

Лабыкин А. А.,

*Уральский государственный лесотехнический университет,
аспирант кафедры Транспорта и дорожного строительства,*

Кручинин И. Н.,

*«Уральский государственный лесотехнический университет»,
профессор кафедры Транспорта и дорожного строительства, д.т.н.*

Бурмистров В. А.,

*«Ухтинский государственный технический университет»,
доцент кафедры Механики, к.т.н.*

ОСНОВЫ ТЕОРИИ ДВИЖЕНИЯ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ПОЕЗДОВ ПО СНЕЖНОМУ ПОКРОВУ, НАХОДЯЩЕМУСЯ НА ПРО- ЕЗЖЕЙ ЧАСТИ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Аннотация: Эффективность и безопасность работы лесотранспорта оценивается транспортно-эксплуатационными показателями автомобильных дорог. Для зимних лесовозных дорог к таким показателям относятся скорость, безопасность движения, ровность покрытия, коэффициент сцепления, интенсивность движения, а также уровень их эксплуатационного состояния. 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.

Ключевые слова: зимние лесовозные автомобильные дороги, зимний транспорт леса.

*Labykin A. A.,
Ural State Forest Engineering University,
postgraduate student of the Department of Transport
and Road Construction,
Kruchinin I. N.,
Ural State Forest Engineering University,
Professor of the Department of Transport
and Road Construction, Doctor of Technical Sciences
Burmistrova Olga Nikolaevna,
Ukhta State Technical University,
Professor of the Department of Electricity, Metrology and
Forestry Technologies, Doctor of Technical Sciences*

FOUNDATIONS OF THE THEORY OF TRAFFIC TRAILING ON SNOW COVER ON THE CARRIAGE OF FOREST ROAD ROADS

Abstract: The efficiency and safety of the timber transport operation is evaluated by the transport and operational indicators of motor roads. For winter logging roads, these indicators include speed, traffic safety, surface evenness, adhesion coefficient, traffic intensity, as well as the level of their operational condition. Winter maintenance of logging roads is a set of works that ensure the continuous maintenance of the technical and operational condition of the road network at the level of regulatory requirements in accordance with the requirements of GOST R 50597-93.

Key words: winter logging roads, winter timber transport.

Уровень содержания дорог – показатель, отражающий определенное состояние конструктивных элементов автомобильных дорог в тесной связи с создаваемыми условиями движений автомобилей.

По допустимому уровню зимнего содержания автомобильные дороги делятся на четыре группы:

- Группа А – дороги с чистой на всю ширину поверхностью;
- Группа Б – дороги с чистой на всю ширину проезжей части;
- Группа В – дороги с чистой серединой проезжей части;
- Группа Г – дороги с уплотненным снегом на проезжей части.

Директивные требования к показателям уровня зимнего содержания каждой дороги должны устанавливаться на основе технико-экономических расчетов с учётом оснащённости дорожно-эксплуатационной службы машинами и оборудованием для зимнего содержания дорог.

Согласно действующей нормативной базе, наличие уплотненного снега на проезжей части на дорогах всех категорий не допускается, кроме дорог, содержащихся под снежным накатом, а срок снегоочистки и ликвидации принимается в зависимости от группы дорог (либо категории дороги) и уровня содержания. Поэтому зимнее содержание автомобильных дорог на территории Российской Федерации осуществляется с полным удалением снежно-ледяных отложений с проезжей части, а содержание дорог под снежным накатом применяется только на автозимниках.

Основными мероприятиями является борьба со снегоприносом, очистка дорог от снега и ликвидация зимней скользкости. Учитывая, что лесотранспортная сеть включает дороги различного назначения, то и уровни содержания, могут быть различными.

На рисунке 1 представлены применяемые в многолесных регионах схемы зимнего содержания лесовозных автомобильных дорог. Вариант А – традиционная схема содержания автомобильных дорог с ликвидацией зимней скользкости. Данная схема характеризуется полным удалением снежно-ледяного наката с дорожного покрытия путем патрульной снегоочистки и распределением твердых химических реагентов и их смесей с фрикционными материалами. Вариант Б – формирование уплотненного снежного покрова на проезжей части. Вариант В – повышение сцепления колес с дорожным покрытием. Вариант Г – удаление снежной шуги с покрытия (только при наличии уплотненного снежного покрова на проезжей части).

Возможна эксплуатация автомобильных дорог, при которой снег с проезжей части не удаляется полностью и на проезжей части остается уплотненный слой снежно-ледяного наката плотностью не менее $0,4 \dots 0,6 \text{ г/см}^3$. Нормальные условия движения автомобилей обеспечиваются при толщине уплотненного слоя снега до 90 мм.

Предельной величиной уплотненного слоя снега следует считать:

на дорогах местного значения с регулярным автобусным движением в зимний период при интенсивности движения менее 200 авт./сутки, внешние автомобильные дороги предприятий лесного комплекса (подъездные дороги) – 50 мм;

На местных дорогах без регулярного автобусного движения с интенсивностью менее 200 авт./сутки, лесовозных автомобильных магистралях – 60... 100 мм;

На дорогах с допускаемым кратковременным перерывом движения, лесовозных ветках и усах – 100... 150 мм.

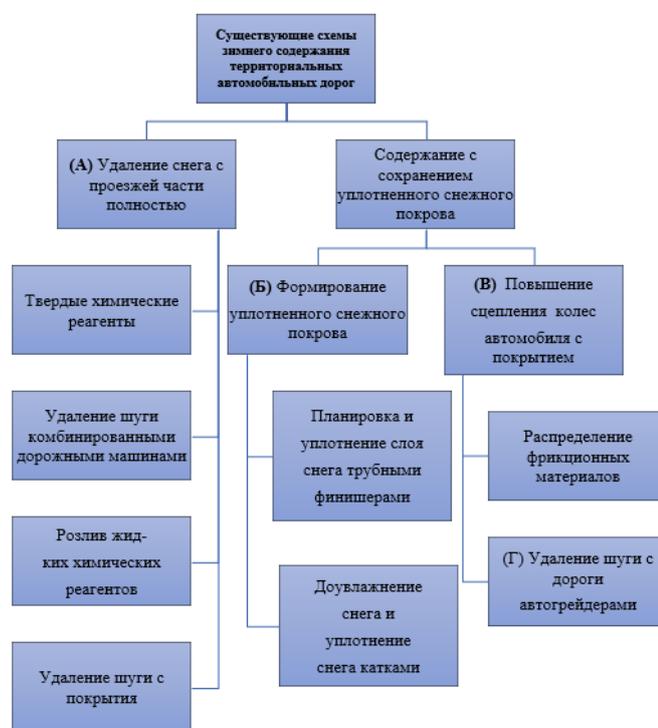


Рисунок 1 – Схемы зимнего содержания лесовозных автомобильных дорог применяемых в многолесных регионах

Таким образом, несмотря на различные уровни содержания территориальных автомобильных дорог различной ведомственной подчиненности, для зимних лесовозных дорог в многолесных регионах возникает необходимость в нормировании свойств слоя покрытия – уплотненного снежного покрова на проезжей части.

В процессе движения на лесовозный автопоезд действуют внешние силы: вертикальные (масса поезда, вертикальная составляющая динамических усилий, возникающих при движении, и соответствующие реакции пути); горизонтальные – продольные, к которым относятся сила тяги тягача, силы сопротивления движению, тормозные силы и динамические усилия, возникающие при трогании поезда и изменении скорости движения; поперечные, к которым относятся динамические усилия, возникающие при движении поезда на кривых участках пути и в результате «виляния» подвижного состава на прямых участках.

При движении лесовозный поезд испытывает ряд сопротивлений, поэтому для осуществления движения необходимо, чтобы сила тяги, развиваемая двигателем тягача была больше сил сопротивления. В зависимости от соотношения силы тяги F_k и сил сопротивления $F_{сопр}$ различают следующие режимы движения: $F_k > F_{сопр}$ – ускоренный; $F_k = F_{сопр}$ – равномерный и $F_k < F_{сопр}$ – замедленный [194,202].

Сила F_k создаваемая тягачом называется силой тяги и при движении по снежной поверхности имеет ограничения по сцеплению ведущих колес с покрытием

$$F_k \leq F_{сц} = 1000\varphi g P_{сц} , \quad (1)$$

где φ – коэффициент сцепления ведущих колес тягача с покрытием;

g – ускорение силы тяжести, м/с²;

$P_{сц}$ – сцепная масса тягача, приходящаяся на ведущие колеса, т.

Перемещение лесовозного автопоезда по снежной поверхности осуществляется за счет сил сцепления движителя со снегом. Сцепление ходовой части происходит за счет трения пневмоколес о снег и зацепления выступающих частей протектора о снежную поверхность:

$$F_{cy} = F_{тр} + F_{зац}, \quad (2)$$

где $F_{тр}$ – сила трения пневмоколеса о снежную поверхность, Н;

$F_{зац}$ – сила зацепления элементов протектора пневмоколеса о снежную поверхность, Н.

Сила трения для колесных машин подчиняется общим законам трения скольжения и для снежного покрова может быть найдена как:

$$F_{тр} = f_{ск} P_{cy}, \quad (3)$$

где $f_{ск}$ – коэффициент трения скольжения.

Сила зацепления элементов протектора пневмоколеса о снежную поверхность зависит от величины пятна контакта пневмоколеса со снегом и длины криволинейного участка контакта внешнего контура пневмошины со снегом.

$$F_{зац} = S \tau, \quad (4)$$

где S – суммарная площадь поверхности пневмоколеса, работающая на смятие снега, м²; τ – сопротивление смятию снега, МПа.

Для практических расчетов удобнее пользоваться выражением (1) используя коэффициента сцепления.

В таблице 1 приведены величины коэффициента сцепления в зависимости от состояния снегового покрова применительно к лесотранспортным машинам.

Таблица 1 – Зависимость коэффициента сцепления от состояния снегового покрова (по С.И. Морозову)

Характеристика снегового покрова	Коэффициент сцепления		
	Для гусеничных лесотранспортных машин	Для лесовозных автомобилей	
		Покрытие со снегом	Покрытие очищено от снега
Плотность 0,5 г/см ³ и выше при температуре ниже –4°С	0,80-0,75	0,25-0,35	0,60-0,65
То же при температуре от –1 до –4°С	0,75-0,70	0,23-0,25	0,45-0,55
То же при температуре выше 0°С (талый снег)	0,73-0,65	0,15-0,21	0,50-0,60
Снежная целина толщиной 10 см	0,70-0,65	0,17	0,55
То же толщиной 15 см	0,62-0,50	0,14	0,55
20 см	0,55	0,16	0,55
30 см	0,40	0,18	0,55
40 см	0,30	0,15	0,55
60 см	0,15	0,15	0,55
Мокрый снег с проталинами влажного грунта	0,23	0,19	0,35-0,45
Обледеневшее асфальтобетонное покрытие	-	0,05-0,08	0,60-0,65

Исследованиям по определению силы сопротивления движению лесовозных автопоездов посвящено достаточно много работ [3,6,7]. В общем виде уравнение сопротивления движению имеет вид:

$$F_{\text{сопр}} = F_f + F_i + F_w + F_y + F_{\text{кр}}, \quad (5)$$

где F_f – силы сопротивления движению, кН;

F_i – силы сопротивления от преодоления уклонов, кН;

F_w – силы сопротивления воздушной среды, кН;

F_y – силы инерции, кН;

$F_{\text{кр}}$ – крюковая нагрузка, кН.

Исходя из специфических условий работы лесотранспортных машин обычно рассматривают только силу сопротивления движению, а силы F_i , F_w , F_y , $F_{\text{кр}}$ определяются известными выражениями.

В общем случае сила сопротивления движению автопоезда равна

$$F_f = fgP_{\text{ав}}, \quad (6)$$

где f – коэффициент сопротивления движению;

$P_{ав}$ – общая масса автопоезда, т;

g – ускорение свободного падения, м/с².

Коэффициент сопротивления движению представляет собой сложную функцию многих параметров, таких как: распределение нагрузки по осям, конструкция ходовой части, характеристики опорной поверхности и других трудно учитываемых факторов. Поэтому в теории движения транспортно-технологических машин сопротивление движению разделяют на две основных составляющие: внутренние потери, возникающие в ходовой части и внешние, возникающие вследствие деформации опорной поверхности. При переходе к относительным параметрам коэффициенты сопротивления движению равны:

$$f = f_{вн} + f_{сн}, \quad (7)$$

где $f_{вн}$ – коэффициент сопротивления движению вследствие внутренних потерь в ходовой части;

$f_{сн}$ – коэффициент сопротивления движению вследствие деформации снежного покрова.

Основным видом сопротивления движению по снежной поверхности, как показано в работах [5,6], является сила, пропорциональная работе, затрачиваемой на вертикальную деформацию снежного покрова на покрытии. Ее можно в общем виде выразить формулой:

$$F_{сн} = 2B \int_0^{h_{кол}} P dY \quad (8)$$

где B – ширина пневмоколеса автопоезда, м;

P – нормальное давление в пятне контакта, кПа;

$h_{кол}$ – глубина колеи, м;

Y – текущая деформация снежного покрова на покрытии, м.

Таким образом, для определения сопротивления движению подвижного состава необходимо знать зависимости $P=f(Y)$ – распределения нормального давления от глубины погружения ходовой части в снежный покров.

Использованные источники:

1. Морозов, С. И. Зимние дороги в лесной промышленности /С. И.Морозов, Ф. А. Павлов, Л. Н. Плакса, Э. Н. Савельев. – М.: Лесная промышленность, 1969. –168 с.
2. Корунов, М. М. Ускоренный способ постройки зимних дорог.-М.: Гослестехиздат, 1946.-34 с.
3. Крагельский, И. В. Технологический анализ орудий для уплотнения снега. В кн.: Физико-механические свойства снега и их использование в аэродромном и дорожном строительстве. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1945, с. 29-43.
4. Криживицкий, А. А. Снегоходные машины. М.: Машиностроение. 1981.-218 с.
5. Кручинин, И. Н. Математическая модель для расчета параметров ходовой части лесотранспортных и лесозаготовительных машин // Изв. высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2006. – N 1. – С.52-57.
6. Малыгин, В. А. Исследование процессов деформации снега под воздействием гусеничного движителя и обоснование выбора размеров опорной поверхности гусениц снегоходных машин. Дисс.канд.техн.наук. – Горький, 1971. – 168 с.
7. Рихтер, Г. Д. Снежный покров, его формирование и свойства. – М.-Л.: Издательство АН СССР, 1945. – 125с.
8. Снег: Справочник / Под ред. Д. М. Грея, Д. Х. Мэйла: пер.с английского под ред. В. М. Котлякова. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 751 с.
9. Снегоходные машины/ Л.В.Барахтанов, В.И.Ершов, А.П.Куляшов, С.В.Рукавишников. – Горький.: Волго-Вятское изд-во,1986. – 191 с.
10. Сухопутный транспорт леса: Учебник для вузов/ В. И. Алябьев, Б. А. Ильин, Б. И. Кувалдин, Г. Ф. Грехов. – М.: Лесная промышленность, 1990. – 416 с.