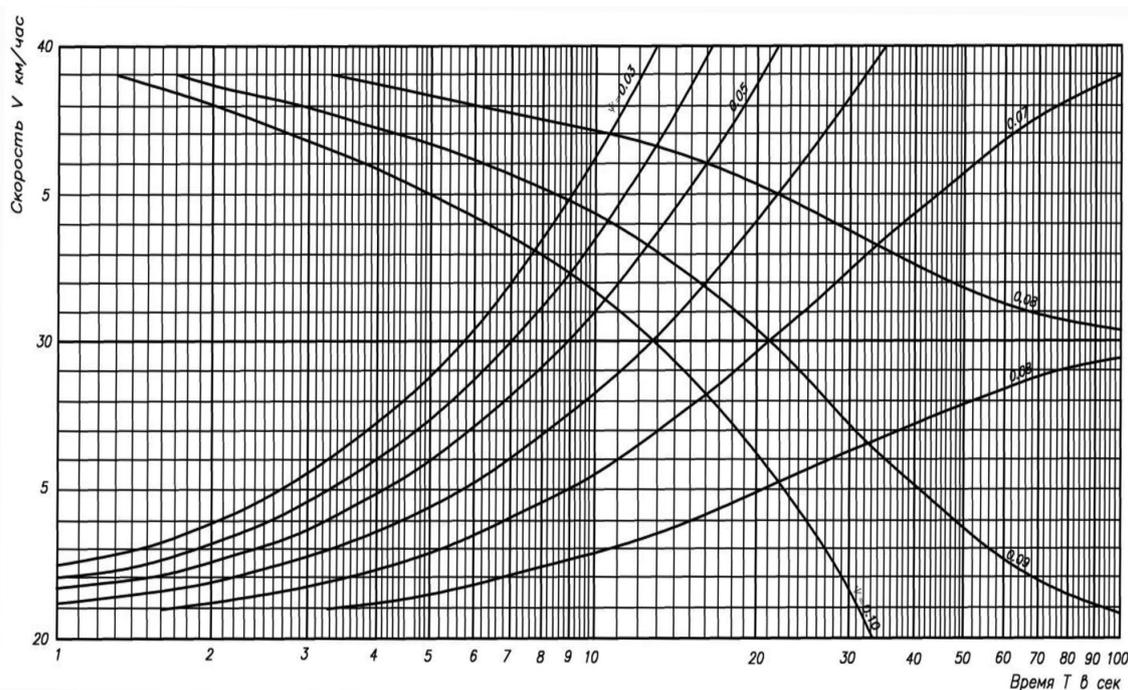


Рис. 2. Графики, связывающие скорость движения ( $V_1$  и  $V_2$ ) автомобиля со временем движения ( $T$ ) и дорожными сопротивлениями ( $\Psi$ ) для лесовоза на базе автомобиля КАМАЗ 53229 (степень подачи топлива 0,6)

Приведенные графики позволяют вести расчет для IV-й передачи в коробке передач в интервале изменения скоростей от 30,0 до 70,0 км/час в пределах изменения дорожных сопротивлений от 0,10 до 0,08. Для III-й передачи лесовоза в интервале изменения скоростей от 20,0 до 40,0 км/час при дорожных сопротивлениях от 0,10 до 0,05.

Из точки, обозначающей известную начальную скорость движения лесовоза, проводится линия параллельной оси абсцисс до пересечения с соответствующей кривой дорожных сопротивлений  $\Psi_1$ . Из точки пересечения проводится вертикальная прямая (параллельно оси ординат) до оси абсцисс и берется отчет на шкале расстояний. К этой величине представляем длину исследуемого участка  $S_0$ , и от полученной точки  $S_2 = S_1 + S_0$  проводится вертикальная линия до пересечения с кривой дорожных сопротивлений  $\Psi_1$ . От данной точки проводится прямая, параллельная оси абсцисс, и на шкале скорости (оси ординат) отсчитывается конечная скорость движения лесовоза в конце участка  $V_2$ .

В основу определения расхода топлива на дорожном участке положено аналитическое выражение секундного расхода топлива в зависимости от скорости

движения лесовоза, основанное на предположении, что оно несёт параболический характер. На основе аналитического выражения секундного расхода топлива было получено уравнение, позволяющее определять средний секундный расход топлива ( $q_s$ ) в определенном интервале скоростей движений автомобиля.

Средний секундный расход топлива ( $q_s$ ) можно определять и графическим путем по средней скорости движения лесовоза. Для этой цели построен график зависимости секундного расхода топлива от скорости движения лесовоза. График построен для разных степеней подачи топлива (1,0; 0,8; 0,6 и 0,4) IV-й и III-й передач лесовоза на базе автомобиля марки КАМАЗ 53229.

При использовании графиков, по известным скоростям движения лесовоза в начале и в конце участка дороги, определяется среднеарифметическая скорость движения и по ней на графике определяется средний секундный расход топлива лесовоза.

Сравнение средних секундных расходов топлива определенных аналитическим путем, при различных степенях подачи топлива при графическом определении приведено в табл. 3.

**Таблица 3**

Секундный расход топлива лесовоза, определенный аналитическим путем,  
при различных степенях подачи топлива

Степень подачи топлива	Скорость движения лесовоза, км/час			Средний секундный расход топлива $q_s$ г/с при определении		Ошибки в % при графическом определении
	В начале участка $V_1$	В конце участка $V_2$	Среднеарифметическое $V_{cp}$	графическим путем	аналитическим путем	
1,0	70,0	30,0	50,0	4,54	4,50	+0,89
	50,0	30,0	40,0	3,71	3,70	+0,27
0,8	70,0	30,0	50,0	4,06	4,05	+0,25
	50,0	30,0	40,0	3,37	3,34	+0,90
0,6	70,0	30,0	50,0	3,67	3,34	+0,90
	50,0	30,0	40,0	3,08	3,06	+0,65
0,4	70,0	30,0	50,0	3,21	3,15	+1,90
	50,0	30,0	40,0	2,77	2,76	+0,06

Из приведенных в табл. 3 данных видно, что при графическом определении среднего секундного расхода топлива лесовоза ошибки не превышают 2%. При уменьшении интервала изменения скоростей движения они резко уменьшаются. Поэтому можно рекомендовать графический способ определения среднего секундного расхода топлива для практического применения [5, 6], особенно если целью расчета является получение данных для сравнения нескольких вариантов проектной линии.

#### Заключение

1. Проведенные наблюдения дали возможность выяснить режим подачи топлива в функциях пути (сопротивления) и скорости.

2. По полученным данным выявлены зависимости степени подачи топлива от скорости движения лесовоза и дорожных сопротивлений.

3. Точность расчётов при теоретическом определении расхода топлива во время движения лесовоза на подъёмах (по сравнению с фактическими) можно считать достаточной для практических целей.

4. Предлагаемый графический способ определения расхода топлива лесовоза при его движении на подъёмах, может быть принят для решения ряда задач, связанных с расходом топлива при движении лесовоза,

проектированием продольного профиля дорог в пересеченной местности.

5. Практическая значимость исследований заключается в разработке графического определения среднего секундного расхода топлива лесовозов для практического применения, особенно если целью расчета является получение данных для сравнения нескольких вариантов проектной линии дороги.

#### Список литературы

1. Морозов П.И. Проектирование и планирование обустройства лесовозных автомобильных дорог // Лесотехнический журнал. 2011. № 2. С. 36–41.
2. Козлов В.Г. Анализ существующих методов проектирования трассы лесных автомобильных дорог // Фундаментальные исследования. 2017. № 3. С. 35–39.
3. Саблин С.Ю., Высоцкая И.А., Скрыпников А.В., Тихомиров П.В., Брюховецкий А.Н., Жук А.Ю. Формирование оптимальных схем этапного развития лесовозных автомобильных дорог // Системы. Методы. Технологии. 2021. № 1 (49). С. 82–85.
4. Чирков Е.В., Высоцкая И.А., Скрыпников А.В., Боровлев А.О., Никитин В.В. Методические рекомендации по автоматизированному проектированию трассы лесовозной автомобильной дороги с применением методов оптимизации // Автоматизация. Современные технологии. 2021. Т. 75. № 2. С. 60–65.
5. Быстрянец Е.В. Исследование технологии экспертной оценки качества информационного обеспечения автомобильного транспорта // Автоматизация. Современные технологии. 2017. Т. 71. № 9. С. 429–432.
6. Бабков В.Ф. Дорожные условия и безопасность движения: учебник для вузов. М.: Транспорт, 1993. 271 с.