

ВЕРИФИКАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАМИ МОДЕЛЕЙ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ЛЕСОВОЗОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРИРОДНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФАКТОРОВ

А.П. Мохирев¹, К.П. Рукомойников², П.М. Мазуркин², Н.А. Брагина¹

¹ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», Лесосибирский филиал, 664325, Красноярский край, г. Лесосибирск, ул. Победы, д. 29

²ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», 424000, Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, д. 3

ale-mokhirev@yandex.ru

Рассмотрена скорость движения лесовозов при вывозке древесины с верхнего склада, как один из ключевых производственных параметров лесотранспортного процесса, который зависит от условий движения на дорогах, существенно усложняющихся при неблагоприятных метеорологических явлениях. Выполнено 162 наблюдения на отдельных участках дороги по измерениям скорости лесовозов в различных природно-производственных условиях в целях выявления зависимости скорости автолесовоза от 31 переменного фактора. Разработаны математические модели для расчета скорости лесовозного автомобиля с учетом природно-производственных факторов. Проведен дополнительный эксперимент для сравнения рассчитанных по моделям скоростных режимов лесовозов с фактическими, в ходе которого использованы данные о скорости движения лесовоза при вывозке древесины с верхнего склада на лесосеке на склад сырья деревоперерабатывающего предприятия на территории Енисейского лесничества Красноярского края. Полученные результаты проверки многофакторных моделей можно считать достоверными.

Ключевые слова: скорость лесовоза, расчетное и фактическое время, многофакторные модели, верификация

Ссылка для цитирования: Мохирев А.П., Рукомойников К.П., Мазуркин П.М., Брагина Н.А. Верификация экспериментами моделей скорости движения лесовозов в зависимости от природно-производственных факторов // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 2. С. 108–115. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-2-108-115

На скорость движения лесовоза, от которой зависит максимально возможный объем заготовленной и вывезенной древесины, влияет большое множество факторов [1–4].

Классификация факторов — крайне сложная задача, особенно с учетом их сложных зависимостей и взаимообусловленностей. Одним из выводов многих исследователей является признание необходимости осуществления заготовки и вывозки древесины в зимний период при неблагоприятных почвенно-грунтовых условиях [5–8].

Транспортно-технологические процессы в лесозаготовительном производстве зависят от большого количества природно-производственных, технико-экономических и иных факторов [9–11]. Неблагоприятные условия приводят к снижению производительности технологических машин, увеличению себестоимости производства [12–14].

Производительность лесовозного автомобиля, или его скорость движения, является одним из основных показателей, характеризующих эффективность технологического процесса при освоении лесных ресурсов. На скорость передвижения лесовоза влияют условия движения на дорогах, существенно усложняющиеся при неблагоприятных метеоявлениях [7, 8, 15].

Чем выше категория дороги, интенсивность и скорость движения, тем меньшее влияние оказывают природно-климатические факторы на режим движения.

В работах [8, 15] рассмотрены характеристики автомобильных дорог, по которым выполняется вывозка лесоматериалов. Авторами выявлены закономерности, как правило, в виде линейных уравнений, изменения скоростных режимов движущихся транспортных средств на основании практических наблюдений за отдельными участками дороги.

Цель работы

Цель работы — проверка ранее выявленных многофакторных регрессионных моделей с помощью дополнительных экспериментов на основе верификации.

Материалы и методы исследования

Разработаны математические зависимости [16] в виде нелинейных трендов и волновых уравнений [17, 18] для расчета скорости лесовозного транспорта с учетом 31 природно-производственного фактора. Для идентификации закономерностей [19–21] изменения скорости автолесовоза в зависимости от рассматриваемого 31 фактора выполнено 162 наблюдения с проведением измерений скорости лесовоза в различных природно-производственных условиях, зарегистрированных измерениями на коротких опытных участках автомобильной дороги.

Т а б л и ц а 1

Рейтинг влияния факторов на скорость движения лесовоза по коэффициенту корреляции

Influence of factors on the speed of a timber truck by the correlation coefficient

Влияющая переменная (фактор)	Составляющая общей модели (см. формулу (1))	Коэффициент корреляции
x_{19} (тип покрытия дороги)	$y_1 = 17,84651 \exp(0,03519x_{19}) + 18,52405x_{19}^{0,81854} \exp(0,0010323x_{19}^{1,00037})$	0,6925
x_{23} (уклон %, °)	$y_2 = -0,0026217 \exp(4,65285(x_{23} + 150)^{0,14875}) + 5,03192 \cdot 10^{-6} (x_{23} + 150)^{4,60963} \exp(-0,84974(x_{23} + 150)^{0,42114})$	0,2973
x_6 (высота, м)	$y_3 = 425,148 - 414,541x_6^{0,004983} + 0,0018245x_6^{1,86189} \exp(-0,0091816x_6) \cos\left(\frac{\pi x_6}{0,87332 + 0,31472x_6^{0,79891}} + 12,00933\right)$	0,2886
x_9 (время в пути, ч)	$y_4 = 9365,854 - 9363,346x_9^{1,87646 \cdot 10^{-4}} + 6,50714 \cdot 10^{-42} x_9^{35,01506} \exp(-0,17256x_9^{1,42353}) \cos\left(\frac{\pi x_9}{29,34908 - 2,21377x_9^{0,53208}} + 2,51825\right)$	0,2816
x_4 (географическая широта)	$y_5 = -1,12476 + 1,81555x_4 - 8,26773x_4^{2,11391} \cos\left(\frac{\pi x_4}{0,1408 - 1,63776}\right)$	0,253
x_{30} (горизонтальная видимость, км)	$y_6 = -621,546 \exp(-7,8128 \cdot 10^{-4} x_{30}^{3,0025}) + 129,5215x_{30}^{1,71052} \exp(-0,11632x_{30}^{1,44165})$	0,242
x_{20} (ширина дорожного покрытия, м)	$y_7 = 0,017762 \exp(2,24213x_{20}^{0,433187}) - 1,57835 \cdot 10^{-50} x_{20}^{131,7503} \exp(-19,98251x_{20}^{1,00048})$	0,2409
x_{27} (атмосферное давление, мм. рт. ст.)	$y_8 = -4246,585 \exp(0,002061x_{27}^{0,99973}) + 0,83564x_{27}^{1,51851} \exp(3,5639 \cdot 10^{-5} x_{27}^{0,98288})$	0,2191
x_{14} (мощность двигателя, л. с.)	$y_9 = -8,29244 \cdot 10^{-9} \exp(0,13534x_{14}^{0,85883}) + 2,05345 \cdot 10^{-57} x_{14}^{22,54183}$	0,2149
x_{25} (вид снежно-ледового покрытия)	$y_{10} = -0,066705 + 0,89752x_{25} + 3,00593x_{25}^2 \exp(-0,67266x_{25}) \cos(\pi x_{25})$	0,2074
x_{26} (температура воздуха, °C)	$y_{11} = 0,33819 \exp(0,034561(x_{26} + 40)) - 5,86822 \cdot 10^{-86} (x_{26} + 40)^{57,03397} \exp(-0,011272(x_{26} + 40)^{1,97531})$	0,199
x_{31} (количество осадков за 12 ч, мм)	$y_{12} = 0,0015595 \exp(2,50589x_{31}^{0,98652}) - 3,29175 \cdot 10^{-8} x_{31}^{14,31385}$	0,1944
x_{17} (нагруженность лесовоза)	$y_{13} = 1,41902 \exp(0,58006x_{17}) - 106,7264x_{17}^{12,19745} \exp(-2,71843x_{17})$	0,1776
x_{13} (время эксплуатации лесовоза, лет)	$y_{14} = -3,96922 \cdot 10^{-24} \exp(50,79412x_{13}^{0,057445}) + 4,50805 \cdot 10^{-10} x_{13}^{41,40499} \exp(-8,31873x_{13}^{1,00619})$	0,1557
x_3 (номер часа в сутках)	$y_{15} = 1,69326 \cdot 10^{-24} \exp(53,01777x_3^{0,02546}) - 1490,823x_3^{14,16707} \exp(-20,41105x_3^{0,27971})$	0,1462
x_{28} (относительная влажность, %)	$y_{16} = -407,4248 \exp(0,0047339x_{28}^{0,75157}) + 329,9335x_{28}^{0,077596}$	0,1461
x_{21} (время эксплуатации дороги, лет)	$y_{17} = 0,79273 - 4,33501 \cdot 10^{-5} x_{21}^{3,14603}$	0,1264
x_{24} (влажность дорожного покрытия, %)	$y_{18} = 0,48606 \exp(1,00592x_{24}) - 4,26947 \cdot 10^7 x_{24}^{7,68554} \exp(-19,15676x_{24}^{0,18913})$	0,1258
x_{15} (пробег лесовоза, тыс. км)	$y_{19} = 9491,308 - 9487,283x_{15}^{1,12875 \cdot 10^{-4}}$	0,125
x_{11} (грузоподъемность, т)	$y_{20} = -2,80526 \exp(-6,0846 \cdot 10^{-4} x_{11}^{2,15727}) + 1,42067 \cdot 10^{-31} x_{11}^{26,8328} \exp(-0,10651x_{11}^{1,5034})$	0,1098
x_{16} (время после капитального ремонта лесовоза, мес.)	$y_{21} = 9,99437 \cdot 10^{-6} \exp(1,31611x_{16}^{1,02137}) - 4,7499 \cdot 10^{-16} x_{16}^{16,38144}$	0,1011

Окончание табл. 1

Влияющая переменная (фактор)	Составляющая общей модели (см. формулу (1))	Коэффициент корреляции
x_1 (номер месяца в году)	$y_{22} = 1,51622 - 0,28462x_1$	0,0812
x_7 (стаж водителя, лет)	$y_{23} = 0,37231 \exp(2,62632 \cdot 10^{-4} x_7^{2,66042}) - 8,30413 \cdot 10^{-7} x_7^{4,59433}$	0,0807
x_{12} (тип кузова)	$y_{24} = 0,077855 \exp(1,2673x_{12}) - 0,013183x_{12}^{5,14326}$	0,0488
x_8 (возраст водителя, лет)	$y_{25} = 2,44849 \exp(-3,48411 \cdot 10^{-5} x_8^{2,00903}) - 0,57444x_8^{0,39165}$	0,0481
x_5 (географическая долгота)	$y_{26} = -0,73764 + 0,24169x_5$	0,0461
x_{18} (тип шин)	$y_{27} = -0,097734 + 0,48445x_{18}^{28}$	0,0356
x_2 (номер суток в месяце)	$y_{28} = -0,078542 \exp(0,043805x_2^{0,98303}) + 7,45229 \cdot 10^{-9} x_2^{4,67365}$	0,0298
x_{29} (скорость ветра, м/с)	$y_{29} = 0,1941 - 0,10287x_{29}$	0,0223
x_{10} (колесная формула)	$y_{30} = -0,15237 + 0,31147x_{10}$	0,022
x_{22} (количество капитальных ремонтов, шт.)	$y_{31} = -0,059591 \exp(-0,68289x_{22}) + 1,68756 \cdot 10^{-4} x_{22}^{7,61797}$	0,0158

Общая многофакторная модель с учетом убывания коэффициента корреляции ее составляющих приведена в табл. 1 и включает в себя сумму 31 члена по формуле



$$y = \sum_{i=1}^m y_i, \quad (1)$$

где y — показатель (зависимый фактор);

i — номер составляющей многофакторной зависимости;

m — количество переменных, в данном случае равное 31.

Для верификации полученных членов общей модели (1) проведен дополнительный эксперимент, целью которого было сравнение расчетных скоростных режимов автолесовоза с фактическими.

В ходе эксперимента использованы данные о скорости движения автолесовоза при вывозке древесины с лесосеки на склад сырья деревообрабатывающего предприятия. Рейс сделан 20–21 февраля 2020 г. по территории Енисейского лесничества Красноярского края (рис. 1). Грузовый лесовоз движется от верхнего склада  до пункта доставки древесины .

Для опытов на лесовозной дороге, представленной на рис. 1, были выбраны шесть промежутков (табл. 2).

Выборные для измерений промежутки пути представлены на рис. 2.

Постоянные параметры для верификации моделей, влияющие на доставку груза, принимались по значениям рейса (табл. 3).

Остальные параметры как влияющие переменные изменялись за время движения лесовоза и принимались в зависимости от его местоположения:

x_2 — номер суток в месяце;

x_3 — номер часа в сутках;

x_4 — широта (за 0 взята 57,93099);

x_5 — долгота (за 0 взята 90,70971);

x_6 — высота над уровнем моря, м;

x_{19} — тип покрытия дороги (0 — без покрытия; 1 — гравийное; 2 — асфальт);

x_{23} — уклон дороги, %.

Каждый из выбранных промежутков пути разделили на элементарные участки по уклонам: спускам, подъемам, ровной поверхности.

Приведен пример плана и продольного профиля участка № 2 (58°44'30,2"N, 90°44'25,1"E — 58°44'46,0"N, 90°49'34,4") с разделением его на элементарные участки (рис. 3).

Фактическое время взято из системы данных ГЛОНАСС, сформированных на конкретный рейс. Установлено фактическое время, затраченное на доставку груза лесовозом на всех шести промежутках пути без учета остановок и других потерь времени.

По формуле (1) для каждого элементарного участка определяли расчетную скорость движения лесовоза с грузом. Для этого длину элементарного участка разделяли на расчетную скорость на этом участке.

Суммарные минуты на всех элементарных участках будут расчетным временем, которое затратил лесовоз с грузом по выбранному промежутку пути.

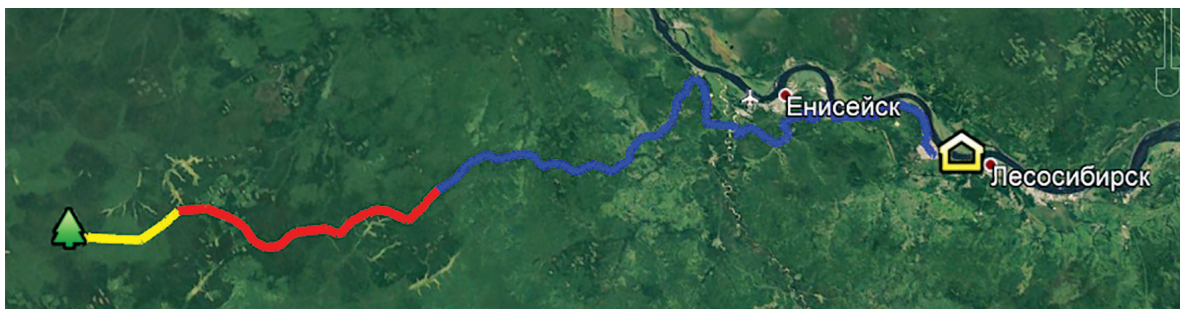


Рис. 1. Лесовозная дорога на территории Енисейского лесничества: дорога без покрытия (желтый); грунтовая дорога (красный); асфальтированная дорога (синий)

Fig. 1. Haulage road on the territory of the Yenisei forestry: unpaved road (yellow); unsurfaced road (red); paved road (blue)

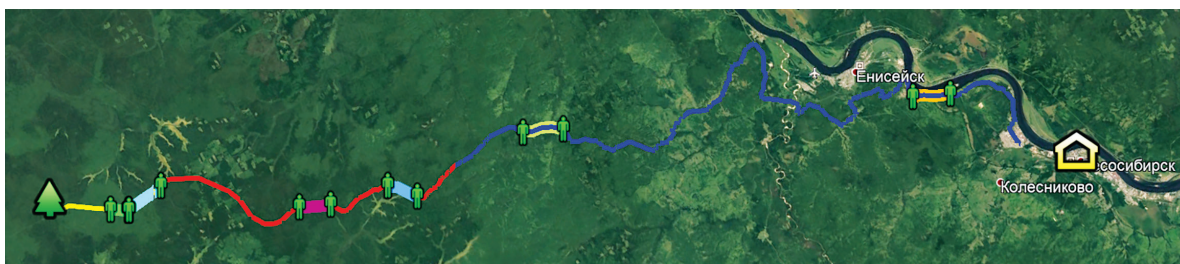


Рис. 2. Участки исследуемой дороги
Fig. 2. Sections of the studied road

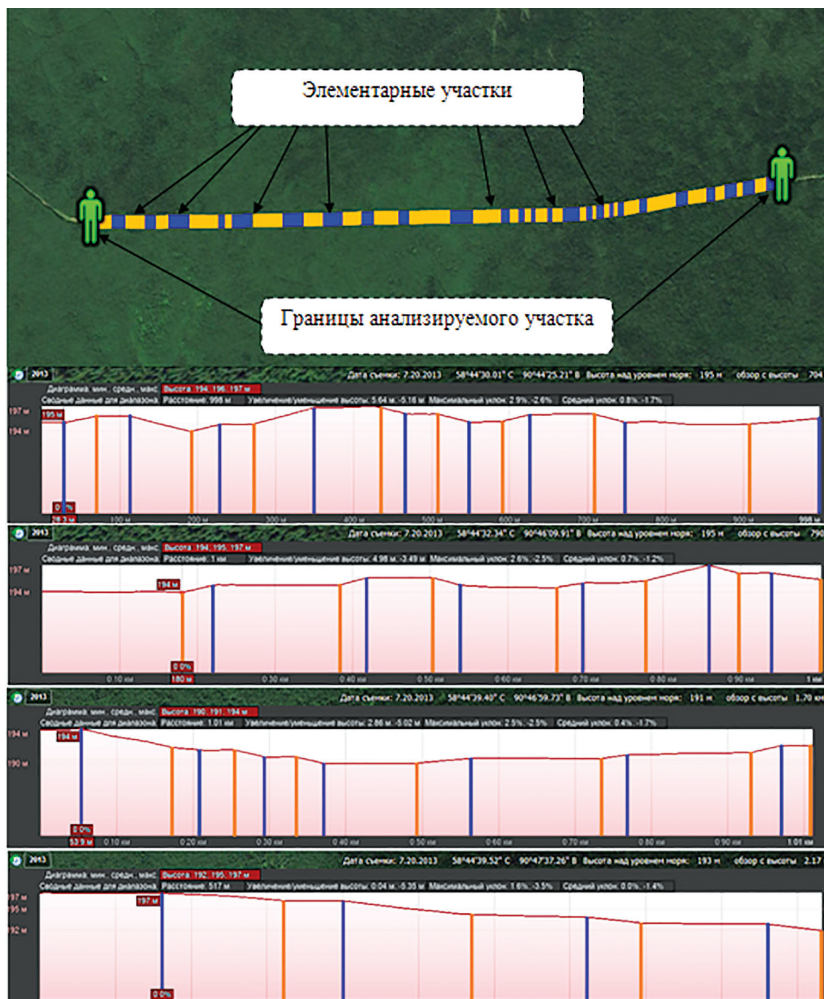


Рис. 3. План и продольный профиль участка № 2 с разделением на элементарные участки

Fig. 3. Plan and longitudinal profile of section No. 2 with subdivision to elementary sites

Т а б л и ц а 2

Координаты промежутков лесовозной дороги для проведения экспериментов

Intervals coordinates of the haulage road for carrying out experiments

Номер промежутка пути	Координаты			
	Начало промежутка		Конец промежутка	
	Широта	Долгота	Широта	Долгота
№1 (дорога без покрытия)	58°45'10.3"N	90°42'29.2"E	58°44'30.3"N	90°44'22.7"E
№2 (дорога без покрытия)	58°44'30.2"N	90°44'25.1"E	58°44'46.0"N	90°49'34.4"E
№3 (грунтовая дорога)	58°38'48.0"N	91°02'57.3"E	58°37'49.8"N	91°06'36.6"E
№4 (грунтовая дорога)	58°36'59.7"N	91°13'49.0"E	58°35'16.8"N	91°16'25.5"E
№5 (асфальтированная дорога)	58°35'17.3"N	91°31'47.7"	58°34'02.8"N	91°36'23.5"E
№6 (асфальтированная дорога)	58°23'38.2"N	92°15'29.1"E	58°22'26.9"N	92°19'45.7"E

Т а б л и ц а 3

Значения факторов для верификации модели

Values of factors for model verification

Параметр	Значение	Параметр	Значение	Параметр	Значение	Параметр	Значение
x_1	02	x_{12}	3	x_{18}	0	x_{26}	1,5
x_7	16	x_{13}	2,75	x_{20}	5	x_{27}	757
x_8	44	x_{14}	300	x_{21}	0,4	x_{28}	86
x_9	19	x_{15}	87	x_{22}	0	x_{29}	2
x_{10}	1	x_{16}	9	x_{24}	0	x_{30}	30
x_{11}	40	x_{17}	0,95	x_{25}	1	x_{31}	0,4

Т а б л и ц а 4

Фактическое и расчетное время движения лесовоза от верхнего склада

до пункта доставки груза по промежуткам пути № 1 — № 6

Actual and estimated time of the timber truck movement from the landing site to the point of delivery at intervals of the way No. 1 — No. 6

Номер промежутка пути	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	Весь путь № 1 + + № 2 + № 3 + + № 4 + № 5 + № 6
Длина участка, км	2,144	5,055	4,480	4,848	7,000	5,070	28,597
Фактическое время движения, мин	5,8	15,5	8,0	10,0	10,4	5,3	55,0
Расчетное время движения, мин (см. формулу (1))	6,4	15,0	7,2	8,5	8,5	5,7	51,3
Погрешность	-10,34	3,23	10,00	15,00	18,27	-7,55	6,73

Примечание. Погрешность рассчитывается по формуле: $100\% \text{ (фактическое время} - \text{расчетное время)} / \text{фактическое время}$.

Результаты и обсуждение

Сравнивая фактическое время движения лесовоза с грузом по пути от верхнего склада до пункта доставки древесины с расчетным временем, можно сделать вывод о том, что время доставки груза совпадает с некоторой погрешностью (табл. 4).

По всей длине пути расчетное время меньше факта всего на 6,73 %. Однако по экспериментальным участкам имеются различия в относи-

тельной погрешности по модулю: от минимума 3,23 % до максимума 18,27 %. Только на участках № 1 и № 6 расчетное время больше фактического значения, по остальным строкам табл. 4 наблюдается снижение расчетных значений по сравнению с экспериментальными значениями.

Анализ таких положительных и отрицательных отклонений от фактических данных может позволить выявить дополнительные условия и факторы, влияющие на скорость движения лесовоза с грузом.

Выводы

Сравнивая фактическое время движения лесовоза с грузом по пути от верхнего склада до пункта доставки древесины на всех промежутках пути с расчетным временем, можно сделать вывод о том, что общее время доставки груза меньше фактического значения всего на 7 %. Однако по участкам дороги разброс относительной погрешности наблюдается от 3,23 до 18,27 %.

Построенные многофакторные уравнения регрессии можно считать удовлетворительными, если погрешность сравнения фактических и расчетных показателей для технологических и экологических исследований не превышает 30 %. Таким образом, полученные результаты проверки многофакторной общей модели (1) с погрешностью 7 % можно считать достоверными. Достоверными также являются и относительные погрешности, полученные для шести экспериментальных участков пути. В дальнейшем необходимо выявить причины такого разброса расчетной скорости от фактической.

Для этого на одном элементарном участке пути вначале нужно проводить до 10...20 измерений с одним и тем же типом лесовоза, а затем вычислить погрешность измерений скорости движения лесовоза с грузом или без него.

Полученные результаты верификации важны с теоретической точки зрения, так как позволяют улучшить методики проведения экспериментов, причем относительная погрешность позволит ввести дополнительные условия и факторы. Погрешность расчета времени будущего рейса лесовоза с грузом, а затем и без него, даст возможность достоверно планировать деятельность различных транспортных предприятий, вовлеченных в лесозаготовительный процесс. В итоге ожидается повышение производительности труда водителей, работающих в этой среде.

Список литературы

[1] Grigorev I.V., Khitrov E.G., Kalistratov A.V., Stepanishcheva M.V. Dependence of filtration coefficient of forest soils to its density // Proc. of the 14th Int. Multidisciplinary Sci. Geoconferences, v. 2 «Water Resources. Marine and Ocean Ecosystems», 16–26 June 2014, Albena, Bulgaria, pp. 339–344

[2] Mokhirev A., Ryabova T., Pozdnyakova M. Comprehensive evaluation of technological measures for increasing availability of wood resources // J. Applied Engineering Science, 2018, no. 16 (4), pp. 565–569. DOI: 10.5937/jaes16-18842

[3] Henningsson M., Karlsson J., Rönnqvist M. Optimization models for forest road upgrade planning // J. Mathematical Models and Algorithms, 2007, no. 6(1), pp. 3–23.

[4] Tromborg E. Economic and environmental impacts of transport cost changes on timber and forest product markets in Norway // Scandinavian J. Forest Research, 2009, no. 24 (4), pp. 354–366.

[5] Морозов Е.В., Шегельман И.Р. О применении вероятностного моделирования для анализа некоторых технологических процессов лесозаготовок // Глобальный научный потенциал, 2011. № 9. С. 67–71.

[6] Демаков Д.В. Анализ исследований в области моделирования технологических процессов лесозаготовок // Перспективы науки, 2012. № 9 (36). С. 98–100.

[7] Lan C., Menendez M. Truck speed profile models for critical length of grade // J. Transp. Eng., 2003, no. 129(4), pp. 408–419. JTRPEDI, 0733-947X. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-947X(2003)129:4(408)

[8] Мельник М.А., Волкова Е.С. Сезонная дифференциация опасных и неблагоприятных природных явлений для сферы лесопользования Томской области // Вестник СГУГиТ, 2019. Т. 24. № 2. С. 229–237. DOI: 10.33764/2411-1759-2019-24-2-229-237

[9] Козлов В.Г. Методы, модели и алгоритмы проектирования лесовозных автомобильных дорог с учетом влияния климата и погоды на условия движения: дис. ... д-ра техн. наук. Архангельск: Изд-во САФУ, 2017. 406 с.

[10] Мохирев А.П., Рукомойников К.П., Мазуркин П.М. Анализ факторов, влияющих на скорость автолесовозов // Успехи современного естествознания. 2020. № 11. С. 20–25. DOI: 10.17513/uese.37509

[11] Скрыпник В.И., Кузнецов А.В., Баклагин В.Н. Анализ и расчет параметров движения лесовозных автопоездов // Тр. лесоинженерного факультета ПетрГУ, 2010. № 8. С. 140–143.

[12] Сивков Е.Н., Скрыпников А.В., Чернышова Е.В. Условия движения по лесовозным дорогам. // Сб. материалов науч.-практ. конф. по научной теме института «Разработка научных основ и практические рекомендаций по переводу лесосырьевой базы Республики Коми на инновационную интенсивную модель расширенного воспроизводства на 2015–2020 годы», Сыктывкар, Сыктывкарский лесной институт, 28–30 ноября 2017 г. / под ред. Е.В. Хохловой. Сыктывкар: Изд-во Сыктывкарский лесной институт, 2017. С. 19–23.

[13] Коваленко Т.В., Коточигов М.В. Использование климатической информации для организации транспортного освоения лесных массивов // Технология и оборудование лесопромышленного комплекса. СПб: СПбГЛТУ, 2013. № 6. С. 104–108.

[14] Скрыпников А.В., Кондрашова Е.В., Скворцова Т.В., Дорохин С.В. Влияние условий движения на скоростные режимы транспортных потоков при вывозке древесины // Современные наукоемкие технологии, 2014. № 4. С. 153.

[15] Sun X., He Y., Wang S., Wang Y. Characteristics of operating speed for proper speed limit // ICCTP 2010: Integrated Transportation Systems: Green, Intelligent, Reliable – Proceedings of the 10th International Conference of Chinese Transportation Professionals, ICCTP 2010. China: Beijing, 2010, pp. 1678–1689.

[16] Мохирев А.П., Рукомойников К.П., Мазуркин П.М. Многофакторное влияние природно-производственных условий на скорость движения автолесовозов // Системы. Методы. Технологии. 2020. № 4 (48). С. 88–96. DOI: 10.18324/2077-5415-2020-4-88-96

[17] Mazurkin P.M. Method of identification // 14th Int. Multidisciplinary Sci. GeoConference SGEM 2014, book 6, v. 1, pp. 427–434. DOI: 10.5593/SGEM2014/B61/S25.059

[18] Мазуркин П.М., Сафин Р.Г., Просвирников Д.Б. Статистическое моделирование процессов деревообработки. Казань: Изд-во КНИТУ, 2014. 290 с.

[19] Zverev G.I., Menshikh V.V. Optimizing the selection of combination of alternative functions of ergatic system multifunctional elements // J. Physics: Conference Series, 2020, v. 1479, p. 012062. DOI:10.1088/1742-6596/1479/1/012062.

[20] Velázquez-Martí B, Annevelink E. GIS application to define biomass collection points as sources for linear programming of delivery networks // Transactions of the ASABE, 2009, no. 52 (4), pp. 1069–1078.

[21] Мазуркин П.М. Биотехнический закон и виды факторных связей // Успехи современного естествознания, 2009, № 9. С. 152–156.

Сведения об авторах

Мохирев Александр Петрович — канд. техн. наук, доцент кафедры технологии лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств Лесосибирского филиала ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», ale-mokhirev@yandex.ru

Рукомойников Константин Павлович — д-р техн. наук, профессор кафедры лесопромышленных и химических технологий института леса и природопользования ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», rukomojnikovkr@volgatech.net.

Мазуркин Петр Матвеевич — д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой природообустройства Института строительства и архитектуры ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», kaf_po@mail.ru

Брагина Наталья Александровна — студент Лесосибирского филиала ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», bragina.n.a@mail.ru

Поступила в редакцию 02.12.2020.

Принята к публикации 15.01.2021.

VERIFICATION OF TIMBER CARRIERS SPEED MODELS MOVEMENT DEPENDING ON NATURAL AND PRODUCTION FACTORS

A.P. Mokhirev¹, K.P. Rukomojnikov², P.M. Mazurkin², N.A. Bragina¹

¹Lesosibirsk Branch of Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, 29, Pobeda st., 662543, Lesosibirsk, Krasnoyarsk region, Russia

²Volga State University of Technology, 3, Lenin sq., 424000, Yoshkar-Ola, Republic Of Mari El, Russia

ale-mokhirev@yandex.ru

One of the key production parameters of the forest transport process is the speed of movement of timber carriers when removing wood from the upper warehouse. This speed determines the maximum possible volume of prepared and exported wood. Many natural and industrial factors affect the speed of a timber truck. The speed of transport depends on the traffic conditions on the roads, which are significantly complicated by adverse weather events. Scientists have identified laws in changing the speed modes of moving vehicles based on practical observations of individual road sections. To identify the dependence of the speed of a logging truck on 31 factors under consideration, 162 observations were made on measurements of the speed of logging trucks in various natural and industrial conditions. Mathematical models have been developed for calculating the speed of a logging vehicle, taking into account natural and industrial factors. Verification of the obtained nonlinear and wave regression models is the goal of this article. To verify the models, an additional experiment was carried out to compare the calculated models of speed modes of timber carriers with the actual ones. During the experiment, we used data on the speed of a logging truck when transporting wood from the upper warehouse in the cutting area to the raw material warehouse of a wood processing enterprise on the territory of the Yenisei forest district of the Krasnoyarsk territory. The logging road was divided into six sections, each of which was divided into elementary sections by slopes. At each section, the parameters that affect the speed of the timber carrier were determined using previously identified multi-factor equations, and the estimated time of cargo delivery by the timber carrier to the destination was obtained. Comparing the actual travel time with the calculated one based on previously identified equations for a timber truck with cargo on the way from the upper warehouse to the point of wood delivery, it was found that the estimated time of cargo delivery coincides with the actual one with an error of 7 %, and this is an acceptable norm (less than 30 %) for technological processes. Thus, the obtained results of testing multi-factor models can be considered reliable.

Keywords: timber truck speed, estimated and actual time, multivariate models, verification

Suggested citation: Mokhirev A.P., Rukomojnikov K.P., Mazurkin P.M., Bragina N.A. *Verifikatsiya eksperimentami modeley skorosti dvizheniya lesovozov v zavisimosti ot prirodno-proizvodstvennykh faktorov* [Verification of timber carriers speed models movement depending on natural and production factors]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 2, pp. 108–115. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-2-108-115

References

- [1] Grigorev I.V., Khitrov E.G., Kalistratov A.V., Stepanishcheva M.V. Dependence of filtration coefficient of forest soils to its density. Proc. of the 14th Int. Multidisciplinary Sci. Geoconferences, v. 2 «Water Resources. Marine and Ocean Ecosystems», 16–26 June 2014, Albena, Bulgaria, pp. 339–344
- [2] Mokhirev A., Ryabova T., Pozdnyakova M. Comprehensive evaluation of technological measures for increasing availability of wood resources. *J. Applied Engineering Science*, 2018, no. 16 (4), pp. 565–569. DOI: 10.5937/jaes16-18842
- [3] Henningsson M., Karlsson J., Rönnqvist M. Optimization models for forest road upgrade planning. *J. Mathematical Models and Algorithms*, 2007, no. 6(1), pp. 3–23.

- [4] Tromborg E. Economic and environmental impacts of transport cost changes on timber and forest product markets in Norway. *Scandinavian J. Forest Research*, 2009, no. 24 (4), pp. 354–366.
- [5] Morozov E.V., Shegel'man I.R. *O primeneni veroyatnostnogo modelirovaniya dlya analiza nekotorykh tekhnologicheskikh protsessov lesozagotovok* [On the use of probabilistic modeling for the analysis of some technological processes of logging]. *Global'nyy nauchnyy potentsial* [Global scientific potential], 2011, no. 9, pp. 67–71.
- [6] Demakov D.V. *Analiz issledovaniy v oblasti modelirovaniya tekhnologicheskikh protsessov lesozagotovok* [Analysis of research in the field of modeling of technological processes of logging]. *Perspektivy nauki* [Prospects for science], 2012, no. 9 (36), pp. 98–100.
- [7] Lan C., Menendez M. Truck speed profile models for critical length of grade. *J. Transp. Eng.*, 2003, no. 129(4), pp. 408–419. JTPEDI, 0733-947X. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-947X(2003)129:4(408)
- [8] Mel'nik M.A., Volkova E.S. *Sezonnaya differentsiatsiya opasnykh i neblagopriyatnykh prirodnykh yavleniy dlya sfery lesopol'zovaniya Tomskoy oblasti* [Seasonal differentiation of dangerous and unfavorable natural phenomena for the forest management of the Tomsk region]. *Vestnik SGUGiT* [Bulletin of SSUGiT], 2019, v. 24, no. 2, pp. 229–237. DOI: 10.33764 / 2411-1759-2019-24-2-229-237
- [9] Kozlov V.G. *Metody, modeli i algoritmy proektirovaniya lesovoznykh avtomobil'nykh dorog s uchetom vliyaniya klimata i pogody na usloviya dvizheniya* [Methods, models and algorithms for the design of timber transport roads taking into account the influence of climate and weather on traffic conditions]. *Dis. ... Dr. Sci. (Tech.)*. Arkhangel'sk: NArFU, 2017, 406 p.
- [10] Mokhiev A., Rukomojnikov K.P., Mazurkin P.M. *Analiz faktorov, vliyayushchih na skorost' avtolesovozov* [Analysis of the factors affecting the speed of autolease]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Successes of modern science]. 2020. № 11. С. 20-25. DOI: 10.17513/use.37509
- [11] Skrypnik V.I., Kuznetsov A.V., Baklagin V.N. *Analiz i raschet parametrov dvizheniya lesovoznykh avtopoezdov* [Analysis and calculation of the parameters of the movement of timber road trains]. *Trudy lesoinzhenernogo fakul'teta PetrGU* [Proceedings of the forest engineering faculty of PetrSU], 2010, no. 8, pp. 140–143.
- [12] Sivkov E.N., Skrypnikov A.V., Chernyshova E.V. *Usloviya dvizheniya po lesovoznym dorogam* [Traffic conditions on timber roads]. *Sbornik materialov nauchno-prakticheskoy konferentsii po nauchnoy teme instituta «Razrabotka nauchnykh osnov i prakticheskikh rekomendatsiy po perevodu lesosyr'evoy bazy Respubliki Komi na innovatsionnyuyu intensivnyuyu model' rasshirennoy proizvodstva na 2015–2020 gody»* [Collection of materials of the scientific and practical conference on the scientific theme of the institute «Development of scientific foundations and practical recommendations for the transfer of the forest resource base of the Komi Republic to an innovative intensive model of expanded reproduction for 2015–2020»]. Syktyvkar, Syktyvkar Forest Institute, November 28–30, 2017. Ed. E.V. Khokhlova. Syktyvkar: SLI, 2017, pp. 19–23.
- [13] Kovalenko T.V., Kotochigov M.V. *Ispol'zovanie klimaticheskoy informatsii dlya organizatsii transportnogo osvoeniya lesnykh massivov* [The use of climatic information for the organization of transport development of forest tracts]. *Tekhnologiya i oborudovanie lesopromyshlennogo kompleksa* [Technology and equipment of the timber industry complex]. St. Petersburg: SPbGLTU, 2013, iss. 6, pp. 104–108.
- [14] Skrypnikov A.V., Kondrashova E.V., Skvortsova T.V., Dorokhin S.V. *Vliyanie usloviy dvizheniya na skorostnye rezhimy transportnykh potokov pri vyvozke drevesiny* [Influence of traffic conditions on high-speed modes of traffic flows during wood transportation]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii* [Modern science-intensive technologies], 2014, no. 4, p. 153.
- [15] Sun X., He Y., Wang S., Wang Y. Characteristics of operating speed for proper speed limit. *ICCTP 2010: Integrated Transportation Systems: Green, Intelligent, Reliable — Proceedings of the 10th International Conference of Chinese Transportation Professionals, ICCTP 2010*. China: Beijing, 2010, pp. 1678–1689.
- [16] Mokhiev A., Rukomojnikov K.P., Mazurkin P.M. *Mnogofaktornoe vliyanie prirodno-proizvodstvennykh usloviy na skorost' dvizheniya avtolesovozov* [Multifactorial influence of natural and industrial conditions on the speed of logging trucks]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii*. [The system. Methods. Technologies.], 2020. no. 4 (48). pp. 88-96. DOI: 10.18324/2077-5415-2020-4-88-96
- [17] Mazurkin P.M. Method of identification. *14th Int. Multidisciplinary Sci. GeoConference SGEM–2014*, book 6, v. 1, pp. 427–434. DOI: 10.5593/SGEM2014/B61/S25.059
- [18] Mazurkin P.M., Safin R.G., Prosvirnikov D.B. *Statisticheskoe modelirovanie protsessov derevoobrabotki* [Statistical modeling of woodworking processes]. Kazan: KNITU, 2014, 290 p.
- [19] Zverev G.I., Menshikh V.V. Optimizing the selection of combination of alternative functions of ergatic system multifunctional elements. *J. Physics: Conference Series*, 2020, v. 1479, p. 012062. DOI:10.1088/1742-6596/1479/1/012062.
- [20] Velázquez-Martí B, Annevelink E. GIS application to define biomass collection points as sources for linear programming of delivery networks. *Transactions of the ASABE*, 2009, no. 52 (4), pp. 1069–1078.
- [21] Mazurkin P.M. *Biotekhnicheskyy zakon i vidy faktornykh svyazey* [Biotechnical law and types of factor relationships]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Successes of modern natural science], 2009, no. 9, pp. 152–156.

Authors' information

Mokhiev Aleksandr Petrovich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Department Of Technology of logging and wood processing industries of the Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, ale-mokhiev@yandex.ru

Rukomojnikov Konstantin Pavlovich — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the Department of Forestry and chemical technologies of the Institute of forest and nature management, Volga State University of Technology, rukomojnikovkp@volgatech.net.

Mazurkin Petr Matveevich — Dr. Sci. (Tech.), Professor, Head of Department of Environmental management at the Institute of construction and architecture of the Volga State University of Technology, kaf_po@mail.ru

Bragina Natal'ya Aleksandrovna — Student of the Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, bragina.n.a@mail.ru

Received 02.12.2020.

Accepted for publication 15.01.2021.