

УДК 624.131.22.001.5 (571.1)

*СУХОРУКОВ АЛЕКСЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ, аспирант,
homesuhov@mail.ru
Томский государственный архитектурно-строительный университет,
634003, г. Томск, пл. Соляная, 2*

ОБОСНОВАНИЕ РЕГИОНАЛЬНЫХ НОРМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД С УЧЁТОМ ИЗМЕНЧИВОСТИ ГЕОКОМПЛЕКСА ТЕРРИТОРИЙ*

В статье отражён процесс развития норм проектирования нежестких дорожных одежд на территории Российской Федерации в части уточнения расчётных характеристик грунтов земляного полотна. Рассмотрены некоторые аспекты исследований, направленных на обеспечение качества проектирования автомобильных дорог за счёт более полного учёта признаков географического комплекса отдельных административно-территориальных образований России. Показаны основные подходы к определению влажности грунтов земляного полотна в расчётный период года. Установлены зависимости изменения модуля упругости глинистых грунтов от их относительной влажности. Приведены расчётные значения характеристик влажности, прочности и деформируемости глинистых грунтов рабочего слоя земляного полотна.

Ключевые слова: автомобильная дорога; влагонакопление; расчётные характеристики; глинистые грунты; функциональные зависимости; нормирование характеристик.

*ALEKSEI V. SUKHORUKOV, Research Assistant,
homesuhov@mail.ru
Tomsk State University of Architecture and Building,
2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia*

REGIONAL STANDARDS FOR PAVEMENT DESIGN ACCOUNTING FOR GEOGRAPHIC COMPLEX VOLATILITY

The article describes the elaboration of design standards for flexible pavements in the Russian Federation and focuses on specifying the estimated characteristics of subgrade soils. The aspects of research aimed at the quality improvement of road design are considered herein which can be provided due to observations of the geographic complex of administrative units of the country. The basic approaches to the determination of subgrade soil humidity are shown for the base period of the year. The dependences between the Young's modulus of clay soils and relative humidity are obtained. The estimated values of subgrade soil humidity, Young's modulus, strength and deformation are given in this paper.

Keywords: road; moisture accumulation; calculated values; clay soils; functional dependences; standardization of properties.

Целями Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 г. (в редакции от 11 июня 2014 г. № 1032-р), Стратегии социально-экономического развития Сибири до 2020 г. (от 5 июля 2010 г. № 1120-р), а также

* Работа поддержана грантом РФФИ (проект № 14-07-00673 А).

региональных транспортных программ предусмотрено развитие транспортной инфраструктуры, обеспечение качества проектирования и строительства автомобильных дорог, а также безопасности дорожного движения, увеличение их пропускной способности и скоростных параметров. Это связано с реализацией ряда проектов по освоению минерально-сырьевых ресурсов, добыче и переработке полезных ископаемых, созданию высокотехнологичной продукции и развитию машиностроительных и агропромышленных комплексов в регионе.

Достижение обозначенных целей, например, на территории Западной Сибири возможно за счёт более полного учёта изменчивости признаков географического комплекса. В первую очередь, это связано с тем, что действующие в Российской Федерации строительные нормы и правила по проектированию автомобильных дорог и их основных конструктивных элементов (дорожная одежда и земляное полотно) были разработаны по результатам исследований, выполненных в основном в европейской части страны, имеющей значительные отличия от районов Зауралья.

Впервые в 1941 г. научным коллективом, работавшим под руководством профессора Н.Н. Иванова, был предложен метод расчёта дорожных одежд Дорнии [1]. После проведения широкой программы экспериментальных исследований, направленных на его производственную проверку, а также уточнение расчётных характеристик грунтов и материалов конструктивных слоёв дорожных одежд [1, 2] метод был включён в инструкцию ВСН 46-60¹. При этом расчёт нежестких дорожных одежд осуществляли только по условию прочности. Однако, как потом показала практика, спустя уже половину расчётного срока службы на покрытиях дорожных одежд, запроектированных по таким нормам, начинали образовываться трещины, просадки и колеи [2].

Предложенные профессором Г.И. Покровским идеи о необходимости обеспечения устойчивости против сдвигов в подстилающем грунте были реализованы в инструкции ВСН 46-72². Впервые в ней появились значения расчётной относительной влажности (W_p) грунтов земляного полотна, нормированные по дорожно-климатическим зонам (II–V ДКЗ) и типам местности по условиям увлажнения, а также рекомендуемые расчётные значения прочностных и деформационных характеристик грунтов земляного полотна автомобильных дорог с усовершенствованными покрытиями.

Позже, в 1978 г., вышли методические рекомендации по совершенствованию проектирования дорожных одежд нежесткого типа [3], в которых были приведены элементы, направленные на уточнение отдельных положений ВСН 46-72. В частности, была дополнена таблица с расчётными характеристиками грунтов их значениями при пониженной влажности.

В инструкции ВСН 46-83³ предложен совершенно иной подход к назначению расчётной влажности грунтов. Разработчики ввели дифференциацию

¹ Инструкция по назначению конструкций дорожных одежд нежесткого типа: ВСН 46-60 / Министерство транспортного строительства СССР. М.: Автотрансиздат, 1961. 78 с.

² Инструкция по проектированию дорожных одежд нежесткого типа: ВСН 46-72. М.: Транспорт, 1973. 112 с.

³ Инструкция по проектированию дорожных одежд нежесткого типа: ВСН 46-83 / Минтрансстрой СССР. М.: Транспорт, 1985. 157 с.

средней многолетней влажности грунтов в зависимости от дорожно-климатических зон и подзон, выделенных на территории бывшего Советского Союза. Также впервые приведены значения средней влажности грунтов в I дорожно-климатической зоне, которая разделена на три подзоны (северную, центральную, южную). Появились и совершенно новые рекомендации, предусматривающие снижение средней влажности грунтов при расчёте дорожных одежд, с учётом устройства водонепроницаемых обочин, теплоизоляционных слоёв и др. В итоге расчётную влажность следовало определять в зависимости от уровня проектной надёжности конструкции дорожной одежды. Такой подход повлёк за собой и изменения таблицы с расчётными характеристиками глинистых грунтов, получившей более широкий диапазон значений за счёт увеличения интервала расчётной влажности (от 0,5 до 0,95 д. ед.).

Рассматривая изменения в ОДН 218.046-01⁴, следует отметить то, что расширен интервал средней влажности грунтов во II и III дорожно-климатических зонах за счёт увеличения числа подзон. Помимо этого, в нормах нашли отражение результаты исследований сотрудников Омского филиала Союздорнии Б.В. Белоусова [4] и А.С. Пилипенко [5] по нормированию значений сдвиговых характеристик грунтов при динамическом воздействии нагрузок.

Разработчики норм неоднократно обращают внимание на то, что при проектировании дорожных одежд в различных регионах Российской Федерации наряду с положениями, нашедшими отражение в ОДН 218.046–01, следует руководствоваться и результатами региональных исследований. Однако на сегодняшний день на территории России отсутствует единая методология формирования региональных норм проектирования нежестких дорожных одежд. По мнению ряда авторов [6, 7], такие исследования должны учитывать особенности региональных признаков геокомплекса и базироваться на двухстадийном подходе: в первую очередь, необходимо выделять однородные территории (дорожные районы) в административных образованиях России, а затем для этих территорий нормировать комплекс расчётных величин характеристик грунтов земляного полотна с учётом региональных признаков геокомплекса.

Изучение региональных особенностей формирования состава и свойств грунтов осуществляется несколькими научными коллективами. Так, широко известны результаты исследований группы учёных, возглавляемой профессорами Е.М. Сергеевым, А.В. Минервиным [8], В.Т. Трофимовым [9], Г.И. Швецовым [10] и др.

Особенностям изменения свойств техногенных глинистых грунтов земляного полотна в годовом цикле водно-теплового режима в Западно-Сибирском регионе посвящены работы А.О. Афиногенова, М.В. Бадиной, С.В. Ефименко, выполненные под руководством профессора В.Н. Ефименко [11–13]. Результаты их исследований показали, что признаки географического комплекса зонального, интразонального и регионального характера, соответствующие районам Западной Сибири, существенно отличаются от ранее изученных условий европейской территории России. Так, по данным гидроме-

⁴ Проектирование нежестких дорожных одежд. ОДН 218.046–01 / Государственная служба дорожного хозяйства Министерства транспорта Российской Федерации. М: Информавтодор, 2001. 145 с.

теорологической сети географической зоны лесов с избыточным увлажнением грунтов, в районах Западной Сибири продолжительность морозного периода в 1,2–1,4 раза превышает аналогичный показатель европейской части Российской Федерации, а глубина промерзания грунтов здесь больше в 1,6–2 раза. Отмеченные признаки обуславливают значительное влагонакопление и пучинообразование в промерзающем земляном полотне, снижение несущей способности дорожных конструкций при их оттаивании.

Это свидетельствует о недоучёте природно-климатических условий районов Западной Сибири при назначении расчётных параметров, характеризующих свойства грунтов в инструкциях и рекомендациях по проектированию дорожных одежд, которые существенно отличаются от величин, рекомендуемых ОДН 218.046–01, что не позволяет принимать обоснованных решений, обеспечивающих качество проектирования.

Существенное влияние на надёжность дорожных одежд оказывают прочностные (угол внутреннего трения φ , удельное сцепление C) и деформационные (модуль упругости E) свойства грунтов рабочего слоя земляного полотна, значения которых зависят от влажности. Вопросам исследования влияния влажности грунтов на их свойства посвящены работы В.Ф. Бабкова, Ю.М. Васильева, А.К. Бирули, И.А. Золотаря, Ю.Л. Мотылёва, Н.А. Пузакова, В.М. Сиденко, А.Я. Тулаева, Н.Я. Хархута и др.

Так, в работе [14] автором отмечено, что характеристики E , φ и C глинистых грунтов значительно снижаются при увеличении влажности, особенно в процессе оттаивания, что обусловлено содержанием в них пылеватых и глинистых фракций. Поэтому значения расчётных свойств глинистых грунтов при проектировании нежестких дорожных одежд следует назначать при соответствующей величине расчётной влажности.

В настоящее время сложилось три основных подхода к определению расчётной влажности [15]:

1. Натурные наблюдения за влажностью грунтов рабочего слоя земляного полотна на сети автомобильных дорог за счёт устройства стационарных постов наблюдения или на специализированных испытательных полигонах. Но, учитывая тот факт, что в России сеть автомобильных дорог развита неравномерно, проведение мониторинга влажности возможно далеко не для всех территорий, а результаты таких наблюдений не всегда могут быть доступны проектным организациям. Выполнение крупномасштабных исследований на специализированных полигонах, сходных по масштабу с выполняемыми, например, на территории США [16], Японии [17] или Кореи [18], в России практически невозможно ввиду очень высокой стоимости строительства и эксплуатации таких объектов [19]. Однако стоит отметить, что Государственная компания «Автодор» ведёт работу по созданию первого в России испытательного полигона линейного типа, который будет располагаться на одном из основных направлений автомагистрали М-4 «Дон» в Ростовской области [20, 21].

2. Инженерные изыскания, предшествующие разработке проектной документации на строительство автомобильной дороги. В подобных случаях отбор проб грунта ненарушенной структуры, а также испытания по определению характеристик прочности и деформируемости ведутся в ограниченный

временной промежуток. Чаще всего это летний период, в который происходит уменьшение влажности (просыхание) грунтов земляного полотна, в то время как наибольшая влажность достигается к концу холодного периода (расчётный период года).

3. Прогнозирование расчётной влажности с применением методов математического моделирования. Наиболее полно исследования процесса накопления влаги в грунтах земляного полотна отражены в работах профессоров И.А. Золотаря, М.Б. Корсунского Н.А. Пузакова, В.И. Рувинского, В.М. Сиденко и их учеников. Разработанные ими методы распространяются на территории с индивидуальным сочетанием признаков географического комплекса.

На территории, например, Западно-Сибирского региона метод профессора И.А. Золотаря показал высокую сходимость результатов экспериментов и теоретических вычислений, что подтверждено в исследованиях В.Н. Ефименко [22], С.В. Ефименко [23], М.В. Бадиной [24], Е.И. Кирякова [25], В.М. Маркуц [26], К.С. Полянской [27].

Предложенная им математическая модель установления W_p для условий близкого залегания уровня грунтовых вод предполагает последовательное установление влажности по сезонам года [28]:

– выявление средней влажности грунтов, формирование которой происходит в период, когда осадки в виде дождя преобладают над количеством влаги, испаряющейся с поверхности дорожного полотна ($\tau_{вл}$);

– определение средней весенней влажности грунтов рабочего слоя земляного полотна к концу зимнего периода ($W_{вес}$), принимаемой в дальнейшем за расчётную влажность ($W_{вес} = W_p$).

Для участков автомобильных дорог с глубоким залеганием уровня грунтовых вод по результатам многолетних исследований водно-теплового режима сезонно промерзающих грунтов земляного полотна на территории Юго-Востока Западной Сибири [22] профессором В.Н. Ефименко разработан метод, позволяющий учитывать температурно-влажностный режим отдельных дорожных районов. Метод включен в действующие отраслевые нормы ОДН 218.1.052–2002⁵. Адекватность применения этого метода в различных природно-климатических условиях подтверждена в работах [29, 30].

Территориальное распространение элементов географического комплекса формирует особенности водно-теплового режима грунтов рабочего слоя земляного полотна отдельных регионов и, как следствие, изменчивость расчётных показателей прочности и деформируемости в различных дорожно-климатических зонах.

Так, профессора И.А. Золотарь и В.М. Сиденко предлагают выражать связь модуля упругости с влажностью грунта аналитически, зависимостью [31]

$$E = \frac{N}{W^n}. \quad (1)$$

⁵ Оценка прочности нежёстких дорожных одежд. ОДН 218.1.052–2002 / Государственная служба дорожного хозяйства Министерства транспорта Российской Федерации. М: Инфотрактор, 2002. 80 с.

При этом И.А. Золотарь обосновал значения численных показателей $N = 217$ и $n = 1,7$, зависящих от разновидности грунта, равными, например, для суглинков 217 и 1,7 соответственно. Основываясь на результатах экспериментальных исследований, В.М. Сиденко предлагает принимать числовой показатель n в зависимости от коэффициента уплотнения грунта ($n = 1$ при $K_y = 0,8$; $n = 2$ при $K_y = 0,9$; $n = 3$ при $K_y = 1,0$). В результате выполненных лабораторных исследований и полевых испытаний авторами [31] предложены таблицы с расчётными показателями свойств грунтов земляного полотна в разных природных условиях (II, III, IV, V ДКЗ).

Комплекс полевых и лабораторных работ, выполненных с участием автора на территории Западной Сибири (в пределах уточнённых границ II ДКЗ), позволил установить функциональные зависимости модуля упругости глинистых грунтов от относительной влажности, имеющих следующий вид:

– для пылеватых суглинков

$$E_{cr} = 239,16 \cdot e^{-2,855 \cdot W_p}; \quad (2)$$

– для пылеватых супесей

$$E_{cr} = 1590,4 \cdot e^{-5,053 \cdot W_p}. \quad (3)$$

Величина достоверности аппроксимации установленных зависимостей составила $R_{E_{cr}}^2 = 0,87$ – для суглинков пылеватых и $R_{E_{cr}}^2 = 0,81$ – для супесей пылеватых, что указывает на высокую степень соответствия трендовой модели исходным сведениям и возможность применения уравнений (2) и (3) для прогноза расчётных значений модуля упругости глинистых грунтов.

Авторы работ [32, 33] считают, что в рамках совершенствования региональной нормативной базы для проектирования нежестких дорожных одежд на основе учёта изменчивости признаков геоконструктивного назначения расчётных свойств грунтов целесообразнее принимать по таблицам (в зависимости от гидрологических условий местности и случаев воздействия нагрузки), разработанным для отдельных административных образований, территория которых разделена на дорожные районы.

Ниже представлен фрагмент таблицы с расчётными значениями характеристик влажности, прочности и деформируемости глинистых грунтов рабочего слоя земляного полотна для дорожных районов на территории Томской области. При определении характеристик принята наиболее распространённая на территории исследования четырёхслойная конструкция дорожной одежды (двухслойный асфальтобетон, основание из щебня и гравийно-песчаная смесь в дополнительном слое основания) с возвышением поверхности земляного полотна над уровнем грунтовых вод от 0,5 до 2,5 м.

Интервал варьирования значений коэффициента влагопроводности грунтов земляного полотна для Томской области принят от 2,0 до 6,0 см²/ч.

Сопоставление экспериментально установленных свойств, например, суглинка пылеватого со значениями, представленными в ОДН 218.046–01, свидетельствует, что отклонения значений модуля упругости при различной расчётной относительной влажности грунта завышены на величину до 44 %.

Расчётные значения характеристик влажности, прочности и деформируемости глинистых грунтов рабочего слоя земляного полотна для дорожных районов на территории Томской области (для условий близкого залегания уровня грунтовых вод)

Административно-территориальное образование	Индекс дорожного района	Наименования административных пунктов на территории дорожного района	Величина коэффициента влажности	Возвышение поверхности земляного полотна над уровнем грунтовых вод	Расчётные значения характеристик влажности, прочности и деформируемости глинистых разновидностей грунтов рабочего слоя земляного полотна						
					Суглинок пылеватый			Супесь пылеватая			
					Расчётная относительная влажность W_p , д. ед	Модуль упругости $E_{ср}$, МПа	Угол внутреннего трения $\varphi_{ср}$, град	Удельное сцепление $C_{ср}$, МПа	Расчётная относительная влажность W_p , д. ед	Модуль упругости $E_{ср}$, МПа	Угол внутреннего трения $\varphi_{ср}$, град
Томская область	П. Р.1	Александровское, Каргасок, Напас, Нарым, Дружные	2,0	0,5	12,84	10,48	0,017	0,96	24,05	21,14	0,012
				1,0	17,89	12,27	0,022	0,90	30,05	22,24	0,015
				1,5	26,34	14,73	0,030	0,82	40,43	23,80	0,020
				2,0	31,10	15,93	0,034	0,77	48,67	24,83	0,025
				2,5	32,86	16,36	0,036	0,75	52,42	25,25	0,027
			3,0	0,5	9,74	9,20	0,013	–	–	–	–
				1,0	8,25	8,50	0,012	0,94	25,91	21,50	0,013
				1,5	21,12	13,27	0,025	0,85	36,17	23,20	0,018
				2,0	26,34	14,73	0,030	0,80	43,54	24,20	0,022
				2,5	27,84	15,12	0,031	0,77	48,67	24,83	0,025
			4,0	0,5	7,81	8,28	0,011	–	–	–	–
				1,0	11,50	9,95	0,015	0,97	23,18	20,96	0,011
				1,5	17,89	12,27	0,022	0,88	32,36	22,62	0,016

Результаты исследований, направленных на совершенствование региональной нормативной базы в ряде регионов Российской Федерации, утверждены и введены в действие (СТО 11.2015⁶ и СТО УАД ТО 10-2015⁷). Подобные стандарты позволяют расширить укрупнённые показатели грунтов, предложенные в ОДН 218.046-01 и применяемые для расчёта нежестких дорожных одежд по условию прочности, что способствует обеспечению качества их проектирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Жизнь и научно-педагогическая деятельность* : биобиблиогр. указ. / сост.: Е.А. Макарова, О.Б. Пилипенкова, Н.К. Фетисова, Н.В. Шашина ; под общ. ред. Н.В. Шашинной. – М. : МАДИ, 2013. – 70 с.
2. *Смирнов, А.В.* Расчёт дорожных конструкций автомагистралей на прочность и выносливость: монография / А.В. Смирнов. – Омск : СибАДИ, 2012. – 116 с.
3. *Методические рекомендации* по совершенствованию проектирования дорожных одежд нежесткого типа / Минтрансстрой СССР. – М. : Транспорт, 1978. – 74 с.
4. *Белоусов, Б.В.* Строительство эффективных оснований дорожных одежд : автореф. дис. ... докт. техн. наук. – Омск : Омский Союздорнии, 2001. – 42 с.
5. *Пилипенко, А.С.* Сдвигоустойчивость глинистых грунтов в основании дорожных одежд под действием кратковременных многократных нагрузок : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 1990. – 20 с.
6. *Стандартизация расчетных значений характеристик глинистых грунтов* Кузбасса для обеспечения качества проектирования автомобильных дорог / С.В. Ефименко, В.Н. Ефименко, М.В. Бадина, А.В. Сухоруков, В.С. Чурилин, А.О. Афиногенов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2015. – № 5. – С. 173–183.
7. *Ефименко, С.В.* Учёт территориальной однородности географических комплексов при проектировании автомобильных дорог / С.В. Ефименко // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2015. – № 3. – С. 226–236.
8. *Сергеев, Е.М.* Сущность процесса облесования в подзолистой зоне / Е.М. Сергеев, А.В. Миневрин // Вестник Моск. ун-та. Серия геология. – 1960. – № 3. – С. 3–14.
9. *Трофимов, В.Т.* Грунтоведение / В.Т. Трофимов, В.А. Королев, Е.А. Вознесенский [и др.]. – М. : Изд-во МГУ, 2005. – 1024 с.
10. *Швецов, Г.И.* Инженерная геология, механика грунтов, основания и фундаменты / Г.И. Швецов. – М. : Высшая школа, 1997. – 319 с.
11. *Учёт особенностей распространения геокомплексов* при территориальной организации дорожно-климатического районирования / С.В. Ефименко, В.Н. Ефименко, М.В. Бадина, А.О. Афиногенов // Дороги и мосты. – 2014. – № 31. – С. 42–52.
12. *Технология учёта* региональных природно-климатических условий при проектировании транспортных сооружений (на примере территории Западной Сибири) / В.Н. Ефименко, С.В. Ефименко, М.В. Бадина, А.В. Григорьев // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2011. – № 4 (33). – С. 221–227.

⁶ СТО 11.2015. Расчётные значения характеристик глинистых грунтов земляного полотна для проектирования по условиям прочности и морозоустойчивости нежестких дорожных одежд автомобильных дорог Кузбасса: Утверждён приказом № 74 от 22.07.2015 г. Дирекции автодорог Кузбасса. Кемерово: Дирекция автодорог Кузбасса, 2015. 28 с.

⁷ СТО УАД ТО 10–2015. Расчётные значения характеристик глинистых грунтов земляного полотна для проектирования по условиям прочности и морозоустойчивости нежестких дорожных одежд автомобильных дорог Томской области: Утверждён приказом № 150-П от 21.12.2015 г. ГКУ ТО «Управление автомобильных дорог Томской области. Томск: Том. гос. архит.-строит. ун-т», 2015. 29 с.

13. Учёт региональных природно-климатических условий при уточнении норм проектирования автомобильных дорог / В.Н. Ефименко, С.В. Ефименко, М.В. Бадина, А.В. Григорьев // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2012. – № 1. – С. 15–17.
14. Пузаков, Н.А. Теоретические основы накопления влаги в дорожном полотне и их практическое применение / Н.А. Пузаков // Проектирование и возведение земляного полотна железных и автомобильных дорог : сб. – М. : Изд-во АН СССР, 1950. – С. 59–88.
15. Ефименко, С.В. Обоснование расчётных значений характеристик глинистых грунтов Западно-Сибирского региона / С.В. Ефименко, А.В. Сухоруков, В.Н. Ефименко // Известия вузов. Строительство. – 2015. – № 7. – С. 69–77.
16. Zapata, C.E. Calibration and validation of the enhanced integrated climatic model for pavement design / C.E. Zapata, W.N. Houston // Transportation Res. Board. – 2008. – 62. – 61 с.
17. Metcalf, J.B. Application of full-scale accelerated pavement testing / J.B. Metcalf // Transportation Research Board. – 1996. – Т. 235. – 11 с.
18. Choi, J.H. Validation of Permanent Deformation Model for Flexible Pavement using Accelerated Pavement Testing / J.H. Choi, Y.G. Seo, Y.C. Suh // Journal of The Korean Society of Civil Engineers. – 2009. – Т. 29. – №. 4D. – С. 491–497.
19. Special report 61-G (1962) The AASHO ROAD TEST, Report, Highway research Board.
20. Ильин, С.В. Уникальный объект на автомагистрали / С.В. Ильин, Е.В. Углова, С.С. Саенко // Автомобильные дороги. – 2014. – № 03 (988). – С. 10–13.
21. Углова, Е.В. Оптимизация расчётных моделей для проектирования нежестких дорожных одежд / Е.В. Углова, С.С. Саенко // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2014. – № 6. – С. 182–190.
22. Ефименко, В.Н. Водно-тепловой режим земляного полотна автомобильных дорог при глубоком промерзании грунтов (на примере Юго-Востока Западной Сибири) : дис. ... канд. техн. наук. – М., 1978. – 216 с.
23. Ефименко, С.В. Обоснование расчётных значений характеристик глинистых грунтов для проектирования дорожных одежд автомобильных дорог (на примере Западной Сибири) : дис. ... канд. техн. наук. – Омск, 2006. – 217 с.
24. Бадина, М.В. Обеспечение качества проектирования дорожных конструкций на основе учёта региональных природно-климатических условий (на примере Западной Сибири) : дис. ... канд. техн. наук. – Омск, 2009. – 25 с.
25. Киряков, Е.И. Краткосрочный прогноз состояния нежестких дорожных одежд в районах с глубоким сезонным промерзанием грунтов : дис. ... канд. техн. наук. – М., 2001. – 200 с.
26. Маркуц, В.М. Установление расчётных характеристик земляного полотна нефтепромысловых дорог Западной Сибири с учетом особенностей водно-теплового режима : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 1986. – 20 с.
27. Полянская, К.С. Исследование морозного пучения городских дорог : дис. ... канд. техн. наук. – Л., 1976. – 20 с.
28. Золотарь, И.А. Прогноз влажности грунта земляного полотна в целях назначения его прочностных характеристик / И.А. Золотарь // Материалы Всесоюзной межвузовской научно-технической конференции по прочности дорожных одежд. – Харьков : Изд-во ХГУ, 1969. – С. 100–105.
29. Козлов, П.Г. К вопросу о расчётных характеристиках глинистых грунтов земляного полотна при проектировании и реконструкции дорожных одежд (на примере Юга Дальнего Востока) / П.Г. Козлов, Р.С. Федюк, Д.А. Храмов // Современная техника и технологии. – 2016. – № 1. – С. 119–123.
30. Стрижевский, А.М. Развитие и обоснование метода оценки прочности нежестких дорожных одежд в нерасчётные периоды года : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 2003. – 24 с.
31. Водно-тепловой режим земляного полотна и дорожных одежд / под ред. И.А. Золотаря, Н.А. Пузакова, В.М. Сиденко. – М. : Транспорт, 1971. – 416 с.
32. Ефименко, С.В. Совершенствование норм проектирования автомобильных дорог Российской Федерации в части методологии учёта особенностей природно-климатических условий / С.В. Ефименко, В.Н. Ефименко, А.В. Сухоруков // Вестник КГУСТА. – 2016. – № 1. – С. 53–59.

33. Ефименко, С.В. Совершенствование норм проектирования дорожных одежд в части уточнения дислокации дорожно-климатических зон для субъектов Российской Федерации / С.В. Ефименко, В.Н. Ефименко, М.В. Бадина // Мир дорог. – 2014. – № 74. – С. 21–23.

REFERENCES

1. Makarova E.A., Pilipenkova O.B., Fetisova N.K., Shashina N.V. Zhizn' i nauchno-pedagogicheskaya deyatel'nost' [Life and research and pedagogical activity]. Moscow : MADI Publ., 2013. 70 p. (rus)
2. Smirnov A.V. Raschet dorozhnykh konstruktsey avtomagistralej na prochnost' i vyнослиvost' [Strength and durability analyses of highways]. SibADI Publ., 2012. 116 p. (rus)
3. Metodicheskie rekomendatsii po sovershenstvovaniyu proektirovaniya dorozhnykh odezhd nezhestkogo tipa [Methodical recommendations for flexible pavements design improvement]. Moscow : Transport Publ., 1978. 74 p. (rus)
4. Belousov B.V. Stroitel'stvo effektivnykh osnovanii dorozhnykh odezhd: avtoreferat dis. ... doktora tekhnicheskikh nauk [Construction of efficient pavement subgrades. DSc Thesis]. 2001. 42 p. (rus)
5. Pilipenko A.S. Sdvigoustoichivost' glinistykh gruntov v osnovanii dorozhnykh odezhd pod deistviem kratkovremennykh mnogokratnykh nagruzok : avtoreferat dis. ... kandidata tekhnicheskikh nauk [Shear strength clay soils in the bottom of pavements under the influence of short-term repeated loads. PhD Abstract]. 1990. 20 p. (rus)
6. Efimenko S.V., Efimenko V.N., Badina M.V., Sukhorukov A.V., Churilin V.S. Afinogenov A.O. Standartizatsiya raschetnykh znacheniy kharakteristik glinistykh gruntov Kuzbassa dlya obespecheniya kachestva proektirovaniya avtomobil'nykh dorog [Standardization of estimated values of clayey soil properties for the quality assurance in road design in Kuzbass]. *Vestnik TSUAB*. 2015. No. 5. Pp.173–183. (rus)
7. Efimenko S.V. Uchet territorial'noy odnorodnosti geograficheskikh kompleksov pri proektirovanii avtomobil'nykh dorog [Territorial homogeneity of geographic complexes in design of automobile roads]. *Vestnik TSUAB*. 2015. No. 3. Pp. 226–236. (rus)
8. Shvetsov G.I. Inzhenernaya geologiya, mekhanika gruntov, osnovaniya i fundamenty [Engineering geology, soil mechanics, foundation and basement]. Moscow : Vysshaya Shkola Publ., 1997. 319 p. (rus)
9. Trofimov V.T., Korolev V.A., Voznesenskiy E.A. et al. Gruntovedenie [Ground science]. Moscow : MSU Pub., 2005. 1024 p. (rus)
10. Sergeev E.M., Minevrin A.V. Sushchnost' protsessa oblessovaniya v podzolistoy zone [The loessification process in podsolonchic zone]. *Moscow University Geology Bulletin*. 1960. No. 3. Pp. 3–14. (rus)
11. Efimenko S.V., Badina M.V., Afinogenov A.O. Uchet osobennostey rasprostraneniya geokompleksov pri territorial'noy organizatsii dorozhno-klimaticheskogo rayonirovaniya [Geocomplex distribution in territorial organization of road-building climatic zoning]. *Dorogi i mosty*. 2014. No. 31. Pp. 42–52. (rus)
12. Efimenko V.N., Efimenko S.V., Badina M.V., Grigor'ev A.V. Tekhnologiya ucheta regional'nykh prirodno-klimaticheskikh uslovii pri proektirovanii transportnykh sooruzhenii (na primere territorii Zapadnoi Sibiri) [Technology of accounting regional climatic conditions in transport facilities design (Western Siberia case study)]. *Vestnik TSUAB*. 2011. No. 4. Pp. 221–227. (rus)
13. Efimenko V.N., Efimenko S.V., Badina M.V., Grigoryev A.V. Uchet regional'nykh prirodno-klimaticheskikh usloviy pri utochnenii norm proektirovaniya avtomobil'nykh dorog [Regional nature-climatic conditions in specification of design road standards]. *Science and Engineering for Highways*. 2012. No. 1. Pp. 15–17. (rus)
14. Puzakov N.A. Teoreticheskie osnovy nakopleniya vlagi v dorozhnom polotne i ikh prakticheskoe primeneniye [Theoretical foundations of moisture accumulation in pavements and their practical application]. *Proektirovanie i vozvedeniye zemlyanogo polotna zheleznykh i avtomobil'nykh dorog*. USSR Academy of Sciences Publ., 1950. Pp. 59–88. (rus)
15. Efimenko S.V., Sukhorukov A.V., Efimenko V.N. Obosnovaniye raschetnykh znacheniy kharakteristik glinistykh gruntov Zapadno-Sibirskogo regiona [Estimated values of clay soil properties in West Siberian region]. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2015. No. 7. Pp. 69–77. (rus)

16. Zapata C.E., Houston W.N. Calibration and validation of the enhanced integrated climatic model for pavement design. *Transportation Res. Board.* 2008. No. 62. 61 p.
17. Choi J.H., Seo Y.G., Suh Y.C. Validation of permanent deformation model for flexible pavement using accelerated pavement testing. *Journal of The Korean Society of Civil Engineers.* 2009. V. 29. No. 4D. Pp. 491–497.
18. Metcalf J.B. Application of full-scale accelerated pavement testing. *Transportation Research Board.* 1996. V. 235. 11 p.
19. *Special report 61-G. The AASHO road test, Report, 1962, Highway Research Board.*
20. Uglova E.V., Saenko S.S. Optimizatsiya raschetnykh modeley dlya proektirovaniya nezhestkikh dorozhnykh odezhd [Optimization of flexible pavement design models]. *Vestnik TSUAB.* 2014. No. 6. Pp. 182–190. (rus)
21. Il'in S.V., Uglova E.V., Saenko S.S. Unikal'nyy ob'ekt na avtomagistrali [Unique object on the highway]. *Avtomobil'nye dorogi.* 2014. No. 3. Pp. 10–13. (rus)
22. Efimenko V.N. Vodno-teplovoy rezhim zemlyanogo polotna avtomobil'nykh dorog pri glubokom promerzanii gruntov (Na primere Yugo-Vostoka Zapadnoi Sibiri) [Water-and-thermal regime of subgrades during deep freezing of soils (On the example of the South-East of Western Siberia) PhD Thesis]. 1978. 216 p. (rus)
23. Efimenko S.V. Obosnovanie raschetnykh znachenii kharakteristik glinistykh gruntov dlya proektirovaniya dorozhnykh odezhd avtomobil'nykh dorog (na primere Zapadnoi Sibiri) [Estimated values of clay soil properties for road pavement design (Western Siberia case study). PhD Thesis]. 2006. 217 p. (rus)
24. Badina M.V. Obespechenie kachestva proektirovaniya dorozhnykh konstruksiy na osnove ucheta regional'nykh prirodno-klimaticheskikh usloviy (na primere Zapadnoy Sibiri) [Quality assurance of road design based observing regional climate and environment conditions (Western Siberia case study). PhD Thesis]. 2009. 200 p. (rus)
25. Kiryakov E.I. Kratkosrochnyy prognoz sostoyaniya nezhestkikh dorozhnykh odezhd v rayonakh s glubokim sezonnyim promerzaniem gruntov [Short-term prediction of flexible pavements state in areas of deep seasonal freezing of soils. PhD Thesis]. 2001. 200 p. (rus)
26. Markuts V.M. Ustanovlenie raschetnykh kharakteristik zemlyanogo polotna neftepromyslovykh dorog Zapadnoy Sibiri s uchedom osobennostey vodno-teplovogo rezhima [Establishment of the subgrade calculated characteristics of Western Siberia oilfield roads observing of water and thermal regime peculiarities. PhD Abstract]. 1986. 20 p. (rus)
27. Polyanskaya K.S. Issledovanie moroznogo pucheniya gorodskikh dorog [The study of frost heave of city roads. PhD Thesis]. 1976. 20 p. (rus)
28. Zolotar' I.A. Prognoz vlazhnosti grunta zemlyanogo polotna v tselyakh naznacheniya ego prochnostnykh kharakteristik [Prediction of subgrade soil moisture content for its strength characteristics]. *Proc. All-Union Sci. Conf. on pavement strength.* Khar'kov : KNU Publ., 1969. Pp. 100–105. (rus)
29. Kozlov P.G., Fedyuk R.S., Khrarov D.A. K voprosu o raschetnykh kharakteristikakh glinistykh gruntov zemlyanogo polotna pri proektirovanii i rekonstruktsii dorozhnykh odezhd (na primere Yuga Dal'nego Vostoka) [Estimated characteristics of clayey subgrade soils for pavement design and reconstruction (in Southern Far East)]. *Modern Scientific Researches and Innovations.* 2016. No. 1. Pp. 119–123. (rus)
30. Strizhevskiy A.M. Razvitiye i obosnovaniye metoda otsenki prochnosti nezhestkikh dorozhnykh odezhd v neraschetnye periody goda [Development and substantiation of strength analysis method for flexible pavements in off-design period. PhD Abstract]. 2003. 24 p. (rus)
31. Zolotar' I.A., Puzakov N.A., Sidenko V.M. Vodno-teplovoy rezhim zemlyanogo polotna i dorozhnykh odezhd [Water and thermal conditions of subgrades and road pavements]. Moscow : Transport Publ., 1971. 416 p. (rus)
32. Efimenko S.V., Efimenko V.N., Sukhorukov A.V. Sovershenstvovanie norm proektirovaniya avtomobil'nykh dorog Rossiyskoy Federatsii v chasti metodologii ucheta osobennostey prirodno-klimaticheskikh usloviy [Improving highway design standards of the Russian Federation accounting for natural-climatic conditions]. *Vestnik KSUCTA.* 2016. No. 1. Pp. 53–59. (rus)
33. Efimenko S.V., Efimenko V.N., Badina M.V. Sovershenstvovanie norm proektirovaniya dorozhnykh odezhd v chasti utochneniya dislokatsii dorozhno-klimaticheskikh zon dlya sub'ektov Rossiyskoy Federatsii [Improvement of pavement design standards in terms of road-building climatic zoning for subjects of the Russian Federation]. *Mir dorog.* 2014. No. 74. Pp. 21–23. (rus)