

А.И. Ярмолинский

И.Н. Пугачёв

Е.В. Пулинец

(Хабаровский государственный технический университет)

МЕТОДИКА ПРОГНОЗА ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ НЕЖЕСТКИХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД В ВЕСЕННИЙ ПЕРИОД

Снижение государственных расходов на дорожное строительство, привело в середине 90^х годов к ухудшению состояния дорог. В связи с ограниченными ресурсами наиболее приоритетными направлениями стали содержание и ремонт автомобильных дорог.

Президентская программа совершенствования и развития автомобильных дорог «Дороги России» определила главными целями отрасли на период 1995-2000 гг., две взаимосвязанные задачи – соблюдение интересов пользователей автомобильных дорог и обеспечение сохранности автомобильных дорог и их транспортно-эксплуатационного состояния.

Руководствуясь этими задачами определяющим направлением дорожной политики стало обеспечение эффективного управления и планирования на основе анализа транспортно-эксплуатационного состояния дорожной сети и приоритетное финансирование работ по ремонту и содержанию дорог с целью приостановления их разрушения, так как инвестирование средств в ремонт и содержание дорог дает пользователю максимальную прибыль.

Продолжающийся в стране спад производства и несовершенство закона «О дорожных фондах» привели к ухудшению финансирования дорожных работ. Положение значительно усугубилось в 2001 году в связи с консолидацией Федерального дорожного фонда в бюджет страны.

Тем самым была ликвидирована отдельная строка в бюджете, откуда деньги могли направляться исключительно на строительство и эксплуатацию

автомобильных дорог. Сегодня в бюджете РФ записана следующая строка «на развитие транспорта, автомобильных дорог и связи». Следовательно, рассчитывать на размер сложившегося в последнее время финансирования на содержание дорог, не приходится. При существующем подходе к вопросам ремонта и содержания дорог будет продолжаться резкое ухудшение их транспортно-эксплуатационного состояния.

В сложившейся ситуации сохранение существующей сети дорог, особенно в наиболее сложный период эксплуатации - период весенней распутицы, путем ограничения движения в составе транспортного потока большегрузных автомобилей, является одним из наиболее важных мероприятий.

Если установить несущую способность земляного полотна и дорожной одежды в расчетный период, то можно заранее спланировать время ограничения автомобильной нагрузки различного тоннажа.

В качестве основного показателя, определяющего общую прочность и деформативную устойчивость дорожной одежды можно принять влажность грунта в расчетный период. При этом необходимо учитывать снижение прочностных характеристик грунта за счет изменения структурной связности воды при промерзании-оттаивании грунта земляного полотна.

Освобождаемая после оттаивания грунтовая вода не находит выхода через мерзлые под обочинами дренирующие слои. Под действием динамической нагрузки оттаивающий переувлажненный грунт теряет структурную связность и несущую способность. В этот период появляются самые неблагоприятные воздействия на дорожную одежду:

- разрушающие сдвиговые нагрузки в оттаивающем грунте земляного полотна;
- недопустимые прогибы дорожной одежды на переувлажненном грунте оттаивающего слоя земляного полотна;

- разрушающие деформации увлажненных асфальтобетонных покрытий при переменном замерзании ночью и оттаивании днем;
- повышенный износ деструктивных покрытий, особенно при их поверхностном увлажнении и переменном замораживании – оттаивании;
- дополнительное попадание талой влаги через трещины в основание дорожных одежд.

Действующая Инструкция по проектированию дорожных одежд нежесткого типа ВСН 46-83, предусматривает расчет по условию обеспечения сдвигоустойчивости подстилающего грунта. При этом применяемые критерии сдвигоустойчивости должны ограничивать пластические деформации конструктивных слоев дорожных одежд.

Вместе с тем сдвигоустойчивость грунта земляного полотна как фактор, формирующий разрушение дорожных одежд, в большинстве случаев является определяющим. Это обусловлено следующими причинами:

- изменением состава и интенсивности движения транспортного потока в последние годы;
- недостаточной для современного движения степенью сдвигоустойчивости (в грунте) конструкций дорожных одежд существующих дорог;
- несовершенством расчета необходимой толщины слоев дорожной одежды в современных конструкциях;
- недостаточной сдвигоустойчивостью асфальтобетона.

Действующий метод расчета дорожных одежд, изложенный в инструкции ВСН 46-83, исходит из представления, что напряженно-деформированное состояние (НДС) дорожной одежды под действием автомобильной нагрузки может быть выражено решениями теории упругости для слоистого полупространства с учетом условий сопряжения на контактах слоев.

Наиболее распространенная в настоящее время расчетная схема определения необходимой толщины слоев дорожной одежды, базируется на анализе модели слоистого полупространства, при воздействии на его поверхность неподвижной статической нагрузки. Различные усовершенствования этой расчетной схемы, используемые сегодня, основаны, как правило, на абсолютизации свойств одних элементов и отбрасывании тех особенностей строения системы, которые на первый взгляд относительно слабо влияют на ее напряженно-деформированное состояние.

Прогноз прочности дорожных одежд должен быть выполнен с учетом особенностей изменения водно-теплового режима земляного полотна автомобильных дорог в годовом цикле. Анализ состояния дорог южной части Дальнего Востока позволил установить, что несущая способность грунтов при прочих равных условиях снижается, как правило, в годы неблагоприятного сочетания метеорологических факторов, определяющих процесс влагонакопления в земляном полотне и основаниях дорожных одежд.

При нарушении водно-теплового режима резко снижается прочность грунта земляного полотна, что приводит к необратимым деформациям дорожных одежд. Поэтому обеспечение стабильного водно-теплового режима автомобильных дорог является одной из основных задач научно-технического прогресса в дорожном строительстве. Нарушение водно-теплового режима приводит к необратимым деформациям дорожных сооружений. В результате народное хозяйство несёт прямые потери от затрат на восстановление автомобильных дорог и огромные косвенные потери от невостробованности грузов и значительного удорожания автомобильных перевозок.

Для того, чтобы обеспечить стабильный водно-тепловой режим автомобильных дорог существует достаточно много методов, разработанных отечественными учеными А.Я.Тулаевым, В.И. Рувинским, В.Д. Казарновским, И.А. Золотарем, В.П. Носовым, В.Н. Ефименко и другими.

В большей степени эти методы относятся к вновь проектируемым автомобильным дорогам. Для эксплуатируемых дорог расчетные параметры зачастую не соответствуют их техническим возможностям.

Вопросам улучшения транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог в процессе их эксплуатации много внимания уделено в работах М.Б. Корсунского, В.П. Васильева, Ю.М. Яковлева, В.Д. Казарновского и других исследователей. Тем не менее, до настоящего времени остается недостаточно изученным вопрос снижения прочностных свойств грунта земляного полотна в период весенней распутицы, обусловленный его структурными изменениями в процессе промерзания и оттаивания.

В исследованиях Ю.М. Яковлева и М.Г. Горячева учитывается процесс накопления остаточных деформаций при эксплуатации автомобильных дорог, однако фактор снижения несущей способности грунта в период оттаивания земляного полотна в них не учитывается.

Потеря несущей способности в оттаивающем слое земляного полотна обуславливает необходимость ограничения величины автомобильной нагрузки в период весенней распутицы, однако методики установления сроков этого ограничения в настоящий момент не существует.

Так в Технических правилах ремонта и содержания автомобильных дорог рекомендуется ограничивать движение для тяжелых автомобилей или закрывать движение совсем, но нет количественных критериев для этого.

Отмеченный факт не позволяет принять своевременные меры по сохранению автомобильных дорог в период максимального ослабления их несущей способности, что приводит к большим народно-хозяйственным потерям.

Особенно актуальна указанная проблема для рассматриваемой территории южной части Дальнего Востока, характеризующейся муссонным климатом, глубоким сезонным промерзанием и повсеместным распространением пучинистых пылевато-глинистых грунтов.

Актуальность обозначенной проблемы подчеркивается еще и тем, что в регионе ежегодно в период весенней распутицы ограничивается движение автомобилей с нагрузкой на ось свыше 10 тонн, но сроки этого ограничения научно не обосновываются. Это приводит к запаздыванию в принятии решения как по срокам, так и по весу транспортных средств.

Процесс усугубляется неравномерным характером оттаивания за счет разности отражающей способности поверхности покрытия и обочин.

Эта климатическая особенность приводит к тому, что грунт под проезжей частью начинает оттаивать тогда, когда выводящие слои дренажных систем под обочинами находятся в мерзлом состоянии.

В целом неблагоприятный водно-тепловой режим обуславливает потерю несущей способности грунта, что приводит к разрушению дорожных одежд.

Процесс стабилизации прочностных свойств грунта связан длительным периодом удаления грунтовой воды, образовавшийся в процессе оттаивания льдонасыщенного грунта земляного полотна и её частичной вторичной связанностью с частицами оттаивающего грунта.

Процесс разупрочнения прочностных свойств грунта в результате «промерзания-оттаивания» земляного полотна и последующий период стабилизации, не нашёл отражения в нормативных документах.

Так в инструкции по проектированию дорожных одежд нежесткого типа (ВСН 46-83) допустимое напряжение сдвига в грунте ($T_{\text{доп}}$) оценивается, как величина сцепления грунта активной зоны земляного полотна ($c_{\text{гр}}$) в расчетный период, умноженная на коэффициенты k_1 , k_2 , k_3 , учитывающие снижение величины сцепления по условиям работы дорожной одежды.

$$T_{\text{доп}} = c_{\text{гр}} k_1 k_2 k_3 \quad (1)$$

В представленной формуле величина сцепления грунта не регламентируется в зависимости от состояния грунта, «талый» или «оттаивающий». Однако, многочисленные исследования водно-теплового режима автомобильных дорог свидетельствуют о том, что в промерзающих

тонкодисперсных грунтах (особенно пылеватых) происходит процесс миграции части связанной воды в прослойки и кристаллы льда, которые при оттаивании образуют свободную грунтовую воду не связанную с частицами грунта. Свободная вода обладает расклинивающим эффектом, снижая величину сцепления в грунте.

Процесс стабилизации прочностных свойств заключается в удалении части свободной воды, образовавшейся при оттаивании прослоек и кристаллов льда и восстановлении структурно связанных с частицами грунта водных пленок.

Поэтому очень важно ограничивать нагрузку на дорожные одежды в период стабилизации прочностных свойств грунта земляного полотна.

При этом важно количественно учитывать снижение величины сцепления в грунте во время оттаивания земляного полотна.

Установление продолжительности расчетного периода может осуществляться по следующей схеме:

Блок схема определения периода ограничения нагрузки на автомобильные дороги



Установление даты окончания периода стабилизации прочностных свойств грунта



Определение расчетного периода ограничения нагрузки на автомобильные дороги

Принципиально важно правильно учесть прочностные свойства грунта в период оттаивания земляного полотна и установить корреляционную зависимость между прочностью и влажностью грунта в период стабилизации прочностных свойств земляного полотна.

Регламентация величины сцепления грунта очень важна с точки зрения учета ее снижения за счет процесса «промерзание-оттаивание» грунта земляного полотна.

Для установления такой зависимости были проведены лабораторные и полевые исследования. Для этой цели был использован прибор сдвигомер – крыльчатка СК – 10. Тарировка прибора осуществлялась весовым методом.

В результате обработки полевых исследований получены графики расчетных значений величины сцепления грунта земляного полотна, исследуемых участков автомобильных дорог в период весенней распутицы. Анализ полученных результатов позволил установить зависимость величины снижения сцепления в оттаявшем грунте от влажности и скорости оттаивания грунта земляного полотна.

$$c_{от} = c_T k_w k_t, \quad \text{где} \quad (2)$$

$c_{от}$ – сцепление в оттаявшем грунте;

c_T – сцепление в грунте до начала промерзания;

k_w – коэффициент весеннего разупрочнения грунта;

k_t – коэффициент учитывающий скорость оттаивания.

Коэффициент k_w весеннего разупрочнения грунта функционально связан с расчетной осенней влажностью, а коэффициент учитывающий скорость

оттаивания, зависит от условий отвода свободной воды, дренажной системой дорожной одежды.

Методика учета разупрочнения грунта при оттаивании позволяет в дальнейших практических расчетах перейти к определению расчетного периода ограничения автомобильной нагрузки по характеру стабилизации влажности в оттаявшем грунте, что значительно проще.

Потеря несущей способности грунта в период весенней распутицы явление обусловленное наличием неблагоприятного сочетания природно-климатических условий.

Стохастический характер этого процесса не позволяет однозначно устанавливать сроки ограничения автомобильной нагрузки на автомобильные дороги в период весенней распутицы. Сам этот период зависит от многих факторов. Изменчивость климатических условий на территории региона, тенденция климата к потеплению предопределяют вероятностную оценку рассматриваемого процесса.

Отмеченные обстоятельства косвенно учитывает такой обобщающий показатель, как расчетная влажность грунта. Были проанализированы существующие методы ее определения: «статистический» метод, метод «корреляции», метод «аналога», метод «открытого поля». При достаточно развитой сети метеорологических станций, метод «открытого поля» позволяет наиболее достоверно отразить характер изменения влажности в грунте земляного полотна с учетом вероятностного характера. Для определения расчетной влажности земляного полотна автомобильных дорог при отсутствии даже эпизодических исследований целесообразно использовать результаты многолетних наблюдений за влажностью грунтов открытого поля метеостанций. Суть метода заключается в следующем. По данным наблюдений ближайшей к району проектирования автомобильной дороги метеостанции, имеющей аналогичные с земляным полотном дороги климатические, грунтовые и гидрологические условия, составляют длительный (более 15 лет)

статистический ряд из сезонных максимальных влажностей грунта открытого поля, на глубине h_3 - слое грунта открытого поля с коэффициентом теплопроводности $\lambda_{оп}$, равным по тепловым свойствам дорожной одежды. Эквивалентную глубину определяют по формуле:

$$h_3 = I_{он} \left[R_o + \frac{1}{I_c} (h_c - h'_c) \right] \quad (3)$$

где h_c, h'_c – толщины слоя снега соответственно на проезжей части и в открытом поле с коэффициентами теплопроводности I_c, I'_c ;

R_o – тепловое сопротивление одежды.

На дорогах высших технических категорий снег, как правило, убирают, и величину h_c можно опустить. Имея это в виду, уравнение (3) можно переписать так:

для районов с устойчивым снеговым покровом

$$h_3 = I_{он} \left(R_o - \frac{h'_c}{I_c} \right); \quad (4)$$

для районов с неустойчивым снеговым покровом

$$h_3 = I_{он} R_o. \quad (4)$$

По составленному статистическому ряду, характеризующему в той или иной степени влажность грунтового основания с данной конструкцией одежды, определяют расчетную влажность земляного полотна различной повторяемости.

Определение расчетной влажности на начальный период оттаивания является отправной точкой в решении поставленной задачи. Для объектов исследования была определена расчетная влажность

Зная расчетную влажность и величину сцепления грунта с учетом снижения ее за счет весеннего разупрочнения, можно рассчитать допустимую нагрузку на автомобильные дороги в весеннее время. Что касается продолжительности периода ограничения нагрузок на автомобильные дороги, то его можно установить по графику изменения влажности – прочности грунта земляного полотна.

На опытных участках автомобильных дорог были проведены исследования по установлению периода стабилизации влажности грунта земляного полотна (рис.1).

В результате проведенных исследований было установлено:

1 Продолжительность периода снижения несущей способности грунта связана с характером оттаивания земляного полотна.

2 В период оттаивания наблюдается прирост влажности в слое толщиной 0,5 м., под дорожной одеждой за счет отжатия свободной грунтовой воды в этот слой.

При глубине оттаивания земляного полотна свыше 0,8 -1,2 м прирост влаги, за счет ее отжатия из оттаивающего слоя, прекращается и начинается процесс стабилизации грунта.

Таким образом, самым экстремальным периодом снижения прочностных значений грунта земляного полотна следует считать период с начала до глубины оттаивания 0,8 -1,2 м от низа дорожной одежды, т. е. время оттаивания земляного полотна на глубину динамически активного слоя.

После оттаивания грунта на глубину динамически активного слоя начинается процесс стабилизации прочностных свойств грунта. Он протекает тем быстрее, чем скорее свободная вода выводится из под основания дорожной одежды. Этот процесс может протекать довольно долго, но при этом дальнейшее снижение прочностных характеристик грунта уже не наблюдается. Об этом свидетельствуют результаты определения модуля упругости на опытном участке.

Обоснование сроков ограничения автомобильной нагрузки должно опираться на реальную картину изменения прочностных характеристик грунта земляного полотна.

Для оценки несущей способности дорожной одежды в экстремальных условиях весенней распутицы была разработана программа расчета напряженно-деформированного состояния (НДС) дорожной одежды. В основу

разработки программы положены: численный метод расчета инженерных сооружений (метод конечных элементов) и принцип интерактивной графической техники. Соответствующее программное обеспечение позволило создавать расчетные схемы, моделирующие поведение всех компонентов системы «автомобильная дорога - грунт», при этом учитывая все основные и определяющие факторы (технологические и природные) в расчетах НДС элементов такой системы. Это позволило достаточно быстро анализировать изменения любого параметра НДС «системы», варьируя характеристиками любого её элемента с количественной и качественной оценкой возникающих при этом эффектов.