

МЕТОДИКА РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЙ ДВИЖЕНИЯ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОПОЕЗДОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ ДВИГАТЕЛЯ

Сушков С.И., Бухтояров В.Н.

ФГБОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия», Воронеж, Россия (394087, Воронеж, ул. Тимирязева, 8), e-mail:79081469891@yandex.ru

В работе рассматриваются вопросы решения уравнения движения лесовозных автопоездов при различных режимах работы. Определены эксплуатационные характеристики лесовозных автодорог, их отдельных элементов, а также организации движения транспортных потоков, которые в значительной степени определяются режимами работы двигателя лесовозных автопоездов. Рассмотрены режимы работы карбюраторных и дизельных двигателей. Основные выводы: 1) для повышения точности проектных решений по проектированию лесовозных дорог необходим расчет не только скорости, но и других показателей движения автопоездов; 2) затраты по топливу в значительной степени определяют себестоимость перевозок лесоматериалов при выборе оптимального варианта трассы дороги; 3) одним из критериев может служить расход топлива автопоездами.

Ключевые слова: лесовозные дороги, транспортные потоки, дроссельная заслонка, карбюраторные и дизельные двигатели, автопоезда лесовоз, уравнение движения, моделирование.

THE METHOD OF SOLUTION OF THE EQUATIONS OF MOTION OF THE LOGGING TRUCKS AT VARIOUS ENGINE OPERATING MODES

Suhkov S.I., Buhtoyarov V.N.

Voronezh State Academy of Forestry and Technologies, Voronezh, Russia (394087, Voronezh, st. Timiryazeva, 8), e-mail:79081469891@yandex.ru

The paper discusses the issues of solving the equations of motion of the logging trucks at various modes of operation. Defined operational characteristics of logging roads, their individual elements, as well as the organization of movement of transport streams, which are largely determined by the modes of operation of logging trucks. Considered modes gasoline and diesel engines. Key findings: 1) to improve accuracy of design decisions on the design of forest roads required the calculation of not only speed, but also other indicators of the movement of trains; 2) the costs of fuel are largely determined by the cost of transportation of timber when selecting the optimal route of the road; 3) one of the criteria can serve as fuel consumption by trucks.

Keywords: roads, traffic flow, throttle, carburetor and diesel engines, truck is a truck driver, the equation of motion, simulation.

Организация движения транспортных потоков, эксплуатационные характеристики как самой лесовозной дороги, так ее отдельных элементов, определяются прежде всего режимом движения лесовозных автопоездов. Основным показателем движения лесовозного автопоезда является тяговое усилие [3].

В рассматриваемом случае динамический фактор вычисляют по формуле:

$$D = \frac{716.2 N i_k i_o \eta_T}{n r_k G_a} - \frac{(kF \pm k'F') v^2}{G_a}, \quad (1)$$

где N – мощность двигателя в л.с., зависящая от частоты вращения коленчатого вала двигателя, n (об/мин); η_m – КПД трансмиссии.

В рассматриваемых условиях можно упростить метод решения уравнения (1) и расширить границы его применения. Это связано с тем, что закономерности изменения

мощностных показателей двигателей определяются частотой вращения коленчатого вала для бензиновых двигателей. Для дизельных двигателей 100 % подача топлива отображает внешние скоростные характеристики двигателя, а для любой другой подачи топлива – частные характеристики [4]. На рисунке 1 представлены скоростные характеристики как карбюраторных, так и дизельных двигателей.

Введем координаты относительной мощности N/N_{max} и относительного числа оборотов n/n_m (n – соответствует N , n_m – соответствует N_{max}) для объединения характеристики двигателей.

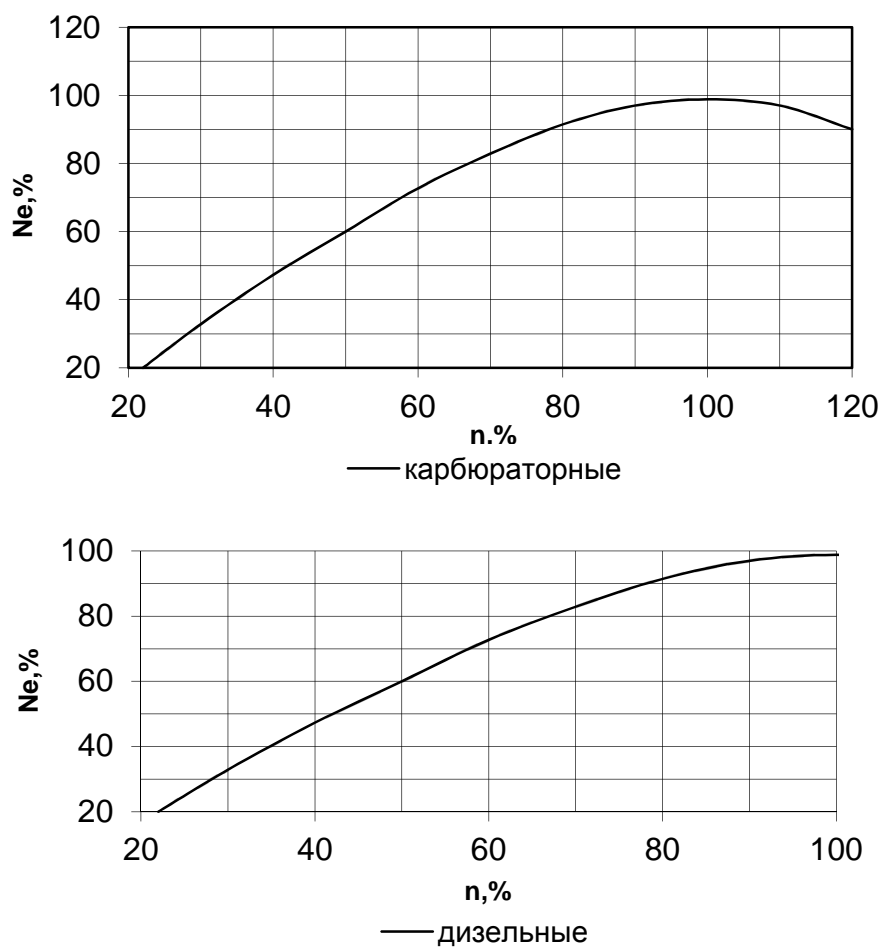


Рис.1. Скоростные характеристики двигателей: n – частота, N_e – мощность

На рисунке 2 представлены результаты стендовых испытаний карбюраторных различных двигателей.

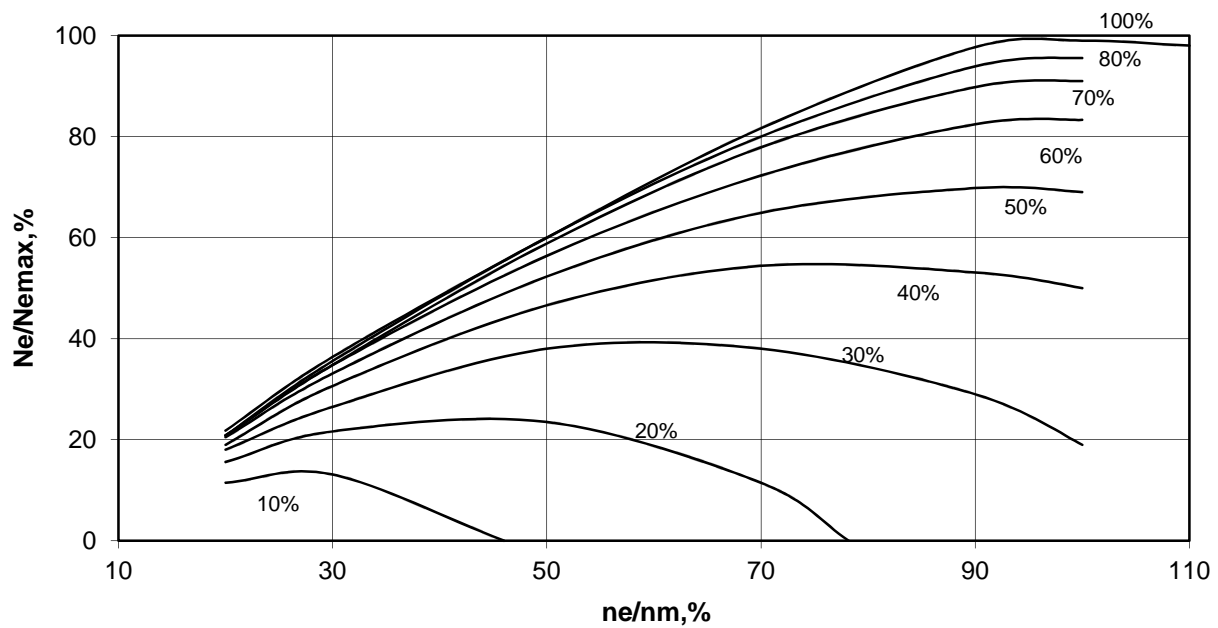


Рис. 2. Относительные частичные скоростные характеристики карбюраторных двигателей

Эмпирические скоростные характеристики, показанные на рисунках 2 и 3, описаны различными зависимостями:

1. Графическими зависимостями, изображенными на рисунке 1.
2. Формулой С.Р. Лейдермана

$$\frac{N}{N_{\max}} = a \left(\frac{n}{n_m} \right)^3 + b \left(\frac{n}{n_m} \right)^2 + c \left(\frac{n}{n_m} \right), \quad (2)$$

в которой коэффициенты a, b, c соответственно равны для карбюраторных двигателей – 1; 1; 1, для дизелей – 1; 1,5; 0,5.

3. Формулой Пуансе

$$\frac{N}{N_{\max}} = 1,5 \left(\frac{n}{n_m} \right) - 0,5 \left(\frac{n}{n_m} \right)^3. \quad (3)$$

Из данных формул следует, что для расчета мощности можно использовать следующую зависимость:

$$\frac{N}{N_{\max}} = N_o(\alpha) + N_1(\alpha) \left(\frac{n}{n_m} \right) + N_2(\alpha) \left(\frac{n}{n_m} \right)^2, \quad (4)$$

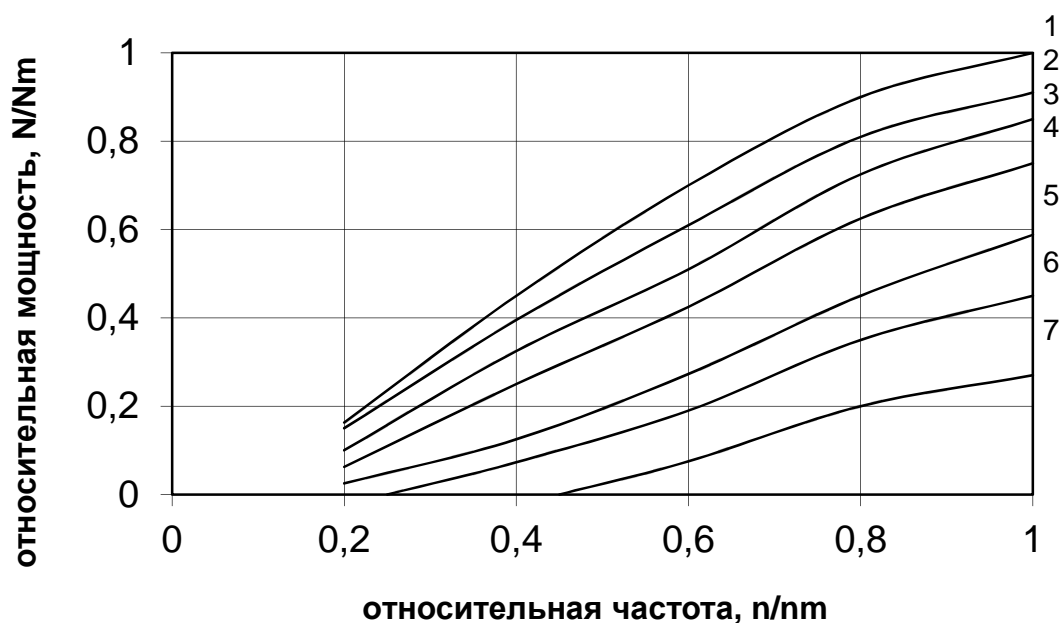


Рис. 3. Относительные скоростные характеристики дизелей в зависимости от положения рейки топливного насоса по сравнению с номинальным: 1-1, 2-0.92, 3-0.86, 4-0.79, 5-0.72, 6-0.63, 7-0.58

В формуле (4) путем статистической обработки относительных частичных характеристик находим коэффициенты $N_o(\alpha), N_1(\alpha), N_2(\alpha)$, а постоянные a и b определяются путём испытания различных двигателей.

Преобразуя формулу (3), уравнение для динамического фактора примет вид:

$$D = \frac{a_p - b_p N}{G_a} \quad (5)$$

Согласно формуле (3) не удаётся получить критическое значение скорости, при которой двигатель переходит на пониженные передачи. При $v = 0$ динамический фактор достигает максимума. В процессе расчёта невозможно определять момент перехода на пониженную передачу. Критические скорости определены для максимальной подачи топлива при полной загрузке лесовозного автопоезда [1].

Второе решение дифференциального уравнения движения лесовозного автопоезда позволяет определить постоянство на всём интервале с помощью коэффициентов a и b в формуле (5). Коэффициенты a и b зависят от степени открытия дроссельной заслонки. Открытие дросселя заслонки непрерывно меняется на участках с изменяющимся продольным уклоном (вертикальные кривые) или участках плана при неизменном уклоне [1].

Поэтому относительные характеристики более эффективно представлять формулой:

$$\frac{N}{N_{\max}} = a_p \left(\frac{n}{n_m} \right)^3 + b_p \left(\frac{n}{n_m} \right)^2 + c_p \left(\frac{n}{n_m} \right); \quad (6)$$

где a_p, b_p, c_p – коэффициенты, индекс p соответствует степени открытия дроссельной заслонки. Они могут быть получены на основе обработки статистических данных (рисунки 4) при использовании таблицы 1 и 2.

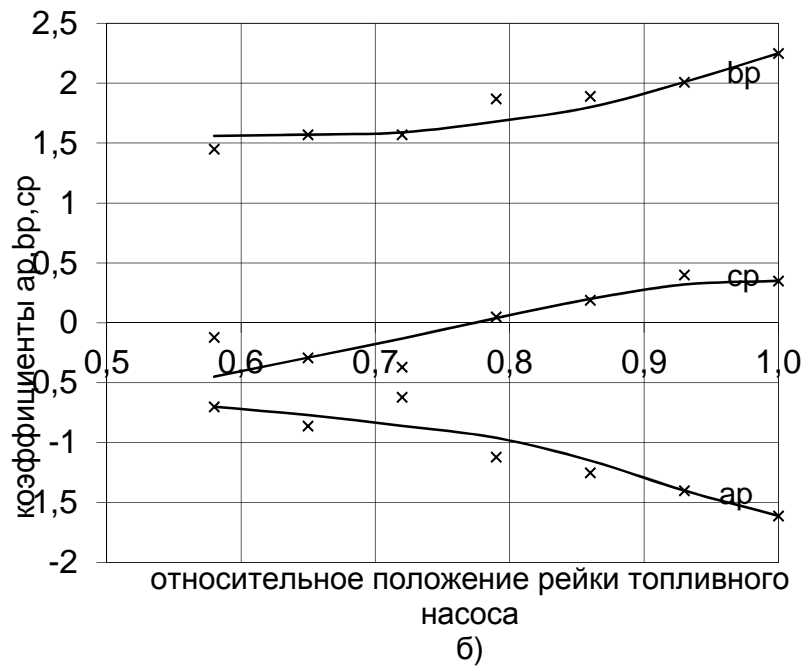
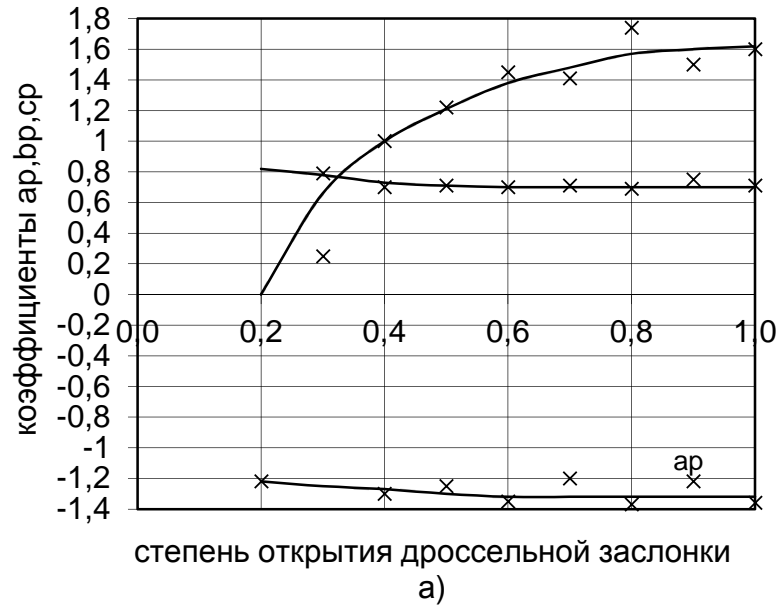


Рис.4. Экспериментальные значения и сглаживающие кривые коэффициентов a_p, b_p, c_p для карбюраторных (а) и дизельных (б) двигателей лесовозных автопоездов

Таблица 1

Коэффициенты a_p, b_p, c_p для двигателей с карбюраторами

Коэффициенты	Степень открытия дроссельной заслонки, %								
	100	90	80	70	60	50	40	30	20
a_p	-1,32	-1,32	-1,32	-1,32	-1,32	-1,3	-1,27	-1,25	-1,22
b_p	1,62	1,6	1,57	1,48	1,38	1,21	1,0	0,66	0
c_p	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,71	0,73	0,78	0,82

Таблица 2

Коэффициенты a_p, b_p, c_p для дизельных двигателей

Коэффициенты	Относительное, по сравнению с номинальным, положение рейки топливного насоса, %						
	100	93	86	79	72	65	58
a_p	-1,61	-1,4	-1,15	-0,96	-0,86	-0,77	-0,7
b_p	2,25	2,01	1,8	1,68	1,59	1,57	1,56
c_p	0,35	0,32	0,2	0,04	-0,13	-0,29	-0,45

Выразим число оборотов через скорость:

$$n = \frac{v i_k i_o}{0,105 r_k}, \quad (7)$$

В результате получаем следующее уравнение для динамического фактора:

$$D(v) = av^2 + bv + c, \quad (8)$$

Решив полученное уравнение, определяем коэффициенты:

$$c = k_1 c_p, \quad b = k_1 k_2 b_p, \quad a = k_1 k_2^2 a_p - \frac{kF \pm k'F'}{G_a},$$

$$k_1 = \frac{716.2 i_k i_o N_{\max} \eta}{G_a r_k}, \quad k_2 = \frac{i_k i_o}{0,105 r_k}.$$

Это соотношение позволяет определить критическую скорость в момент переключения с высшей передачи на низшую. Критическую скорость можно определить, если приравнять к нулю производную динамического фактора скорости, то получаем:

$$v_H = \frac{-b}{2a}. \quad (9)$$

Моменту переключения с низшей передачи на высшую соответствует скорость v_g , которая определяется максимальной частотой вращения коленчатого вала двигателя.

На рисунке 5 согласно формуле (8) представлены динамические характеристики лесовозного автопоезда. Данный рисунок показывает, что скоростные качества на IV и V передачах значительно улучшаются.

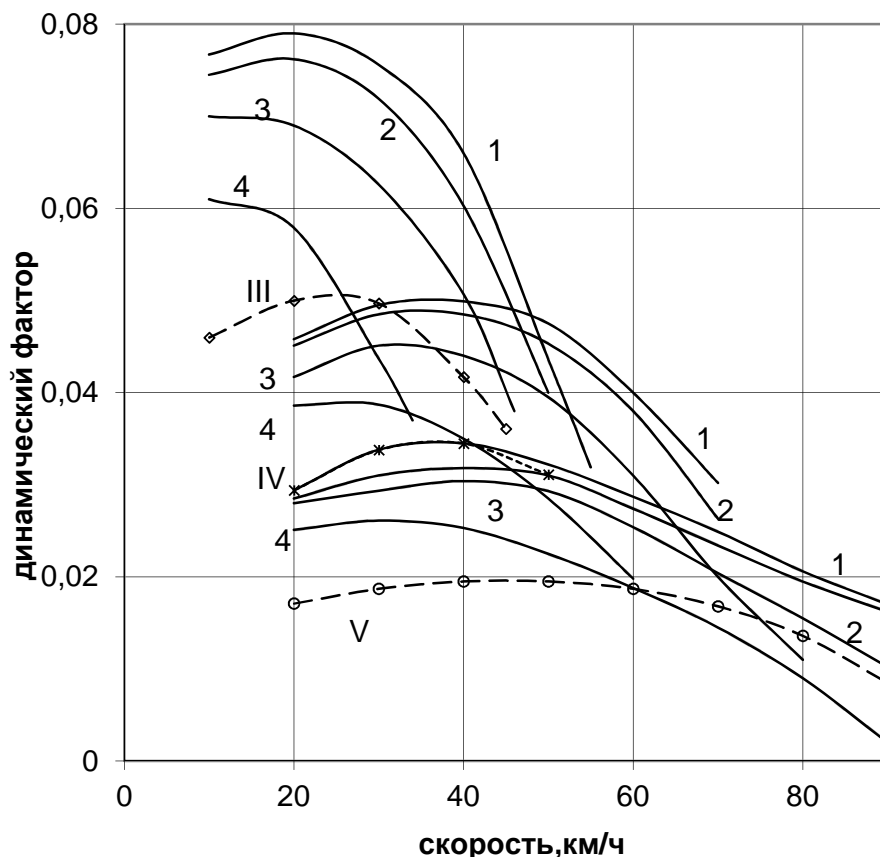


Рис.5. Динамические характеристики автопоезда ЗИЛ-131БА + ГКБ-817 при степени открытия дросселя: 1-1, 2-0,8, 3-0,6, 4-0,4. Пунктир — двигатель 150 л.с., степень открытия дросселя — 1

Полученные таким образом частные динамические характеристики автопоездов, приемлемы для расчета установившихся фактических скоростей на отрезках автодороги с постоянными сопротивлениями.

Подставив $D(v)$ из формулы (8), получим:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{g}{\delta_k} \left[-i - f - \frac{(kF \pm k'F')v^2}{G_a} + \left(k_1 k_2^2 \frac{a_p}{n_m} v^2 + k_1 k_2 \frac{b_p}{n_m} v + k_1 \frac{c_p}{n_m} \right) \right], \quad (10)$$

Частичные динамические характеристики, входящие в уравнение (10), необходимы при проектировании плана и продольного профиля лесовозной дороги при переменных

дорожных сопротивлениях и при переменной степени открытия дросселя, при моделировании на ЭВМ движения автопоездов и т.д. [2, 5].

Повысить точности инженерных решений по проектированию лесовозных дорог можно не только с помощью расчета скорости, но и других показателей движения автопоездов. К таким значительным показателям относят затраты по топливу. Он в значительной степени определяет себестоимость перевозок лесоматериалов при выборе оптимального варианта трассы дороги.

Список литературы

1. Афоничев Д. Н., Рыбников П.С. Формирование проектных решений в автоматизированной системе проектирования объектов лесопромышленного комплекса // Моделирование систем и процессов, ВГЛТА, НИИЭТ. – Воронеж, 2012. – Вып. 4. – С. 16-19.
2. Бурмистрова О.Н., Сушков С.И., Сушков А.С. Разработка модели организационной системы управления и принятия решений при функционировании материально-транспортных потоков в лесном комплексе // Севергеоэкотех-2012 : материалы 13 Международной молодежной научной конференции, Ухта, 16-19 апреля 2013 г. : в 3 ч. / Ухтинский государственный технический университет. – Ухта : УГТУ, 2013. – Ч. 2. – С. 190-194.
3. Сушков С.И. Особенности определения показателей движения автопоездов при проектировании дорог // Строительные и дорожные машины. – 2014. – № 11. – С. 52-55.
4. Сушков А.С. Методические основы параметров процессов модели управления системой «дорожные условия - транспортные потоки» // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). – Краснодар: КубГАУ, 2012. — № 10 (84). – С. 63-67 — URL: <http://ej.kubagro.ru/2012/10/pdf/05.pdf> (дата обращения: 20.01.2012).
5. Сушков С.И., Черников Э.А. Определение основных транспортно-эксплуатационных показателей лесовозных автодорог с учетом воздействия внешних условий // Строительные и дорожные машины. – 2014. – № 7. – С. 25-28.

Рецензенты:

Пухов Е. В., д.т.н., профессор, зав. каф. эксплуатации машинно-тракторного парка ФГБОУ ВПО «Воронежский ГАУ», г. Воронеж;

Астанин В.К., д.т.н., профессор, зав. каф. технического сервиса и технологии машиностроения ФГБОУ ВПО «Воронежский ГАУ», г. Воронеж.