

УДК 634.0.383

МОДЕЛЬ РЕЖИМОВ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ НА ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ

© **В.К. Курьянов**, *д-р техн. наук, проф.*

А.В. Скрыпников, *д-р техн. наук, проф.*

Е.В. Кондрашова, *д-р техн. наук, доц.*

В.А. Морковин, *канд. техн. наук, доц.*

Воронежская государственная лесотехническая академия, ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж,
Россия, 394087

E-mail: skrypnikovvsafe@mail.ru

Главными принципами лесозэксплуатации в настоящее время являются непрерывное и неистощимое пользование лесной продукцией. При этом важная роль принадлежит лесотранспорту, который служит связующим звеном структурных элементов лесопромышленного комплекса, в значительной мере определяет экономическую доступность лесоматериалов на лесных участках и возможность рационального лесопользования. В современных условиях эффективность транспортной составляющей лесовозных автомобильных дорог определяется степенью детализации движения транспортных потоков, их важнейшей характеристикой – скоростью движения.

Многообразие существующих методов расчета скоростей движения одиночных автомобилей обусловлено различием предпосылок и допущений, лежащих в их основе. Конечная цель совершенствования каждого из методов – установление наиболее близкого соответствия между расчетными и фактическими скоростями движения при заданных условиях. Исследователями рассмотрены различные факторы, влияющие на скорость движения автотранспорта, методики расчета ее среднего значения, проведены экспериментальные наблюдения. По предложенным методикам сформирован пакет программ, позволяющих выстраивать модель режимов движения транспортных потоков, в том числе и одиночных автомобилей, в зависимости от дорожных условий, выполнять дальнейший анализ явлений и процессов в целях прогнозирования и предотвращения ситуаций, связанных с безопасностью движения.

Ключевые слова: лесовозная автомобильная дорога, транспортные потоки, скорость движения, дорожные условия, грузовой автомобиль.

В настоящее время при соблюдении главных принципов лесозэксплуатации – непрерывного и неистощимого пользования лесной продукцией – важная роль принадлежит лесотранспорту, который служит связующим звеном структурных элементов лесопромышленного комплекса и определяет экономическую доступность лесоматериалов на участках лесного фонда и возможность эффективного лесопользования.

Транспортная фаза в лесозаготовительном производстве является наиболее капиталоемкой и нуждается в совершенствовании. В современных условиях эффективность транспортной работы лесовозных автомобильных дорог определяется в первую очередь степенью детализации учета движения

транспортных потоков. Оценка транспортных качеств дороги позволяет своевременно выявить и исправить участки, не обеспечивающие экономичное движение транспортных потоков.

Наиболее существенной характеристикой транспортной работы лесовозной автомобильной дороги является скорость движения.

Многообразие существующих методов расчета скоростей движения одиночных автомобилей обусловлено различием предпосылок и допущений, лежащих в их основе. Конечная цель совершенствования каждого из этих методов – установление наиболее близкого соответствия между расчетными и фактическими скоростями движения при заданных условиях. Поэтому скорость автомобильного транспорта одинаковых марок и равной загрузки на прямых горизонтальных участках устанавливалась в результате экспериментальных наблюдений за режимами работы транспортного потока. При осуществлении имитационного моделирования скорость на горизонтальном участке, для приближения к реальным условиям, определяется с использованием метода статистических испытаний [4, 5].

Д.П. Великанов [1] отмечает в своих работах, что наибольшее влияние на скорость автотранспорта оказывает состояние покрытия, геометрические элементы трассы, загруженность транспорта.

А.В. Кац и Ю.И. Роснянский [4], проводя многофакторный корреляционный анализ влияния различных дорожных условий на скорость движения, установили, что 77,4 % всех факторов, оказывающих влияние на скорость движения автомобильного потока на дорогах, приходится на продольный уклон, интенсивность движения, состояние покрытия и ширину проезжей части. Влияние на скорость этих факторов распределяется следующим образом: на состояние покрытия приходится 45,4 %, на продольный уклон – 31,0 %, на ширину покрытия – 15,4 %, на интенсивность движения – 8,2 %.

Если на мгновенную скорость наиболее существенное влияние оказывает тип автомобиля и его техническое состояние, то на фактическую скорость движения автомобиля, выбираемую водителем для движения на определенном маршруте, определяющее влияние оказывают факторы, связанные с типом и состоянием дороги. Причем на скорость движения грузовых автомобилей наиболее заметно продольный профиль. Если скорость большинства типов автомобилей зависит от уклона более 20 %, то на движение тяжелых грузовых автомобилей сказываются уклоны уже в пределах 10 %.

При отсутствии на исследуемых дорогах горизонтальных кривых малого радиуса план трассы автомобильной дороги не оказывает влияния на ограничения скоростей движения.

Превышение расчетных скоростей над фактическими при расчетах по методам А.Е. Бельского [2] и К.А. Хавкина [8] вызвано предположением о движении автомобиля с полным открытием дроссельной заслонки. В реальных условиях такой режим работы двигателя используется водителями крайне редко на крутых подъемах или при обгонах. Одним из основных факторов, влияющих на степень открытия дроссельной заслонки, является сумма дорожных сопротивлений.

В составе транспортного потока преобладают следующие марки автомобилей: КамАЗ-53212, Урал-375Н, ЗИЛ-130. В качестве экспериментального автомобиля принят ЗИЛ-130, наиболее характерный представитель грузового транспорта.

Для определения открытия дроссельной заслонки автомобиля ЗИЛ-130 рядом авторов установлены эмпирические зависимости. В.В. Сильянов предложил формулу [7]:

$$p = 0,2 + 16,0\psi - 83,0\psi^2 \quad (1)$$

где p – процент открытия дроссельной заслонки;

ψ – коэффициент суммарных дорожных сопротивлений (может применяться для различных дорожных условий, но справедлив при средних показателях загрузки автомобиля).

А.Б. Ионовым получена зависимость [3] для определения открытия дроссельной заслонки при различной удельной мощности автомобиля. Однако она справедлива только при определенных дорожных условиях.

Наиболее универсальна эмпирическая зависимость, предложенная в работе [6]:

$$p = 0,248j + 0,240 + 9,172\psi - 33,33\psi^2, \quad (2)$$

где j – коэффициент использования грузоподъемности.

Проверка применимости зависимости (2) для расчета скорости показала, что расхождение между экспериментальными и расчетными скоростями не превышает 10 %.

Скорость движения v по горизонтальным участкам и на подъемах определяется из формулы К.А. Хавкина [8]:

$$\frac{a - bv^2}{G} = f \pm i \pm \frac{\delta}{q} \frac{dv}{dS}, \quad (3)$$

которая при переменной величине открытия дросселя является линейным дифференциальным уравнением первого порядка с переменными коэффициентами a, b, f, i, δ .

Решение дифференциального уравнения выполняется в конечных разностях. Принято допущение, что на элементарном шаге пути коэффициенты a, b, f, i, δ являются постоянными величинами. После интегрирования формулы (3) получим

$$v_S = \sqrt{\left\{ v_{\text{вх}}^2 - \frac{3,6^2}{b} [a - (i + f)] \frac{-2gl\Delta S}{\delta} + \frac{3,6^2}{b} [a - (i + f)] \right\}}, \quad (4)$$

где $v_{\text{вх}}$ – скорость входа на подъем и горизонтальный участок, м/с;

a, b – переменные коэффициенты, зависящие от величины открытия дроссельной заслонки, передачи, на которой движется автомобиль, и его марки;

i – продольный уклон, %;

f – коэффициент сопротивления качению;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

l – длина подъема, м;

ΔS – элементарный шаг пути, при котором рассчитывается изменение скорости, м;

δ – коэффициент, учитывающий инерцию вращающихся масс автомобиля.

Для введения значений a и b в каждый последующий шаг расчета воспользуемся выражениями закономерности их изменения в виде интерполяционных многочленов для каждой передачи [4]:

третья передача

$$a_3 = 1,346p^3 - 2,339p^2 + 1,269p + 0,092; \quad (5)$$

$$b_3 = (0,052p^3 - 0,097p^2 + 0,038p + 0,055) 0,001;$$

четвертая передача

$$a_4 = -0,053p^3 + 0,070p^2 + 0,005p + 0,06; \quad (6)$$

$$b_4 = (0,015p^3 - 0,031p^2 + 0,014p + 0,049) 0,001;$$

пятая передача

$$a_5 = 0,011p^3 - 0,041p^2 + 1,269p + 0,03; \quad (7)$$

$$b_5 = (0,008p^3 - 0,014p^2 + 0,060p + 0,047) 0,001,$$

где p – процент открытия дроссельной заслонки.

Формула (3), использованная на область спусков с незначительным уклоном (до 20...30 %), где движение автомобиля происходит также за счет частичного тягового усилия, дает значения скоростей, превышающие фактическую скорость, что недопустимо.

Скорость на спуске определяется по следующей эмпирической зависимости:

$$v_s = v_{вх} (1 + S_{сп}\gamma), \quad (8)$$

где $S_{сп}$ – длина спуска, м;

$v_{вх}$ – скорость входа на спуск, м/с;

γ – коэффициент, зависящий от величины отрицательного уклона:

$$0 \leq i \leq 10 \% = 0,050;$$

$$10 \% \leq i \leq 20 \% = 0,095;$$

$$20 \% \leq i \leq 40 \% = 0,200.$$

Определение средней скорости свободного движения автомобиля выполняется следующим образом. Продольный профиль разбивается на элементарные участки. В пределах такого участка уклон считается постоянным и равным отношению разности отметок в начале и в конце элементарного участка к длине этого участка. Для расчетов скоростей вполне приемлем шаг 10 м. Меньшее значение шага увеличивает время счета на ЭВМ и не дает существенного уточнения значений скоростей ввиду значительной гладкости функциональных зависимостей (5) – (7). За входную скорость $v_{вх}$ на последующем участке принимается выходная скорость $v_{вых}$ предыдущего участка, определенная по зависимостям (4), (8). На каждом участке определяется средняя скорость движения

$$v_{ср} = \frac{v_{вх} + v_{вых}}{2},$$

а затем время прохождения элементарного участка $t_i = \text{шаг}/v_{\text{ср}}$. Суммируя время следования по участкам, получим общее время прохождения трассы.

Средняя скорость свободного движения транспортного средства

$$v_{\text{ср}}^{\text{св}} = S / \sum_{i=1}^n t_i, \quad (9)$$

где S – длина лесовозной автомобильной дороги, км;

n – количество элементарных участков.

Средняя скорость транспортного потока определится в зависимости от состава движения, интенсивности и расчетной скорости

$$v_{\text{ср}}^{\text{т.п}} = v_{\text{ср}}^{\text{св}} - \alpha N, \quad (10)$$

где $v_{\text{ср}}^{\text{св}}$ – скорость одиночного автомобиля при отсутствии помех, зависящая от дорожных условий, км/ч;

α – коэффициент снижения скорости, который зависит от состава движения;

N – суммарная интенсивность движения в обоих направлениях, авт./ч.

По данным В.В. Сильянова [7], для дорожных условий $\alpha = 0,016$ при наличии 20 % легковых автомобилей в составе транспортного потока $\alpha = 0,012$ – при 50 %, $\alpha = 0,008$ – при 80 %.

По описанной методике составлен пакет программ [4]. Расчеты, выполненные по разработанной программе, показали, что максимальное отклонение рассчитанной средней скорости транспортного потока составляет 12 % от фактической.

Таким образом, проведенные исследования адекватности разработанной модели режимов движения транспортных потоков с фактическими показателями скорости позволяют сделать вывод о возможности ее использования для определения показателей скорости транспортного потока и одиночных автомобилей в зависимости от дорожных условий; комплексного решения задач эксплуатации и управления автодорожной сетью в лесном комплексе; выполнения детального анализа явлений и проникновения в сущность исследуемого процесса, которые невозможны при обычном натурном эксперименте (с точки зрения безопасности движения); прогнозирования и анализа разнообразных ситуаций, которые могут случиться в будущем, но еще не случались на практике, а также для анализа долговременных явлений и процессов в реальной системе за короткий промежуток времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автомобильные транспортные средства / Д.В. Великанов, В.Н. Вернадский, Б.И. Нифонтов, И.П. Плеханов; под ред. Д.В. Великанова. М.: Транспорт, 1977. 326 с.
2. Бельский А.Е. Расчеты скоростей движения на автомобильных дорогах. М.: Транспорт, 1996. 120 с.

3. Ионов А.В. Учет особенностей движения автомобилей и автопоездов при расчете скоростей на подъемах // Тр. СоюздорНИИ, 1979. Вып. 111. С. 43–51.

4. Кац А.В., Раснянский Ю.И. Моделирование скоростей движения автомобильного потока // Науч. тр. Саратовского политехн. ин-та. Саратов, 1975. Вып. 81. С. 60–66.

5. Кондрашова Е.В., Волков А.М. Повышение эффективности транспортной работы автомобильных дорог в лесном комплексе: моногр. Воронеж: Изд-во ВГУ, 2010. 232 с.

6. Курьянов В.К. Лесотехнологические особенности лесовозных дорог. Воронеж: Изд-во политехн. ин-та, 1985. 85 с.

7. Сильянов В.В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог к организации движения. М.: Транспорт, 1977. 303 с.

8. Хавкин К.А., Даевский Л.Н. Проектирование продольного профиля автомобильных дорог. М.: Транспорт, 1966. 239 с.

Поступила 11.03.10

Model of Traffic Flow Modes on Logging Roads

V.K. Kuryanov, *Doctor of Engineering, Professor*

A.V. Skrypnikov, *Doctor of Engineering, Professor*

E.V. Kondrashova, *Doctor of Engineering, Associate Professor*

V.A. Morkovin, *Candidate of Engineering, Associate Professor*

Voronezh State Academy of Forestry and Technologies, Timiryazeva, 8, 394087 Voronezh, Russia

E-mail: skrypnikovvsafe@mail.ru

The main principles of forest exploitation are nowadays the continuous and inexhaustible use of forest products. An important role is performed by forest transport, which serves as an interlink between the structural elements of the forest industry and largely determines the affordability of timber in forest areas and their rational use. In modern conditions, the efficiency of the transport component of logging roads is determined by the degree of traffic flow specification and by its most important characteristics – the speed.

There are numerous methods for calculating speeds of single vehicles, varying in preconditions and assumptions underlying them. The ultimate goal of improving each of the methods is to establish the closest correspondence between the estimated and actual velocities under specified conditions. The researchers have examined various factors affecting the rate of speed of vehicles and methods of calculating their average, as well as made experimental observations. Based on the procedures described, we have formed a software package allowing us to build a model of traffic flow modes, including single vehicles, depending on road conditions and perform further analysis of the phenomena and processes in order to predict and prevent road accidents.

Keywords: logging road, traffic flow, speed, road conditions, truck.

REFERENCES

1. Velikanov D.V., Vernadskiy V.N., Nifontov B.I., Plekhanov I.P. *Avtomobil'nye transportnye sredstva* [Automotive Vehicles]. Moscow, 1977. 326 p.

2. Bel'skiy A.E. *Raschety skorostey dvizheniya na avtomobil'nykh dorogakh* [Calculation of Traffic Speed on Highways]. Moscow, 1996. 120 p.
 3. Ionov A.V. *Uchet osobennostey dvizheniya avtomobiley i avtopoezdov pri raschete skorostey na pod'emakh* [Taking into Account Peculiarities of Car and Truck Movement When Calculating Their Ascending Velocity]. *Trudy SoyuzdorNII*, 1979, iss. 111, pp. 43–51.
 4. Kats A.V. *Modelirovanie skorostey dvizheniya avtomobil'nogo potoka* [Simulation of Traffic Flow Speed]. *Nauchnye trudy Saratovskogo politekhnicheskogo instituta* [Proceedings of Saratov Polytechnic Institute]. Saratov, 1975, iss. 81, pp. 60–66.
 5. Kondrashova E.V., Volkov A.M. *Povyshenie effektivnosti transportnoy raboty avtomobil'nykh dorog v lesnom komplekse* [Improving the Efficiency of Transport Roads in the Forest Industry]. Voronezh, 2010. 232 p.
 6. Kur'yanov V.K. *Lesotekhnologicheskie osobennosti lesovoznykh dorog* [Technological Peculiarities of Logging Roads]. Voronezh, 1985. 85 p.
 7. Sil'yanov V.V. *Teoriya transportnykh potokov v proektirovanii dorog k organizatsii dvizheniya* [The Theory of Traffic Flow in Road Design for Traffic Management]. Moscow, 1977. 303 p.
 8. Khavkin K.A., Daevskiy L.N. *Proektirovanie prodol'nogo profilya avtomobil'nykh dorog* [Designing the Longitudinal Profile of Highways]. Moscow, 1966. 239 p.
-