

Лекция №15

ОСНОВЫ БОРЬБЫ С ЗИМНЕЙ СКОЛЬЗКОСТЬЮ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ

План:

- 1 теоретические основы борьбы с зимней скользкостью на автомобильных дорогах
- 2 особенности организации зимнего содержания автомобильных дорог и городских улиц в зарубежных странах

Зимняя скользкость включает в себя все виды снежно-ледяных образований на поверхности дороги, приводящие к снижению коэффициента сцепления: различные виды естественного обледенения, которые в метеорологии объединяют понятием гололедицы, и искусственное обледенение в виде снежного наката.

Формирование зимней скользкости на автомобильных дорогах зависит от метеорологических условий и теплофизических свойств дорожной одежды. Частота ее появления зависит от климатических условий и колеблется от пяти до 50 случаев в году. Наиболее общим случаем является образование гололеда на покрытии в результате замерзания капель дождя, мороси, тумана непосредственно на покрытии или в приземном слое воздуха, в котором при пониженной температуре содержится паровоздушная смесь в состоянии, близком к насыщению: ледяная корка образуется в зимний период при температуре воздуха от +4 до -20 °С: 55% случаев приходится на период 0...-5 °С; 80% на период +2...-6 °С; 90% на период +2...-15 °С. Относительная влажность воздуха оказывает важное влияние на формирование условий льдообразования. Гололед на покрытиях в 95% случаев возникает при $\phi = 70 + 100\%$, 90% случаев при $\phi = 80 + 100\%$.

При высокой влажности и отрицательной температуре (в приземном воздухе) до -5 °С еще содержится незамерзшая вода в виде капель диаметром около 2 мм. Чем холоднее воздух, тем меньше диаметр незамерзших частиц: при $t_B = -10$ °С в воздухе находится морось — незамерзшая парообразная вода диаметром частиц около 0,3 мм; при $t_B = -30$ °С парообразная влага представляет собой переохлажденный туман.

По характеру образования различают **пять групп** обледенения поверхности автомобильных дорог. К *первой группе* относят все виды обледенения, **возникающие с понижением температуры воздуха и замерзанием имеющейся на покрытии воды**. Это гидратационный тип гололедообразования, который возникает от внезапного снижения температуры воздуха до 0 °С и ниже, когда замерзает вода, находящаяся на покрытиях после дождя, таяния снега, поверхностного стока. Осадки при этом могут отсутствовать. Другой путь обледенения мокрого покрытия — выпадение мокрого снега или дождя при положительной температуре воздуха и дальнейшее замерзание при понижении температуры до отрицательных значений. Область образования льда зависит от толщины пленки воды, отрицательной температуры воздуха t_B , скорости ветра v_B , теплового сопротивления дорожной конструкции R . Время промерзания или время льдообразования в этом случае

$$T = \frac{ah_T R}{t_B K_B}, \quad (8.1)$$

где a — коэффициент, учитывающий гидрофобные свойства покрытия; h_T — толщина гололеда;

K_B — коэффициент, учитывающий скорость ветра, возрастающий с увеличением v_B .

Скорость гололедообразования зависит от тепловых свойств дорожной одежды и полотна. Чем «теплее» дорожная конструкция (больше R), тем медленнее остывает покрытие после внезапного похолодания, тем продолжительнее время промерзания воды на покрытии. Толщина слоя льда в этом случае может быть от 1 мм до 2—3 см и зависит от микрошероховатости и ровности покрытий и слоя воды. Этот тип гололеда характерен очень низким коэффициентом сцепления (около 0,08—0,15), однородностью стекловидного льда, однородностью структуры по всей толщине ледяного слоя. Плотность льда достигает 0,9 г/см³.

Ко *второй группе* относят те виды обледенения, которые образуются **на сухой поверхности** в результате кристаллизации водяного пара из воздуха и образования инея при радиационном охлаждении покрытия ниже температуры точки росы. Температурный диапазон образования инея от -7 до -40 °С. Образование инея возможно при относительной влажности воздуха 80—100% в ясную безветренную погоду, при которой имеет место отрицательный баланс тепла. Осадки при этом отсутствуют.

К *третьей группе* относят виды скользкости, **возникающие при замерзании осадков, выпадающих на покрытие, охлажденное ниже температуры замерзания воды, в результате чего образуется твердый налет.** Различают налет зернистый и ледяной. Зернистый налет возникает при намерзании на переохлажденное покрытие влаги из тумана в начале оттепели, создается ледяная корка с шероховатой поверхностью. Ледяной налет образуется из-за замерзания капель воды при кратковременном дожде или мороси на охлажденном покрытии, когда температура воздуха не более $-2... -3$ °С. Длительный дождь приводит к прогреванию верхних слоев покрытия, и капли воды не замерзают.

К *четвертой группе* относят те виды обледенения, которые **возникают при выпадении на покрытие переохлажденных капель влаги.** Жидкая фаза на сухом или мокром покрытии образуется за счет выпадения капель переохлажденной жидкости из приземного слоя. Переохлажденные дожди наблюдаются при температуре до -5 °С, а переохлажденная морось — до -10 °С.

Температура переохлажденных капель в зависимости от их диаметра может изменяться от -1 до -10 °С.

Крупные капли воды (диаметром более $2—3$ мм) при ударе о покрытие быстро растекаются и промерзают, образуя практически однородную структуру ледяной корки. Мелкие капли (диаметром $1—2$ мм и менее) с меньшей температурой промерзания медленнее садятся на покрытие, они удлиняют период льдообразования. Однако скорость образования гололеда высокая — $1—5$ ч. Льдообразование возникает сразу на больших территориях. Толщина корки льда небольшая обычно $1—3$ мм, реже до 5 мм, плотность льда $0,7—0,9$ г/см³. Это гидратационное гололедообразование. К этой же группе относят конденсационный тип гололедообразования, когда на покрытие оседают не переохлажденные капли жидкости, а кристаллы льда и мороси.

Покрытия имеют микропоры, которые сорбируют водяной пар, и в результате образуются вогнутые мениски. Давление водяного пара над такой поверхностью меньше, чем над плоской, что способствует сорбции пара в менисках и конденсаций в пленочную воду. Высокая влажность воздуха способствует этому процессу. Возникающие переохлажденные капли создают очаги последующей конденсации — агрегаты, которые кристаллизуются.

Подобные конденсационные процессы возникают и в приземном слое воздуха при $t_B = +4...-6$ °С и $\psi = 70 + 95\%$. Переохлажденные капли сорбируют водяной пар и морось. Такие агрегаты в кристаллизационном состоянии оседают и одновременно с конденсационными агрегатами, возникающими

непосредственно в микропорах покрытий, образуют конденсационный тип гололеда, имеющий специфические особенности: матово-белый цвет, неоднородную рыхлую слоистую структуру льда, малую плотность (0,5—0,7 г/см³), большую неоднородность толщины (3—10 мм), более высокий коэффициент сцепления (0,15—0,20).

Характерная особенность метеорологических условий для этого типа гололеда: оттепель после длительных морозов; слабоморозная погода, ($t_B = 1...6$ °С) и туманы; низкая положительная температура ($t_B = +4...+ 1$ °С), и туманы при температуре дорожных покрытий $\%_{ок} = -1--5$ °С.

Пятую группу составляют те виды скользкости, которые образуются от уплотнения на покрытии слоя снега, т.е. искусственная скользкость. Снег обладает свойством изменять свои физические характеристики (плотность, прочность) под воздействием колес движущегося автомобиля. Процесс формирования снежного наката включает три стадии:

- 1) механическое уплотнение снега, в результате образуется накат плотностью 0,35—0,5 г/см³. При этом коэффициент сцепления колеса с покрытием может достигать 0,20—0,25;
- 2) постепенное формирование льда на его поверхности в результате периодического замерзания и оттаивания верхнего слоя наката. Тонкая пленка воды образуется от трения колес автомобиля по поверхности уплотненного снега; затем происходит кристаллизация ее в лед за счет большой теплоемкости снежных отложений. Плотность такого отложения 0,6—0,65 г/см³;
- 3) дальнейшее уплотнение и промерзание наката до превращения его в сплошной лед плотностью 0,9 г/см³. Коэффициент сцепления снижается до 0,1—0,15.

На процесс образования данного вида обледенения влияет температура воздуха: если она ниже -10 °С, уплотнение снега замедляется. Быстрее всего формируется слой наката при температуре воздуха, близкой к 0 °С. При малой скорости ветра снег откладывается на проезжей части, если скорость выше 6 м/с, имеет место перенос снега, что препятствует его отложению на дороге. Быстрому уплотнению снега способствует высокая интенсивность движения. Водная пленка на снежной или ледяной поверхности образуется в период оттепелей, когда на покрытии возникает плотный снежный накат или гололедица. При этом коэффициент сцепления достигает минимальных значений — 0,03—0,15.

Сцепные качества покрытий снижаются не только из-за образования снежного наката, но и отложения на них рыхлого, особенно влажного снега, когда коэффициент сцепления может составлять всего 0,1—0,2. Большое разнообразие условий образования зимней скользкости на дорогах существенно усложняет разработку методов, ее прогнозирования и технологий ликвидации [3, 7].

Есть и другая более упрощенная теория образования зимней скользкости, в которой под зимней скользкостью понимают ледяные и снежные отложения на поверхности дорожного покрытия, приводящие к снижению коэффициента сцепления колеса автомобиля с дорогой. При этом различают два вида зимней скользкости: естественная скользкость и искусственная скользкость. Естественная скользкость это стекловидный лед, рыхлый снег (или снежная каша). Искусственная скользкость это снежный накат (или уплотненный снег).

Стекловидный лед — слой льда в виде гладкой стекловидной пленки толщиной от 1 до 3 мм или в виде матово-белой корки толщиной до 10 мм и более. Плотность стекловидного льда составляет 0,7—0,9 г/см³, а матово-белой корки — 0,5—0,7 г/см³. Коэффициент сцепления при обоих видах скользкости равняется 0,08—0,15. Наибольшее влияние на образование зимней скользкости оказывают следующие факторы: температура, давление и влажность воздуха; осадки; ветер (скорость и направление); температура и влажность покрытия, а также теплоинерция дорожной одежды.

Наличие или отсутствие гололеда на поверхности покрытия автомобильных дорог связано с комплексом метеорологических факторов, способствующих образованию льда на различных типах покрытий. Одним из таких условий является выпадение жидких осадков, т.е. при наличии переохлажденного дождя, талого снега на поверхности покрытия при отрицательных температурах следует ожидать появления льда в 90 случаях из 100. Наибольшая вероятность начала образования гололедных отложений наблюдается через 2-3 часа после изменения погодных условий.

Вероятность образования льда на поверхности асфальтобетонного покрытия при температурах в интервале от 0 °С до –8 °С близка к 100 %, а ее зависимость от влажности окружающей среды незначительна. При температурах воздуха –8 °С и ниже вероятность образования льда резко уменьшается. Вода успевает перейти из жидкого состояния в парообразное прежде, чем наступит процесс ее замерзания.

Борьба с зимней скользкостью ведется по **трем направлениям**: улучшение сцепления колес автомобилей с покрытием; удаление снежно-ледяных образований с дорожного покрытия; предотвращение образования скользкости. Основные способы борьбы: фрикционный, химический, тепловой и механический.

Широко распространен **фрикционный способ**, заключающийся в рассыпании по поверхности обледенелого слоя материалов, повышающих коэффициент сцепления шин с дорогой (песка, шлака, золы и т. д.). В табл. 1 приведен усредненный тормозной путь легкового автомобиля с начальной скоростью 40 км/час при использовании абразивных антигололедных реагентов.

Таблица 1

Тормозной путь автомобиля после применения абразивов

Состояние покрытия	Коэффициент трения	Тормозной путь, м
Снежный накат, ниже -15°C	0,18	35,0
Свеженанесенный абразивный материал (300 кг/км)	0,40	15,7
Покрытие после прохода нескольких автомобилей	0,23	29,5

Недостатками фрикционного способа являются значительные транспортные расходы на перевозку и распределение материалов. Обычно песок наносится на покрытие в количестве до 340 кг на км на 1 полосу движения. Песок предназначен для временного увеличения сцепления между колесами транспортных средств и покрытием.

Большое распространение получил комбинированный **химико-фрикционный метод**, когда фрикционные материалы (песок) смешиваются с твердыми хлоридами в различных соотношениях. Применение пескосоляной смеси (фрикционных материалов) считается неэкономичным из-за засорения водостоков в городах и большого расхода материалов: для

неопасных участков - 0,1 – 0,2 м³ на 1000 м² покрытия (от 100 до 400 г/м²), на опасных - от 0,3 до 0,4 м³ на 1000 м².

Песок или высевки могут быть применены «напрямую», могут быть предварительно увлажнены растворами солей (в хранилище или при погрузке в пескораспределитель) или поставляться смешанными с солью (с соотношением песок:соль от 1:1 до 4:1).

Получаемые выгоды являются временными, если не заставить абразивы задерживаться на снеге или льду. Крупный песок дает больший прирост коэффициента сцепления при низких температурах, в то время как мелкий песок предпочтительнее при температурах ближе к точке плавления льда. Улучшение сцепления в основном зависит от расхода материала (до 580 кг/км/полоса движения). Существует три способа удержать абразивы на дорожном покрытии: предварительное увлажнение абразивов растворами жидких противогололедных реагентов, нагрев абразивов до применения, смешивание абразивов с водой до применения.

Жидкость (раствор $NaCl$ или $CaCl_2$) добавляется в количестве до 50 л/т абразивов. Такой способ увлажнения задерживает до 96 % материала на поверхности покрытия. Кроме того, увлажнение растворами хлоридов дает толчок к частичному таянию наката.

Другой способ – *нагрев абразивов* до высокой температуры при погрузке или в распределителе. Горячие абразивы должны растапливать незначительное количество снега или вмерзать в накат. Талая вода повторно замерзает вокруг абразива и «приклеивает» его к поверхности снега или льда. В теории, примерзшая частица абразива останется на месте намного дольше, чем абразивы, распределяемые обычным методом. Третий способ – *смешивание абразивов с водой* перед распределением. Небольшое количество воды на частице абразива заставит частицу быстро примерзнуть к дорожной поверхности, в результате чего она дольше останется на месте.

Механический способ борьбы с зимней скользкостью предусматривает использование самоходных и прицепных машин и механизмов ударного, скребкового, вибрационного или срезающего действия для разрушения и отделения льда и уплотненного снега от покрытия. Применение таких машин

пригодно для складывания и срезания толстых уплотненных снежно-ледяных корок. Для удаления тонких ледяных пленок механический способ является неприемлемым. Это связано со значительной прочностью контакта смерзания льда с бетоном и асфальтобетоном. Под действием нагрузки разрушение льда часто происходит не по контакту «лед – покрытие», а по льду. Механический способ борьбы с зимней скользкостью применяется чаще всего в сочетании с химическим, когда химическими веществами предварительно ослабляют снежно-ледяной слой, а затем его удаляют с дороги машинами.

Основной путь повышения эффективности борьбы с зимней скользкостью – полное удаление ледяного или снежно-ледяного слоя **тепловыми или химическим способом.**

Тепловой способ применяется в двух видах: удаление снежно-ледяных отложений путем подогрева покрытий нагревательными элементами, закладываемыми в покрытия и удаление снежно-ледяного слоя с покрытий с помощью тепловых машин. Нагревательные системы, применяемые для покрытий используют токопроводящий кабель с высоким сопротивлением или трубы, содержащие горячий теплоноситель. Токопроводящий бетон можно разделить на два типа: железобетон, содержащий токопроводящие фиброволокно и бетон, содержащий токопроводящие заполнители. Первый тип имеет более высокую механическую прочность, но низкую проводимость с удельным сопротивлением приблизительно $100 \text{ Вт} \cdot \text{см}$ из-за слабого контакта поверхностей «волокно к волокну». Второй тип имеет более высокую проводимость с удельным сопротивлением от $10 - 30 \text{ Вт} \cdot \text{см}$, но относительно низкий предел прочности при сжатии. Ослабление механической прочности возникает из-за содержания токопроводящих добавок, увеличивающих водопоглощение (типа сажи и кокса).

Можно использовать токопроводящий слой бетона для борьбы с обледенением настилов мостов.

Другой источник энергии – микроволновый нагрев. При прямом электрическом нагреве постоянный ток подводится к токопроводящему

верхнему слою бетона на поверхности моста, чтобы получить температуру, достаточную для плавления льда. Эта схема подобна процессу нагрева в микроволновой печи. Выполнимость этого подхода зависит от свойств токопроводящей бетонной смеси.

Контрольные вопросы

1. Чем характеризуется группы обледенения
2. Что вызывает воздействие на дорожную одежду статические, динамические вертикальные (нормальные) и касательные (тангенциальные) силы, передаваемые колесами транспортных средств
3. Какие напряжения в слоях дорожной одежды являются наиболее опасными

Список литературы

1. Автомобильные дороги. Строительство, ремонт, эксплуатация / Л.Г. Основина и др. - М.: Феникс, 2015. - 496 с.
2. Науменков, Н. К. Постатейный комментарий к Федеральному Закону от 8 ноября 2007 г. № 257-ФЗ "Об автомобильных дорогах и о дорожной деятельности в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты" / Н.К. Науменков. - М.: Деловой двор, 2018. - 448 с.
3. Постатейный комментарий к Федеральному закону в новой редакции "Об автомобильных дорогах и о дорожной деятельности". - Москва: РГГУ, 2015. - 608 с.
4. Рассел, Джесси Классификация автомобильных дорог в России / Джесси Рассел. - М.: VSD, 2016. - 945 с.
5. Садило, М. В. Автомобильные дороги. Строительство и эксплуатация / М.В. Садило, Р.М. Садило. - М.: Феникс, 2018. - 368 с.
6. Васильев А.П., Сиденко В.М. Эксплуатация автомобильных дорог и организация дорожного движения : учебник для вузов / под ред. А.П. Васильева. М. : Транспорт, 1990. Бабков В.Ф., Андреев О.В. Проектирование автомобильных дорог : учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. Ч. 1. М. : Транспорт, 1987.
7. Эксплуатация автомобильных дорог и организация дорожного движения / под ред. И.И. Леоновича. Минск : Вышэйш. шк., 1988.

