

Анатолий Николаевич ШУВАЕВ¹
Марина Владимировна ПАНОВА²
Людмила Александровна ПУЛЬДАС³

УДК 625.7/.8

ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИНЖЕНЕРНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ДОРОЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРА

¹ доктор технических наук, профессор,
Тюменский индустриальный университет
anshuvaev46@mail.ru

² кандидат технических наук, доцент,
Тюменский индустриальный университет
marina-panova-65@mail.ru

³ кандидат технических наук, доцент,
Тюменский индустриальный университет
l.a.puldass@utmn.ru

Аннотация

Разработка новых материалов и конструкций, физико-математических методов и информационных технологий относится к наиболее актуальным проблемам повышения надежности и долговечности дорожных конструкций автомобильных дорог в условиях Севера. Причинами отказов дорог в суровых природно-климатических и сложных грунтово-геологических условиях являются воздействия не столько транспортных средств, сколько природных факторов. В данной статье представлены материалы инженерного и информационного обеспечения теоретических, лабораторных и полевых исследований конструкций земляного полотна на вечной мерзлоте и на заболоченных территориях, возведенных из местных «некондиционных» грунтов. Надежность использования грун-

Цитирование: Шуваев А. Н. Информационная технология инженерного обеспечения надежности дорожных конструкций в условиях Севера / А. Н. Шуваев, М. В. Панова, Л. А. Пульдас // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2017. Том 3. № 3. С. 110-124.

DOI: 10.21684/2411-7978-2017-3-3-110-124

товых массивов обеспечивается широким применением геотехнических материалов и современных дорожно-строительных машин и комплексов, развитием расчетных и экспериментальных исследований.

Показано, что для эффективности работ по повышению надежности и долговечности дорог в условиях Севера необходимо наличие и использование информационной технологии, которая включает в себя базы данных о природно-климатических условиях создаваемых объектов, о параметрах и методах физико-математического моделирования процессов, происходящих в земляном полотне, нормативно-справочных данных, о результатах анализа мониторинговых исследований аналогичных объектов. Кроме того, создана подсистема информационного обеспечения для экспериментальных исследований дорожных конструкций в лаборатории и в натурных условиях. Разработанная технология включает в себя использование созданной информационной системы на всех этапах исследований и разработок, которая пополняется полученными результатами. Результаты работы обобщены в техническом стандарте.

Ключевые слова

Инженерное обеспечение, надежность, долговечность, дорожные одежды, земляное полотно, болото, мерзлые грунты, деформации, напряжения, замерзание, оттаивание, геотехнические материалы, уплотнение, «плавающая насыпь», обойма.

DOI: 10.21684/2411-7978-2017-3-3-110-124

Введение

Сложными природными условиями принято считать районы с суровым климатом и неординарной, нетрадиционной геологией. Западная Сибирь [1], расположенная в трех дорожно-климатических зонах, — один из немногих уголков земного шара, где наряду с арктическим и резко континентальным климатом территория занята вечной мерзлотой, торфяными болотами и переувлажненными «некондиционными» грунтами. Создание транспортной инфраструктуры с начала 60-х гг. прошлого столетия связано с обустройством нефтяных и газовых месторождений. На первых этапах проектирование и строительство автомобильных дорог базировалось на нормативных документах, разработанных для условий европейской части второй и третьей дорожно-климатических зон. Практика показала неприемлемость этих норм для данного региона и необходимость разработки новых [5, 6, 8 и др.]. В результате совместных работ СоюзДорНИИ, его Омского филиала, ТюмИСИ, СибАДИ под руководством профессора В. Д. Казарновского к концу 90-х гг. были созданы основные нормативные документы на проектирование, строительство и содержание автомобильных дорог. Опыт, данные практики, корректировка на их основе теоретических положений в течение предшествующих лет являются основой развития науки, а значит, и совершенствования норм, разработанных 30-40 лет тому назад. Наиболее актуальным является повышение надежности и долговечности дорожных одежд и верхней части земляного полотна, так как эти конструктивные элементы дороги присутствуют всегда, независимо от того, что это за

дорога и в каком регионе она строится или функционирует [1]. Прежде всего речь идет о дорогах в сложных природных условиях. Причинами отказов дорог в этих условиях являются воздействия не столько транспортных средств, сколько природных факторов [3, 4]. Поэтому при строительстве дорог на Севере необходима и обязательна индивидуальная разработка проектов на строительство. Индивидуальные проектно-технологические решения требуют выполнения следующих условий:

— наличия специальной нормативно-методической литературы и информационного обеспечения, позволяющих принимать обоснованные решения в данном конкретном случае;

— резко увеличенного объема исходной инженерно-геологической информации с применением неразрушающих методов полевых исследований;

— наличия специальной подготовки кадров изыскателей, проектировщиков и строителей;

— наличия специальных конструктивно-технологических решений, материалов, дорожной техники.

Решающим фактором успешного внедрения прогрессивных решений в сложных условиях является научное сопровождение проектирования и строительства, в частности широкое применение методов механики многофазных систем [2, 4], экспериментальных исследований в лабораториях и натуральных условиях, разработка новых материалов, технологий и конструкций, подготовка нормативно-справочных и информационных материалов [7, 9-12].

Особенности разработанной системы для обеспечения надежности земельного полотна

Информационная технология сбора, обработки, хранения и расширенного использования информации необходима для обеспечения научно-практических работ по созданию земельного полотна на месторождениях. Информационная система включает в себя четыре взаимосвязанные подсистемы, соответствующие этапам работы. На этапе 1 использованы данные о сопротивлении грунтов на сдвиг, влажности, плотности, степени разложения, зольности и др. На этапе 2 необходима информация о видах и параметрах грунта насыпи, видах и параметрах геотехнических материалов, формах, размерах и расположении обойм и полуобойм и др. На этапе 3 в информационную систему включаются данные об особенностях организации комплекса работ по возведению насыпи, выбор типов ведущих и вспомогательных машин, режимы уплотнений подводной и надводной части насыпи, способы и методы крепления геотекстильных материалов при формировании обойм и полуобойм, технологические схемы и карты производства земельно-транспортных работ, операционный контроль качества и технической безопасности, правила обеспечения проходимости машин. На этапе 4 собирается, обрабатывается и хранится информация о времени консолидации грунтового основания и насыпи, величинах осадок основания, параметрах водно-тепловых режимов грунтового массива, устойчивости откосов, времени достижения физико-механических показателей (плотность, модуль

упругости, сопротивление на сдвиг и др.). Кроме того, информационная технология предусматривает использование расчетных методов и компьютерных программ, обеспечивающих надежное прогнозирование технических параметров на всех этапах исследований и разработок.

Конструкции земляного полотна на болотах

Автомобильная дорога представляет собой единый инженерный комплекс, все элементы которого работают в тесной взаимосвязи. Земляное полотно должно служить надежным фундаментом дорожной одежды, обеспечивать ее прочность и долговечность независимо от местных почвенных, гидрогеологических, климатических и других факторов. Наличие слабых грунтов учитывается главным образом при конструировании и расчете земляного полотна и его основания.

Опыт строительства земляного полотна на торфяных болотах в Западной Сибири показывает, что срок службы автомобильных дорог значительно меньше нормативного, а стоимость на ремонт и содержание гораздо больше.

В настоящее время используется два традиционных способа строительства. Первый способ предусматривает разработку и удаление торфа основания с его заменой на минеральный грунт, второй — метод «плавающей насыпи» с использованием слабого грунта в основании. Первый способ отличается капитальностью конструкции, требует значительного объема грунта, увеличивает сроки строительства и стоимость. Второй способ более экономичный, однако возникает проблема с устойчивостью насыпи, осадкой основания и периодом консолидации.

Существует два способа передачи нагрузки на болото: через гибкий и жесткий штампы [3]. В качестве жесткого штампа традиционно применяется лежневый настил. Появление на рынке геосинтетических материалов стало революцией в области создания новых конструкций земляного полотна на болотах [6].

В течение последних 10 лет кафедра «Автомобильные дороги и аэродромы» ТИУ занимается вопросами разработки новых конструкций земляного полотна на болотах с применением геотехники и использованием местных переувлажненных, связных и торфяных грунтов в теле насыпи, имеющих наибольшее распространение на территории Западной Сибири. Геосинтетические материалы решают проблему передачи нагрузки на слабые основания через полужесткий штамп, что в 1,5-2 раза увеличивает устойчивость насыпи, уменьшает осадку и период консолидации [5].

Анализ работ, выполненных на Уватской группе нефтяных месторождений, указывает на эффективность применения данных разработок.

Основными физико-механическими свойствами слабых грунтов (торфов) являются влажность и сопротивление торфа зондированию и (или) сдвигу [7]. Данные параметры оказывают непосредственное влияние на устойчивость сооружений и на период консолидации. Определение данных параметров может быть выполнено методом статического зондирования или методом определения сопротивления сдвигу слабых грунтов в естественном залегании.

Проведенный авторами статистический анализ материалов геологических изысканий, выполненных институтом «Гипротюменнефтегаз» на месторожде-

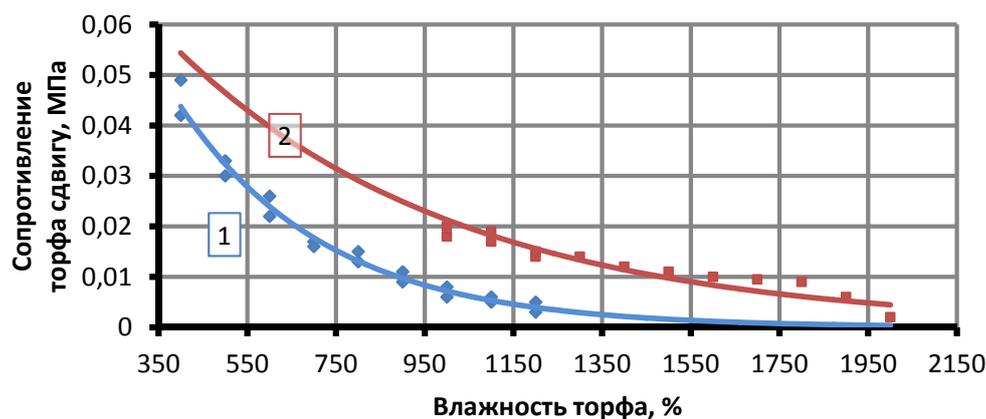


Рис. 1. Зависимость сопротивления торфу на сдвиг от влажности: 1 — нормативные физико-механические показатели; 2 — реальные физико-механические показатели

Fig. 1. Dependence of peat resistance on the shift from humidity: 1 — standard physical and mechanical properties; 2 — real physical and mechanical properties

ниях ООО «ТНК-Уват», наглядно показывает несоответствие корреляции реальных физико-механических показателей торфяных грунтов с нормативными (рис. 1). Из графика на рис. 1 видно, что торфяные грунты Уватского района обладают повышенной влажностью, вместе с тем и более высокими прочностными показателями. Это объясняется повышенной волокнистостью и меньшей степенью разложения торфа.

Проведение научно-практических работ по разработке конструкций земляного полотна при обустройстве месторождений ООО «ТНК-Уват» включало в себя несколько этапов:

1. Мониторинг участков дорог, построенных начиная с 2006 г., с классическими конструкциями земляного полотна по типу «плавающей насыпи» на лежневом настиле, и изучение грунтово-геологических особенностей территорий.
2. Разработка конструкций земляного полотна с использованием геосинтетических и «некондиционных» материалов для различных геологических условий, с проведением лабораторных макетных испытаний.
3. Строительство экспериментальных участков (рис. 3, 4).
4. Мониторинг экспериментальных участков (рис. 5).

На всех этапах работ использована разработанная авторами информационная система, которая дополнялась результатами текущих исследований.

Целью инженерного мониторинга участков дорог, построенных на слабом основании (на болотах всех типов), является выявление зависимостей деформационно-консолидационных процессов от основных геометрических параметров земляных сооружений и характеристик торфяных грунтов в основании. Осадка основания определялась путем фиксации вертикальных перемещений



Рис. 2. Внешний вид лабораторных установок: а) лабораторный лоток по исследованию осадки и сроков консолидации торфяных оснований; б) установка для лабораторных испытаний предлагаемых конструкций

Fig. 2. Appearance of laboratory facilities: а) a laboratory tray for studying the precipitation and timing of consolidation of peat grounds; б) installation for laboratory testing of the proposed structures

поверхности торфяного основания и контролировалась с применением георадара — прибора подповерхностного зондирования.

Конструирование земляного полотна автомобильных дорог основывалось на применении местных некондиционных грунтов и геосинтетических материалов. Было разработано более 60 принципиально новых конструкций по типу «плавающая насыпь». Для основных конструкций были проведены лабораторные и макетные испытания [10], по результатам которых определены условия и область их применения (рис. 2). Эти данные важны как элементы разработанной информационной системы.

Для апробации и уточнения особенностей работы новых конструкций в различных грунтово-геологических условиях [9] построено 10 экспериментальных участков на объектах Уватской группы месторождений (рис. 3, 4).

Строительство экспериментальных участков предусматривает проведение следующих видов работ:

- определение физико-механических характеристик торфа;
- выбор конструкции земляного полотна с привязкой к конкретным геологическим условиям;
- разработка организационно-технологической документации на возведение земляного полотна рассматриваемой конструкции;
- авторский надзор в процессе строительства;
- установка и тарировка приборов для контроля деформационных процессов грунтовых массивов и изучения водно-теплового режима.

Мониторинг экспериментальных конструкций предусматривал изучение следующих процессов:

- динамики осадки торфяного основания в процессе строительства и последующей эксплуатации;



Рис. 3. Укладка геосинтетического материала при строительстве экспериментальных участков

Fig. 3. Laying geosynthetic material in the construction of experimental sites



Рис. 4. Отсыпка первого слоя с установкой марок для определения осадок основания при строительстве экспериментальных участков

Fig. 4. Filling the first layer installing marks to determine the sediment of the base during the construction of experimental sites

- изменения температурного режима и физико-механических характеристик грунтов в процессе оттаивания насыпей;
- исследования влияния физико-механических свойств торфяных грунтов на устойчивость насыпей и продолжительность периода консолидации.

Динамика протекания осадок насыпей контролировалась двумя способами:

1. Стандартным (классическим). Данный способ предусматривает контроль за осадкой основания по осадочным маркам, закладываемым на стадии строительства.
2. Инновационным, с использованием георадаров (рис. 5).

Существенным фактором при определении величины осадки земляного полотна на болотах является температурный режим всей конструкции. Это позволяет прогнозировать осадку торфяного основания и оценивать влияние мерзлотного ядра на устойчивость насыпи и динамику осадки [12]. Для контроля изменения температуры земляного полотна во времени предусматривалась закладка температурных датчиков в тело земляного полотна на разных уровнях. Фиксирование температурного поля производилось с периодичностью, зависящей от температуры окружающего воздуха и грунта земляного полотна. По результатам мониторинга, проводимого в течение двух лет, определены зависимости осадки от времени. Результаты мониторинга представлены на рис. 6.

Анализируя полученные зависимости, можно констатировать увеличение величины осадки предлагаемых конструкций по сравнению с конструкциями земляного полотна на лежневом настиле, однако первичная осадка (70% от конечной) достигается за меньший период. Это позволяет приступить к строительству дорожной одежды в более ранние сроки.



Рис. 5. Мониторинг экспериментальных участков с помощью георадарного зондирования

Fig. 5. Monitoring experimental sites by means of georadar sounding

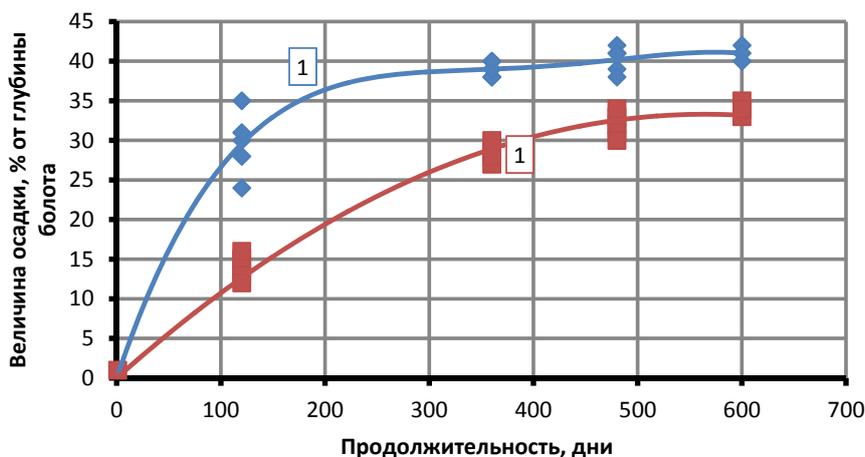


Рис. 6. Результаты мониторинга динамики осадок земляного полотна: 1 — для конструкций земляного полотна с геосинтетическими материалами и переувлажненным грунтом; 2 — для конструкции земляного полотна с лежневым настилом

Fig. 6. Results of monitoring the dynamics of sediments of the roadbed: 1 — for structures of the roadbed with geosynthetics and wetlands; 2 — for the construction of an earthen cloth with a deck floor

Разработка конструкций проводилась с учетом более сложных, чем в Среднем Приобье, грунтово-геологических особенностей района строительства (глубина болота, влажность торфа, сопротивление сдвигу, гидрогеология и т. д.) [4].

В качестве примеров на рисунках представлены конструкции земляного полотна автомобильных дорог 1, 2 и 3-го типов. На болотах 3-го типа (рис. 7) применяется двойная обойма из геосинтетического материала, заполненная различными видами грунтов; нижняя обойма занимает объем осадки, верхняя обеспечивает устойчивость насыпи.

Конструкции земляного полотна на болотах 1 и 2-го типов характеризуются применением двойной или одинарной обоймы из геосинтетического материала, заполненной различными видами грунтов; нижняя обойма занимает объем осадки, верхняя — обеспечивает устойчивость насыпи (рис. 8).

В конструкциях земляного полотна автомобильных дорог на болотах 2-го типа глубиной более 6 м (рис. 9) применяются тройные обоймы из геосинтетического материала, заполненные различными видами грунтов; нижние обоймы занимают объем осадки, верхняя обеспечивает устойчивость насыпи.

Эти конструкции предусматривают этапность проведения работ: на первой стадии укладываются две обоймы и строится дорожная одежда из железобетонных плит без сварки стыковых соединений; по мере достижения допустимой осадки производится вторая стадия, предусматривающая демонтаж плит, устройство третьей обоймы и монтаж железобетонных плит на песчаном основании. Толщина песчаного основания должна быть не менее величины, указанной в действующих нормативных документах.

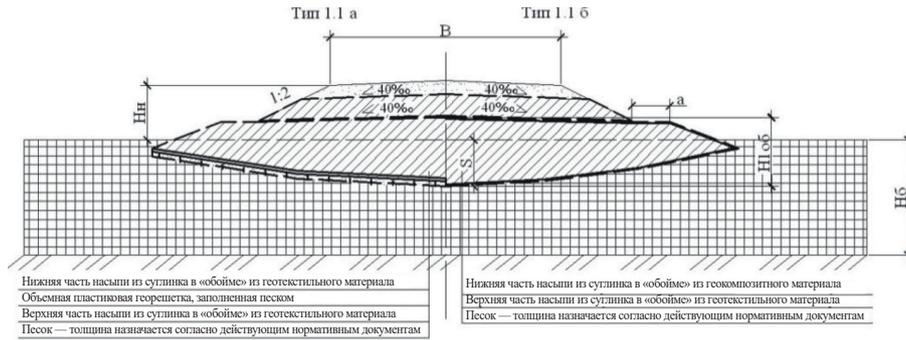


Рис. 7. Конструкция земляного полотна на болотах 3-го типа

Fig. 7. The construction of the subgrade on the swamps of the third type

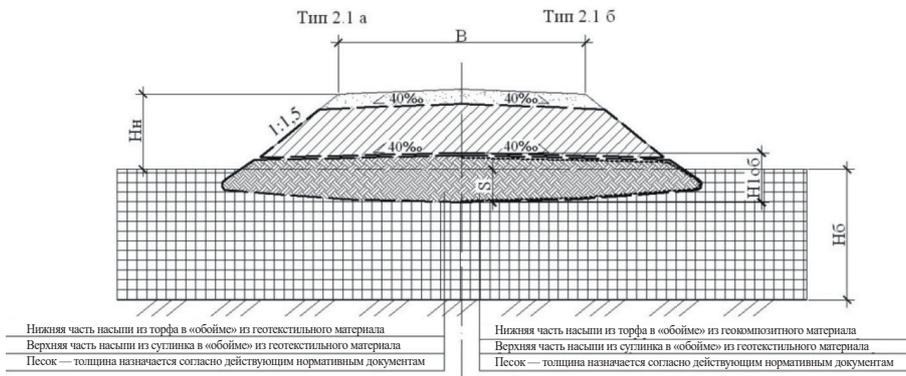


Рис. 8. Конструкция земляного полотна на болотах 1-го и 2-го типов

Fig. 8. The construction of the subgrade on the swamps of the first and second types

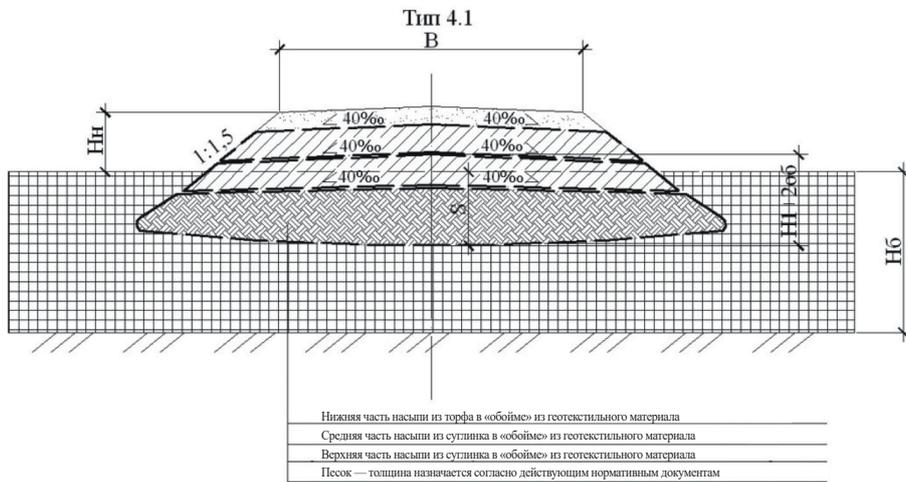


Рис. 9. Конструкция земляного полотна с тройной обоймой на болотах 2-го типа

Fig. 9. The construction of an earthen cloth with a triple wrap on swamps of the second type

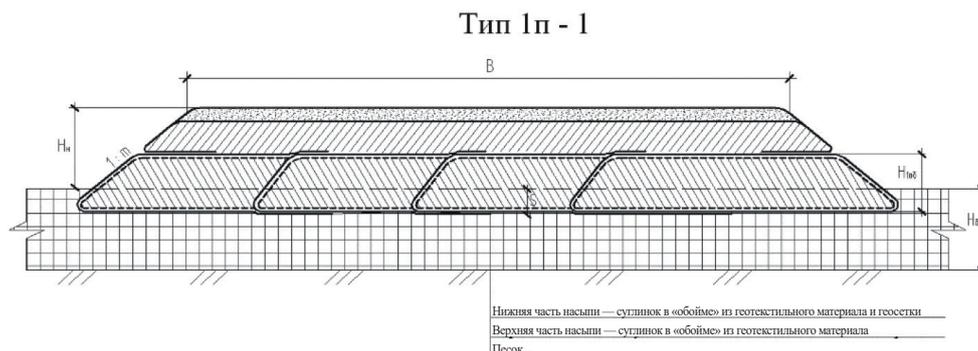


Рис. 10. Конструкция земляного полотна на площадках шириной более 25 м

Fig. 10. The construction of the roadbed on the sites more than 25 meters wide

Конструкции земляного полотна грунтовых площадок с размером более 25 м состоят из роллинговых элементов (рис. 10). Максимальная ширина роллингов зависит от типа и глубины болота. Минимальная ширина роллингов назначается из условия обеспечения проезда построечного транспорта.

На рис. 11 приведен сравнительный анализ надежности и стоимости конструкций насыпей на болотах.

Результаты трехлетней работы в данном направлении отражены во внутреннем нормативном документе — техническом стандарте «Проектирование автодорог и кустовых площадок на месторождениях ООО «ТНК-Уват» ДКС-ТС-04».



Рис. 11. Надежность и стоимость традиционных и предлагаемых конструкций насыпей на болотах

Fig. 11. Reliability and cost of traditional and proposed embankment structures in swamps

Заключение

1. Разработана и использована на объектах технология, включающая информационную составляющую, способствующая выполнению работ по обеспечению прочности и устойчивости земляного полотна на слабых основаниях (торфяные болота) при обустройстве месторождений. Технология предусматривает выполнение ряда последовательных этапов работ на базе проведенных исследований и созданной обеспечивающей информационной системы: 1) изучение грунтово-геологических особенностей территорий и анализ работы существующих дорог; 2) разработка новых конструкций земляного полотна с лабораторным обоснованием; 3) строительство экспериментальных участков; 4) мониторинг экспериментальных участков.
2. На основе полученных данных разработано более 60 конструкций земляного полотна на болотах 1, 2 и 3-го типов с максимальным применением местных переувлажненных глинистых и торфяных грунтов, укладываемых в обойму из геосинтетических материалов, что позволяет: 1) проектировать земляное полотно по типу «плавающей насыпи» на всех типах болот с максимальным использованием местных «некондиционных» грунтов; 2) увеличить межремонтные сроки и сроки службы сооружений по сравнению с традиционными плавающими насыпями в 2 раза; 3) снизить стоимость строительно-монтажных работ до 40%; 4) уменьшить сроки строительства в 1,5-2 раза. Результаты разработок дополняют созданную информационную систему.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андерсленд О. Геотехнические вопросы освоения Севера / О. Андерсленд, Д. Андерсон. М.: Недра, 1983. 454 с.
2. Нигматулин Р. И. Динамика многофазных сред / Р. И. Нигматулин. М.: Наука, 1987. Ч. I. С. 342-356.
3. Пузаков Н. А. Водно-тепловой режим земляного полотна и автомобильных дорог / Н. А. Пузаков. М.: Автотрансиздат, 1960. С. 72-78.
4. Цытович Н. А. Механика мерзлых грунтов / Н. А. Цытович. М.: Высшая школа, 1973. С. 346-363, 412-423.
5. Шуваев А. Н. Земляное полотно из мерзлых грунтов / А. Н. Шуваев. М.: Недра, 1997. С. 123-134.
6. Шуваев А. Н. Инновационные методы строительства земляного полотна автомобильных дорог на заболоченных территориях / А. Н. Шуваев, С. А. Куюков, А. В. Замятин, Д. В. Маслов, А. В. Пудовин // Актуальные вопросы проектирования автомобильных дорог. Сборник научных трудов ОАО «ГипроДорНИИ». 2013. № 4 (63).
7. Шуваев А. Н. Макетные испытания грунтовых насыпей / А. Н. Шуваев, Д. В. Маслов // Строительный вестник Тюменской области. 2012. Вып. 3 (61). С. 87-88.

8. Шуваев А. Н. Перспективные транспортные конструкции и технологии при обустройстве месторождений «ТНК-Уват» / А. Н. Шуваев, М. В. Панова, С. А. Куюков, Д. В. Маслов // *Строительный Вестник Тюменской области*. 2012. № 3 (61).
9. Шуваев А. Н. Физико-математическое моделирование грунтовых насыпей из мерзлых грунтов / А. Н. Шуваев // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2016. № 5 (58).
10. Davis E. H. A Non-Linear Theory of Consolidation / E. H. Davis, G. P. Raymond // *Geotechnique*. 1965. Vol. 15. Pp. 161-173. DOI: 10.1680/geot.1965.15.2.161
11. Konrad J. M. A Mechanistic Theory of Ice Lensing in Soils / J. M. Konrad, N. R. Morgenstern // *Canadian Geotechnical Journal*. 1980. Vol. 17. Pp. 494-505. DOI: 10.1139/t80-056
12. Konrad J. M. Frost Heave Prediction of Chilled Pipelines Buried in Unfrozen Soils / J. M. Konrad, N. R. Morgenstern // *Canadian Geotechnical Journal*. 1984. Vol. 21. No 4. Pp. 100-115. DOI: 10.1139/t84-008

Anatoly N. SHUVAEV¹
Marina V. PANOVA²
Lyudmila A. PULDAS³

INFORMATION TECHNOLOGIES OF ENGINEERING MAINTENANCE OF RELIABILITY OF ROAD CONSTRUCTIONS IN THE CONDITIONS OF THE NORTH

¹ Dr. Sci. (Tech.), Professor,
Industrial University of Tyumen
anshuvaev46@mail.ru

² Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor,
Industrial University of Tyumen
marina-panova-65@mail.ru

³ Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor,
Industrial University of Tyumen
l.a.puldas@utmn.ru

Abstract

The development of new materials and structures, physical and mathematical methods and information technologies refer to some of the most pressing problems of increasing the reliability and durability of road structures in the North. The causes of road failures in severe natural and climatic and difficult ground-geological conditions are not so much the impact of vehicles, but the impact of natural factors on the road. This article presents materials of engineering and information support for theoretical, laboratory and field studies of the structures of the roadbed in permafrost and wetlands, erected from local “substandard” soils. The reliability of using soil massifs is ensured by the wide application of geotechnical materials and modern road-building machines and complexes, the development of computational and experimental studies.

The authors show that for effective work to improve reliability and durability in the North, it is necessary to have and use information technology that includes databases on the natural and climatic conditions of the objects being created, on the parameters and methods of physical-mathematical modeling of processes occurring in the earthwork, regulatory and reference data,

Citation: Shuvaev A. N., Panova M. V., Puldas L. A. 2017. “Information Technologies of Engineering Maintenance of Reliability of Road Constructions in the Conditions of the North”. Tyumen State University Herald. Physical and Mathematical Modeling. Oil, Gas, Energy, vol. 3, no 3, pp. 110-124.

DOI: 10.21684/2411-7978-2017-3-3-110-124

on the results of analysis of monitoring studies of similar facilities. In addition, a subsystem of information support for experimental research of road structures in the laboratory and in full-scale conditions has been created. The developed technology includes the use of the created information system at all stages of research and development, which is replenished with the results obtained. The results of the work are summarized in the technical standard.

Keywords

Engineering support, reliability, durability, road dressing, roadbeds, swamps, frozen soils, deformations, stresses, freezing, thawing, geotechnical materials, compaction, “floating mound”, cage.

DOI: 10.21684/2411-7978-2017-3-3-110-124

REFERENCES

1. Anderslend O., Anderson D. 1983. *Geotekhnicheskie voprosy osvoeniya Severa* [Geotechnical Issues of Development of the North]. Moscow: Nedra.
2. Nigmatulin R. I. 1987. *Dinamika mnogofaznykh sred* [Dynamics of Multiphase Media], vol. 1, pp. 342-356. Moscow: Nauka.
3. Puzakov N. A. 1960. *Vodno-teplovoy rezhim zemlyanogo polotna i avtomo-bil'nykh dorog* [Water-Heat Regime of the Roadbed and Highways], pp. 72-78. Moscow: Avtotransizdat.
4. Tsytovich N. A. 1973. *Mekhanika merzlykh gruntov* [Mechanics of Frozen Soils], pp. 346-363, 412-423. Moscow: Vysshaya shkola.
5. Shuvaev A. N. 1997. *Zemlyanoe polotno iz merzlykh gruntov* [Earth Cloth from Frozen Soils], pp. 123-134. Moscow: Nedra.
6. Shuvaev A. N., Kuyukov S. A., Zamyatin A. V., Maslov D. V., Pudovin A. V. 2013. “*Innovatsionnye metody stroitel'stva zemlyanogo polotna avtomo-bil'nykh dorog na zabolochennykh territoriyakh / A. N. Shuvaev*” [Innovative Methods of Construction of the Roadbed of Highways in Wetlands]. *Aktual'nye voprosy proektirovaniya avtomobil'nykh dorog. Sbornik nauchnykh trudov OAO Giprodornii*, no 4 (63).
7. Shuvaev A. N., Maslov D. V. 2012. “*Maketnye ispytaniya gruntovykh nasy-pek*” [Model Testing of Soil Embankments]. *Stroitel'nyy vestnik Tyumenskoy oblasti*, no 3 (61), pp. 87-88.
8. Shuvaev A. N., Panova M. V., Kuyukov S. A., Maslov D. V. 2012. “*Perspektivnye transportnye konstruksii i tekhnologii pri obustroystve mestorozh-deniy TNK-Uvat*” [Perspective Transport Structures and Technologies for the Development of TNK-Uvat Deposits]. *Stroitel'nyy Vestnik Tyumenskoy oblasti*, no 3 (61).
9. Shuvaev A. N. 2016. “*Fiziko-matematicheskoe modelirovanie gruntovykh nasypek iz merzlykh gruntov*” [Physical-Mathematical Modeling of Soil Embankments from Frozen Soils]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*, no 5 (58).
10. Davis E. H., Raymond G. P. 1965. “*A Non-Linear Theory of Consolidation*”. *Geotechnique*, vol. 15, pp. 161-173. DOI: 10.1680/geot.1965.15.2.161
11. Konrad J. M., Morgestern N. R. 1980. “*A Mechanistic Theory of Ice Lensing in Soils*”. *Canadian Geotechnical Journal*, vol. 17, pp. 494-505. DOI: 10.1139/t80-056
12. Konrad J. M., Morgestern N. R. 1984. “*Frost Heave Prediction of Chilled Pipe-lines Buried in Unfrozen Soils*”. *Canadian Geotechnical Journal*, vol. 21, no 4, pp. 100-115.