

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРУНТОВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ АЛТАЙСКОГО КРАЯ В СВЯЗИ С ОЦЕНКОЙ ПРОЧНОСТИ ДОРОЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Т.С. Бодосова, Б.М. Черепанов, Э.Е. Турлянцева, В.А. Хоменко, В.Г. Казанцев

В статье приведен анализ физико-механических свойств земляного полотна на основании исследований, проведенных в 2011 году на дорогах Алтайского края. Определены динамика изменения свойств с глубиной. Приведены графики изменения плотности и влажности по глубине, прочностных и деформационных характеристик от относительной влажности. Отмечены некоторые рекомендации по принятию оперативных мер для поддержания конструкций в работоспособном состоянии при эксплуатации автомобильных дорог.

Ключевые слова: грунт, автомобильные дороги, земляное полотно, физико-механические свойства грунтов.

ВВЕДЕНИЕ

Нежесткие дорожные конструкции рассматриваются как системы, состоящие из следующих слоев: асфальтобетонного покрытия, основания (малосвязные слои), земляного полотна. Дальнейшее решение сводится к двухслойной системе, то есть при расчете многослойной дорожной конструкции, ее приводят к двухслойной, эквивалентной по величине напряжений в подстилающем слое (ОДН 218.1.052-2002). В основе расчетов лежит теория упругости, и, следовательно, все слои должны работать в упругой стадии. Однако, при возрастающих нагрузках, превышающих расчетные, при изменении прочностных и деформационных характеристик грунтового основания, либо при изначально малом их значении (ошибки при строительстве, нарушение норм), накапливаются пластические деформации. При некотором критическом их суммарном значении происходит разрушение дорожной одежды. Особо резкое снижение несущей способности грунтового материала, как известно, наблюдается в весенний, чуть меньше в осенний времена года.

Для создания условий продления срока службы дороги очевидна необходимость максимального учета условий места строительства (близкое залегание грунтовых вод, слабые грунты в основании, резкий перепад температур в течение года, неравномерность выпадения осадков и т.д.) и, особенно, тех условий и факторов, которые влияют на изменение прочностных и деформационных характеристик слоев дорожной конструкции.

Таким образом, для разработки эффективных решений при строительстве и реконструкции дорожной сети, а также для приня-

тия оперативных мер для поддержания конструкций в работоспособном состоянии при эксплуатации, необходимо иметь комплекс исследований свойств грунта земляного полотна, динамики изменения свойств с объяснением причин изменения.

ОБЪЕКТ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования является земляное полотно эксплуатируемых дорог регионального и муниципального значения Алтайского края. Довольно продолжительное время (более шести лет) кафедра «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия» ФГБОУ ВПО «Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова» совместно с КГУ «Алтайавтодор» проводит исследования грунтов земляного полотна эксплуатируемых автомобильных дорог. Предметом изучения являются инженерно-геологические условия местности, климатические особенности, процессы морозного пучения и, разумеется, свойства грунтов земляного полотна. Нарботанная база данных позволяет проводить анализ и делать выводы о возникающих процессах в грунте земляного полотна.

В 2011 году проводилось обследование дорожных одежд с целью оценки их прочности на наиболее проблемных участках, где покрытие находится в неудовлетворительном состоянии с высокой степенью деформированности. В основном выезды на дороги осуществлялись в весенне-осенний периоды, поскольку именно в это время дорожное покрытие подвержено большому воздействию влаги и перепадов температуры, что отражается не лучшим образом на его состоянии.

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРУНТОВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ АЛТАЙСКОГО КРАЯ В СВЯЗИ С ОЦЕНКОЙ ПРОЧНОСТИ ДОРОЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Задачи исследования:

- выявить зависимость механических и деформационных характеристик от физических характеристик грунта земляного полотна с учетом региональной привязки. Это позволит прогнозировать развитие деформаций дорожных одежд, получить научное обоснование по принятию решений по сохранности существующей сети, назначать своевременные мероприятия для предотвращения аварийных ситуаций на дорогах Алтайского края.

- проследить изменение влажности с глубиной, что позволит обосновывать принятие конструктивных решений по водоотводу и защите конструкции от разрушающего действия воды.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

На основании изученных материалов и выполненных исследований можно сказать, что основными факторами, влияющими на влажность грунта, от которых зависит возникновение того или иного типа водного режима являются:

- рельеф местности;
- климатические условия (количество осадков, температура, глубина промерзания и т.д.);
- водные свойства почвы и грунта (влагоемкость, влагопроницаемость и т.д.);
- наличие или отсутствие грунтового питания (близкое залегание грунтовых вод, верховодка);
- растительность и животный мир (плотности бобров);
- расположение грунтовых слоев в теле земляного полотна и его основания, слоистость почвенно-грунтовой толщи.

В связи с неоднородностью рельефа возникает поверхностное перераспределение влаги. При холмистом рельефе дополнительное поверхностное питание получают участки дороги, расположенные в низине, по сравнению с возвышенностями.

Если рассматривать влияние климатических условий местности, то главным образом значение имеет соотношение суммы осадков и величины испарения влаги из грунта.

К водным свойствам почвы можно отнести значение уровня грунтовых вод, т.к. уровень грунтовых вод при значительной глубине залегания не влияет на режим влажности. Также наличие верховодки и капиллярной каймы над ней необходимо учитывать, тем более потому, что они появляются в профиле почво-грунта периодически, после таяния

снегов и выпадения осадков, но находятся в нем в течение коротких промежутков времени, быстро исчезая в результате испарения. Влажность почвы в этом случае сильно колеблется. Образованию верховодки также способствует наличие мощного слоя чернозема, залегающего на глине с большим количеством осадков, а как следствие всего изложенного, повышение уровня влажности.

Растительность также играет важную роль, поскольку она, охватывая почвенную толщу своими корнями, вызывает интенсивный расход влаги из этой толщи. При отсутствии растительности расход влаги идет лишь из самого поверхностного слоя почвы. Влага из слоев, расположенных глубже может с разной скоростью подтягиваться к слою испарения, это зависит от гранулометрического состава и структуры почвы.

Когда речь идет о слоистости почвенно-грунтовой толщи и ее влиянии на влажность грунта, необходимо обратить внимание на гранулометрический состав подстилающего слоя. Например, при подстилании крупнопористого слоя тонкопористым, последний будет играть роль водоупора, над которым может появляться в периоды обильной инфильтрации временный водоносный горизонт (верховодка), или при подстилании тонкопористого слоя крупнопористым в верхнем слое (над нижним) может накапливаться капиллярно-подвешенная влага.

Если говорить же о самом понятии величины влажности, прогнозирование которой особенно важно при проектировании дорог, это так называемая расчетная влажность грунтового основания и дорожной одежды. Под расчетной влажностью понимают наиболее неблагоприятное значение влажности, обуславливающее наименьшую прочность полотна дороги.

Выделяется метод А.К. Бируля для определения расчетной влажности [1]. При отсутствии наблюдений за влажностью А.К. Бируля предлагает использовать результаты многолетних наблюдений за влажностью грунтов открытого поля агрометеостанций. Далее по данным наблюдений ближайшей к району проектируемой дороги метеостанции, имеющей аналогичные с земляным полотном дороги климатические, грунтовые, гидрологические условия, составляют длительный (более 15 лет) статистический ряд из сезонных максимальных показателей влажности грунта открытого поля.

Если же использовать данный метод не только для определения максимального по-

казателя влажности, но и для прогнозирования влажности грунтов в течение всего года, то метод А.К. Бируля представляется очень сложным.

Прогнозированием влажности грунтов в течение года занимался М.И. Карлинский, который предложил формулу, за основу взяв уравнение водного баланса грунта, куда ввел коэффициенты, характеризующие структуру и свойства грунта.

Существует также наиболее общий и теоретически обоснованный метод гидролого-климатических расчетов В.С. Мезенцева, основанный на уравнении водно-теплого баланса участка суши и позволяет рассчитывать относительную влажность деятельного слоя почво-грунта, суммарное испарение, сток и другие характеристики. Расчеты по методу В.С. Мезенцева проводились в следующих областях нашей страны: Архангельской, Вологодской, Калининской, Калужской, Кировской, Костромской, Ленинградской, Московской, Новгородской, Псковской, Смоленской, Рязанской, Тульской.

Касаемо Алтайского края в области изучения водного режима, физико-механических свойств грунтов и происходящих в них процессах применительно к дорожному строительству имеются разработки Томского государственного архитектурно-строительного университета. С.В. Ефименко была разработана карта автомобильных дорог по уточнению дорожно-климатических зон, выделению дорожных районов на территориях Томской, Новосибирской, Тюменской областей и Алтайского края [2], проведены многочисленные исследования грунтов земляного полотна с составлением таблиц свойств по типам грунтов.

Особенностью данной работы является выявление зависимостей несущей способности грунта (прочностных и деформационных характеристик) от влажности.

Изучением характеристик физико-механических свойств грунтов земляного полотна занимаются в некоторых районах России. Например, в Волгоградском государственном архитектурно-строительном университете [3] выведены эмпирические зависимости модуля упругости, удельного сцепления и угла внутреннего трения грунтов, создана основа для дорожно-климатического районирования территории Нижнего Поволжья. Результаты различных научно-исследовательской работы не противоречат полученным результатам в Алтайском крае. Однако региональная привязка необходима,

так как территориальное различие свойств грунтов существенно.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Алгоритм выполненных работ следующий:

1. Определить опорные участки, наиболее проблемные из года в год для эксплуатирующих организаций.

2. Отобрать образцы грунта из тела земляного полотна с разной глубины в разное время года.

3. Произвести лабораторные испытания согласно составленной программе исследований.

4. Проанализировать полученные физико-механические характеристики грунтов с привязкой к проводимым параллельно испытаниями по несущей способности дорожных одежд.

Полевые работы делятся на два этапа: предварительное обследование с выбором опорных участков и контрольных точек и собственно отбор грунта из тела земляного полотна.

В 2011 год выбрано 19 участков автомобильных дорог «Алтайское – Ая – Нижнекаянча», «Бийск – Карабинка – граница Республики Алтай», «Бийск – Мартыново – Ельцовка – граница Кемеровской области», «Барнаул – Камень-на-Оби – граница Новосибирской области», «Троицкое – Целинное», «Павловск – Ребриха – Буканское», «Подъезд к с. Косиха от 243 км а/д М-52 «Чуйский тракт». Опорные участки выбирались с разными климатическими и геологическими условиями на территории края. Заметим, что некоторые из этих дорог были исследованы так же в предыдущие года, а некоторые выбраны впервые.

При предварительном обследовании оценивалось состояние дорожного покрытия по ровности и степени повреждения покрытия дефектами, являющимися следствием проявления необратимых процессов пластических деформации, когда конструкция перестает работать в упругой стадии. Намеченные участки либо только с видимыми разрушениями после зимы этого года, либо с ежегодными проблемами.

Все инженерно-геологические изыскания выполнялись в соответствии с СП 11-105-97 «Инженерно-геологические испытания для строительства», и такими первичными действующими нормативными документами как: ГОСТ 12071-2000 «Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов»; ГОСТ 30416-96 «Грунты. Лабораторные ис-

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРУНТОВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ АЛТАЙСКОГО КРАЯ В СВЯЗИ С ОЦЕНКОЙ ПРОЧНОСТИ ДОРОЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

пытания. Общие положения», ГОСТ 12248-96 «Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости», ГОСТ 5180-84 «Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик», ГОСТ 23001-90 «Грунты. Методы лабораторных определений плотности и влажности», ГОСТ 25100-95 «Грунты. Классификация», ГОСТ 20522-96 «Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний», ГОСТ 28622-90 «Грунты. Метод лабораторного определения степени пучинистости».

На каждом исследуемом участке выбиралось место отбора грунта на обочине, в исключительных случаях, при возможности, прямо на проезжей части. В некоторых случаях, непосредственно напротив выработки, осуществлялись испытания по определению прочности дорожной одежды методом статистического нагружения колесом автомобиля.

Пробы грунта отбирались непосредственно под слоем дорожной одежды, а далее не реже чем через 0,5 метра на всю глубину насыпи, но не менее чем на 1 м. Обязательно фиксировалась толщина слоев дорожной одежды и разнотипного грунтового материала в насыпи.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На основании всех испытаний можно сказать, что большинство участков сложено суглинистыми грунтами с гумусными включениями. Чернозем, гумус, сапропель встречаются в составе грунтов земляного полотна в разных пропорциях, от вкраплений до мощных (порядка двух метров на всю глубину насыпи) слоев.

Естественная влажность суглинков лежит в весеннее время года в диапазоне от до 15% до 30%, в осеннее время года от 13% до 27%. Для слоев, где преобладает черный грунт (сапропель, гумус), значения естественной влажности в весенний период колеблются в среднем от 16% до 31%, в осенний – от 18% до 39%. Таким образом, в весеннее время года влажности по типам грунта отличается незначительно, в то время как в осеннее время суглинки теряют влагу, а слабые грунты к осени насыщаются водой.

Заметим, что здесь и далее при сравнении характеристик грунтов рассматриваются усредненные диапазоны и исключаются значения, выпадающие из-за особых условий: грунты на границе грунтовых вод, пробы, отобранные с большим промежутком времени. Например, при отборе проб грунтов 15 мая и

9 июня не всегда корректно объединять в единый диапазон, если участки лежат в одинаковых климатических условиях.

Относительная влажность увеличивается с глубиной как в весенний, так и в осенний период наблюдений практически на всех участках. Относительная влажность грунта в весенний период находится в диапазоне от 30 до 98%. В осенний период – от 40 до 87%. Такой широкий диапазон объясняется разнообразием состава грунта. Максимальный диапазон колебаний в пределах одного участка естественной, а соответственно и относительной, наблюдается осенью на выработке 12+100 км а/д «Подъезд к с. Косиха от 243 км а/д М-52 «Чуйский тракт» (на 19%), 6+900 км а/д «Алтайское – Ая – Нижнекаянча» (на 21%), причем влажность увеличивается с глубиной.

В первом случае участок лежит в просадочном блюдце, хоть и не глубоко, однако такая форма рельефа является аккумулятором сточных вод, а оглеенные породы для блюдца задерживают влагу, являясь водупором. Ситуация осложняется также наличием черного грунта в нижних слоях насыпи. Во втором случае, грунтовые воды подходят близко к дневной поверхности грунта. На глубине 0,5 м влажность существенно ниже благодаря высоте насыпи. Для сравнения, на участке а/д «Подъезд к с. Косиха от 243 км а/д М-52 «Чуйский тракт» по адресу 12+000, расположенному на краю блюдца, при отборе грунта в весенний период разность величин относительной влажности составляла всего 2%. На участке 6+900 км а/д «Алтайское – Ая – Нижнекаянча» в весенний период естественная влажность колеблется в пределах 10%, более низкая разница значений говорит о подсосе влаги в весенний период года и большем водонасыщении верхних слоев земляного полотна, которое в течение лета после оттаивания грунта несколько осушается.

На рисунке 1 показан типичный график изменения относительной влажности грунта с глубиной в разное время года.

Прослеживается закономерное повышение влажности слоев грунта, сложенных гумусосодержащими материалами.

Чем больше черного грунта в слое, тем выше влажность в сравнении со смежными слоями, сложенными суглинистыми грунтами (например, 11+300 км а/д «Троицкое – Целинное»). То есть черный грунт является аккумулятором влаги и наиболее подвержен процессам морозного пучения.

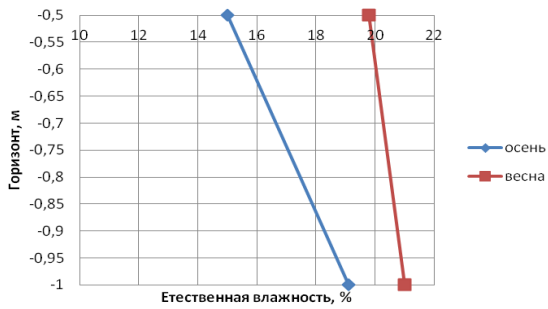


Рисунок 1 - Изменение относительной влажности по глубинное, а/д «Барнаул – Камень-на-Оби – граница Новосибирской области», км 182+500

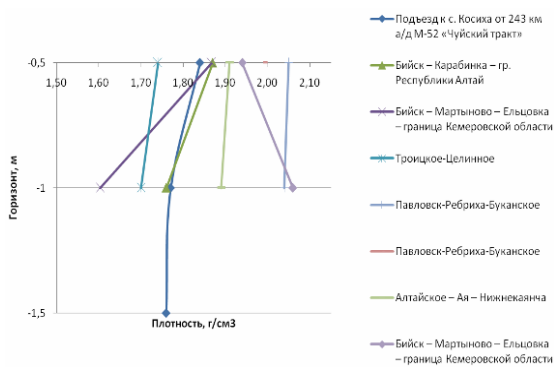


Рисунок 2 – Изменение плотности по глубине в весенний период

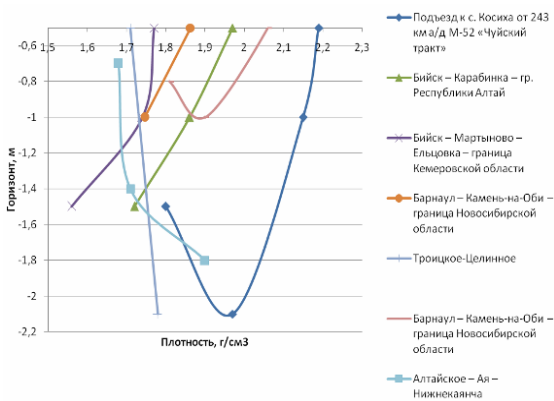


Рисунок 3 - Изменение показателя плотности относительно горизонта в осенний период

Интересно проанализировать изменение плотности грунтов с глубиной (так как плотность, также является показателем прочности грунта). Эти данные для некоторых участков представлены на рисунках 2 и 3. Если грунт земляного полотна представляет собой однородный материал, то четко прослеживаются более высокие показатели плотности в осенний период в сравнении с весенним. Если же грунтовая масса неоднородна с прослойками, вкраплениями и т.д., то зависи-

мость проследить довольно сложно и в принципе нецелесообразно. Также на графиках можно заметить обратную зависимость – уменьшение плотности с глубиной, скорее всего это связано с тем, что верхний слой более уплотнен за счет постоянной нагрузки от транспортных средств, в то время, как средний и более низкие слои могут иметь вкрапления черного грунта, гумуса, и в целом грунтов, которые по плотности, как правило, меньше суглинков. Эти грунты могут быть более подвержены силам морозного пучения, более водонасыщены и разуплотнены.

В весеннее время года значения естественной плотности для суглинков колеблются от $1,74 \text{ г/см}^3$ до $2,09 \text{ г/см}^3$, в осеннее время года от $1,81 \text{ г/см}^3$ до $2,19 \text{ г/см}^3$. Величина коэффициента пористости для суглинков в весенний период лежит в диапазоне от 0,50 до 0,89, в осенний период от 0,44 до 0,88. Для слоев, где преобладает черный грунт (сапропель, гумус), значения естественной плотности в весенний период от $1,72 \text{ г/см}^3$ до $2,05 \text{ г/см}^3$, в осенний – от $1,60 \text{ г/см}^3$ до $2,04 \text{ г/см}^3$. Таким образом, весеннее время года плотность суглинистых и слабых грунтов (гумусо-содержащих) отличается незначительно, однако далее плотность слабых грунтов (с содержанием гумуса, сапропеля, ила, растительных остатков и т.д.) снижается, а суглинистых повышается. Это объясняется разуплотнением в весеннее время года первых и насыщением влагой вторых.

Прочностные и деформационные характеристики находятся в прямой зависимости от влажности грунта. На рисунке 4 в качестве примера приведен график зависимости модуля упругости от относительной влажности в зависимости от типа грунта такие графики.

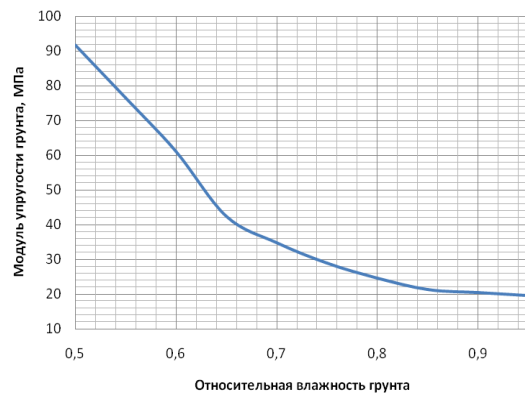


Рисунок 4 – Зависимость модуля упругости суглинков и глин земляного полотна эксплуатируемых автомобильных дорог от относительной влажности

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРУНТОВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ АЛТАЙСКОГО КРАЯ В СВЯЗИ С ОЦЕНКОЙ ПРОЧНОСТИ ДОРОЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Относительная влажность - влажность грунта земляного полотна в естественном состоянии в процентах или долях единиц от влажности этого же грунта на границе текучести. Судя по графику и полученным результатам испытаний несущая способность грунта снижается в весеннее время года в сравнении с осенним, так как относительная влажность в осенний период меньше, чем в весенний для одних и тех же участков. Также модуль упругости, угол внутреннего трения и удельное сцепление грунта в пределах одной насыпи изменяются в зависимости от грунтовых условий местности (при наличии верховодки, грунтовых и длительностоящих вод резко снижается с глубиной) и состава грунтов земляного полотна (гумусосодержащий грунт, сапропель, ил являются слабыми грунтами).

Такая прямая зависимость несущей способности грунта от относительной влажности подтверждена полевыми испытаниями дорожной одежды. Наибольший упругий прогиб и соответственно наименьший модуль упругости дорожной одежды наблюдается на участках, где наиболее увлажнен грунт земляного полотна.

Особенно показательная ситуация в весеннее время года, когда модуль упругости некоторых дорог опускался до 40 МПа. Таким образом, обосновано на таких участках автомобильных дорог устанавливать ограничение по нагрузке в весеннее время года.

Нестабильные участки дорожных конструкций в течение всего года наблюдаются при переувлажнении грунтов земляного полотна за счет грунтовых вод, необеспеченного стока или верховодки. В этом случае отличие влажности небольшое и диапазон модуля упругости таких участков также невелик.

ВЫВОДЫ

1. Влажность грунтов земляного полотна в весенний период выше, чем в осенний, а прочностные характеристики – ниже. Отсюда прослеживается зависимость влажности грунта и его несущей способности. Это необходимо учитывать и ограничивать движение транспорта на проблемных участках во избежание дальнейшего разрушения дорожного покрытия. По результатам испытаний построены графики определения свойств грун-

тов в зависимости от относительной влажности.

2. Особой нестабильностью отличаются конструкции, земляные полотна которых сложены грунтами с большим содержанием органического вещества (черноземы, почвы, сапропели). Слой такого материала хорошо удерживает воду, его влажность всегда выше, чем сопряженного с ним слоя глинистого или песчаного грунта. Таким образом, даже прослойки и вкрапления черного грунта значительно снижают прочностные свойства материала.

3. Анализ зависимостей физических свойств грунтов земляного полотна с глубиной подтверждает протекание процессов морозного пучения на многих участках автомобильных дорог.

4. Рекомендуется обратить особое внимание на устройство отвода грунтовых вод в конструкции земляного полотна, в том числе устройство кюветов, дренажей.

5. Введение ограничения движения и нагрузки на ось транспортных средств в весеннее время года обосновано.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методические указания по прогнозу влажности глинистых грунтов на годовой период. ЦНИИС МИНТРАНССТРОЯ – М. 1973.
2. Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей. С.В. Ефименко – Обоснование расчётных значений характеристик глинистых грунтов для проектирования дорожных одежд по условию прочности на территории Западной Сибири. – Вестник ТГАСУ № 2, Томск, 2007.
3. Алексиков С.В. Прогнозирование физико-механических свойств грунтов земляного полотна / С.В. Алексиков, И.С. Алексиков, Л.Е. Курдюкова / Вестник ВолГАСУ. Сер.: Стр-во и архит. 2008. Вып. 12 (31).

Бодосова Т.С. – старший преподаватель, E-mail: tbodosova@yandex.ru, Черепанов Б.М. - к.т.н., доцент, E-mail: bmcher@mail.ru, Турлянцева Э.Е. - магистрант, E-mail: ellitoz@gmail.com, Хоменко В.А. – д.т.н., профессор, Алтайский государственный технический университет; Казанцев В.Г. – д.т.н., профессор, Бийский технологический институт.