

Н. П. Вырко, д-р техн. наук, профессор; И. И. Леонович, д-р техн. наук, профессор, БНТУ;
И. И. Тумашик, канд. техн. наук, доцент; А. М. Лось, ассистент

ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ПУЧИН НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ЛЕСНЫХ ДОРОГАХ

In given article authors consider a problem of formation of abysses on automobile forest roads. For definition of depth freezing grounds we develop a statistical method in which basis long-term supervision over depth freezing grounds are put, cards lanes average maximal depth freezing grounds and factor of a variation. Methods of prevention and liquidation of abysses are considered on automobile forest roads.

Введение. Под воздействием погодноклиматических факторов в дорожной конструкции протекают сложные водно-тепловые процессы, в результате чего в различных местах грунтового массива меняется количество влаги, состояние воды, а вместе с тем прочность и несущая способность дороги. Одним из наиболее ощутимых проявлений водно-тепловых процессов можно считать пучины, которые являются следствием промерзания грунта земляного полотна и миграции влаги из нижних слоев к границе промерзания, т. е. в зону активного охлаждения.

Весной при оттаивании грунта земляного полотна происходит его переувлажнение и, как следствие, потеря прочности и несущей способности его, снижение величины модуля упругости. Все это влечет снижение прочности дорожной одежды. Как показывают исследования, прочность дорожной одежды будет обеспечена, если фактический (эквивалентный) модуль упругости ($E_{\text{экр}}$) ее будет больше требуемого ($E_{\text{тр}}$), т. е. $E_{\text{экр}} > E_{\text{тр}}$. Если же $E_{\text{экр}} < E_{\text{тр}}$ на 20%, то разрушения охватывают 4–10% поверхности дорожного покрытия. При дальнейшем увлажнении эквивалентный модуль уменьшается, разрушения быстро возрастают, достигая 10–20% при снижении $E_{\text{экр}}$ на 30%, и 35–80% при снижении $E_{\text{экр}}$ на 50% против требуемого по условиям движения.

Приведенные данные показывают важность учета водно-тепловых процессов при проектировании и строительстве дорог.

Деформации дорожного покрытия, образовавшиеся в результате вскрытия пучин, приводят к снижению скорости движения транспортных средств, увеличению сопротивления движению, расхода топлива и износа резины, общего износа машин и уменьшению их производительности. Поэтому задача проектировщиков дорог разрабатывать инженерные решения, чтобы не допускать пучинообразования в процессе эксплуатации дороги.

1. Промерзание грунта земляного полотна.

Промерзание грунта оказывает большое влияние на распределение и перемещение влаги, изменение фазового состава грунта, высоту насыпи и т. д.

Исследования, проведенные нами, а также профессорами М. Н. Гольштейном, В. С. Лукья-

новым, М. Д. Головкин, Н. А. Пузаковым, В. М. Сиденко, А. Я. Тулаевым, Г. И. Шелопаевым и другими, показывают, что на промерзание грунта существенное влияние оказывают тип грунта, его влажность, интенсивность и продолжительность действия отрицательной температуры, теплопроводность и теплоемкость грунта, и чем выше теплопроводность грунта, тем больше глубина его промерзания. Влажность в начальный момент способствует промерзанию, так как увеличивает теплопроводность, а в дальнейшем при замерзании влаги процесс замедляется. Это вызвано тем, что при замерзании воды выделяется теплота льдообразования, поэтому скорость и глубина промерзания более влажного грунта будет меньше, чем грунта с меньшей влажностью.

Скорость промерзания и величина температурных градиентов оказывает существенное влияние на интенсивность образования ледяных линз. При медленном промерзании происходит интенсивная миграция влаги к границе промерзания, что приводит к увеличению влажности грунта, к изменению его прочностных характеристик, образованию ледяных линз и, как следствие, образованию пучин. При быстром промерзании влага не успевает перераспределиться и ледяные линзы не образуются.

Для условий Беларуси средняя скорость промерзания грунта земляного полотна по нашим исследованиям по оси дороги составляет 1,3–2,1 см/сут, а на обочине – 0,8–1,9 см/сут. Продолжительность периода промерзания 80–120 сут. Средняя скорость оттаивания по оси дороги – 2–4 см/сут, а на обочине 2,0–3,5 см/сут.

Для ограничения миграции влаги к границе промерзания, уменьшения глубины промерзания весьма эффективным инженерным решением является устройство гидро- и теплоизолирующих прослоек.

Для определения глубины промерзания грунтов нами разработан статистический метод, в основу которого положены многолетние наблюдения (не менее 20 лет) за глубиной промерзания грунтов, карты изолиний средней максимальной глубины промерзания грунтов и коэффициента вариации, построенные нами.

Используя карты изолиний, глубину промерзания определяют по формуле

$$z = k_{\text{пер}} k_s z_{\text{ср}}, \quad (1)$$

где $k_{\text{пер}}$ – переходной коэффициент от грунта промерзания открытого поля к грунтам земляного полотна, учитывающий теплофизические свойства грунта, снежного покрова и т. д.; k_s – модульный коэффициент, определяемый по таблицам Рыбкина в зависимости от заданной обеспеченности; $z_{\text{ср}}$ – средняя максимальная глубина промерзания грунта, определяемая по карте изолиний.

Предложенный метод в обобщенном виде учитывает все факторы, влияющие на промерзание грунта, является довольно простым в практике его применения, исключает трудности, которые возникают при изучении тепловых характеристик грунта как трехфазной системы (твердой, жидкой, газообразной), а также с образованием в процессе охлаждения льда, что меняет тепловые свойства грунта.

2. Физическая сущность и условия образования пучин. Пучинами называют деформации дорожной одежды в виде бугров и сетки трещин, через которые под воздействием транспортных средств на поверхность покрытия выдавливается влага, которая в период морозного влагонакопления в земляном полотне образует ледяные линзы, проявляющие себя при оттаивании дорожной конструкции.

Пучины на лесовозных дорогах могут быть поверхностными (общее размягчение), источником которых является дождевая или инфильтрационная вода, и коренными, образованию которых способствует высокий уровень грунтовых вод, характерный для лесной зоны.

Пучение грунтов предопределяется такими их основными параметрами, как водопроницаемость, капиллярность, зерновой состав, плотность.

Водопроницаемость характеризуется средней скоростью движения воды при гидравлическом градиенте, равном 1. Эта скорость зависит от поперечного сечения микроструй и конфигурации (извилистости) их путей в толще грунта.

Степень подъема воды к зоне промерзания зависит от гранулометрического состава грунта. Мелкозернистые грунты обладают меньшей водопроницаемостью.

При увеличении плотности грунта размеры пор уменьшаются, капиллярный подъем увеличивается, а водопроницаемость снижается.

Повышение капиллярности увеличивает потенциал морозного пучения грунта, однако только до момента достижения критической плотности. За пределами критической плотности капиллярность также возрастает, но в этих условиях решающим является снижение водопроницаемости, в связи с чем уменьшается подток воды снизу. Каждую частицу влажного

грунта окружает тонкий слой адсорбированной воды. Адсорбированная вода на поверхности глинистых частиц замерзает при более низких температурах, чем вода в порах. Незамерзшая вода является каналом, по которому она может двигаться к зоне промерзания. Этот непрерывно продолжающийся процесс образует непрерывный поток с переходом воды из жидкой фазы в кристаллы льда. Известно, что объем льда, который образуется в процессе замерзания воды, превосходит объем воды на 9%. Кристаллы льда в грунтах под дорожными одедами растут в вертикальном направлении по мере поступления воды. Добавка к грунту хлористого натрия или хлористого кальция снижает пучение. Однако слабая концентрация солей в глинистых грунтах ведет к повышению возможности пучения, увеличивая толщину слоя адсорбированной воды в частицах грунта. Кроме этого, на величину пучения влияет интенсивность промораживания.

При небольших морозах грунты промерзают медленно, имеется достаточно времени для подтока воды, поэтому образование ледяных линз идет интенсивно. При сильных морозах, наоборот, происходит быстрое промерзание грунта, вода не успевает перераспределиться, поэтому ледяные линзы не образуются.

Внешнее проявление пучин заключается в постепенном поднятии одежды по мере нарастания суммы $\sum T_x t_b$, где $\sum T_x$ – число дней с отрицательной температурой воздуха t_b .

Максимальное поднятие достигается к концу холодного периода. На взбугриваниях четко видны трещины ромбического очертания (зимний период пучинообразования).

Весной при прогревании одежды грунт земляного полотна оттаивает. Наибольшее скопление влаги и наименьшая прочность грунта наблюдаются в местах пучин, где накапливается максимальное количество льда.

В процессе пучения происходит равномерное и неравномерное поднятие дорожной одежды. Наиболее опасны неравномерные поднятия, вызывающие трещины в растянутой зоне покрытий.

В простейшем виде уравнение общего пучения имеет вид

$$l_0 = 1,09 \mu \Delta W_{\text{max}}, \quad (2)$$

где μ – коэффициент неравномерности морозного пучения, равный 0,20 для нежестких одежд; 0,20 для жестких одежд при глубоком залегании горизонта грунтовых вод (ГГВ) и 0,30 при близком залегании; ΔW_{max} – максимальное влагонакопление за холодный период.

При допущении невозможности бокового расширения грунта при полном влагонакоплении неравномерное пучение можно рассчитать по формуле

$$l_n = \mu z \left\{ \left[\frac{(\rho_n W_n + \rho_l W_l) \rho_{d1}}{\rho_n \rho_l} + V_2 \frac{\rho_{d1}}{\rho_{d2}} \right] - \frac{W_l \rho_{d2}}{\rho_0} - V_1 \right\}, \quad (3)$$

где z – глубина промерзания грунта в конце холодного периода, м; W_n , W_l – содержание незамёрзшей воды и льда в долях единицы, вычисляется расчетом; ρ_n , ρ_l , ρ_0 – плотность термоактивной воды, льда и воды, кг/м³; ρ_{d1} , ρ_{d2} – плотность грунта до промерзания и в конце холодного периода, кг/м³; V_1 , V_2 – объем воздуха в порах до промерзания и в конце холодного периода, в долях единицы; W_l – влажность грунта до промерзания, в долях единицы, применяемая по данным наблюдений или устанавливаемая расчетом.

Анализ уравнения (3) показывает, что основное влияние на величину пучения оказывает глубина промерзания и величина общего морозного влагонакопления $W_2 = W_n + W_l$. Не во всех случаях зимнего влагонакопления может происходить пучинообразование. Пучины возникают в случае, если объем льдообразования вследствие морозного влагонакопления презойдет объем воздуха V_1 , т. е.

$$\frac{1,09(W_2 - W_1)}{\rho_\varepsilon} > V_1. \quad (4)$$

Вследствие неоднородности физико-механических свойств грунта земляного полотна и неравномерного промерзания происходит неравное заполнение пор водой и льдом. Морозное пучение произойдет в том случае, если

$$W_2 \geq W_1 + 0,9\rho_\varepsilon \left[1 - \frac{(\rho_\varepsilon - 1,09W_1\rho_d)\rho_{d2}}{\rho_d\rho_\varepsilon} \right]. \quad (5)$$

По уравнению (5) можно рассчитать свойства грунта и их предельные значения, при которых возникают пучины.

3. Предотвращение и ликвидация пучин.

Для предотвращения поверхностных пучин или общего размягчения поверхности покрытия при его оттаивании рекомендуются следующие способы: отвод воды с поверхности дорожного покрытия, устройство дренажных прорезей на обочинах дороги, укладка песчано-гравийного слоя под покрытием, лучше из оптимальной гравийной смеси, увеличение плотности покрытия и грунта земляного полотна, своевременное закрытие дороги на просушку.

Более сложные работы необходимо выполнять при предотвращении коренных пучин, которые на покрытии могут достигать высоты 20 см и более. В весенний период под действием нагрузки, передаваемой от транспортных

средств, происходит вскрытие пучин, т. е. грунт, насыщенный водой, теряет несущую способность, и дорожные одежды (покрытие) разрушаются. Первым признаком разрушения является появление трещин и влажных пятен, а затем образование проломов и колеи. Под действием колеса автомобиля вода вышлекивается через трещины, просадки, проломы дорожной одежды. Происходит интенсивное ее разрушение.

В Беларуси наибольшее разрушение транспортных путей возникает при оттаивании грунта на глубину 0,7–0,8 м.

При оттаивании грунта на глубину 1 м и более влага из верхних слоев просачивается в нижележащие и в откосную часть земляного полотна, поэтому верхние слои грунта начинают просыхать и восстанавливать несущую способность.

Коренные пучины на дорогах возникают при наличии трех характерных условий: если земляное полотно возведено из пучинистых (пылеватых) грунтов; если земляное полотно переувлажнено и когда оно медленно и глубоко промерзает. При отсутствии или ликвидации одного из этих условий пучин не возникает.

Одним из наиболее изученных и опробованных способов предотвращения образования коренных пучин является замена грунта земляного полотна новым дренирующим грунтом. Однако этот способ экономически эффективен в том случае, когда рядом с дорогой есть дренирующие грунты.

В настоящее время для предотвращения образования пучин широкое распространение получило применение геотекстилей (нетканые синтетические материалы), теплоизолирующих прослоек из лесосечных отходов (рисунок).

Расчеты по ликвидации коренных пучин на лесовозных дорогах выполняют в следующей технологической последовательности:

- снятие гравийного покрытия бульдозером или автогрейдером;
- устройство корыта для укладки лесосечных отходов бульдозером или автогрейдером;
- уплотнение дна корыта пневмокатками;
- подвозка лесосечных отходов автосамосвалами;
- разравнивание лесосечных отходов и уплотнение их несколькими проходами бульдозера;
- засыпка слоя лесосечных отходов, уложенных в корыто, слоем грунта из резерва или привозным грунтом. Толщина слоя грунта в насыпи над слоем из лесосечных отходов для песчаных грунтов должна быть не менее 30–40 см, для глинистых – 40–60 см;
- уплотнение грунта пневмокатками и планировка его автогрейдером;
- устройство покрытия из старого гравийного материала с частичной добавкой нового.

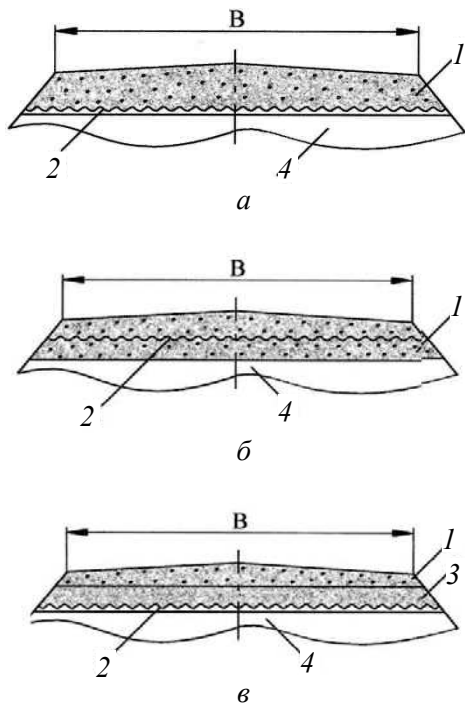


Рисунок. Конструкции лесовозных автомобильных дорог с прослойками:
а, б, в – типы конструкций;
1 – покрытие; *2* – прослойка;
3 – земляное полотно; *4* – основание

Толщина слоя лесосечных отходов в уплотненном состоянии должна быть в пределах 10–20 см в зависимости от отходов. При наличии лесосечных отходов в виде щепы толщина слоя может быть уменьшена на 15–20%.

Толщина слоя грунта над геотекстилем при использовании последнего в дорожной конструкции должна быть не менее 30 см.

Выводы. 1. Скорость промерзания грунта земляного полотна составляет 1,3–2,1 см/сут, а скорость оттаивания – 2,3–4,0 см/сут. Величина оттаивания грунта за счет потока тепла снизу составляет 15–25% от максимальной глубины промерзания.

2. При продолжительных зимних оттепелях в Беларуси происходит задержка продвижения нулевой изотермы, что способствует сильному влагонакоплению и образованию пучин.

3. Изучение физической сущности и условий образования пучин позволило разработать методику определения величины допускаемого морозного пучения дорожных одежд нежесткого типа.

4. Для предотвращения пучинообразования нами рекомендуется применять лесосечные отходы и нетканые синтетические материалы в связи с тем, что данные материалы имеют высокие теплоизолирующие и капилляропрерывающие свойства. Коэффициент теплопроводности их в 4–5 раз ниже грунта земляного полотна.

5. В разработанных конструкциях, содержащих лесосечные и нетканые синтетические материалы, толщина слоя грунта в насыпи над прослойками для песчаных грунтов должна быть не менее 30–40 см, для глинистых – 40–60 см.

Литература

1. Леонович, И. И. Прогнозирование пучинообразования автомобильных дорог Беларуси / И. И. Леонович, Н. П. Вырко // Вопросы эксплуатации автомобильных дорог и мостов: сб. – М.: Транспорт, 1970. – С. 10–17.

2. Леонович, И. И. Эксплуатация лесных дорог: учеб. пособие для студентов вузов / И. И. Леонович, А. Л. Оковитый, Н. П. Вырко. – М.: Высш. шк., 1972. – 448 с.

3. Вырко, Н. П. Использование лесосечных отходов при строительстве подъездных путей / Н. П. Вырко, Л. Р. Мытько, М. Т. Насковец // Организация и совершенствование транспортных работ на лесозаготовках: материалы Всесоюз. науч.-техн. совещ., 6–7 августа 1985. – Химки, 1985. – С. 35.

4. Эксплуатация автомобильных дорог и организация дорожного движения: учеб. пособие для студ. вузов / И. И. Леонович [и др.]; под общ. ред. И. И. Леоновича. – М.: Высш. шк., 1988. – 348 с.

5. Лыщик, П. А. Применение синтетических материалов на временных лесовозных дорогах / П. А. Лыщик, Н. П. Вырко, Н. И. Танкович // Технол. и оборудование заготовки и переработки древесины: сб. – Минск: Выш. шк., 1990. – Вып. 5. – С. 21–23.