

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ДОРОГ, МЕТРОПОЛИТЕНОВ, АЭРОДРОМОВ, МОСТОВ
И ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ

Научная статья

УДК 624.131.4

<https://doi.org/10.24866/2227-6858/2024-4/130-138>**Анализ результатов изучения свойств глинистых грунтов
земляного полотна автомобильных дорог
на территории юго-западного Кыргызстана****Эркинбек Машанович Каримов^{1,✉}, Сергей Владимирович Ефименко²,
Владимир Николаевич Ефименко²**¹ Ошский технологический университет имени М.М. Адышева, Ош, Кыргызстан² Томский государственный архитектурно-строительный университет, Томск, Российская Федерация✉ erkin.karimov.71@mail.ru

Аннотация. Цель статьи: выполнить анализ математико-статистическим методом прочностных и деформационных характеристик грунтов рабочего слоя земляного полотна, автомобильных дорог V дорожно-климатической зоны юго-западного Кыргызстана. В процессе исследований были установлены закономерности изменения характеристик прочности и деформируемости глинистых грунтов рабочего слоя земляного полотна от значений относительной влажности, что позволит повысить качество принимаемых проектных решений и, как следствие, сроки службы дорожных конструкций. Результаты предлагаемого исследования развивают теоретические положения по учету региональных природно-климатических условий при проектировании объектов транспортного строительства и совершенствованию нормативной базы на территории юго-западного Кыргызстана.

Ключевые слова: дорожная одежда, расчетные значения, математический анализ, дорожно-климатическая зона, расчетная влажность, глинистые грунты, модуль упругости, угол внутреннего трения, удельное сцепление

Для цитирования: Каримов Э.М., Ефименко С.В., Ефименко В.Н. Анализ результатов изучения свойств глинистых грунтов земляного полотна автомобильных дорог на территории юго-западного Кыргызстана // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2024. № 4(61). С. 130–138.

DESIGN AND CONSTRUCTION OF ROADS, SUBWAYS, AIRFIELDS, BRIDGES AND TRANSPORT TUNNELS

Original article

**Analysis of the results of studying the properties of clay soils
of the roadbed of motorways in the territory of southwestern Kyrgyzstan****Erkinbek M. Karimov^{1,✉}, Sergey V. Efimenko², Vladimir N. Efimenko²**¹ M.M. Adyshev Osh Technological University, Osh, Kyrgyzstan² Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, Tomsk, Russian Federation✉ erkin.karimov.71@mail.ru

Abstract. The purpose of the article is to perform an analysis of the strength and deformation characteristics of the soils of the working layer of the roadbed, motorways of the V road-climatic zone of southwestern Kyrgyzstan using the mathematical and statistical method. During the research, patterns of change in the strength and deformability characteristics of clay soils of the working layer of the roadbed from the values of relative humidity were established, which will improve the quality of design decisions and, as a consequence, the ser-

vice life of road structures. The results of the proposed study develop theoretical provisions for taking into account regional natural and climatic conditions in the design of transport construction projects and improving the regulatory framework in the territory of southwestern Kyrgyzstan.

Keywords road pavement, calculated values, mathematical analysis, road-climatic zone, calculated humidity, clay soils, modulus of elasticity, angle of internal friction, specific adhesion

For citation: Karimov E.M., Efimenko S.V., Efimenko V.N. Analysis of the results of studying the properties of clay soils of the roadbed of motorways in the territory of southwestern Kyrgyzstan. *FEFU: School of Engineering Bulletin*, 2024, no. 4(61), pp. 130–138. (In Russ.).

Введение

Нормативные документы, применяемые при проектировании автомобильных дорог Кыргызской Республики, были созданы по результатам исследований, проведенных на территориях соседних республик во время СССР. При проектировании автомобильных дорог значение прочностных и деформационных характеристик грунтов земляного полотна принято назначать по таблицам, перечисленным ведомственным строительным нормам для V дорожно-климатической зоны (СНиП 2.05.02-85 Автомобильные дороги). Эти данные, как правило, считаются усредненным значением характеристики, охватывающей территории всех среднеазиатских государств (Кыргызстан, Казахстан, Туркменистан, Таджикистан, Узбекистан).

В результате такого подхода к назначению расчетных значений характеристик грунтов рабочего слоя земляного полотна снижается качество проектных решений, а также сокращаются сроки службы автомобильных дорог. Поэтому в настоящее время внутри территории СНГ наблюдается тенденция к уточнению расчетных параметров земляного полотна как одно из важнейших направлений совершенствования процесса проектирования дорожных одежд. Ефименко В.Н. и его научная школа из Томского государственного архитектурно-строительного университета обосновали комплекс расчетных значений характеристик глинистых грунтов рабочего слоя земляного полотна для проектирования нежестких дорожных одежд по условиям прочности и морозоустойчивости для территории юго-восточной части Западной Сибири [1–3]. Ярмолинский А.И. и Ярмолинский В.А. считают, что наиболее эффективной формой регионального дорожного районирования является выделение однородных территорий по признакам геокомплекса в пределах административных границ краев и областей [4]. Гнездилова С.А. из Белгородского государственного технологического университета имени В.Г. Шухова обосновала расчетные значения характеристик глинистых грунтов для проектирования нежестких дорожных одежд по условиям прочности для территории Белгородской области. Можно привести и другие примеры выполнения подобных работ [5–6]. По этой причине уточнение расчетных значений характеристик грунтов земляного полотна [7–10] необходимо: это одно из важнейших направлений совершенствования процесса проектирования дорожных одежд для территории Кыргызской Республики.

Материалы и методы

На основании результатов лабораторных испытаний проб грунтов, отобранных в ходе полевых работ на участках автомобильных дорог V дорожно-климатической зоны территории юго-западного Кыргызстана (СНиП КР 32-01:2004), были получены следующие показатели, отраженные в таблице 1 [11–12].

Наиболее распространенными грунтами юго-западного Кыргызстана являются глинистые грунты, представленные суглинками и супесями. Этими грунтами осуществляется отсыпка насыпи земляного полотна строящихся в регионе автомобильных дорог. Расчет прочностных и деформационных характеристик земляного полотна был осуществлен в соответствии с дорожно-климатическим районированием, разновидностями грунтов и их влажностью.

Общий модуль упругости дорожной одежды и грунтов земляного полотна определяли на основании действующего в республике Кыргызстан ОДМ 218.5.007-2016 «Методические

рекомендации по определению модуля упругости статическим штампом». С целью определения модуля упругости проведены испытания с двухэтапным нагружением: определением модуля общей деформации и модуля упругой деформации (модуля упругости) [11].

Таблица / Table 1

Расчетные значения глинистого грунта земляного полотна для V дорожно-климатической зоны
Calculated values of the clay soil of the roadbed for the V road climate zone

Индекс дорожного района	Наименование опорного пункта	$W_{от}$, в долях единицы	$E_{гр}$, МПа	$\varphi_{гр}$, град.	$C_{гр}$, МПа
Для V дорожно-климатической зоны	Джалал-Абадская обл., село Маданият	0,70	46,0	18	0,16
	Джалал-Абадская обл., г. Кара-Куль	0,56	59	7	0,15
	Джалал-Абадская обл., Базар-Коргон	0,80	17,6	32	0,40
	Баткенская обл., г. Исфана	0,64	43,8	16	0,215
		0,8	18	25	0,35
		0,76	25,8	28	0,4
		0,8	24,3	30	0,4
	Ошская обл., село Жапалак	0,7	50	23	0,2
	Ошская обл., село Фуркат	0,7	40,4	29	0,23

Прочностные характеристики глинистого грунта – угол внутреннего трения $\varphi_{гр}$ и удельное сцепление $C_{гр}$ – определялись непосредственно в лабораторных условиях прибором одноплоскостного вращательного среза Маслова–Лурье по ГОСТ 12248–96. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости.

Результаты

Анализ результатов лабораторных испытаний образцов грунта показал следующее. Линия аппроксимации, описывающая зависимость $\varphi_{гр}=f(W_{отн})$, представлена степенной функцией. Наиболее высокое значение коэффициента детерминации составил $R^2=0,69$ (рисунок 1).

Степенная функция наилучшим образом приближает зависимость между углом внутреннего трения и относительной влажностью суглинка пылеватого грунта на исследуемых участках автомобильных дорог.

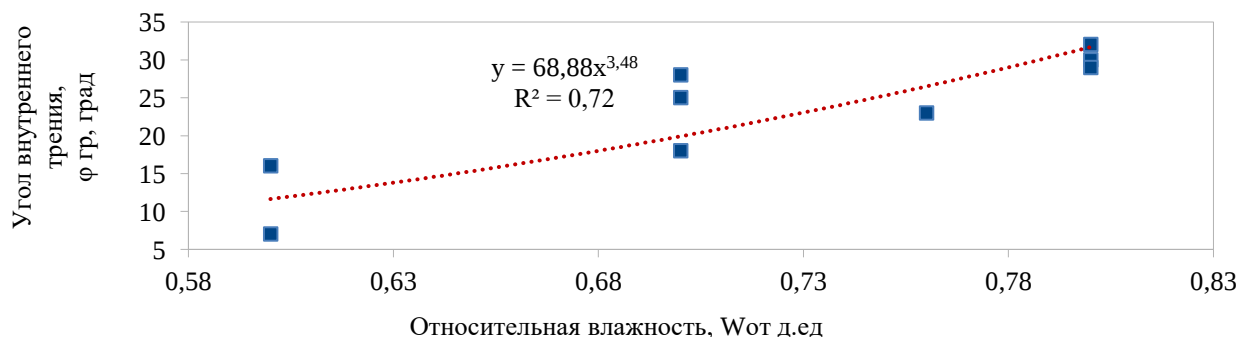


Рис. 1. График зависимости $\varphi_{гр} = f(W_{от})$, характерный для территории V дорожно-климатической зоны региона исследования

Fig. 1. Graph of dependence $\varphi_{гр} = f(W_{от})$, characteristic of the territory of the V road-climatic zone of the study region

Для удобства отображения информации в виде функциональных и графических зависимостей выполним замену выражения, отражающего величину расчетного значения весенней

влажности W_p^{BEC} / W_L , на более простую форму записи W_{OT} , которую и будем использовать в дальнейшем. Функциональная зависимость, отраженная на рисунке 1, имеет вид:

$$\varphi_{гр} = 68,88x^{3,48} \quad (1),$$

где $\varphi_{гр}$ – величина угла внутреннего трения глинистого грунта, град.;

W_{OT} – относительная влажность грунта рабочего слоя земляного полотна в долях от W_L .

Коэффициент достоверности линии аппроксимации между исследуемыми признаками составила 0,69, численное значение по шкале Чеддока в диапазоне (0,5–0,7) оценивается как высокая степень зависимости. Это позволяет назначить уравнение (1) как базовое, при расчетных показателях угла внутреннего трения для глинистых грунтов (суглинков пылеватый) в природно-климатических условиях V ДКЗ региона исследований.

На рисунке 2 представлена графическая зависимость удельного сцепления глинистого грунта (суглинков пылеватый) от значений относительной влажности (рисунок 2), для природно-климатических условий V дорожно-климатической зоны в пределах юго-запада Кыргызстана. Зависимость представлена в виде степенной функции, наиболее высокое значение коэффициента детерминации линии аппроксимации составил $R^2=0,73$ (рисунок 2).

Функциональная зависимость, отраженная на рисунке 2, имеет вид:

$$C_{гр} = 0,69 W_{OT}^{2,88} \quad (2),$$

где $C_{гр}$ – величина удельного сцепления глинистого грунта, МПа;

W_{OT} – относительная влажность грунта рабочего слоя земляного полотна в долях от W_L .

Коэффициент достоверности линии аппроксимации между исследуемыми признаками составил 0,73, что позволяет считать зависимость по шкале Чеддока достаточно высоким.

Это позволяет назначить уравнение (2) базовым при назначении расчетных значений показателя величины удельного сцепления глинистого грунта (суглинков пылеватый) в природно-климатических условиях V ДКЗ республики Кыргызстан.

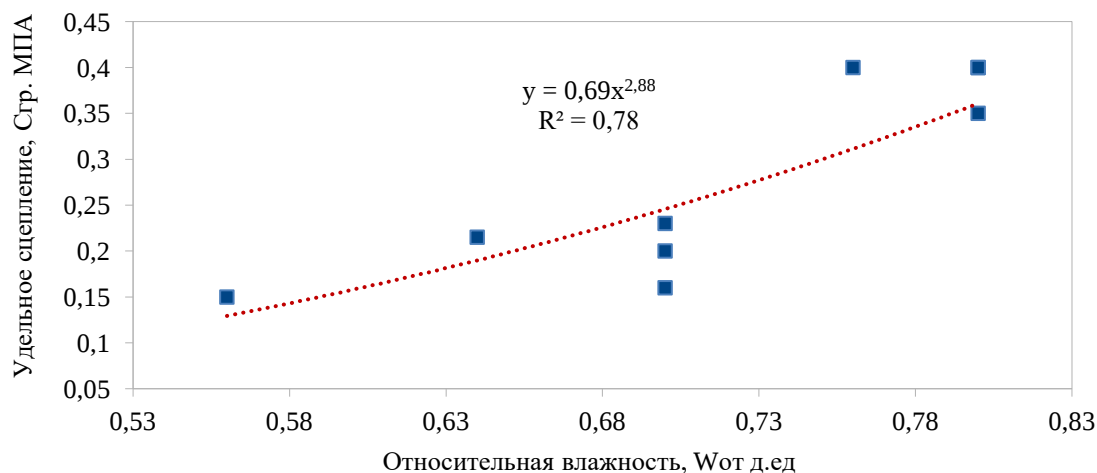


Рис. 2. График зависимости $C_{гр} = f(W_{OT})$, характерный для территории V дорожно-климатической зоны региона исследования

Fig. 2. Graph of dependence $C_{gr} = f(W_{ot})$, characteristic of the territory of the V road-climatic zone of the study region

На рисунке 3 представлена графическая зависимость модуля упругости глинистого грунта (суглинка пылеватого) от его относительной влажности для природно-климатических условий V дорожно-климатической зоны юго-западного Кыргызстана. Эта зависимость была представлена в виде степенной функции. Значение коэффициента детерминации, характеризующего качество аппроксимации, достигло наивысшего значения $R^2=0,76$ (рисунок 3).

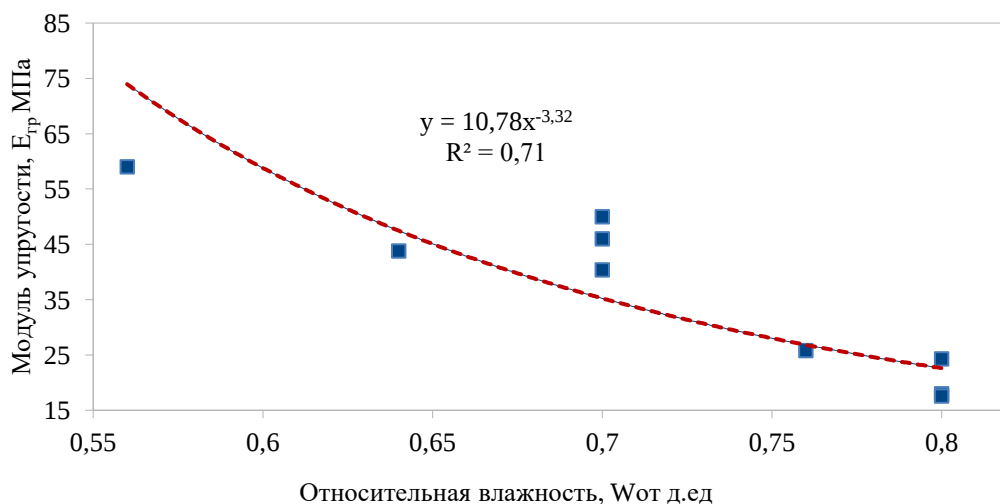


Рис. 3. График зависимости $E_{гр} = f(W_{от})$, характерный для территории V дорожно-климатической зоны региона исследования

Fig. 3. Graph of dependence $E_{гр} = f(W_{от})$, characteristic of the territory of the V road-climatic zone of the study region

Данный график демонстрирует связь между модулем упругости глинистого грунта и его относительной влажностью. Степенная функция используется для описания этой зависимости. Высокое значение коэффициента детерминации ($R^2=0,76$) указывает на то, что линия аппроксимации хорошо соответствует исходным данным и может быть использована для прогнозирования значений модуля упругости глинистого грунта на основе его относительной влажности в пределах V дорожно-климатической зоны в юго-западном регионе Кыргызстана.

Функциональная зависимость, отраженная на рисунке 3, имеет вид:

$$E_{гр} = 10,78 W_{от}^{-3,32} \quad (3),$$

где $E_{гр}$ – модуль упругости грунта, МПа;

$W_{от}$ – относительная влажность грунта рабочего слоя земляного полотна в долях от W_L .

Коэффициент достоверности линии аппроксимации между исследуемыми признаками составил 0,76, что свидетельствует о высокой степени зависимости между ними, оцениваемой по шкале Чеддока.

Это также позволяет использовать уравнение (3) в качестве базового при определении расчетных показателей модуля упругости глинистого грунта (суглинка пылеватого) в природно-климатических условиях V ДКЗ (дорожно-климатической зоны) исследуемого региона.

Для определения фактических значений модуля упругости глинистых грунтов, слагающих рабочий слой земляного полотна автомобильных дорог, были проведены полевые испытания с использованием жесткого штампа. Полученные результаты штамповых испытаний позволили установить деформационные характеристики глинистых грунтов (суглинков пылеватых), которые слагают рабочий слой земляного полотна, в частности на территории, занимаемой дорожными районами в пределах V дорожно-климатической зоны юго-запада Кыргызстана.

Важно отметить, что прочностные и деформационные характеристики грунта зависят от таких факторов, как состав (гранулометрический, минералогический, химический) и свойства (влажность, плотность и структура грунта), а также от условий нагружения. Именно эти факторы оказывают влияние на поведение грунта при нагрузке и его способность противостоять деформациям. Поэтому важно учитывать все эти факторы при проектировании и строительстве дорожных покрытий, чтобы обеспечить оптимальные прочностные и деформационные характеристики грунта и достичь долговечности и надежности дорожных сооружений.

Поэтому такие характеристики назначают в два этапа – вначале определяют расчетную влажность W_p , а затем устанавливают $E_{гр}$, $\phi_{гр}$, $C_{гр}$.

График, приведенный на рисунке 4, основан на данных экспериментальных измерений, проведенных в условиях V дорожно-климатической зоны на территории юго-западного региона Кыргызстана, с учетом рекомендаций, представленных в ВСН 46-83 (действующем на территории республики Кыргызстан). Этот график помогает визуализировать изменение значений угла внутреннего трения в зависимости от относительной влажности глинистого суглинка пылеватого, что является важной информацией для проектирования дорожных покрытий на территории республики Кыргызстан.

В результате анализа сравнения результатов линейного изменения расчетных значений угла внутреннего трения глинистого грунта (суглинка пылеватого) земляного полотна, согласно рекомендациям ВСН 46-83 и экспериментальным данным измерений для условий IV дорожно-климатической зоны, было обнаружено следующее. Установлено, что величина угла внутреннего трения, рекомендованная в руководстве ВСН 46-83, в среднем завышена на 42% по сравнению с экспериментальными данными измерений, полученными для условий V дорожно-климатической зоны на юго-западе Кыргызстана (рисунок 4).

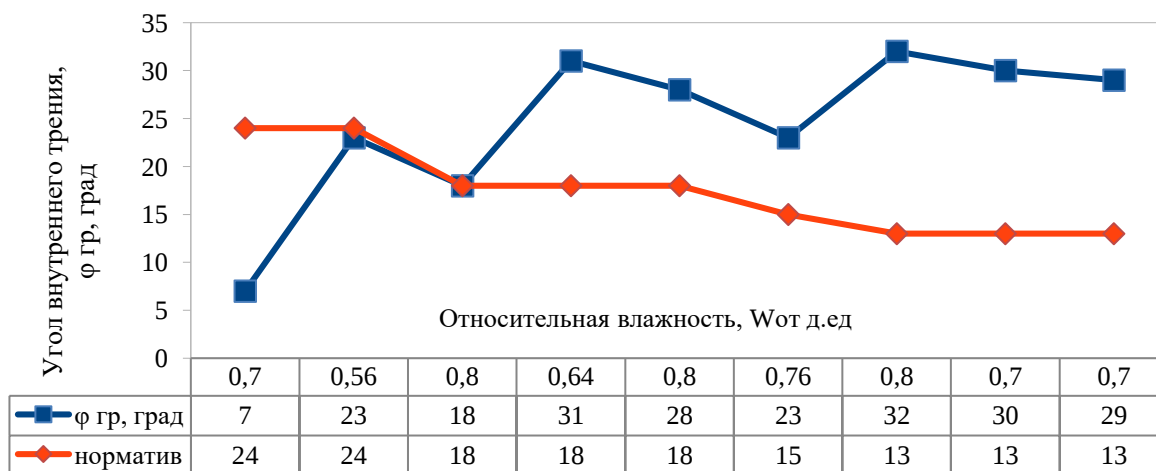


Рис. 4. График зависимости между величиной угла внутреннего трения и относительной влажности глинистого суглинка пылеватого

Fig. 4. Graph of dependence between the magnitude of the angle of internal friction and the relative humidity of a powdery clay loam

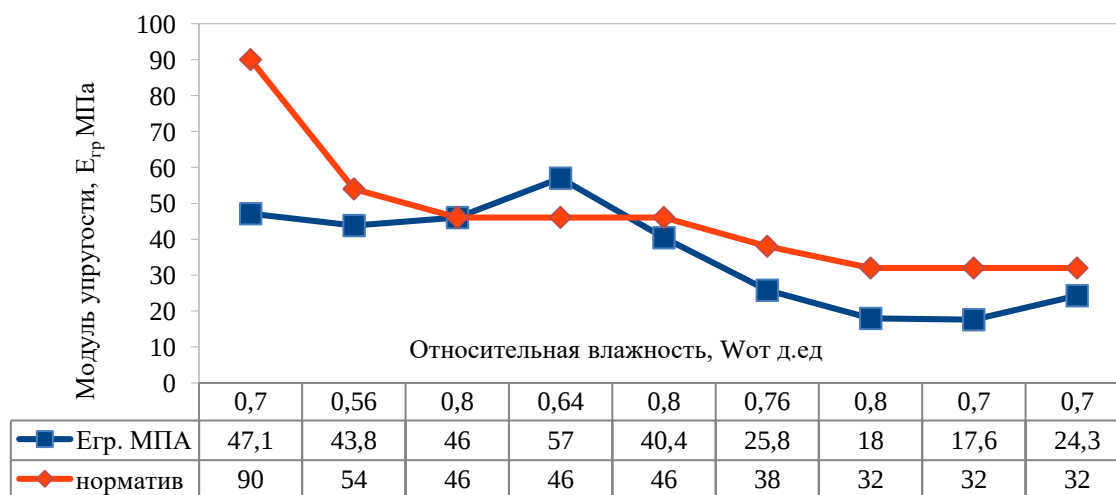


Рис. 5. График линейного изменения модуля упругости, по экспериментальным данным и согласно рекомендациям ВСН 46-83 для суглинка пылеватого, распространенного на территории V дорожно-климатической зоны региона исследования

Fig. 5. A graph of linear changes in the modulus of elasticity, according to experimental data and in accordance with the recommendations of VSN 46-83 for a powdery loam common in the territory of the V road-climatic zone of the study region

После анализа данных измерений линейного изменения расчетных значений модуля упругости глинистого грунта (суглинка пылеватого) земляного полотна, согласно рекомендациям ВСН 46-83 и экспериментальным данным измерений в природно-климатических условиях V дорожно-климатической зоны, было обнаружено следующее. Величина модуля упругости, определенная согласно рекомендации в ВСН 46-83, в среднем занижена на 23% по сравнению с экспериментальными данными, установленными для условий V дорожно-климатической зоны в юго-западном регионе Кыргызстана (рисунок 5).

Это указывает на то, что рекомендуемые значения модуля упругости в руководстве ВСН 46-83 не соответствуют положительным результатам, полученным по экспериментальным данным измерений, специально проведенных для V дорожно-климатической зоны. Величина занижения модуля упругости на 23% может иметь существенное влияние на качество проектирования дорожных покрытий в регионе.

Для обеспечения качества проектирования дорожных одежд в юго-западном регионе Кыргызстана рекомендуется учитывать экспериментальные данные измерений и принимать во внимание конкретные условия V дорожно-климатической зоны. Это поможет избежать недостатков, связанных с заниженными расчетными значениями модуля упругости, и обеспечить более точное и надежное проектирование дорожных одежд на данной территории.

Выводы

Анализ результатов сравнения прочностных и деформационных характеристик глинистых грунтов земляного полотна, полученных при испытаниях, со значениями, рекомендуемыми действующими в республике Кыргызстан нормами проектирования, указывают на существенные различия между ними. Эти отличия сказываются на качестве проектирования дорожных одежд, их срок службы и затраты, связанные с необходимостью ненормированных ремонтов на обширной территории юго-запада Кыргызстана.

Для обеспечения более точного и эффективного проектирования следует учитывать региональные особенности грунтов и проводить дополнительные исследования и испытания. Это поможет снизить нежелательные последствия, связанные с применением расчетных значений грунтов рабочего слоя земляного полотна, отраженных в действующих нормативных документах, и обеспечить снижение затрат на приведение дорожных одежд в нормативное состояние на территории юго-западного Кыргызстана.

ВКЛАД АВТОРОВ | CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Э. Каримов – разработка концепции и дизайна исследования; сбор данных; анализ и интерпретация результатов; подготовка и редактирование текста; С. Ефименко – научный консультант; В. Ефименко – разработка концепции и дизайна исследования. Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

E. Karimov – study conception and design, data collection, analysis and interpretation of results, and manuscript preparation; S. Efimenko – scientific consultant; V. Efimenko – study conception and design. All authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ | CONFLICT OF INTEREST

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Афиногенов О.П., Ефименко С.В., Ефименко В.Н. Конструирование и расчет дорожных одежд. Кемерово: Кузбассвузиздат, 2020. 444 с.
2. Ефименко С.В. Обоснование расчетных значений характеристик глинистых грунтов для проектирования дорожных одежд автомобильных дорог (на примере Западной Сибири): автореф. дис. ... канд. техн. наук. Омск, 2006. 23 с.

3. Ефименко В.Н., Ефименко С.В., Бадина М.В. Учет региональных природно-климатических условий при уточнении норм проектирования автомобильных дорог // Наука и техника в дорожной отрасли. 2012. № 1. С. 14–17.
4. Ярмолинский А.И., Ярмолинский В.А. Проектирование конструкций автомобильных дорог с учетом природно-климатических особенностей Дальнего Востока. Хабаровск: Изд-во Тихоокеанского гос. ун-та, 2005. 197 с.
5. Гнездилова С.А. Учет региональных особенностей свойств грунтов при проектировании дорожных одежд на территории Белгородской области // Вестник БГТУ имени В.Г. Шухова. 2015. № 3. С. 22–25.
6. Гнездилова С.А. Учет изменений состояния грунтов при проектировании дорожных одежд (на примере Белгородской области): автореф. дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2010. 23 с.
7. Каримов Э.М., Эркали У. Дифференцированное дорожно-климатическое районирование и усредненные характеристики грунтов // Вестник КРСУ. 2023. Т. 23, № 4. С. 114–118. URL: <http://vestnik.krsu.edu.kg/archive/188>
8. Zapata C.E., Houston W.N. Calibration and validation of the enhanced integrated climatic model for pavement design. Washington, D.C.: Transportation Research Board, 2008. 62 p.
9. Ярмолинский А.И., Каменчуков А.В. Оценка динамики изменения прочности автомобильных дорог южной части Дальнего Востока в расчетный период // Вестник ТГАСУ. 2016. № 6. С. 234–240.
10. Полищук А.И., Ефименко С.В. Расчетные значения характеристик глинистых грунтов для проектирования автомобильных дорог // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2005. № 8. С. 66–71.
11. Каримов Э.М., Цой А.В., Сатаров М.Ы. Определение модуля упругости земляного полотна автомобильных дорог в полевых условиях // Вестник КРСУ. 2023. Т. 23, № 4. С. 119–125. URL: <http://vestnik.krsu.edu.kg/archive/188>
12. Каримов Э.М. Дорожно-климатическое районирование территории юго-западного Кыргызстана с учетом вертикальной зональности. Ош, 2023. 251 с.

REFERENCES

1. Afinogenov O.P., Efimenko S.V., Efimenko V.N. Design and calculation of road pavements. Kemerovo, Kuzbassvuzdat, 2020. 444 p. (In Russ.).
2. Efimenko S.V. Justification of the calculated values of the characteristics of clay soils for the design of road pavements of highways (using Western Siberia as an example). Abstract of PhD (Eng.) Tesis. Omsk, 2006. 23 p. (In Russ.).
3. Efimenko V.N., Efimenko S.V., Badina M.V. Taking into account regional natural and climatic conditions when clarifying road design standards. *Science and technology in the road industry*, 2012, no. 1, pp. 14–17. (In Russ.).
4. Yarmolinsky A.I., Yarmolinsky V.A. Design of highway structures taking into account the natural and climatic features of the Far East. Khabarovsk, Publishing house of the Pacific State University, 2005. 197 p. (In Russ.).
5. Gnezdilova S.A. Taking into account regional features of soil properties when designing road pavements in the Belgorod region. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*, 2015, no. 3, pp. 22–25. (In Russ.).
6. Gnezdilova S.A. Taking into account changes in the state of soils when designing road pavements (using the Belgorod region as an example). Abstract of PhD (Eng.) Thesis. Moscow, 2010. 23 p. (In Russ.).
7. Karimov E.M., Erkali U. Differentiated road-climatic zoning and average soil characteristics. *Bulletin of KRSU*, 2023, vol. 23, no. 4, pp. 114–118. (In Russ.). URL: <http://vestnik.krsu.edu.kg/archive/188>
8. Zapata C.E., Houston W.N. Calibration and validation of the enhanced integrated climatic model for pavement design. Washington, D.C., Transportation Research Board, 2008. 62 p.
9. Yarmolinsky A.I., Kamenchukov F.V. Assessment of the dynamics of changes in the strength of roads in the southern part of the Far East in the design period. *Bulletin of TGASU*, 2016, no. 6, pp. 234–240. (In Russ.).
10. Polischuk A.I., Efimenko S.V. Calculated values of clay soil characteristics for road design. *News of higher educational institutions. Construction*, 2005, no. 8, pp. 66–71. (In Russ.).
11. Karimov E.M., Tsoi A.V., Satarov M.Y. Determination of the modulus of elasticity of roadbeds in field conditions. *Bulletin of KRSU*, 2023, vol. 23, no. 4, pp. 119–125. (In Russ.). URL: <http://vestnik.krsu.edu.kg/archive/188>
12. Karimov E.M. Road and climate zoning of the territory of southwestern Kyrgyzstan taking into account vertical zonality. Osh, 2023. 251 p. (In Russ.).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ | INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Каримов Эркинбек Машанович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Прикладная механика» Ошского технологического университета имени М.М. Адышева (Ош, Кыргызстан)

✉ erkin.karimov.71@mail.ru

Erkinbek M. Karimov – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Applied Mechanics, M.M. Adyshev Osh Technological University (Osh, Kyrgyzstan)

Ефименко Сергей Владимирович – доктор технических наук, доцент, проректор по научной работе Томского государственного архитектурно-строительного университета (Томск, Российская Федерация)

✉ svefimenko_80@mail.ru

Sergey V. Efimenko – Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Vice-Rector for Research at Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering (Tomsk, Russian Federation)

Ефименко Владимир Николаевич – доктор технических наук, профессор Томского государственного архитектурно-строительного университета (Томск, Российская Федерация)

✉ svefimenko_80@mail.ru

Vladimir N. Efimenko, Doctor of Engineering Sciences, Professor of Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering (Tomsk, Russian Federation)

Статья поступила в редакцию / Received: 21.06.2024.

Доработана после рецензирования / Revised: 30.09.2024.

Принята к публикации / Accepted: 09.12.2024.