

НОРМИРОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ТРАНСПОРТНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ КАЧЕСТВ ЗИМНИХ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

доктор технических наук, доцент **И.Н. Кручинин**¹
доктор технических наук, профессор **О.Н. Бурмистрова**²

1- ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», г. Екатеринбург,
Российская Федерация

2- ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный университет», г. Ухта, Российская Федерация

Основным материалом для строительства покрытий зимних лесовозных автомобильных дорог является снег. Создание из этого снежно-ледяного материала прочных конструктивных слоев дорожного покрытия сопряжено с рядом особенностей. Основным параметром, который будет определять структурную прочность дорожного покрытия, является жесткость снега. При эксплуатации зимних лесовозных дорог этот параметр практически никогда не определяется. Нами были проведены исследования по изучению формирования слоя уплотненного покрытия на проезжей части в зависимости от количества выпадающих осадков. Проведена оценка степени влияния плотности выпадающего снега на величину уплотненного слоя. При изучении степени влияния выпадающих осадков были проанализированы природно-климатические условия, в которых эксплуатируются лесовозные зимние дороги. Было показано, что на плотность снега в уплотненном слое влияет интенсивность движения автопоездов, состав транспортного потока, влажность снега и воздуха, а также температура снега. На плотность слоя также оказывает влияние и испарение снега. На основании опытных данных были получены коэффициенты испарения снега за весь зимний период для условий Уральского региона. На основе этих данных получены расчетные значения возможной наибольшей толщины уплотненного слоя при различных скоростях движения лесовозных автопоездов и различной плотности свежеснежавшего снега. Получены зависимости изменения плотности слоя снега ежемесячно. Установлено, что для нахождения значения толщины уплотненного слоя к окончанию зимнего периода необходимо учитывать износ и испарение снега в каждые последующие месяцы. При этом была проведена оценка глубины колеи на уплотненном снежном покрытии. Рекомендованы значения предельной глубины колеи на покрытии для различных дорожно-климатических подзон. Установлены значения величин уплотненного снежного слоя на проезжей части к концу зимнего периода для зимних лесовозных магистральных автомобильных дорог, для зимних лесовозных усов и зимних лесовозных веток.

Ключевые слова: зимние лесовозные автомобильные дороги, снег, уплотненный слой снега, транспортно-эксплуатационное состояние.

RATIONING OF BASIC TRANSPORT AND OPERATIONAL QUALITIES OF THE WINTER COVERS OF LOGGING ROADS

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor **I.N. Kruchinin**¹

Doctor of Technical Sciences, Professor **O.N. Burmistrova**²

1- FSEIHPE "Ural State Forestry Engineering University", Yekaterinburg, Russian Federation

2- FSEIHPE "Ukhta State University", Ukhta, Russian Federation

Abstract

The main material for the construction of the coatings of the winter forest roads is snow. The creation of this snow and ice durable material of the structural layers of pavement associated with a number of features. The main parameter that will define the structural strength of the pavement to be the hardness of the snow. In the operation of the winter timber-carrying roads this option almost never defined. We have conducted studies on the formation of a layer of compacted coating on the roadway depending on the amount of precipitation. The evaluation of the degree of influence of the density of falling snow on the magnitude of the compacted layer. When studying the degree of influence of precipitation was analyzed climatic conditions that operated hauling winter roads. It has been shown that the density of snow in the compacted layer affects the intensity of movement of trains, composition of traffic flow, the humidity of the snow and air and snow temperature. The density of the layer of the same influences and the evaporation of snow. Based on the experimental data were obtained the coefficients of evaporation of snow for the entire winter for the conditions of the Ural region. Based on these data, the calculated values of the possible maximum thickness of compacted layer at various speeds of movement of logging trucks and the different density of freshly fallen snow. The dependences of the density layer of snow monthly. Found that to find the value of the thickness of the compacted layer to the end of the winter period, it is necessary to take into account the wear and evaporation of snow in the next months. This was carried out to estimate the depth gauge on a Packed snow surface. The recommended values for the maximum depth gauge on the surface for various road-climatic sub-zones. Set values of a compacted snow layer on the roadway by the end of the winter period for winter timber transportation trunk roads for winter logging winter logging mustache and branches.

Keywords: winter covers logging roads, snow, compacted snow, vehicle operating condition

Зимнее содержание лесовозных дорог представляет собой комплекс работ, обеспечивающих непрерывное поддержание технического и эксплуатационного состояния дорожной сети на уровне нормативных требований в соответствии с требованиями ГОСТ Р 50597-93.

К основным транспортно-эксплуатационным показателям (ТЭП) зимних лесовозных автомобильных дорог, работающих с сохранением уплотненного слоя снега, можно отнести: толщину уплотненного снежного покрова, плотность слоя, глубину колеи, ровность слоя, коэффициент сцепления лесовозных автомобилей с поверхностью покрытия, а также уровень эксплуатационного состояния [2, 3]. Однако, учитывая специфические особенности их эксплуатации в многолесных регионах, воз-

никла необходимость в уточнении значений некоторых показателей [7].

Основной целью данной работы является изучение процессов формирования уплотненного снежного слоя на покрытии зимней лесовозной дороги и получение расчетных значений основных транспортно-эксплуатационных показателей.

Обязательным условием начала формирования уплотненного снежного слоя на покрытии лесовозной дороги является выпадение продолжительных и интенсивных осадков в виде снега в количестве, необходимом для достижения допустимого уплотненного снежного слоя. Нарращивание этого слоя производится при последующих снегопадах. Вторым условием для формирования уплотненного снежного слоя является относительная

влажность воздуха от 65 до 85 %. При устройстве слоя важным моментом является наличие отрицательных температур воздуха как в период формирования, так и в последующие периоды.

Толщина рыхлого слоя снега на покрытии будет зависеть от продолжительности снегопадов (табл. 1). Формирование уплотненного слоя снега может происходить путем: естественного формирования под действием колес проходящего лесовозного транспорта с последующим профилированием автогрейдером (через 1-2 суток в зависимости от интенсивности движения и погодных-климатических условий); формирования при патрульной снегоочистке с одновременным профилированием уплотненного снежного покрова для недопущения образования колеи и неровностей или специализированными устройствами [1, 6].

Толщина уплотненного снежного слоя в среднем составляет для дорожно-климатической подзоны (ДКПЗ) I от 130 до 160 мм, для подзоны II – от 80 до 100 мм, для подзоны III – от 100 до 130 мм [4, 5].

Расчетная наибольшая величина толщины слоя снега на покрытии в конце зимнего периода может быть оценена выражением

$$H_{ycn} = \frac{h_c \gamma_c}{\gamma_n} \quad (1)$$

где h_c – толщина слоя снега, выпадающего за зимний период, см;

γ_c – плотность свежеснежного, г/см³ ($\gamma_c = 0,08...0,10$ г/см³);

γ_n – плотность снега в уплотненном слое, г/см³ ($\gamma_n = 0,60$ г/см³).

По выражению (1) были определены наибольшие значения толщины уплотненного слоя для трех различных подзон (табл. 2).

Плотность снега в уплотненном слое зависит от интенсивности движения машин, состава транспортного потока, влажности снега и воздуха, а также от температуры снега. Соответствующее сочетание перечисленных факторов обуславливает разброс значений плотности снега в уплотненном слое на отдельных дорогах от 0,4 до 0,65 г/см³. Поэтому

в одной и той же дорожно-климатической подзоне возможная наибольшая толщина уплотненного слоя к концу зимнего периода может достигать различных значений. В течение всего зимнего периода происходит испарение снега, находящегося в уплотненном слое. Для условий Уральского региона средний коэффициент испарения снега за весь зимний период может составлять для подзоны I – 0,73, для подзоны II – 0,231, для подзоны III – 0,279 [12].

Дополнительно снег из слоя рассеивается инверсионными потоками движущихся транспортных средств. Значения экспериментальных коэффициентов, учитывающих количество рассеиваемого транспортными средствами снега, зависят от скорости их движения и рассмотрены в работе [1].

В этом случае суммарный коэффициент, учитывающий уменьшение толщины слоя за счет испарения и рассеивания, примет вид

$$K_{ym} = K_{ucn} + K_{mp}, \quad (2)$$

где K_{ucn} , K_{mp} – соответственно коэффициент, учитывающий уменьшение толщины слоя за счет испарения снега и за счет рассеивания инверсионным потоком транспортных средств. Если провести анализ выпадения снеговых осадков ежемесячно, то для Уральского региона можно найти расчетные значения возможной наибольшей толщины уплотненного слоя при скорости движения лесовозных автопоездов от 60 до 70 км/ч и различной плотности свежеснежного.

Для нахождения значения толщины уплотненного слоя к окончанию зимнего периода необходимо учитывать износ и испарение снега в каждые последующие месяцы. Толщина уплотненного снежного слоя на покрытии к концу зимнего сезона с учетом его ежемесячного наращивания и уменьшения можно определить по выражению

$$H_{ycn}^{zod} = \sum_{i=1}^n H_{ycn_i} (1 - K_{ym_i}), \quad (3)$$

где H_{ycn_i} – толщина уплотненного слоя в соответствующем месяце, мм;

K_{ym_i} – ежемесячные коэффициенты уменьшения толщины уплотненного слоя снега.

Таблица 1

Средняя многолетняя интенсивность снегопада по дорожно-климатическим подзонам на территории Уральского региона

Дорожно-климатические подзоны	Интенсивность снегопада по месяцам, мм/ч				
	Январь	Февраль	Март	Ноябрь	Декабрь
I	0,589	0,868	0,798	1,100	1,000
II	0,342	0,600	0,521	0,726	0,613
III	0,498	0,690	0,654	0,980	0,832

Таблица 2

Расчетная возможная наибольшая толщина уплотненного снежного покрова на покрытии к концу зимнего периода

Дорожно-климатическая подзона	Расчетная толщина слоя уплотненного снежного слоя на покрытии, мм	
	Плотность свежеснегавпавшего снега 0,08 г/см ³	Плотность свежеснегавпавшего снега 0,10 г/см ³
I	220	275
II	127	158
III	193	242

Учитывая, что снег обладает высокой теплоемкостью, то при его контакте с нагретым пневмошинами лесовозных автопоездов происходит оплавление и перекристаллизация находящихся на поверхности уплотненного слоя снежинок [10]. Плотность слоя снега повышается до 0,65... 0,70 г/см³. Учтем повышение плотности на полосе качения колес введением коэффициента оплавления снега

$$K_{опл} = \frac{\gamma_{опл}}{\gamma_n}, \quad (4)$$

где $\gamma_{опл}$ – плотность оплавившегося слоя снега, г/см³;

γ_n – плотность снега в уплотненном слое, г/см³.

Тогда расчетные значения толщины уплотненного снежного покрова на полосе наката можно определить по выражению

$$H_{усн}^{год} = \frac{1}{K_{опл}} \sum_{i=1}^n H_{усн_i} (1 - K_{ум_i}) \quad (5)$$

По выражению (5) были определены значения для толщин уплотненного снежного покрова на правой полосе наката лесовозных автомобильных дорог в последний день зимних

месяцев при скорости движения подвижного состава до 60 км/ч (табл. 3).

Таким образом, условием нормирования максимальной величины уплотненного слоя будет весенний период, когда оттаявший слой повлияет на проходимость и безопасность движения лесовозных автомобилей [8, 9, 12]. Используя полученные данные, для уплотненного снежного покрова плотностью 0,55 г/см³ для зимней лесовозной магистральной автодороги величина уплотненного снежного покрова на проезжей части должна быть не более 16 см, для зимнего лесовозного уса – не более 20 см, а для лесовозной ветки – не более 25 см. Безопасность движения лесовозных автопоездов по зимним автомобильным дорогам и продолжительность работы уплотненного слоя зависят от глубины образующейся на поверхности покрытия колеи. В то же время интенсивность образования и линейные размеры колеи будут зависеть от плотности слоя [11]. По величине допустимой глубины колеи можно оценить плотность слоя снега, обеспечивающую этот требуемый допустимый уровень (табл. 4). Более высокие значения плотности слоя снега могут быть достигнуты периодическим увлажнением водой.

Расчетная толщина уплотненного снежного покрова на полосе наката в последний день месяца при скорости движения подвижного состава до 60 км/ч

Дорожно-климатическая подзона	Толщина уплотненного слоя, мм					Допустимая толщина уплотненного слоя, мм
	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	
I	43	83	124	142	146	160
II	37	65	84	94	94	110
III	38	65	85	96	104	130

Таблица 4

Наименьшие значения допустимой плотности снежного покрова, обеспечивающие образование колеи не более заданного значения

Допустимая глубина колеи, мм	Наименьшая допустимая плотность слоя снега, г/см ³ , при температуре снега, °С			
	-1	-5	-10	-15
10	0,55	0,53	0,51	0,48
20	0,52	0,48	0,46	0,45
30	0,49	0,46	0,44	0,43

При плотности 0,75 г/см³ глубина колеи не превышает 3,0...5,0 мм, уплотненный слой устойчиво работает при недлительных переходах температуры воздуха через 0 °С в сторону повышения.

Глубина колеи увеличивается в случае перехода температуры через 0°С от отрицательной к положительной, что приводит к резкому снижению сопротивления касательным напряжениям. Поэтому в последней декаде марта нормируемая глубина колеи увеличивается до 30...35 мм. Для обеспечения нормативных значений транспортно-эксплуатационного состояния зимних лесовозных автомобильных дорог и поддержания итогового коэффициента расчетной скорости в пределах $K_{\text{итог}}^{\text{р.с}} = 0,80...0,85$ необходимо оценивать значения возможной наибольшей толщины, плотности, равно-

сти слоя уплотненного снежного покрытия и глубины колеи. Данные должны соответствовать значениям, полученным в последний день зимних месяцев с учетом износа и испарения снега. На лесовозных дорогах толщина уплотненного слоя должна быть не менее 5-9 см. Предельная глубина колеи должна составлять: для I ДКПЗ – 3,5 см; II, III ДКПЗ – 3,0 см. Наименьшая допустимая плотность слоя снега при глубине колеи: до 1 см – 0,48 г/см³; до 2 см – 0,45 г/см³; до 3 см – 0,43 г/см³. Значения величин уплотненного снежного слоя на проезжей части к концу зимнего периода не должны превышать 16 см для зимних лесовозных магистральных автомобильных дорог, 20 см для зимних лесовозных усов и 25 см для зимних лесовозных веток.

Библиографический список:

1. Афанасьев, И. А. Зимнее содержание лесовозных автомобильных дорог Уральского региона [Текст] : научное издание / И. А. Афанасьев, И. Н. Кручинин. – Пермь : Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2006. – 135 с.
2. Васильев, А. П. Эксплуатация автомобильных дорог и организация дорожного движения [Текст] / А. П. Васильев, В. М. Сиденко ; под ред. А. П. Васильева. – М. : Транспорт, 1990. – 230 с.
3. ВСН 137-89. Проектирование, строительство и содержание зимних автомобильных дорог в условиях Сибири и северо-востока СССР [Текст] / Введ. 1990.01.01. – М. : Транспорт, 1991. – 157 с.

4. Дюнин, А. К. В царстве снега [Текст] / А. К. Дюнин. – Новосибирск : Наука, 1983. – 128 с.
5. Кручинин, И. Н. Транспортно-производственная система лесного комплекса [Текст] : моногр. / И. Н. Кручинин. – Екатеринбург, 2010 – 155 с.
6. Патент на изобретение 83073 РФ, МПК7 Е 01 Н 4/00. Устройство для формирования снежного наката на автомобильной дороге [Текст] / И. Н. Кручинин, С. И. Кручинин, С. И. Булдаков; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО Уральский государственный лесотехнический университет. – № 2008141121/22; заявл. 16.10.2008; опублик. 20.05.2009, Бюл. № 14. – 1 с. : ил.
7. Gokan Blomqvist De-icing Salt and Road-side Environment -Strategies for Impact Analyses: VTI, SE-581-95 [Text] / Swedish National Road and Transport Research Institute. – Sweden, 1995.
8. Olander, J. Winter Index by using RWI and MESAN [Text] / J. Olander // XI International Winter Road Congress, Sapporo, Japan, 28-31 January 2002. – Sapporo, 2002.
9. Guidance on the construction and operation of the winter roads, Transport Association of Canada / S. Proskin [et al.]. – Canada, 2011.
10. Richmond, P. Wheels and tracks in snow: Second validation study of the CRREL shallow snow mobility model [Text] / P. W. Richmond, G. L. Blaisdell, C. E. Green // Cold Regions Research and Engineering Laboratory, CRREL, 1997. – Report 90-13. – Available at: <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a232866.pdf>.
11. Russell-Head, D. S. Condensed snow as a sidewalk material for the construction of a runway [Text] / D. S. Russell-Head, W. F. Budd, P. J. Moore // The cold regions of science and technology. – 1984. – No. 9. – P. 231-247.
12. Shoop, S. A. Finite element modeling of tire-terrain interaction [Text] : PhD dissertation, University of Michigan and ERDC // CRREL Technical Report 01–16. – 2001. – 210 p.

References

1. Afanas'ev I. A. *Winter maintenance of forest roads of the Ural region: scientific edition* / A. I. Afanasiev, I. N. Kruchinin. – Perm : Publishing house Perm state tech. University press, 2006. – 135 p.
2. Vasilyev A. P. *Maintenance of roads and traffic organization* / A. P. Vasiliev, V. M. Sidenko ; ed. by A. P. Vasiliev. – M. : Transport, 1990. – 230 p.
3. TCS 137-89 *Design, construction and maintenance of winter motor roads in Siberia and North-East of the USSR* / Intr. 1990.01.01 – M. : Transport, 1991. – 157 p.
4. Dyunin A. K. *In the Kingdom of snow* / A. K. Dyunin. – Novosibirsk : Science, 1983. – 128 p.
5. Kruchinin I. N. *Transportation and production system of forest complex* : Monograph / I. N. Kruchinin. – Ekaterinburg, 2010 – 155 p.
6. The patent for the invention 83073 Russian Federation, МПК7 Е 01 Н 4/00. Apparatus for forming a snow setup on the road [Text] / I. N. Kruchinin, S. I. Kruchinin, S. I. Buldakov; applicant and patentee of the GOU VPO the Ural state forestry University. No 2008141121/22; Appl. 16.10.2008; published. 20.05.2009, bull. No. 14.-1C.: II.
7. Gokan Blomqvist De-icing Salt and Road-side Environment -Strategies for Impact Analyses: VTI, SE-581-95 / Swedish National Road and Transport Research Institute. – Sweden, 1995.
8. Olander, J. Winter Index by using RWI and MESAN / J. Olander // XI International Winter Road Congress, Sapporo, Japan, 28-31 January 2002. – Sapporo, 2002.
9. Guidance on the construction and operation of the winter roads, Transport Association of Canada / S. Proskin [et al.]. – Canada, 2011.
10. Richmond, P. Wheels and tracks in snow: Second validation study of the CRREL shallow snow mobility model / P. W. Richmond, G. L. Blaisdell, C. E. Green // Cold Regions Research and Engineering Laboratory, CRREL, 1997. – Report 90-13. – Available at: <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a232866.pdf>.

11. Russell-Head, D. S. Condensed snow as a sidewalk material for the construction of a runway / D. S. Russell-Head, W. F. Budd, P. J. Moore // The cold regions of science and technology. – 1984. – No. 9. – P. 231-247.

12. Shoop, S. A. Finite element modeling of tire-terrain interaction: PhD dissertation, University of Michigan and ERDC // CRREL Technical Report 01–16. – 2001. – 210 p.

Сведения об авторах

Кручинин Игорь Николаевич – доцент кафедры транспорта и дорожного строительства, федеральное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный лесотехнический университет», доктор технических наук, доцент, г. Екатеринбург, Российская Федерация; e-mail: kinaa.k@ya.ru

Бурмистрова Ольга Николаевна – заведующая кафедрой технологий и машин лесозаготовок, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ухтинский государственный университет», доктор технических наук, профессор, г. Ухта, Российская Федерация; e-mail: oburmistrova@ugtu.net

Information about the authors

Kruchinin Igor Nikolaevich – Associate Professor of transport and road construction, the federal budget institution of higher education «Ural State Forestry Engineering University», Phd in Engineering, Associate Professor, Ekaterinburg, Russia, e-mail: kinaa.k@ya.ru

Burmistrova Olga Nikolaevna – Head of the Department of technology and machinery of logging, Federal state budgetary educational institution of higher professional education "Ukhta state University", doctor of technical Sciences, Professor, Ukhta, Russian Federation, e-mail: oburmistrova@ugtu.net

DOI: 10.12737/article_5a3d0656ee07b2.99342186

УДК 625.7/ 517.9

ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТИ ПРОНИКНОВЕНИЯ ЖИДКОСТИ В ГРУНТ НАСЫПИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

аспирант **Ю.А. Макарова**

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова»,
Воронеж, Российская Федерация

Лесовозную автомобильную дорогу можно назвать одним из наиболее значимых элементов лесопромышленного комплекса, поэтому строительство автомобильных дорог играет важную роль не только в эффективном развитии лесопромышленного комплекса, но и является незаменимым элементом для всех сфер человеческой деятельности. Учитывая существующие на сегодняшний момент способы перевозки лесоматериалов, развитие автомобильного транспорта становится наиболее эффективным в условиях нашей страны. Несмотря на это, транспортная инфраструктура в основных лесных регионах слабо развита из-за сильного воздействия неблагоприятных факторов. Поэтому первостепенной задачей для специалистов становится повышение качества дорог. Ключевой проблемой большинства лесовозных автомобильных дорог является потеря прочностных характеристик из-за влияния на них неблагоприятных природно-климатических условий. В перспективных лес-