УДК 630*311:004.4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕАЛЬНОЙ ВЕЛИЧИНЫ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ПУТИ НА ВЫВОЗКЕ ДРЕВЕСИНЫ В РАЗЛИЧНЫХ ПРИРОДНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ

¹Мохирев А.П., ¹Позднякова М.О., ²Рукомойников К.П.

¹Лесосибирский филиал ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий им. М.Ф. Решетнева», Лесосибирск, e-mail: ale-mokhirev@yandex.ru;

²Поволжский государственный технологический университет, Йошкар-Ола, e-mail: rukomojnikovkp@volgatech.net

Исследование представляет собой анализ практических данных о движении лесовозного транспорта в различных природно-климатических и производственных условиях, таких как рельеф местности, метеорологические явления, сезонность (период года), дорожные условия, уровень удобства движения автотранспорта. На основании имеющейся информации выведены зависимости величины пропускной способности от рассмотренных факторов. Рассмотрены основные способы определения пропускной способности на практике, принятые в современной теории эффективной логистики. Исследовано понятие скорости движения автомобилей как базового показателя в определении пропускной способности, а также влияние на скорость приведенных факторов. На основании проведенного исследования выявлены ключевые группы факторов, оказывающих влияние на изменение величины пропускной способности. Авторами разработана и обоснована оптимальная классификация сезонов года, определяющих величину пропускной способности, основанная на совокупности схожих природно-климатических условий. Отдельно выделены и рассмотрены сущность и влияние метеорологических явлений, а также понятие их последствия как важного фактора изменения пропускной способности пути. Приведена классификация метеорологических явлений по степени опасности для дорожного движения. Установлены зависимости между применяемыми типами дорожного покрытия и влиянием различных факторов на изменение пропускной способности пути. Также исследование охватывает не природные факторы, такие как уровень загрузки дороги, плотность потока. Отдельное внимание уделяется взаимному влиянию автотранспортных средств, предложены методы его расчета на практике. Установлены основные показатели оптимальных значений этих факторов. Выведен уровень влияния, оказываемого на пропускную способность лесовозной дороги различными группами факторов.

Ключевые слова: пропускная способность пути, транспортировка леса, природно-климатические условия, дорожные условия, сезонность, лесовозная дорога

DETERMINATION OF THE ACTUAL CAPACITY OF THE ROAD FOR WOOD REMOVAL IN VARIOUS NATURAL AND PRODUCTION CONDITIONS

¹Mokhirev A.P., ¹Pozdnyakova M.O., ²Rukomojnikov K.P.

¹Lesosibirsk Branch of Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Lesosibirsk, e-mail: ale-mokhirev@yandex.ru;

²Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, e-mail: rukomojnikovkp@volgatech.net

The study is an analysis of practical data on the movement of timber transport in various climatic and industrial conditions, such as: terrain, meteorological phenomena, seasonality (period of the year), road conditions, the level of convenience of motor transport. Based on the available information, the dependencies of the throughput value on the factors considered are derived. The main methods of determining throughput in practice, adopted in the modern theory of effective logistics, are considered. The concept of car speed as a basic indicator in determining the capacity, as well as the influence of these factors on the speed, is studied. Based on the conducted research, the key groups of factors that influence the change in the amount of throughput are identified. The authors developed and justified the optimal classification of seasons that determine the amount of throughput, based on a set of similar natural and climatic conditions. The essence and influence of meteorological phenomena, as well as the concept of their aftereffect as an important factor in changing the capacity of the path, are highlighted and considered separately. The classification of meteorological phenomena according to the degree of danger to road traffic is given. The relationships between the types of road surface used and the influence of various factors on the change in the capacity of the path are established. The study also covers non-natural factors, such as the level of traffic congestion and traffic density. Special attention is paid to the mutual influence of motor vehicles, and methods of calculating it in practice are proposed. The main indicators of optimal values of these factors are established. The level of influence exerted on the capacity of a logging road by various groups of factors is derived.

Keyword: track capacity, forest transportation, natural and climatic conditions, road conditions, seasonality, logging road

Для отечественной лесозаготовительной промышленности остро стоит вопрос транспортировки заготовленной древесины. Основными причинами этому служат большие территории лесного фонда и слабая развитость инфраструктуры.

При транспортировке древесины с лесосеки к месту ее потребления (сбыта или переработки) логистическая задача состоит в подборе наиболее экономически эффективного сценария доставки леса. В зависимости от различных факторов задача

транспортировки одного и того же объема леса от лесосеки до пункта сбыта может иметь различные решения. Такими факторами выступают: природно-климатические и производственно-технологические условия лесозаготовки.

Обязательным условием (законом) выбора маршрута перевозки леса является достаточная пропускная способность пути. Пропускная способность пути выражает количество груза или число единиц транспорта, которое можно пропустить через данный участок в единицу времени при определенных технических характеристиках пути и принятой организации движения. Данный показатель является ключевым при решении задачи нахождения оптимального варианта транспортировки древесины.

На практике расчет величины пропускной способности связан с множеством различных показателей и является сложной задачей. В современной литературе приняты различные методы определения величины реальной пропускной способности пути, учитывающие внешние условия [1–3]. Анализ таких методов показывает их теоретический подход, проявляющийся в сложности вычислений и отсутствии комплексности в учете факторов, оказывающих влияние на изменение пропускной способности.

Таким образом, целью представленного исследования стало определение зависимости величины пропускной способности пути (автомобильных дорог) от природно-производственных условий. В рамках работы авторами был выполнен ряд задач: определение перечня факторов, влияющих на пропускную способность; определение дополнительных неявных условий, возникающих в процессе транспортировки; расчет влияния условий на величину пропускной способности пути; выведение факторов и условий, оказывающих ключевое влияние на пропускную способность пути.

Материалы и методы исследования

Скорость движения транспорта является одним из базовых условий расчета пропускной способности. Согласно «Справочной энциклопедии дорожника» [1] скорость движения транспорта по автомобильным дорогам на вывозке древесины должна регулироваться в зависимости от характера рельефа местности и погодных условий.

Таким образом, сложный характер рельефа местности и погодные условия на участке пути могут снизить расчётную

скорость движения в 2 раза по сравнению с оптимальными условиями.

Погодные условия как совокупность всех метеорологических явлений проявляются в различных наблюдаемых атмосферных процессах и в их последствиях. Последствием называют состояние окружающей среды, вызванное метеорологическими явлениями и проявляющееся в изменении каких-либо показателей (например, влажность дорожного покрытия). Продолжительность последствий – это время, в течение которого показатели окружающей среды полностью возвращаются к исходным величинам. Такие данные получают при помощи практических наблюдений, информации метеорологических станций и специального оборудования, установленного на лесовозных автомобилях.

Для различных технических и экономических расчетов транспортных процессов, таких как расход топлива, фактическая скорость движения, себестоимость вывозки и т.д., необходима информация о погодных явлениях и их последствиях. В «Справочной энциклопедии водителя» [1] предложена формула для определения продолжительности последствий метеоявлений:

$$T_i = \lambda_{\text{л}} D_{\text{л}} + \lambda_{\text{о-в}} D_{\text{о-в}} + \lambda_3 D_3, \quad (1)$$

где $\lambda_{\text{л}}, \lambda_{\text{о-в}}, \lambda_3$ – коэффициенты длительности сухого, мокрого, заснеженного, снежного наката состояний (гололеда); $D_{\text{л}}, D_{\text{о-в}}, D_3$ – продолжительность периодов в природно-климатической зоне (летнего, осенне-весеннего, зимнего), суток.

Совместное влияние климатических факторов, технического уровня, качества содержания дороги, интенсивности движения учитывает коэффициент K_i .

Состояние покрытия дороги, его качественные характеристики существенно отличаются в различные периоды года. В зависимости от характеристик дороги, интенсивности движения автомобилей, качества ремонта и содержания дорог и, конечно, метеорологических условий неудовлетворительное состояние может проявляться в отдельных местах (пятнах) или по всей ширине и протяженности дороги.

Коэффициент взаимного влияния метеорологических факторов на скорость движения по эталонной дороге разделяется на следующие уровни опасности: малоопасный ($K_{\text{рс}} = 1,0-0,75$), опасный ($K_{\text{рс}} = 0,75-0,5$), очень опасный ($K_{\text{рс}} < 0,5$). В табл. 1 представлены показатели основных метеорологических условий при различных уровнях опасности метеоявлений.

Таблица 1

Показатели метеорологических элементов при различных уровнях опасности метеоявлений

Показатель	Величина при уровне опасности метеоявлений		
	малоопасные $K_{pc} = 1,00-0,75$	опасные $K_{pc} = 0,75-0,50$	очень опасные $K_{pc} < 0,50$
Скорость ветра, м/с	0–3,00	3,00–9,00	Более 9,00
Коэффициент сцепления с дорогой при снежном накате и гололеде	–	0,40–0,20	Менее 0,2
Интенсивность осадков: дождь, мм/мин снегопад, мм/ч	– –	Менее 0,20 Менее 0,10	Более 0,20 Более 0,10
Дальность видимости при тумане, м	750,00–500,00	500,00–200,00	Менее 200,00
Скорость ветра, м/с	0–10,00	10,00–20,00	Более 20,00
Температура воздуха, °С положительная отрицательная	0–30,00 10,00–30,00	30,00–40,00 0–10,00	Более 40,00 Ниже 40,00
Относительная влажность воздуха, %	50,00–90,00	90,00–100,00	–

Гололед на степень опасности движения оказывает наибольшее влияние, поскольку при данном состоянии коэффициент сцепления снижается до критических значений и на гладких покрытиях практически парализует движение транспорта.

Таким образом, для учета всех дорожных и метеорологических факторов вводится понятие «практическая пропускная способность» – это число единиц автомобильного транспорта, которое может пройти через участок дороги в реальных условиях.

В работе [4] для определения практической пропускной способности автомобильных дорог предложена формула:

$$P = B \cdot P_{\max}, \quad (2)$$

где B – итоговый коэффициент снижения пропускной способности. Данный показатель колеблется от 0,3 до 1,0 и определяется произведением различных коэффициентов, учитывающих характеристики и параметры дорожных условий.

На лесовозных автомобильных (особенно однополосных) при движении тяжелых большегрузных автомобилей на пропускную способность большое влияние оказывает плотность транспортного потока, при этом значительно снижается скорость движения.

Авторами предложено разделить год на пять периодов, при которых на транспортные характеристики природно-климатические значения имеют различные влияния: зимний, зимне-весенний, весенний, летний, осенний [5; 6]. Данное разделение справедливо для природно-климатических

условий Красноярского края, на территории которого проводятся исследования. Величина пропускной способности наиболее заметно снижается в зимне-весенний, весенний периоды.

Взаимное влияние автотранспортных средств также является фактором изменения пропускной способности [7]. Оно существенно колеблется в зависимости от состояния дорожного покрытия и метеоусловий (рис. 1).

Учет взаимного влияния автотранспорта на дороге для расчета пропускной способности автомобильной дороги предложен в формуле А.П. Васильева [1]:

$$P_{\text{сез}} = \psi \cdot \alpha \cdot \bar{V}_{\text{се}} \cdot q_{\max}, \quad (3)$$

где ψ – коэффициент, учитывающий движение автомобилей по встречной (равен 0,7–0,9) или по соседней (равен 0,8–0,9) полосе при многополосной дороге; α – коэффициент, который показывает влияние метеорологических и дорожных условий; $\bar{V}_{\text{се}}$ – средняя скорость движения автомобилей в определенных метеорологических и дорожных условиях; $q_{\max}$ – максимальное количество автомобилей на 1 км пути (плотность потока).

Коэффициент плотности автомобильного потока α определяется по формуле:

$$\alpha = 0,65 - 0,00425 \cdot V_{\text{ф.макс}}, \quad (3.1)$$

где $V_{\text{ф.макс}}$ – максимальная скорость движения автомобильного транспорта в определенных метеорологических и дорожных условиях.

Рис. 1. Изменение взаимного влияния автотранспортных средств в зависимости от дорожных условий

Уровень загрузки дороги в текущем периоде определяют как отношение интенсивности движения автотранспорта $N_{\text{сез}}^n$ (авт./ч) к количеству полос движения на дороге n :

$$Z = \frac{N_{\text{сез}}^n}{P_{\text{сез}} \cdot n} \quad (4)$$

Однако в случаях, когда средняя скорость свободного движения автотранспорта превышает 60 км/ч, пропускную способность рекомендуется не рассчитывать, а принимать исходя из следующих соотношений (рис. 2).

Рис. 2. Принимаемая пропускная способность дорог, автомобилей в час

Коэффициенты сезонных колебаний интенсивности движения $K_{\text{сез}}^n$ (усредненные) можно определить по среднегодовой интенсивности движения на участке (табл. 2). Это актуально при ограниченной информации практических наблюдений.

Таблица 2
Значения коэффициента $K_{\text{сез}}^n$ по сезонам года

Категория дороги	Сезон года			
	лето	осень	зима	весна
I и II	1,00	1,10–1,40	0,70–1,00	0,80–0,90
III, IV, и V	1,00	1,20	1,00	0,80

В этом случае уровень загрузки можно рассчитать по формуле:

$$Z = \frac{K_{\text{сез}}^n \cdot N_{\text{ср.год}}}{P_{\text{сез}} \cdot n} \quad (5)$$

При неблагоприятных метеорологических условиях величина пропускной способности дороги может значительно снижаться (относительно эталонных условий). В связи с этим расчетные транспортный поток и уровень загрузки могут значительно различаться в зависимости от сезона года при равных условиях интенсивности движения. На основании этого можно для различных сезонов года и категорий дорог определить допустимую интенсивность движения (табл. 3).

На основании проведенного исследования можно собрать совокупность факторов, оказывающих влияние на изменение пропускной способности лесовозной дороги (рис. 3).

Результаты исследования и их обсуждение

Исходя из описанных в табл. 1–3 зависимостей, выведен уровень влияния, оказываемого на пропускную способность лесовозной дороги различными группами факторов (табл. 4).

Таблица 3

Допустимая интенсивность движения в различные сезоны года и категории

Характеристика дороги	Расчётная интенсивность движения в двух направлениях при уровне загрузки 0,5–0,7 авт./ч		
	летом	в переходные периоды	зимой
II категория: ширина проезжей части 7,5 м с укрепленными обочинами или краевыми полосами	1300,00	1100,00	1000,00
ширина проезжей части 7,5 м без укрепленных обочин и краевых полос	1200,00	900,00	800,00
III категория: ширина проезжей части 7,0 м с укрепленными обочинами и краевыми полосами	1200,00	1000,00	850,00
ширина проезжей части 7,0 м без укрепленных обочин и краевых полос	1000,00	750,00	650,00
IV категория: ширина проезжей части 6,0 м с укрепленными обочинами и краевыми полосами	1000,00	800,00	600,00
ширина проезжей части 6,0 м без укрепленных обочин и краевых полос	800,00	600,00	400,00

Рис. 3. Диаграмма причин изменения уровня пропускной способности

Таблица 4

Уровень влияния, оказываемого на пропускную способность лесовозной дороги различными группами факторов

Рельеф местности		Метеорологические явления		Сезонность (период)		Дорожные условия		Уровень удобства движения	
равнинный	1,0	температура воздуха	0,96	осенний	0,27	тип дороги	1,10	состояние потока	0,98
горный	0,47	ветер	0,95	зимний	1,35	состояние покрытия	0,0	загрузка дороги	0,70
		влажность воздуха	0,99	летний	1,22				
		туман	0,30	зимне-весенний	0,45				
		метель	0,32	весенний	0,32				
		осадки	0,79						

Факторы, имеющие значение 1,00, не оказывают искажающее действие на величину пропускной способности, рассчитанную для идеальных условий (исключающих влияние всех внешних факторов).

Если значение фактора находится в пределах от 0,00 до 1,00, его искажающее действие снижает пропускную способность дороги. Среди таких факторов самыми сильными являются осенний и весенний периоды года – в это время пропускная способность некоторых дорог опускается до нулевых показателей (дорога не действует). Также значительное влияние оказывают метеоявления, такие как туман и метель.

Однако такое разделение не может считаться абсолютным, поскольку величина влияния отдельного фактора на уровень пропускной способности пути должна рассчитываться относительно смоделированных идеальных условий (когда исключено влияние всех остальных факторов). При этом имеющиеся практические данные представляют собой результат одновременного влияния всех групп факторов.

Заключение

Таким образом, самая существенная группа факторов – это сезонность, то есть период года. Внутри этой группы факторов наиболее значимые – зимний (увеличивающий) и весенний (уменьшающий) периоды. Сопоставимое по величине влияние оказывают осадки и температура воздуха из группы метеоявлений. Существенно снижает пропускную способность уровень загрузки дороги.

С увеличением категории (типа) автодороги снижается пропускная способность, однако важную роль играет состояние покрытия дороги в настоящий момент [8].

Немаловажным является понимание об управляемых и неуправляемых факторах. Сезонность, метеоявления, рельеф местности являются базовыми природно-климатическими условиями и не могут быть изменены под требования лесозаготовительного производства. С другой стороны, тип автодороги, качество и состояние покрытия, а также уровень загрузки могут изменяться для достижения максимальной эффективности от использования данного маршрута.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, Правительства Красноярского края, Краевого фонда науки и ООО «Красресурс 24» в рамках науч-

ного проекта № 20-410-242901 и в рамках проекта «Разработка фундаментальных основ проектирования лесной инфраструктуры как динамически изменяемой системы в условиях деятельности лесозаготовительного производства», № 19-410-240005, поддержанного за счет средств целевого финансирования, предоставленного РФФИ, Правительством Красноярского края и Краевым фондом науки.

Список литературы / References

1. Справочная энциклопедия дорожника. II том. Ремонт и содержание автомобильных дорог / Под ред. А.П. Васильева. М., 2004. [Электронный ресурс]. URL: <https://docplan.ru/Data1/51/51537/index.htm> (дата обращения: 21.05.2020).
2. Reference encyclopedia of road builders. Volume II. Repair and maintenance of highways / ed. by A.P. Vasiliev. M., 2004. [Electronic resource]. URL: <https://docplan.ru/Data1/51/51537/index.htm> (date of access: 21.05.2020) (in Russian).
3. Сушков С.И., Бурмистрова О.Н. Обоснование методики управления качеством дорожных покрытий // Строительные и дорожные машины. 2019. № 2. С. 43–46.
4. Sushkov S.I., Burmistrova O.N. Substantiation of the methodology of road surface quality management // Stroitel'nyye i dorozhnyye mashiny. 2019. № 2. P. 43–46 (in Russian).
5. Бурмистрова О.Н., Черников Э.А., Пильник Ю.Н., Чемшикова Ю.М. К вопросу совершенствования транспортных грузопотоков лесоматериалов в условиях интеллектуальных транспортных систем // Лесотехнический журнал. 2018. Т. 8. № 3 (31). С. 131–138. DOI: 10.12737/article_5b97a15c4ef7d3.26143418.
6. Burmistrova O.N., Chernikov E.A., Pilnik Yu.N., Ham-sikova Y.M. To the question of improving the transport of timber flows in intelligent transport systems // Lesotekhnicheskii zhurnal. 2018. Vol. 8. № 3 (31). P. 131–138 (in Russian).
7. Сильянов В.В., Алиев А.А. Повышение безопасности движения и пропускной способности автодорожных мостов // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. 2007. № 5. С. 39–42.
8. Silyanov V.V., Aliev A. A. Improving traffic safety and capacity of road bridges // Transport: nauka, tekhnika, upravleniye. Nauchnyy informatsionnyy sbornik. 2007. № 5. P. 39–42 (in Russian).
9. Мохирев А.П., Позднякова М.О., Гудень Т.С. Оптимизация маршрутов транспортировки древесины с лесосеки с учетом сезонности грузоперевозок // Системы. Методы. Технологии. 2018. № 4 (40). С. 132–140. DOI: 10.18324/2077-5415-2018-4-132-140.
10. Mokhirev A.P., Pozdnyakova M.O., Guden T.S. Optimization of routes for transporting wood from the cutting area taking into account the seasonality of cargo transportation // Sistemy. Metody. Tekhnologii. 2018. № 4 (40). P. 132–140 (in Russian).
11. Pozdnyakova M.O., Mokhirev A.P., Ryabova T.G. Comprehensive evaluation of technological measures for increasing availability of wood resources. Journal of Applied Engineering Science. 2018. T. 16. № 4. P. 565–569. DOI: 10.5937/jaes16-18842.
12. Sushkov S.I., Burmistrova O.N., Timokhova O., Burmistrov V.A., Mikhaylenko E., Chemshikova Y. Perfection of decision-making methods in multilevel hierarchical transport systems. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. P. 012–203. DOI: 10.1088/1757-899X/560/1/012203.
13. Šetinc M., Gradišar M., Tomat L. Optimization of a highway project planning using a modified genetic algorithm. Optimization, 2015. 64 (3). P. 687–707. DOI: 10.1080/02331934.2013.784763.