

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.*

Бурмистрова О. Н.,

*«Ухтинский государственный технический университет»,
профессор кафедры Электроэнергетики, метрологии
и лесопромышленных технологий, д.т.н.*

УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ЗИМНИХ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТО- МОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Аннотация: Возможность и целесообразность применения снежных улучшенных и ледяных лесовозных автомобильных дорог определяется в основном климатическими и экономическими условиями заготовки древесины.

Если учесть, что в Уральском Федеральном округе доля лесозаготовок в зимний период превышает 60%, то проблема перемещения лесоматериалов по снежному покрову становится актуальной. В регионе стоит устойчивая и продолжительная зима. Все это создает благоприятные условия для развития зимнего транспорта леса.

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*

CONDITIONS FOR USE OF WINTER FOREST ROADS

Abstract: The possibility and expediency of using improved snow and ice logging roads is determined mainly by the climatic and economic conditions of timber harvesting.

If we take into account that in the Urals Federal District the share of logging in the winter period exceeds 60%, then the problem of moving timber over the snow cover becomes relevant. The region has a steady and long winter. All this creates favorable conditions for the development of winter forest transport.

Key words: winter logging roads, winter forest transport.

Зимние дороги относятся к дорогам сезонного действия. Они подразделяются на колейные и бесколейные. В настоящее время лесозаготовительные предприятия строят и эксплуатируют в основном только бесколейные зимние транспортные сооружения.

Известны виды зимних лесовозных автомобильных дорог: простейший зимник; снежные улучшенные (уплотненные); снежно-ледяные бесколейные поливные).

При сооружении зимних лесовозных автомобильных дорог необходимо руководствоваться следующими соображениями:

– снежные наезженные дороги (простейшие зимники) допускается применять только для вывозки лесоматериалов при крайне незначительном грузообороте;

– снежные улучшенные (снежно-уплотненные) дороги создаются в результате уплотнения слоя снега на спланированном земляном основании;

– снежно-ледяные дороги создаются путем периодической поливки и тепловой обработки снежных дорог. Поливные дороги, образующиеся в результате достаточно сильных поливок снежных улучшенных дорог, следует применять в местах с хорошими условиями водоснабжения из естественных источников при больших грузооборотах.

Для успешного применения зимних лесовозных автомобильных дорог необходима продолжительная устойчивая зима и благополучные условия водоснабжения. По климатическим условиям территория Уральского Федерального округа вполне подходит для применения ледяных дорог. Для таких дорог наиболее благоприятны умеренные морозы, отсутствие затяжных оттепелей и метелей. Высокая температура воздуха (оттепели) разрушающее действует на проезжую часть. В тоже время недостаточное количество снега, способствует промерзанию болот, и затрудняет и удорожает устройство ледяных дорог (повышенный расход воды).

На снежно-ледяных дорогах снег в течение зимы, по мере его выпадения, не убирают, а уплотняют (за исключением снега, выпавшего во время метелей) и поливают водой. К концу зимы толщина снежно-ледяного покрова достигает 0,5 м. Это позволяет удлинить сроки их экс-

плуатации на 8 ... 15 дней, по сравнению со снежно-уплотненными дорогами.

Зимние дороги отличаются невысокой стоимостью строительства. Проектирование зимних дорог производится по нормам дорог летнего действия, но с учетом некоторых особенностей. На ледяных дорогах руководящий подъем должен быть не более 30%, а при использовании многокомплектных автопоездов не более 15 ... 20%. Зимние дороги проектируются, как правило, двухполосными, лесовозные усы – однополосные.

Полоса отвода назначается: для двухполосных дорог – 12 ... 14 м, для однополосных – 8 м, на лесовозных усах – 6 м.

Насыпи и выемки проектируют, в основном, на участках грузового направления. В основном зимние дороги устраиваются в нулевых отметках без боковых и нагорных канав. На заболоченных участках, с толщиной торфа 2 м и более устраивается поперечный настил из дровяного долготья длиной 5 ... 6 м, диаметром 10 ... 16 см.

Водопропускные сооружения устраиваются лишь в случаях пересечения лесовозной дорогой постоянных водотоков или длительно незамерзающих с быстрым течением воды.

Технологический процесс строительства зимних лесовозных автомобильных дорог состоит из подготовительного этапа в теплое время года и в последовательном уплотнении снега по мере выпадения в зимний период.

Ледяные дороги строят за счет поливки проезжей части дороги водой поливочными машинами.

Основным дорожно-строительным материалом для устройства проезжей части всех типов снежных и ледяных лесовозных дорог служит снег, а основанием дорог, прокладываемых зимой – мерзлый грунт земляного полотна и при прокладке по естественным водоемам как поперек их (ледяные переправы), так и вдоль (зимние временные автодороги), – речной и озерный лед.

Способность покрытия автомобильных дорог выдерживать нагрузку от действия подвижного состава будет зависеть от физико-механических свойств снега и льда.

Механические свойства снега в основном зависят от его твердости, температуры и структуры.

Способность снега противостоять образованию колеи под воздействием нагрузки тягового и подвижного состава определяются его твердостью.

Твердость определяется пенетрометром и выражается отношением нагрузки, приложенной к наконечнику индектора, к проекции поверхности его отпечатка на плоскость, перпендикулярно действию нагрузки.

При определении конусом твердость H_k в МПа равна:

$$H_k = \frac{P}{S}, \quad (1)$$

где P – нагрузка, Н;

S – площадь отпечатка, мм².

Так как

$$S = \pi r^2 = \pi h^2 \operatorname{tg}^2 \frac{a}{2}, \quad (2)$$

где h – глубина погружения конуса, мм;

r – радиус проекции отпечатка, мм;

a – угол при вершине конуса, град,

то

$$H_k = \frac{P}{\pi h^2 \operatorname{tg}^2 \frac{a}{2}} \quad (3)$$

при $a = 45^\circ$:

$$H_k = \frac{2P}{h^2} \quad (4)$$

При твердости уплотненного снега более 2,5 МПа колея от колес автомобиля практически отсутствует.

Твердость снега зависит от температуры и плотности. При понижении температуры твердость снега возрастает тем сильнее, чем больше его плотность. Это объясняется тем, что при малой плотности в снеге отсутствует связь между отдельными снежинками. Однако прочность связей между кристаллами, кроме плотности, зависит и от структуры снега. Так при температуре – 20°С твердость перемешанного снега в 2 раза меньше твердости перемешанного.

Деформация снежного покрова зависит от приложенного давления и может быть определена через коэффициент жесткости. Под коэффициентом жесткости снега понимается величина нормального давления, необходимого для деформирования снежного покрова на единицу длины и в случае плоского штампа определяется по формуле:

$$k_{жс} = \frac{q}{h}, \quad (5)$$

где $k_{жс}$ – коэффициент жесткости снега, $H/м^3$;

q – нагрузка на штамп, $Па$;

h – величина перемещения штампа, $м$.

В общем случае коэффициент жесткости является величиной переменной. Однако при допущении, что между удельной нагрузкой на штамп и его перемещением существует линейная зависимость, коэффициент жесткости можно считать постоянной величиной.

Значения коэффициента жесткости меняются в зависимости от состояния снега.

Наиболее значительно коэффициент жесткости увеличивается при изменении плотности в диапазоне от 0,4 до 0,6 $г/см^3$.

По коэффициенту жесткости, задавшись возможной деформацией снежного покрытия, можно определить допустимое нормальное давление.

Снеговой покров испытывает воздействие различных температурных условий. Верхние слои находятся под влиянием непрерывно меняющейся

температуры наружного воздуха; нижние же слои соприкасаются с грунтом, имеющим зимой температуру, значительно более высокую и устойчивую, чем температура воздуха. Вследствие разности температур по высоте снегового покрова происходит процесс возгонки-сублимации. С течением времени нижние слои снежного покрова будут несколько разрыхляться, а более верхние уплотняться. Это связано с малой теплопроводностью рыхлого снега. С увеличением плотности снега теплопроводность возрастает. В работах Г.Ф. Абельса, А.С. Кондратьевой и др. установлено, что коэффициент теплопроводности снега λ является функцией его плотности γ . Например, в зоне больших плотностей снега (искусственное уплотнение) рекомендуется использовать следующее эмпирическое выражение:

$$\lambda = 3,5587 \gamma^2, \quad (6)$$

где λ – коэффициент теплопроводности снега, $Вт/м^2 К$;

γ – плотность снега, $г/см^3$.

Плотность снега обуславливается компактностью и степенью излома кристаллов, а также приложенным давлением. Сжатие снегового покрова при температуре от 0 до $-10^\circ С$ происходит главным образом за счет деформации снежинок.

Зависимость плотности снега от приложенного давления может быть выражена эмпирическим уравнением:

$$\gamma = 0,18 + \frac{0,0038g * (96 - t)}{g + 0,08} \quad (7)$$

где g – давление, $кг/см^2$;

t – температура, $С^\circ$;

Из формулы следует, что снег целесообразно уплотнять при температуре, близкой к нулю.

При деформации снежного покрова происходят два типа структурных изменений: *эволюционный*, характеризующийся относительным перемещением между собой кристаллов и *разрушения*, сопровождающийся

нарушением структурных связей, изломом кристаллов. При эволюционном происходит более плотная упаковка кристаллов, снег приобретает более плотную структуру. К области эволюционной кривой стремятся деформации при высоких скоростях нагружения. Это вызвано тем, что новые кристаллизационные связи не успевают сформироваться. Кривая разрушения возникает, в случае если скорость деформации настолько мала, что успевают возникнуть новые связи. При этом происходит одновременное смятие и выдавливания снега из-под деформатора.

Методики испытаний несущей способности опорной среды отличаются режимами нагружения. Обычно различают два типа нагружения: при постоянной скорости деформации и постоянной скорости нарастания силы. Как и в грунтах на характер уплотнения оказывает влияние форма деформатора. Основные отличия возникают за счет более интенсивного выдавливания снега в стороны. Если учесть, что опорная поверхность уплотняющих машин не является плоской, то результаты внедрения цилиндрических деформаторов приносят более удовлетворительную сходимости теоретических и экспериментальных результатов.

Влияние глубины снежного покрова и характера приложения нагрузки были рассмотрены в работах В. А. Малыгина. Для плоского штампа им была предложена зависимость, характеризующая взаимосвязь между давлением q и деформацией снега h :

$$h = \frac{q}{\left(\frac{1}{h_{\max}}\right)q + \kappa_{ж}}, \quad (8)$$

где $\kappa_{ж}$ – коэффициент начальной жесткости снега, МПа/м;

h_{\max} – коэффициент, характеризующий величину деформации снега при давлениях, соответствующих максимальному его уплотнению, м.

При использовании цилиндрического штампа нормальное давление в пятне контакта определяется по выражению

$$P = gbR(\alpha + \sin \alpha \cdot \cos \alpha) , \quad (9)$$

где g – давление в нижней точке цилиндрической поверхности, МПа;

b – ширина штампа, м;

R – радиус цилиндрической поверхности, м;

α – центральный угол погруженной в снег поверхности, град.

В этом случае кривая вдавливания приближается к эволюционной характеристике деформации снега.

При сжатии снега напряжение по глубине определяется неравномерно (рис.1), уменьшаясь в нижних слоях. В общем виде для цилиндрических штампов может быть определено по формуле

$$\sigma = \frac{P}{\left(\frac{z}{a}\right)^2 + K} , \quad (10)$$

где P – нормальное давление, МПа;

z – глубина слоя, м;

a – половина ширины дуги соприкосновения;

K – постоянный коэффициент.

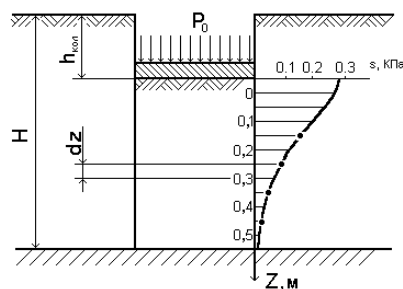


Рисунок1 – Зависимость распространения напряжений по глубине снежного массива

Следовательно, снег целесообразно уплотнять тонкими слоями по мере его выпадения. Для уплотнение снежного покрова используют следующие методы: выглаживание, укатка.

При перемещении уплотняющей плиты происходит первичная осадка снежной поверхности. Для этого используют выглаживающие плиты (гладилки). Благодаря большой площади передачи давления боковая выпрессовка снега незначительна, однако достичь больших значений нормальных давлений на снежную поверхность не представляется возможным. Гладилки используют для начального уплотнения свежесвыпавшего снега.

Рабочий процесс катков с гладкими вальцами состоит из многократного перекатывания вальцов по поверхности уплотняемого материала, т. е. циклического воздействия на него. В процессе перекатывания вальцов по поверхности материала происходит его уплотнение, под действием собственного веса катка.

Нормальное давление на снеговой покров, зависит от глубины погружения катка в снег. Так величина среднего контактного давления катка p_{cp} кг/см² по Крагельскому, равна:

$$p_{cp} = \frac{1}{2} \sqrt[3]{\frac{P^2 * C}{R^2 * l^2}}, \quad (11)$$

где P – нагрузка на валец катка, кг;

C – коэффициент жесткости снежного покрова, кг/см³;

R – радиус катка, см;

l – ширина вальца, см

Глубина воздействия на снежный покров катками характеризуется глубиной активной зоны. В ее пределах реализуется 80 ... 90% всей необратимой деформации. Глубина активной зоны зависит от состояния снежной поверхности и геометрической формы деформатора.

При выборе машин уплотняющего действия необходимо учитывать, что увеличение давления на снежную поверхность не приводит к увеличению плотности. Так при использовании катков массой от 1,5 до 5,9 т была получена практически одинаковая плотность снегового покрытия. Уплот-

нение снега целесообразно производить при условии $H_k < g$. При этом необходимо чтобы давление находилось в диапазоне 0,2... 0,3 МПа.

Следовательно, параметры катка должны соответствовать различным эксплуатационным условиям применения. При неправильно выбранных параметрах катов вместо уплотнения будет происходить нагребание снега перед собой.

Катки на пневматических шинах несколько по-другому взаимодействуют со снежной поверхностью. Под действием веса катка происходит радиальная деформация пневматической шины в пятне контакта с опорной поверхностью. Причем форма пятна контакта, величина деформации и распределение контактных напряжений зависят от свойств уплотняемого материала и давления воздуха в шине. Наличие большой площади контакта позволяет увеличить активную зону уплотнения и увеличить время воздействия на снежный покров.

Кроме статического уплотнения в процессе работы возникает сдвиговой эффект, который способствует удалению воздуха из уплотняемого материала. Изменить контактное давление на опорную поверхность можно путем варьирования давления воздуха в шинах.

Глубину активной зоны уплотнения для грунтов можно определить по следующему эмпирическому выражению

$$h_a = k_{nn} \sqrt{\frac{G_k p_{ш}}{1 - \xi}}, \quad (12)$$

где k_{nn} – коэффициент, зависящий от свойств снега;

G_k – нагрузка на колесо, кг;

$p_{ш}$ – давление в шине, кг/см²;

ξ – коэффициент жесткости шины, 0,15 ... 0,6.

Особенностью катков на пневмошинах является то, что среднее нормальное контактное напряжение ниже давления воздуха в шине. Поэтому

по мере возрастания жесткости снежного покрова необходимо увеличивать давление в пневмошине.

Свежевыпавший снег обычно ложится рыхлым слоем. По мере же лежания он постепенно уплотняется под влиянием собственного веса и различных метеорологических факторов, в результате чего снег увеличивает свою плотность. Уплотнение и «слеживание» сухого снега по Вейнбергу, зависят от следующих причин: 1) увеличения давления на внутренние слои при новых снегопадах, 2) излома снежинок, 3) соскальзывания снежинок в промежутки, 4) деформации отдельных частиц снежинок от давления, 5) смерзания снежинок в местах соприкосновения, 6) выдавливания воздуха из промежутков между частицами, 7) сжимания воздуха в замкнутых пустотах.

Уплотнение снега в снежном покрове происходит непрерывно, однако интенсивность уплотнения в большой степени зависит от температуры воздуха и снега. Уплотнение снежного покрова особенно быстро происходит при оттепелях.

При отсутствии механического воздействия твердость слежавшегося или уплотненного без перемешивания снежного покрова резко различна в ближайших точках. И. В. Крагельский считает, что это вызывается, вероятно тем, что не каждая пара близлежащих кристаллов может вступить во взаимодействие. При значительном перемешивании снега вероятность встречи способных вступить во взаимодействие кристаллов увеличивается. Так как кристаллы при этом повреждаются, способность их вступить во взаимодействие возрастает. При перемешивании даже без дальнейшего уплотнения, плотность снега увеличивается (таблица 1).

Таблица 1 – Влияние перемешивания снега на плотность и твердость

Снег	Плотность, г/см ³	Твердость, МПа
До перемешивания	0,18	0,033
После перемешивания	0,32	0,182

Конечное значение плотности снега тем выше, чем ниже температура, больше начальное давление и значительнее механическое воздействие. В связи с этим при уплотнении снега проходы катка целесообразно делать с перерывами.

Плотность снега так же зависит от способа воздействия на него. На рисунке 2 представлены изменения плотности снега в зависимости от числа проходов катка при различном времени воздействия.

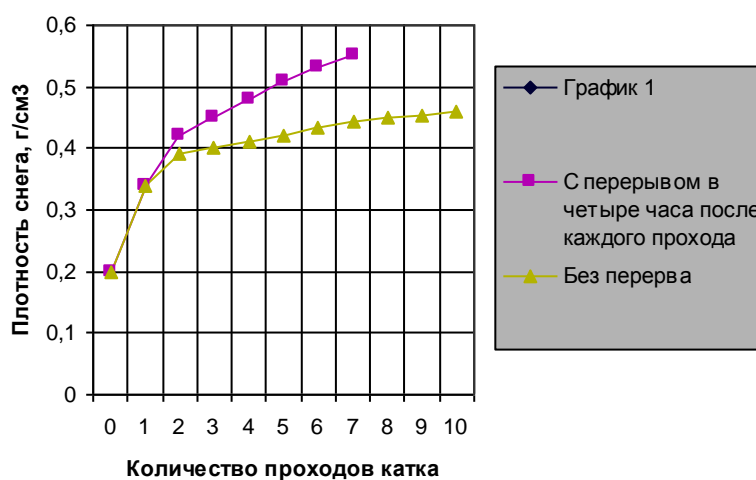


Рисунок 2 – Изменения плотности снега в зависимости от числа проходов катка при различном времени воздействия.

Более интенсивно твердость увеличивается при сочетании перемешивания с последующим уплотнением. Однако в перемешанном и уплотненном снеге твердость также неодинакова. Среднюю твердость легче всего повысить путем дальнейшего перемешивания несоединившихся кристаллов, не нарушая кристаллов, уже вступивших во взаимодействие.

Практически это возможно осуществить, еще раз перемешивая каким-либо тупым рабочим органом дорожной машины уже перемешанный и уплотненный снег; при этом будет разрушена связь между кристаллами, не вступившими в молекулярный контакт. Образовавшиеся комки следует

перемешать и вновь уплотнять. При этом средняя твердость снега резко возрастает без увеличения его плотности.

Вторичное перемешивание необходимо провести при достаточно затвердевшем снеговом покрове, т. е. примерно через 4 ... 5 часов после его обработки. Перемешивание будет тем эффективней, чем больше прямой перепад температур (сверху вниз). Его следует производить интенсивно по всей глубине за один проход, с последующим уплотнением без перерыва во времени.

Принцип устройства таких дорог состоит в последовательном уплотнении снега по мере его выпадения. Постепенное уплотнение снега, выравнивание его и равномерная укатка до плотности $0,5 \text{ г/см}^3$ создает возможность движения по ним большегрузных автопоездов с большими скоростями.

Зимние дорожные работы по устройству снежного основания лучше всего начинать при снежном покрове не более 10... 15 см, в связи с тем, что уплотнение тонких слоев более эффективно. Перед уплотнением снег разравнивают бульдозерами, тяжелыми автогрейдерами, снегоуровнителем (угольник). При устройстве дороги по глубокому снежному покрову, более 30...40 см часть снега предварительно удаляют. Это связано с тем, что при последующей укатке толщина снежного покрова уменьшается обычно в два-три раз в зависимости от первоначальной плотности снега. Лучших результатов при укатке можно достичь путем предварительного разрыхления. Перемешивание или рыхление снега производят при помощи кулачковых катков, фрез и борон. Снег укатывают легкими катками за 3...4 раза по одному следу, делая перерывы между проходами в зависимости от температуры воздуха: при температуре ниже $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ до двух часов; при температуре $-10...20 \text{ }^\circ\text{C}$ до четырех часов. Дорога считается пригодной к эксплуатации не ранее, чем через 4 часа после уплотнения. Плотность снега должна составлять не менее $0,4 \dots 0,5 \text{ г/см}^3$ на всем протяжении пути.

Наилучшая температура воздуха для укатки снега составляет от – 4 до – 10 °С.

При температуре выше нуля происходит интенсивное налипание снега на рабочие органы дорожных машин, а при более низких температурах снег становится несвязным (рассыпчатым).

Использованные источники:

1. 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.

2. 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.

3. 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.