Интернет-журнал «Транспортные сооружения» https://t-s.today
Russian journal of transport engineering

2019, №4, Том 6 / 2019, No 4, Vol 6 https://t-s.today/issue-4-2019.html

URL статьи: https://t-s.today/PDF/08SATS419.pdf

DOI: 10.15862/08SATS419 (http://dx.doi.org/10.15862/08SATS419)

Ссылка для цитирования этой статьи:
Сухоруков А.В. Обоснование расчётных значений прочностных и деформационных характеристик глинистых грунтов для проектирования дорожных одежд в экономически перспективных районах Западной Сибири // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», 2019 №4, https://t-s.today/PDF/08SATS419.pdf (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/08SATS419

For citation:
Sukhorukov A.V. (2019). Justification of the calculated values of strength and deformation characteristics of clay soils for pavement design in economically promising areas of Western Siberia. *Russian journal of transport engineering*, [online] 4(6). Available at: https://t-s.today/PDF/08SATS419.pdf (in Russian). DOI: 10.15862/08SATS419

Отдельные элементы диссертационной работы выполнены по плану НИР Федерального дорожного агентства «Росавтодор», по гранту РФФИ (проект № 14–07–00673а) и тематическим планам ФГБОУ ВО «Томский государственный архитектурно-строительный университет»

УДК 624.131.22.001.5(571.1)

ГРНТИ 73.31.11

Сухоруков Алексей Владимирович
ФГБОУ ВО «Томский государственный архитектурно-строительный университет», Томск, Россия
Доцент
Кандидат технических наук
E-mail: av_suhar@mail.ru
ORCID: http://orcid.org/0000-0001-8778-5418
РИНЦ: http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=716563
Researcher ID: http://www.researcherid.com/rid/W-2901-2017
SCOPUS: http://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=56487124300

Обоснование расчётных значений прочностных и деформационных характеристик глинистых грунтов для проектирования дорожных одежд в экономически перспективных районах Западной Сибири

Аннотация. В первой четверти XXI в. Россия столкнётся с необходимостью развития Южного и формирования нового Северного широтного поясов экономического развития России в Сибири. При этом специалисты Института экономики и организации промышленного производства Сибирского отделения Российской академии наук прогнозируют возможность укрепления единого экономического пространства государства, опираясь не только на сырьевые ресурсы, но и на транспортно-логистические возможности, открывающиеся при обслуживании транспортных коридоров. Развитие сети дорог Северного широтного пояса экономического развития требует учёта особенностей элементов геокомплекса при проектировании автомобильных дорог на территории II дорожно-климатической зоны Западной Сибири.

В статье автором представлена структура исследования, направленного на изучение связей и закономерностей, обуславливающих системную взаимосвязь между компонентами природно-технической системы «автомобильная дорога – природная среда» в перспективных с экономической точки зрения районах Западной Сибири. Структура исследования построена на

основе системного подхода и включает два основных блока – теоретический и экспериментальный, их элементы, а также внутренние и внешние связи.

Подробно рассмотрены вопросы организации и проведения экспериментальной части исследований по изучению состава и свойств глинистых грунтов.

Показаны основные результаты полевых и лабораторных исследований. Установлены зависимости изменения модуля упругости, угла внутреннего трения и удельного сцепления глинистых грунтов от их относительной влажности. Определены отклонения, вычисленных по этим зависимостям значений характеристик грунтов от величин, представленных в ОДН 218.046-01 (ПНСТ 265-2018).

Статья написана на основе диссертационного исследования автора на тему «Обоснование региональных расчётных значений характеристик глинистых грунтов для проектирования дорожных одежд в условиях Западной Сибири» (СГУПС, Новосибирск, 2017).

Ключевые слова: автомобильная дорога; земляное полотно; дорожная одежда; расчётные характеристики грунтов; глинистые грунты; функциональные зависимости; нормирование характеристик

Введение

Характеризуя существующее состояние транспортной инфраструктуры в Западно-Сибирском регионе, можно отметить, что до недавнего времени дорожное строительство в основном велось на территории Южного широтного пояса экономического развития России. Это привело к крайне неравномерному распределению сети автомобильных дорог по площади региона, а недостаточный учёт региональных особенностей признаков геокомплекса при разработке нормативных документов для проектирования нежёстких дорожных одежд обусловил их низкие показатели эксплуатационной надёжности и, как следствие, чрезмерные финансовые затраты на восстановление требуемых транспортно-эксплуатационных показателей [1]. Отдавая должное ранее выполненным исследованиям влияния природно-климатических условий на формирование свойств грунтов земляного полотна автомобильных дорог, следует отметить, что их результаты, представленные во всесоюзных[1,2,3] и отраслевых дорожных нормах[4], а затем вошедшие в предварительный национальный стандарт Российской Федерации[5], в основном были получены на сети дорог европейской части России без достаточной проверки в природных условиях Зауралья. При этом по своим природным, климатическим и геологическим условиям (являются компонентами геокомплекса) европейская и азиатская части страны имеют значительные отличия [2].

Научные исследования специалистов Института экономики и организации промышленного производства Сибирского отделения Российской академии наук

---

[1] ВСН 46-60. Инструкция по назначению конструкций дорожных одежд нежесткого типа. – Введ. 01.01.1961 / Министерство транспортного строительства СССР. – М.: Автотрансиздат, 1961. – 78 с.

[2] ВСН 46-72. Инструкция по проектированию дорожных одежд нежёсткого типа. – Введ. 10.07.1972. – М.: Транспорт, 1973. – 83 с.

[3] ВСН 46-83. Инструкция по проектированию дорожных одежд нежёсткого типа. – Введ. 29.04.1983 – Минтрансстрой СССР. – М.: Транспорт, 1985. – 157 с.

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

[5] ПНСТ 265–2018. Дороги автомобильные общего пользования. Проектирование нежестких дорожных одежд. – Введ. 11.04.2018. – М.: Стандартинформ, 2018. – 77 с.

свидетельствуют, что уже в первой четверти XXI в. возникнет необходимость интенсивного формирования Северного широтного пояса экономического развития России (см. рисунок 1), направленного на расширение и укрепление экономически активного пространства её азиатской части [3].

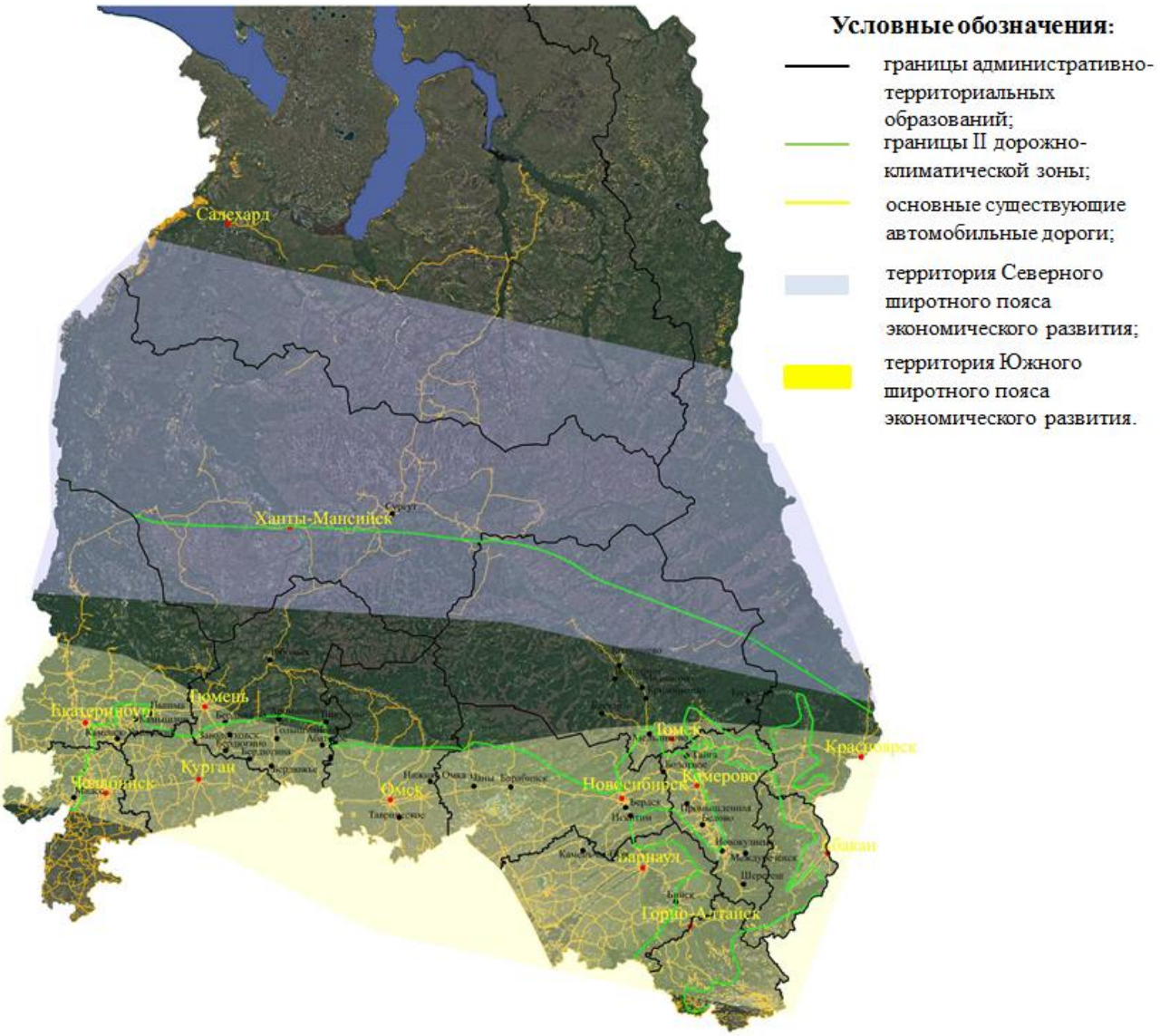

Рисунок 1. *Формирование Северного широтного пояса экономического развития России (составлено автором)*

Реализация таких задач, по мнению специалистов возможна за счёт создания интегрированных производственно-транспортных зон, которые являются совокупностью взаимосвязанных промышленных и транспортных узлов. Создание новых производственных, опорных перерабатывающих баз повлечёт за собой образование больших грузопотоков во всех направлениях [3]. Для обеспечения эффективности этих грузопотоков, а также выхода на внутренний и внешний рынки, необходимо значительное расширение сети автомобильных дорог [4], в том числе на территории, расположенной в границах II дорожно-климатической зоны (ДКЗ).

Учитывая это можно считать, что изучение связей и закономерностей, обуславливающих системную взаимосвязь между компонентами природно-технической системы «автомобильная дорога – природная среда» в перспективных с экономической точки

Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

зрения районах Западной Сибири, достаточно актуально для решения отраслевой проблемы обеспечения надёжного функционирования автомобильных дорог в течение расчётного срока службы нежёстких дорожных одежд [1].

Организация полевых и лабораторных работ

Учитывая опыт российских учёных [5–7], а также учёных ближнего [8; 9] и дальнего зарубежья [10–13], была сформирована структура исследования, которая построена на основе системного подхода и включает два основных блока – теоретический и экспериментальный, их элементы, а также внутренние и внешние связи (см. рисунок 2).

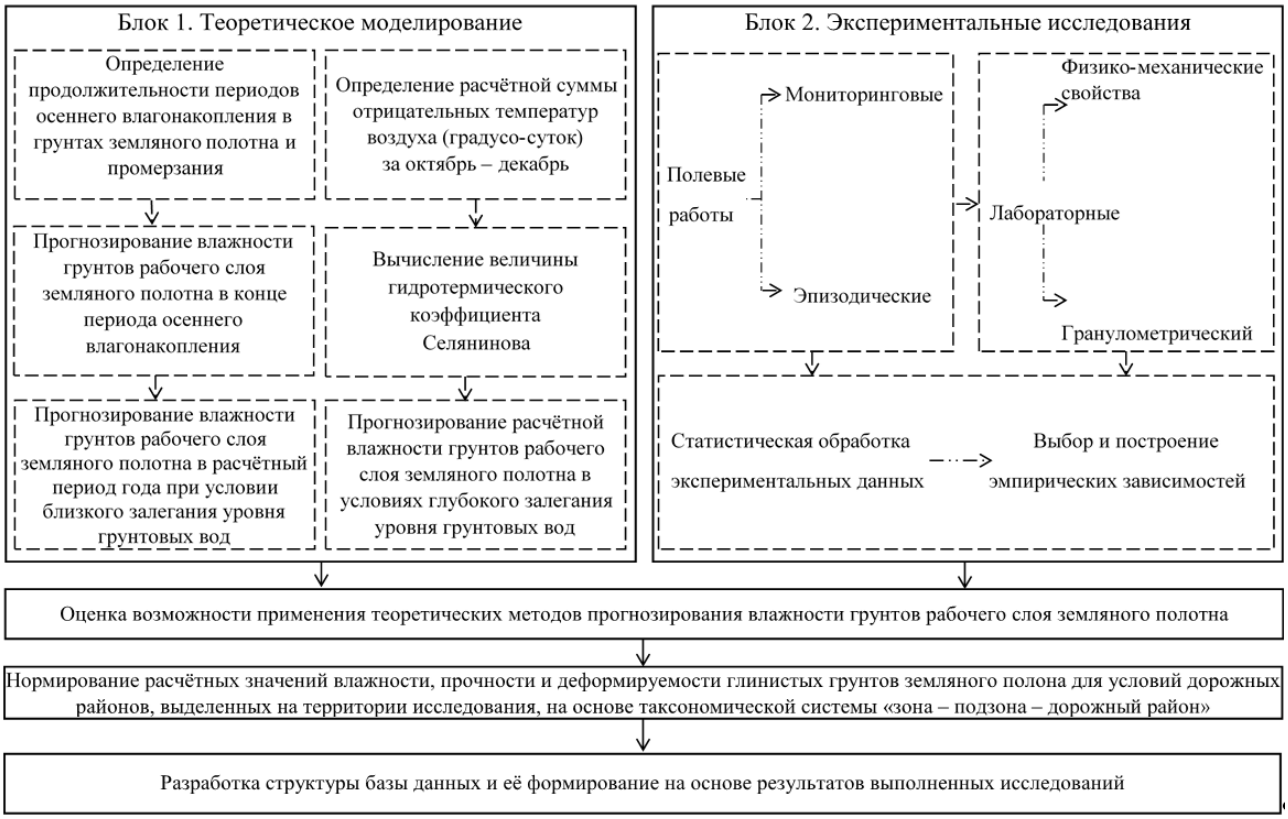

Рисунок 2. *Схема структуры исследования (составлено автором)*

Достаточно подробно вопросы по первому блоку исследований уже рассмотрены автором в серии статей опубликованных ранее [14–16]. Далее в статье раскрыты вопросы организации и проведения экспериментальных исследований состава и свойств глинистых грунтов, а также приведены их результаты.

Экспериментальная часть исследований основывалась на комплексе полевых и лабораторных работ, перечень которых представлен на рисунке 3.

Полевые работы заключались в предварительном выборе участков автомобильных дорог, их визуальном и инструментальном обследовании с последующей организацией эпизодических постов и постов для мониторинга.

При предварительном выборе участков автомобильных дорог для проведения полевой части работ проверяли: (1) наличие документов, характеризующих проектные решения; (2) наличие действующей метеорологической станции рядом с участком дороги, предназначенным для организации постов; (3) соответствие участка дороги нормам проектирования; (4) расположение постов для наблюдений на характерных для района исследования участках

дорог, с характерными признаками географического комплекса; (5) дорожные конструкции в местах размещение постов наблюдения должны иметь наибольшее распространение в районе исследования.

Рисунок 3. *Комплекс полевых и лабораторных работ (составлено автором)*

Кроме этого, при визуальной оценке состояния обследуемых объектов обращали внимание на наличие видимых дефектов на поверхности покрытия проезжей части, обочин и откосной части земляного полотна, а также наличие и состояние водоотвода. В том случае если дефекты отсутствовали или проявлялись достаточно редко, то приступали к инструментальному обследованию выбранного участка дороги, включающему измерение его основных геометрических параметров.

Комплекс эпизодических полевых работ выполнен на сети автомобильных дорог территориально расположенных во вновь осваиваемых избыточно увлажнённых районах Северного широтного пояса экономического развития, а также на других территориях Западной Сибири, относящихся ко II ДКЗ (см. рисунок 4). При этом на выбранных участках дорог производили вскрытие дорожных одежд до поверхности грунта рабочего слоя земляного полотна и с применением статического жёсткого штампа, нагруженного посредством упора в раму грузового автомобиля, определяли модуль упругости грунта. Затем в этом же шурфе, отступив от места испытания производили отбор образцов грунта для последующих лабораторных исследований.

Кроме этого, на участке автомобильной дороги «Каргала – Бакчар», расположенной в Бакчарском районе Томской, области в течение трёх годовых циклов водно-теплового режима с 2011 по 2014 гг. в осенний и весенний периоды выполняли мониторинг изменений влажности грунтов рабочего слоя земляного полотна. Наблюдения позволили накопить статистический материал для обоснования возможности применения модифицированного метода прогноза расчётной влажности, за счёт сопоставления значений, полученных прогнозом и на стационарных постах. Отбор проб грунта для определения влажности осуществляли путём бурение скважин по кромке проезжей части, а влажность определяли в лабораторных условиях.

Лабораторные исследования образцов и монолитов грунтов, включали комплекс работ по определению разновидности грунтов, их физических и механических свойств (прочностные характеристики), а также коэффициента влагопроводности (который относится к массообменным свойствам).

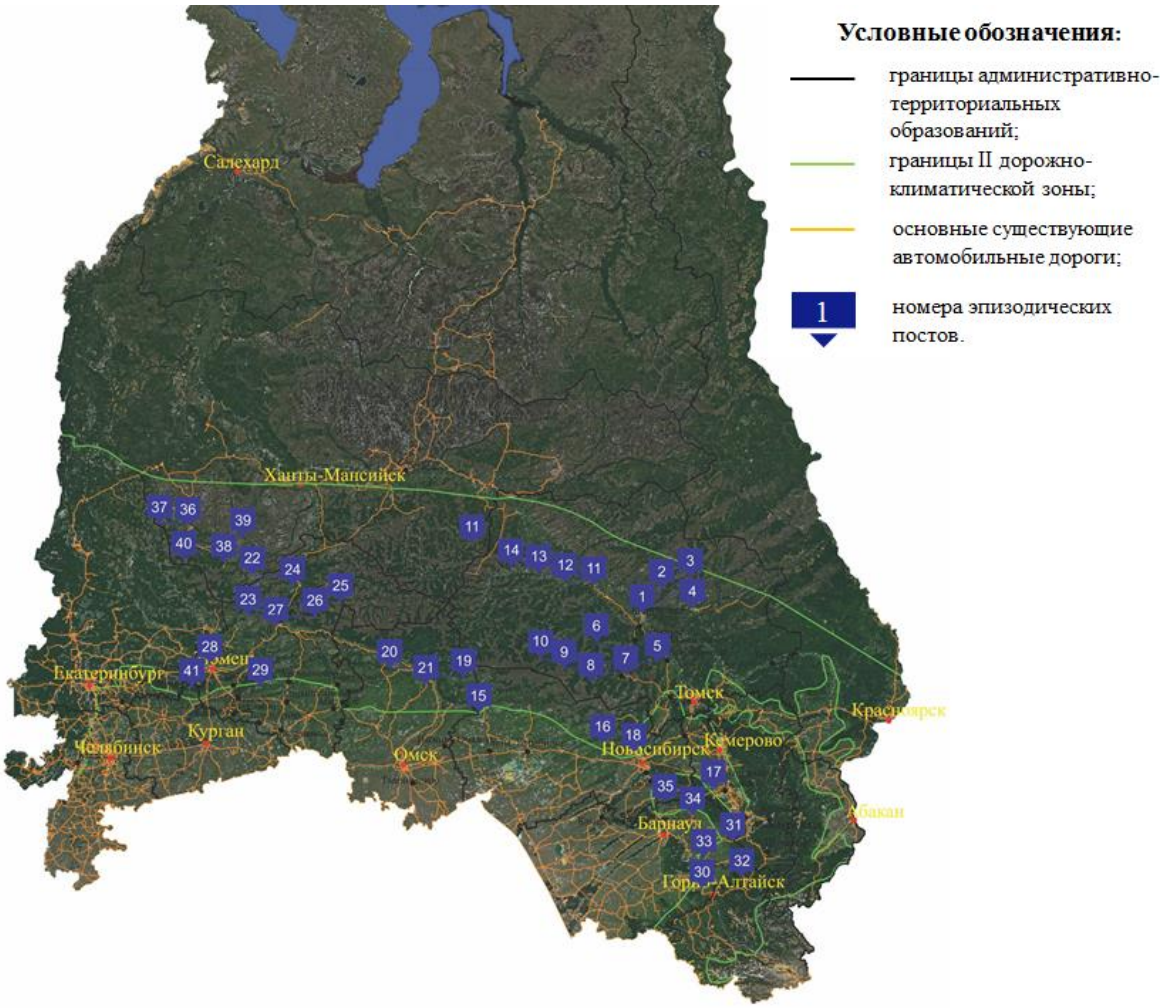

Рисунок 4. *Сеть эпизодических постов на участках автомобильных дорог, расположенных на территории исследования (составлено автором)*

Статистическая обработка экспериментально установленных значений прочностных и деформационных характеристик грунтов

Согласно требованиям СП 34.13330.2012[6] за расчётные значения деформационных и прочностных характеристик грунта допускается принимать их нормативные значения, полученные в результате многочисленных испытаний.

Поэтому для вычисления нормативных значений характеристик грунтов все результаты испытаний подвергали статистической обработке по ГОСТ 20522[7], которая состояла из нескольких этапов [1]:

[6] СП 34.13330.2012. Автомобильные дороги. Министерство регионального развития РФ. – М., 2013. – 106 с.

[7] ГОСТ 20522-2012. Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний. – Введ. 29.10.2012. – М.: Стандартинформ, 2013. – 19 с.

1. Вычисляли нормативные значения характеристик грунтов по формуле

$$X_n = \bar{X} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} X_i, \quad (1)$$

где n – количество определений характеристики;

X_i – частные значения характеристики, установленные по результатам отдельных i-х опытов.

2. Исключали максимальные и минимальные значения X_i , для которых выполнялось условие

$$|X_n - X_i| > vS, \quad (2)$$

где v – статистический критерий, принимаемый в зависимости от количества определений n характеристики.

3. Вычисляли коэффициент вариации V характеристики и показатель погрешности её среднего значения

$$V = \frac{S}{X_n}, \quad (3)$$

$$\rho_\alpha = \frac{t_\alpha V}{\sqrt{n}}, \quad (4)$$

где t_α – коэффициент, принимаемый в зависимости от заданной односторонней доверительной вероятности α и числа степеней свободы $K = n - 1$.

4. Выполняли проверку на однородность предварительного выделенного инженерно-геологического элемента (ИГЭ) и возможность объединения нескольких ИГЭ в расчётный геологический элемент по критерию Стьюдента

$$t = \frac{|\overline{x_1} - \overline{x_2}|}{\sqrt{n_1 \cdot \delta_1^2 + n_2 \cdot \delta_2^2}} \sqrt{\frac{n_1 \cdot n_2 (n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}} < t_\alpha, \quad (5)$$

где $\overline{x_1}$ и $\overline{x_2}$ – среднеарифметические значения исследуемой характеристики;

n_1 и n_2 – количество опытов по определению значения характеристики в каждой выборке;

t_α – критические точки распределения Стьюдента при двусторонней доверительной вероятности α = 0,95 для числа степеней свободы $K = n_1 + n_2 - 2$.

В случае если выбранные данные не противоречат проверяемой гипотезе, то их объединение считали возможным только при выполнении ещё одного условия – критерия Фишера

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2} < F_\alpha, \quad (6)$$

где S_1 и S_2 – среднеквадратические отклонения исследуемой характеристики;

F_α – критическое (табличное) значение статистического критерия Фишера при доверительной вероятности α = 0,95 для числа степеней свободы $K_1 = n_1 - 1,\ K_2 = n_2 - 1$.

Критические значения статистических критериев t_α и F_α приняты по таблицам ГОСТ 20522.

Проверка возможности объединения результатов испытаний для различных административных образований, полученных единым методом испытания, выполнена по

принципу «каждый с каждым». По результатам обработки около 5 % экспериментально полученных значений были выбракованы.

По результатам лабораторных исследований грунтов, отобранных в ходе полевых работ в административно-территориальных образованиях Западной Сибири (в границах II ДКЗ), установлено, что земляное полотно автомобильных на территории исследования сложено в основном из суглинков пылеватых, их доля составляет 71 % от общего количества отобранных проб, 29 % – составляют супеси пылеватые. Анализируя результаты лабораторных исследований по определению значений физических свойств грунтов, отобранных в ходе полевых работ, установлены их фактические интервалы варьирования, которые приведены в таблице 1.

Таблица 1

Интервалы варьирования фактических значений физических свойств, испытанных в лабораторных условиях глинистых грунтов

Разновидность грунта	Плотность, г/см^3			Пористость n, %	Коэффициент пористости, e	Полная влагоёмкость $W_{пв}$, %	Пластичность, д. ед.			Показатель текучести, I_L
	Частиц грунта, ρ_s	Влажного грунта, ρ	Сухого грунта, ρ_d				Влажность грунта на границе текучести, W_L	Влажность грунта на границе раскатывания, W_P	Число пластичности, I_P	
Пылеватые суглинки	2,58–2,72	1,71–2,20	1,31–1,98	40,1–87,0	0,416–1,053	15,46–39,20	0,26–0,47	0,17–0,34	0,07–0,17	$I_L < 0$ $0 \le I_L \le 0{,}20$
Пылеватые супеси	2,62–2,71	1,75–2,26	1,56–1,98	37,0–73,7	0,443–0,737	16,77–27,20	0,18–0,27	0,14–0,21	0,02–0,06	$I_L < 0$

Составлено автором

Лабораторные исследования гранулометрического состава глинистых грунтов позволили определить процентное содержание песчаных (0,50–0,05 мм), пылеватых (0,05–0,005 мм) и глинистых (0,005–<0,001 мм) фракций. Содержание песчаных фракций для суглинков и супесей не превышает 37,31 и 85,35 % соответственно. Количество пылеватых частиц достигает 81,63 % для супесей и 82,28 % для суглинков. Для супесей количество глинистых фракций доходит до 10,68 %, а для суглинков до 28,63 % [1].

Установленные в полевых (модули упругости суглинков пылеватых ($E_{сг}$) и супесей пылеватых ($E_{сп}$)) и лабораторных (угол внутреннего трения суглинков $\varphi_{сг}$ и супесей $\varphi_{сп}$, удельное сцепление суглинков $C_{сг}$ и супесей $C_{сп}$) условиях значения механических свойств глинистых грунтов техногенной структуры имеют интервалы варьирования, представленные в таблице 2.

Таблица 2

Интервалы варьирования фактических значений механических свойств глинистых грунтов, испытанных в полевых и лабораторных условиях

Разновидность грунта	Прочностные и деформационные характеристики грунтов		
	Модуль упругости E, МПа	Угол внутреннего трения φ, град.	Удельное сцепление C, МПа
Пылеватые суглинки	15–70	8°12'–41°00'	0,046–0,154
Пылеватые супеси	24–170	16°36'–34°10'	0,035–0,193

Составлено автором

Заключительный этап статистической обработки заключался в выборе и построении наилучшей эмпирической зависимости [18]. Выбор конкретного вида зависимости осуществлён путём пробной аппроксимации имеющихся экспериментальных значений свойств грунтов кривыми разного вида с последующим сравнением качества прогноза. Мерой качества аппроксимации выбрана величина квадрата множественного коэффициента корреляции (R^2). Считали, чем ближе R^2 к 1, тем точнее зависимость описывает результаты испытаний [1].

Ещё одним условием, помимо обеспечения высокого качества приближения, которое учитывали при выборе аппроксимирующей функции, является физическое представление об изучаемых свойствах грунтов. Так, аппроксимирующая кривая должна иметь нисходящий характер, поскольку при увеличении влажности глинистых грунтов значения их прочностных и деформационных характеристик снижаются [19; 20]. Также на кривой не может присутствовать пиковых точек [1].

По значениям характеристик грунтов, прошедших статистическую обработку построены графики, которые аппроксимированы экспоненциальными кривыми и установлены регрессионные зависимости изменения значений прочностных и деформационных характеристик пылеватых суглинков и пылеватых супесей от их относительной влажности [1].

Эмпирические регрессионные зависимости модуля упругости глинистых грунтов от относительной влажности, установленные для территории II ДКЗ Западной Сибири, имеют следующий вид [1]:

- для пылеватых суглинков (рисунок 5)

$$E_{\text{сг}} = 246{,}530 \cdot e^{-2{,}892 \cdot W_{\text{от}}}, \tag{7}$$

- для пылеватых супесей (рисунок 6)

$$E_{\text{сп}} = 1247{,}000 \cdot e^{-4{,}603 \cdot W_{\text{от}}}. \tag{8}$$

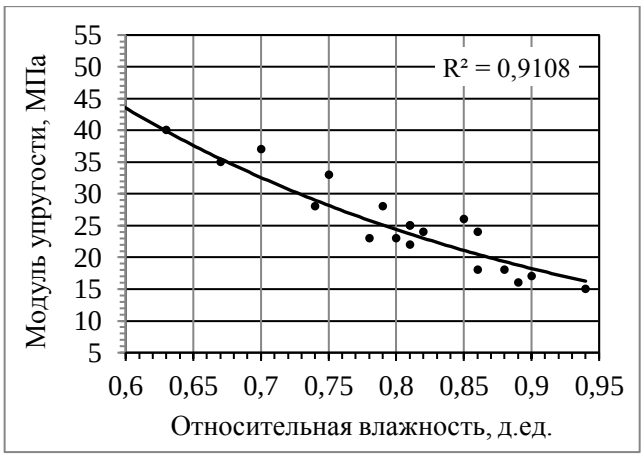

***Рисунок 5**. График зависимости модуля упругости суглинков пылеватых от относительной влажности (составлено автором)*

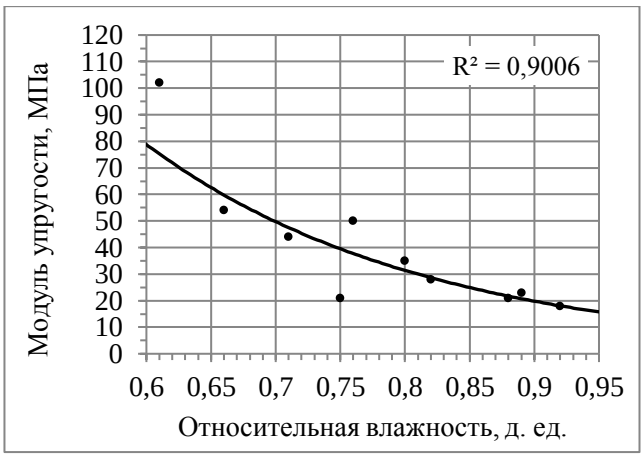

***Рисунок 6**. График зависимости модуля упругости супесей пылеватых от относительной влажности (составлено автором)*

При этом отклонения, установленных по этим зависимостям значений характеристик грунтов от величин, представленных в ОДН 218.046-01 (ПНСТ 265-2018) достигают 40 % (таблица 3).

Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

Таблица 3

Относительные отклонения значений модулей упругости глинистых грунтов

Разновидность грунта	Относительные отклонения значений модуля упругости, вычисленных по установленным зависимостям от значений, приведённых в ОДН 218.046-01 (ПНСТ 265-2018) при относительной влажности							
	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95
Суглинок пылеватый	40	30	29	26	24	22	30	39
Супесь пылеватая	-9	-16	-8	-4	2	8	24	39

Примечание – знак «минус» означает, что рекомендуемое значение характеристики превышает указанное в ОДН 218.046-01 (ПНСТ 265-2018) (составлено автором)

Эмпирические регрессионные зависимости изменения угла внутреннего трения глинистых грунтов от относительной влажности имеют следующий вид [1]:

- для пылеватых суглинков (рисунок 7)

$$\varphi_{\text{сг}} = 85{,}214 \cdot e^{-2{,}187 \cdot W_{\text{от}}}, \quad (9)$$

- для пылеватых супесей (рисунок 8)

$$\varphi_{\text{сп}} = 55{,}703 \cdot e^{-1{,}121 \cdot W_{\text{от}}}. \quad (10)$$

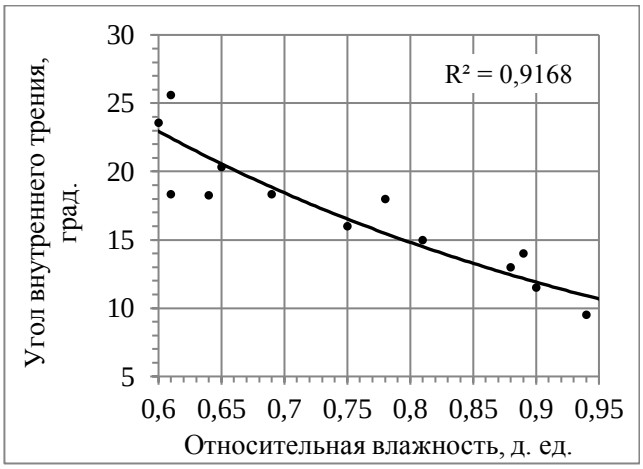

Рисунок 7. *График зависимости угла внутреннего трения суглинков пылеватых от относительной влажности (составлено автором)*

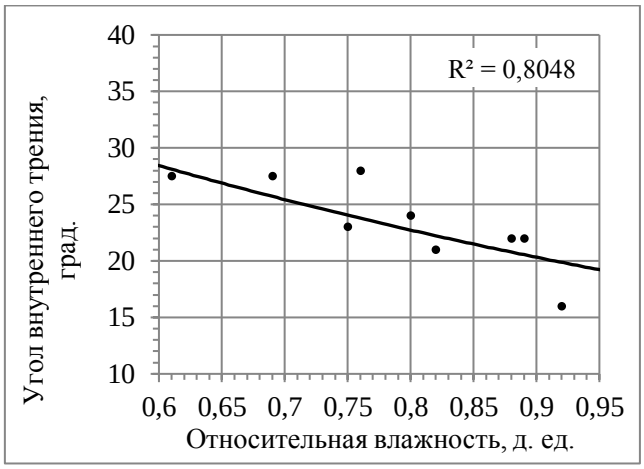

Рисунок 8. *График зависимости угла внутреннего трения супесей пылеватых от относительной влажности (составлено автором)*

При этом отклонения, установленных по этим зависимостям значений характеристик грунтов от величин, представленных в ОДН 218.046-01 (ПНСТ 265-2018) достигают 38 % (таблица 4).

Таблица 4

Относительные отклонения значений угла внутреннего трения глинистых грунтов

Разновидность грунта	Относительные отклонения значений угла внутреннего трения, вычисленных по установленным зависимостям от значений, приведённых в ОДН 218.046-01 (ПНСТ 265-2018) при относительной влажности							
	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95
Суглинок пылеватый	4	2	-2	-10	-14	-8	-4	–
Супесь пылеватая	21	25	27	31	33	37	38	–

Примечание – знак «минус» означает, что рекомендуемое значение характеристики превышает указанное в ОДН 218.046-01 (ПНСТ 265-2018) (составлено автором)

Эмпирические регрессионные зависимости изменения удельного сцепления глинистых грунтов от относительной влажности имеют следующий вид [1]:

- для пылеватых суглинков (рисунок 9)

$$C_{\text{сг}} = 0{,}600 \cdot e^{-3{,}762 \cdot W_{\text{от}}}, \quad (11)$$

- для пылеватых супесей (рисунок 10)

$$C_{\text{сп}} = 0{,}423 \cdot e^{-3{,}570 \cdot W_{\text{от}}}. \quad (12)$$

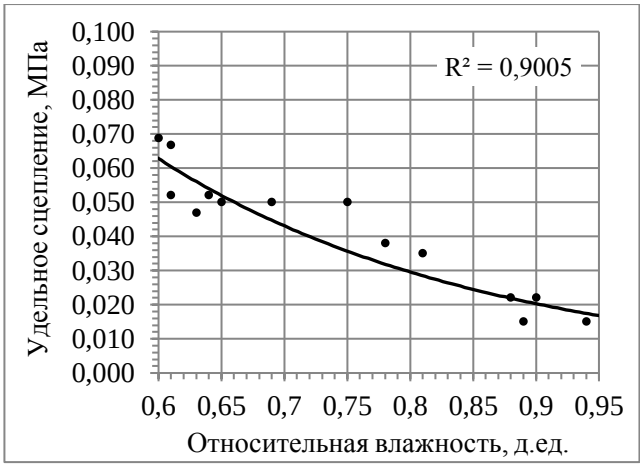

Рисунок 9. *График зависимости удельного сцепления суглинков пылеватых от относительной влажности (составлено автором)*

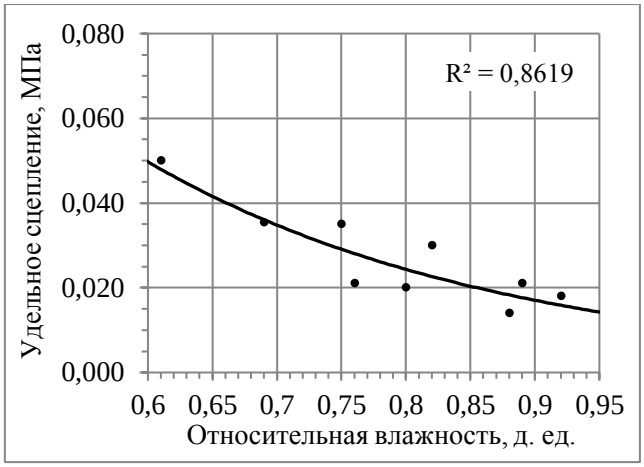

Рисунок 10. *График зависимости удельного сцепления супеси пылеватой от относительной влажности (составлено автором)*

Отклонения, установленных по этим зависимостям значений характеристик грунтов от величин, представленных в ОДН 218.046-01 (ПНСТ 265-2018) достигают 45 % (таблица 5).

Таблица 5

Относительные отклонения значений удельного сцепления глинистых грунтов

Разновидность грунта	Относительные отклонения значений угла внутреннего трения, вычисленных по установленным зависимостям от значений, приведённых в ОДН 218.046-01 (ПНСТ 265-2018) при относительной влажности							
	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95
Суглинок пылеватый	4	2	-2	-10	-14	-8	-4	–
Супесь пылеватая	-45	-43	-38	-34	-34	-30	-26	-22

Примечание – знак «минус» означает, что рекомендуемое значение характеристики превышает указанное в ОДН 218.046-01 (ПНСТ 265-2018) (составлено автором)

Значения квадрата множественного коэффициента корреляции составили для суглинков пылеватых – $R^2_{E_{\text{сг}}} = 0{,}9108$, $R^2_{\varphi_{\text{сг}}} = 0{,}9168$, $R^2_{C_{\text{сг}}} = 0{,}9005$, для супесей пылеватых – $R^2_{E_{\text{сп}}} = 0{,}9006$, $R^2_{\varphi_{\text{сп}}} = 0{,}8048$, $R^2_{C_{\text{сп}}} = 0{,}8619$.

Заключение

Для территории Северного широтного пояса экономического развития Западно-Сибирского региона, характеризуемого избыточным увлажнением, установлен комплекс эмпирических регрессионных зависимостей, предназначенных для определения значений прочностных и деформационных характеристик пылеватых супесей и пылеватых суглинков. Автор считает, что высокие значения R^2 свидетельствуют о возможности применения регрессионных зависимостей (7)–(12) при назначении прочностных и деформационных

характеристик глинистых грунтов при проектировании нежёстких дорожных одежд автомобильных дорог на территории Северного широтного пояса экономического развития.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сухоруков, А.В. Обоснование региональных расчётных значений характеристик глинистых грунтов для проектирования дорожных одежд в условиях Западной Сибири: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.11 / Сухоруков Алексей Владимирович. – Сиб. гос. ун-т путей сообщ., 2017. – 166 с.
2. Ефименко, С.В. Развитие теоретических положений учёта особенностей признаков геокомплекса при формировании региональных норм проектирования автомобильных дорог: дис. … д-ра. техн. наук: 05.23.11 / Ефименко Сергей Владимирович. – Новосибирск, 2016. – 462 с.
3. Воробьева, В.В. Пространственный аспект стратегии развития азиатской части России: Формирование Северного широтного пояса экономического развития страны / В.В. Воробьева, Т.Н. Есикова, В.Д. Ионова, В.Ю. Малов. – Новосибирск: ИЭОПП, 2004. – 46 с.
4. Резников, Л.М. Томская область: ликвидация разрыва в транспортной системе России / Л.М. Резников // Транспорт Российской Федерации. – 2013. – № 5 (48). – С. 13–15.
5. Водно-тепловой режим земляного полотна и дорожных одежд / под. ред. И.А. Золотаря, Н.А. Пузакова, В.М. Сиденко. – М.: Транспорт, 1971. – 416 с.
6. Золотарь, И.А. Методика прогнозирования прочностных характеристик земляного полотна из пылеватых грунтов в районах I и II дорожно-климатических зон с помощью ЭВМ / И.А. Золотарь // Труды V совещания – семинара по обмену опытом строительства в суровых климатических условиях. – Тюмень, 1968. – С. 21–38.
7. Тулаев, А.Я. Регулирование водного режима земляного полотна на автомобильных дорогах / А.Я. Тулаев // Проектирование и возведение земляного полотна железных и автомобильных дорог. М.: Изд-во АН СССР, 1950. – С. 88–163.
8. Гудзинский, М.Н. Обоснование расчётных характеристик грунтов полотна автомобильных дорог применительно к природным условиям УССР: автореф. дис. … канд. техн. наук: 05.22.10 / Гудзинский Михаил Николаевич. – Харьков, 1975. – 26 с.
9. Сиденко, В.М. Расчёт и регулирование водно-теплового режима автомобильных дорог в степных районах и применение его закономерностей при проектировании дорожных конструкций: дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.11 / Сиденко Владимир Михайлович. – Харьков, 1965. – 551 с.
10. Cary, C.E. Resilient Modulus for Unsaturated Unbound Materials / C.E. Cary, C.E. Zapata // Road Materials and Pavement Design. – 2011. – Т. 12. – № 3. – Pp. 615–638.
11. Hall, K. Predicting Subgrade Moisture Content for Low-Volume Pavement Design Using in Situ Moisture Content Data / Kevin Hall, Rao Shreenath // Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. – 1999. – № 1652. – Pp. 98–106.

12. Qiao Y. Examining Effects of Climatic Factors on Flexible Pavement Performance and Service Life / Qiao Y., Flintsch G., Dawson A., Parry T. // Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. – 2013. – №. 2349. – Pp. 100–107.

13. Zapata, C.E. Uncertainly in Soil-Water Characteristic Curve and Impacts on Unsaturated Shear Strengs Predictions: Ph.D. Dissertation: Claudia E. Zapata. – United States, Arizona State University, 1999.

14. Ефименко, С.В. Уточнение схемы расчёта величины испарения с поверхности грунтовых оснований автомобильных дорог при формировании информационной базы для прогнозирования их влажности / С.В. Ефименко, А.В. Сухоруков, В.Н. Ефименко // Транспорт и дороги Казахстана. – 2013. – №4 (54). – С. 21–24.

15. Сухоруков, А.В. К обоснованию периода осеннего влагонакопления при прогнозировании влажности грунтов земляного полотна автомобильных дорог Западно-Сибирского региона / А.В. Сухоруков // Техника и технологии дорожного хозяйства. – 2014. – №1 (27). – С. 21–25.

16. Сухоруков, А.В. Прогнозирование расчётной влажности глинистых грунтов земляного полотна при близком залегании уровня грунтовых вод / А.В. Сухоруков, С.В. Ефименко // Материалы 59-й научно-технической конференции студентов и молодых учёных – Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2013. – С. 319–322.

17. Сухоруков, А.В. Обоснование региональных норм проектирования дорожных одежд с учётом изменчивости геокомплекса территорий / А.В. Сухоруков // Вестник ТГАСУ. – 2016. – № 4. – С. 159–169.

18. Руководство по составлению региональных таблиц нормативных и расчётных показателей свойств грунтов / Сост. Б.Г. Слепцов, И.Г. Игнатьева, М.Т. Ойзерман [и др.] – М.: Стройиздат, 1981. – 55 с.

19. Ефименко, С.В. Исследование прочностных и деформативных характеристик глинистых грунтов земляного полотна автомобильных дорог на территории Новосибирской области / В.А. Базавлук, В.П. Базуев, К.Д. Бычкова, С.В. Ефименко // Вестник ТГАСУ. – № 1. – С. 291–294.

20. Ефименко, С.В. Исследования состава и свойств глинистых грунтов районов Западной Сибири для назначения их расчётных характеристик / С.В. Ефименко // Вестник ТГАСУ. – 2005. – № 1. – С. 213–220.

Sukhorukov Alexey Vladimirovich
Tomsk state university of architecture and building, Tomsk, Russia
E-mail: av_suhar@mail.ru

Justification of the calculated values of strength and deformation characteristics of clay soils for pavement design in economically promising areas of Western Siberia

Abstract. In the first quarter of the 21st century, Russia will face the need to develop the southern latitudinal belt and form a new northern latitudinal belt of Russia's economic development in Siberia. At the same time, specialists from the Institute of Economics and Industrial Engineering of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences predict the possibility of strengthening the single economic space of the state, relying not only on raw materials, but also on the transport and logistics opportunities that open up when servicing transport corridors. The development of the road network of the northern latitudinal belt of economic development requires taking into account the features of the geocomplex elements when designing roads in the territory of the second climatic zone of Western Siberia.

The article presents the structure of research aimed at studying the relations and patterns that determine the systemic relationship between the components of the «highway – environment» system in economically promising areas of Western Siberia. The research structure is based on the systems approach and includes two main blocks – theoretical and experimental ones, as well as their elements and internal and external relations.

The study gives the detailed examination of such issues as organization and performance of experimental part of research on studying composition and properties of clay soils.

The main outcomes of field and laboratory studies are shown. The dependences of variations of elastic modulus, angle of internal friction, and specific adhesion of clay soils on their relative humidity are established. Deviations are determined between the values of soil characteristics calculated from these dependences and the values presented in Industry Road Code 218.046-01 (preliminary national standard PNST 265-2018).

The article is prepared on the basis of the author's PhD dissertation research on the topic of «Justification of regional calculated values of clay soil characteristics for the road pavement design in Western Siberia» (STU, Novosibirsk, 2017).

Keywords: road; subgrade; pavement; calculated values; clay soils; functional dependences; standardization of properties

REFERENCES

1. Sukhorukov A.V. (2017). Obosnovanie regional′nykh raschyotnykh znacheniy kharakteristik glinistykh gruntov dlya proektirovaniya dorozhnykh odezhd v usloviyakh Zapadnoy Sibiri. [*Substantiation of regional estimated values of clay soil characteristics for the design of pavements in Western Siberia*.] Novosibirsk: Siberian State University of Railway Engineering, p. 166.
2. Efimenko S.V. (2016). Razvitie teoreticheskikh polozheniy uchyota osobennostey priznakov geokompleksa pri formirovanii regional′nykh norm proektirovaniya avtomobil′nykh dorog. [*The development of theoretical provisions for taking into account the features of geocomplex features in the formation of regional standards for the design of roads*.] Novosibirsk, p. 462.
3. Vorob′eva V.V., Esikova T.N., Ionova V.D., Malov V.Yu. (2004). Prostranstvennyy aspekt strategii razvitiya aziatskoy chasti Rossii: Formirovanie Severnogo shirotnogo poyasa ehkonomicheskogo razvitiya strany. [*The spatial aspect of the development strategy of the Asian part of Russia: Formation of the Northern latitudinal belt of the country's economic development*.] Novosibirsk: Institute of Economics and Industrial Engineering, p. 46.
4. Reznikov L.M. (2013). Tomsk Region: closing the gap in the transport system of Russia. *Transport of the Russian Federation*, 5(48), pp. 13–15 (in Russian).
5. Zolotarya I.A., Puzakova N.A., Sidenko V.M. (1971). Vodno-teplovoy rezhim zemlyanogo polotna i dorozhnykh odezhd. [*Water and thermal conditions of the subgrade and pavement*.] Moscow: Transport, p. 416.
6. Zolotar′ I.A. (1968). Metodika prognozirovaniya prochnostnykh kharakteristik zemlyanogo polotna iz pylevatykh gruntov v rayonakh I i II dorozhno-klimaticheskikh zon s pomoshch′yu EhVM. [*A method for predicting the strength characteristics of a subgrade of dusty soils in areas I and II of road-climatic zones using a computer*.] Tyumen, pp. 21–38.
7. Tulaev A.Ya. (1950). Regulirovanie vodnogo rezhima zemlyanogo polotna na avtomobil′nykh dorogakh. Proektirovanie i vozvedenie zemlyanogo polotna zheleznykh i avtomobil′nykh dorog. [*Regulation of the water regime of the subgrade on roads. Design and construction of the subgrade of railways and roads*.] Moscow: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, pp. 88–163.
8. Gudzinskiy M.N. (1975). Obosnovanie raschyotnykh kharakteristik gruntov polotna avtomobil′nykh dorog primenitel′no k prirodnym usloviyam USSR. [*Justification of the calculated characteristics of the soils of the roadbed in relation to the natural conditions of the Ukrainian SSR*.] Kharkiv, p. 26.
9. Sidenko V.M. (1965). Raschyot i regulirovanie vodno-teplovogo rezhima avtomobil′nykh dorog v stepnykh rayonakh i primenenie ego zakonomernostey pri proektirovanii dorozhnykh konstruktsiy. [*Calculation and regulation of the water-thermal regime of roads in the steppe regions and the application of its laws in the design of road structures*.] Kharkiv, p. 551.
10. Cary C.E., Zapata C.E. (2011). Resilient Modulus for Unsaturated Unbound Materials. *Road Materials and Pavement Design*, 3(12), pp. 615–638.

11. Kevin Hall, Rao Shreenath (1999). Predicting Subgrade Moisture Content for Low-Volume Pavement Design Using in Situ Moisture Content Data. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1652, pp. 98–106.

12. Qiao Y., Flintsch G., Dawson A., Parry T. (2013). Examining Effects of Climatic Factors on Flexible Pavement Performance and Service Life. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2349, pp. 100–107.

13. Zapata C.E. (1999). *Uncertainly in Soil-Water Characteristic Curve and Impacts on Unsaturated Shear Strengs Predictions*. United States: Arizona State University.

14. Efimenko S.V., Sukhorukov A.V., Efimenko V.N. (2013). Clarification of the scheme for calculating the amount of evaporation from the surface of the soil bases of roads in the formation of the information base for predicting their moisture content. *Transport and roads of Kazakhstan*, 4(54), pp. 21–24 (in Russian).

15. Sukhorukov A.V. (2014). To the substantiation of the period of autumn moisture accumulation when predicting the moisture content of the soil of the subgrade of roads of the West Siberian region. *Technique and technology of road facilities*, 1(27), pp. 21–25 (in Russian).

16. Sukhorukov A.V., Efimenko S.V. (2013). Prognozirovanie raschyotnoy vlazhnosti glinistykh gruntov zemlyanogo polotna pri blizkom zaleganii urovnya gruntovykh vod. [*Prediction of the estimated moisture content of clay soils of the subgrade with close occurrence of the groundwater level*.] Tomsk: Publishing House Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, pp. 319–322.

17. Sukhorukov A.V. (2016). Substantiation of regional norms for the design of pavement, taking into account the variability of the geocomplex of territories. *Bulletin of Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering*, 4, pp. 159–169 (in Russian).

18. Sleptsov B.G., Ignat′eva I.G., Oyzerman M.T. and etc. (1981). Rukovodstvo po sostavleniyu regional′nykh tablits normativnykh i raschyotnykh pokazateley svoystv gruntov. [*Guidance on the preparation of regional tables of normative and calculated indicators of soil properties*.] Moscow: Stroyizdat, p. 55.

19. Efimenko S.V. (n.d.). Study of the strength and deformation characteristics of clay soils of roadbed subgrade in the Novosibirsk region. *Bulletin of Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering*, 1, pp. 291–294 (in Russian).

20. Efimenko S.V. (2005). Studies of the composition and properties of clay soils in the regions of Western Siberia for the purpose of their design characteristics. *Bulletin of Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering*, 1, pp. 213–220 (in Russian).