

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

ТЕРРИТОРИАЛЬНОЕ НОРМИРОВАНИЕ ЗНАЧЕНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЧНОСТИ И ДЕФОРМИРУЕМОСТИ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ*

В статье раскрыт подход к формированию информационной базы при обосновании значений расчётных характеристик глинистых грунтов земляного полотна автомобильных дорог Западно-Сибирского региона. Рассмотрены аспекты методологии исследований, направленные на обеспечение качества проектирования автомобильных дорог с учётом природно-климатических условий отдельных административных образований Российской Федерации. Показаны этапы, отражающие стадию обоснования расчётных значений характеристик прочности и деформируемости глинистых грунтов земляного полотна. Установлены зависимости изменения модуля упругости, угла внутреннего трения и удельного сцепления глинистого грунта от относительной влажности. Приведены расчётные значения характеристик влажности, модуля упругости, угла внутреннего трения и удельного сцепления глинистых грунтов рабочего слоя земляного полотна.

Ключевые слова: транспортные сооружения; автомобильная дорога; земляное полотно; дорожная одежда; проектирование; информационная база; расчётные характеристики; глинистые грунты; функциональные зависимости; нормирование характеристик.

ALEKSEY V. SUKHORUKOV, Research Assistant,

homesuhov@mail.ru

Tomsk State University of Architecture and Building,

2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia

TERRITORIAL NORMALIZATION OF STRENGTH AND DEFORMATION PARAMETERS OF CLAYEY SOILS

The present article describes approach towards the database formation for justification of the calculated values of subgrade clay soils properties considering roads of West Siberian region. Aspects of the methodology have been considered aimed at providing quality design of roads by means of accounting natural-climatic conditions of separate administrative units of Russian Federation. The stages reflecting validation of calculated values of strength and deformation properties of clay soils are shown. The dependences of change in elasticity modulus, the angle of internal friction and specific cohesion of clay soil on relative humidity were established. The calculated values of moisture, elasticity modulus, angle of internal friction and the specific adhesion of clay soils subgrade are given.

Keywords: transport facility; automobile road; subgrade; pavement; design; database; design values; clayey soils; functional dependences; normalized parameters

* Работа поддержана грантом Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 14-07-00673 А). Её элементы выполнены по плану НИР «Росавтодор», а также по заказу территориальных органов управления автомобильных дорог Западной Сибири.

Надёжное функционирование эксплуатируемых автомобильных дорог может быть обеспечено с учетом особенностей природно-климатических условий тех или иных территорий на стадии проектирования объектов транспорта [1]. К сожалению, нашедшая отражение в действующих нормах и правилах по проектированию автомобильных дорог методология нормирования значений характеристик прочности и деформируемости грунтов для проектирования дорожных одежд базируется на результатах исследований, полученных специалистами на сети дорог европейской части России ещё в прошлом веке. Установленные ими связи и закономерности изменения свойств грунтов в зависимости от их влажности были в дальнейшем дифференцированы на территорию Зауралья без достаточной проверки достоверности результатов в несколько иных природных условиях, отличающихся по географическим комплексам.

Разрабатываемая сотрудниками кафедры «Автомобильные дороги» Томского государственного архитектурно-строительного университета (ТГАСУ) научная методология обоснования расчётных значений глинистых грунтов включает три стадии. Первая стадия состоит в выделении однородных территорий в административных образованиях России и детализации районирования по схеме «зона – подзона – дорожный район». Специалистами ТГАСУ достаточно детально проработаны вопросы выделения однородных территорий с применением информационных технологий в пределах административных образований [2, 3, 4]. Вторая стадия включает исследования, направленные на обоснование расчётных значений характеристик прочности и деформируемости глинистых грунтов земляного полотна, применяемых при расчёте нежёстких дорожных одежд на прочность. Третья стадия основывается на результатах двух предыдущих и может быть направлена на разработку альбомов типовых дорожных конструкций для административных образований Российской Федерации. Отдельные вопросы разработки альбома конструкций дорожных одежд для строительства автомобильных дорог III технической категории на территории Томской области, выполненного специалистами ТГАСУ на основе мирового опыта [5, 6], показаны в работе [7]. В настоящей статье автором подробно рассмотрены этапы по реализации второй стадии с учётом усовершенствованных методов, в неё входящих.

Вторая стадия исследований включает пять последовательно выполняемых этапов (рис. 1, 2). На первом этапе формируют информационную базу, которая содержит перечень актуальных сведений, систематизированных в группы, по выделенным для исследования административным образованиям [8]. Учёт специфику (климатические, гидрологические и другие показатели) дорожных районов на территории административных образований возможно путём выделения на их территории опорных пунктов. В качестве опорных приняты населённые пункты, территория которых охвачена действующей сетью гидрометеорологических станций. По способу получения информации все сведения в информационной базе разделены на три группы. Так, первая группа формируется из результатов полевых и лабораторных исследований, методика выполнения которых отражена в работах [9, 10].

Вторая группа состоит из сведений справочной литературы. Применение климатических справочников возможно при отсутствии действующих гидрометеорологических станций на территории дорожных районов для установления климатических показателей опорного пункта. Также по справочникам и специальным таблицам могут быть определены теплотехнические показатели материалов слоёв дорожной одежды, снега и грунта поля.

Показатели, определяемые методами математического моделирования, отнесены к третьей группе. В работах [11, 12, 13] отмечено, что влажность грунтов земляного полотна оказывает значительное влияние на изменение его значений прочности и деформируемости. Определение расчётной влажности грунтов земляного полотна участков автомобильных дорог, расположенных в районах, характеризующихся глубоким сезонным промерзанием и избыточным увлажнением, рекомендовано осуществлять по методике, разработанной профессором И.А. Золотарём [14], с учётом уточнений некоторых решений [15–17].

Математическая модель определения расчётной влажности глинистых грунтов земляного полотна для 2-го и 3-го типов местности по характеру и степени увлажнения (при близком залегании уровня грунтовых вод) заключается в последовательном прогнозировании средней осенней влажности $W_{ос}$ и влажности к концу зимнего периода $W_{вес}$ [18].

Для определения расчётной влажности грунтов рабочего слоя земляного полотна в условиях 1-го типа местности по характеру и степени увлажнения (глубокое залегание уровня грунтовых вод) в работе [19] предложен и апробирован метод, который позволяет учитывать температурно-влажностный режим отдельных дорожных районов, нашедший отражение в ОДН 218.1.052–2002¹.

Далее в лабораторных условиях исследуют состав и свойства грунтов, распространённых на территории отдельных административных образований. Результаты лабораторных исследований гранулометрического состава глинистых грунтов, отбор проб которых произведён из рабочего слоя земляного полотна на сети автомобильных дорог Западно-Сибирского региона, расположенных в пределах территориального простираия II–III дорожно-климатических зон, свидетельствуют об однородном содержании в образцах пылеватых и глинистых фракций [20, 21, 22]. При этом имеющиеся незначительные отличия, обусловленные природно-климатическими условиями, не оказывают существенного влияния на изменения расчётных характеристик.

Наличие закономерного изменения характеристик прочности и деформируемости грунтов земляного полотна обуславливает выполнение статистической обработки для определения параметров функциональных и графических зависимостей, аппроксимирующих экспериментально полученные сведения.

¹ ОДН 218.1.052-2002. Оценка прочности нежёстких дорожных одежд ; Введ. 2002.11.9. М. : Государственная служба дорожного хозяйства Министерства транспорта Российской Федерации ; Информавтодор, 2002. 80 с.

Статистическая обработка включает в себя оценку совокупностей значений, полученных в процессе испытаний, на присутствие «выскакивающих» вариант и возможность объединения результатов, полученных для отдельных территорий в один статистический ряд. При этом сведения, для которых выполняется обработка, должны быть получены единым методом испытания.

Так, для территории Омской области установлены графические (рис. 1–3) и функциональные зависимости $E_{гр}$, $\varphi_{гр}$, $C_{гр} = f(W_{от})$ для наиболее распространённых на территории исследований пылеватых суглинков. Эти зависимости аппроксимированы экспоненциальной кривой, а величина достоверности аппроксимации R^2 находится в пределах от 0,79 до 0,95, что указывает на высокую степень соответствия трендовой модели исходным сведениям.

График зависимости модуля упругости суглинка пылеватого от его относительной влажности представлен на рис. 1.

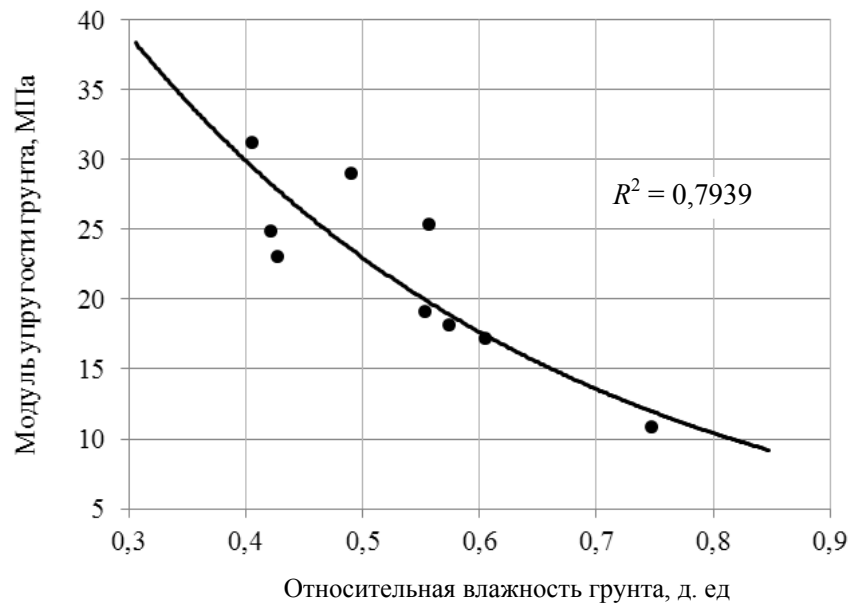


Рис. 1. Зависимость модуля упругости суглинка пылеватого от его относительной влажности

Уравнение аппроксимирующей кривой, выражающее графическую зависимость, показанную на рис. 1, имеет вид

$$E_{гр} = 85,911 \cdot e^{-2,63 \cdot W_{от}}, \quad (1)$$

где $E_{гр}$ – модуль упругости грунта, МПа; $W_{от}$ – относительная влажность грунта рабочего слоя земляного полотна, в долях от влажности на границе текучести W_L .

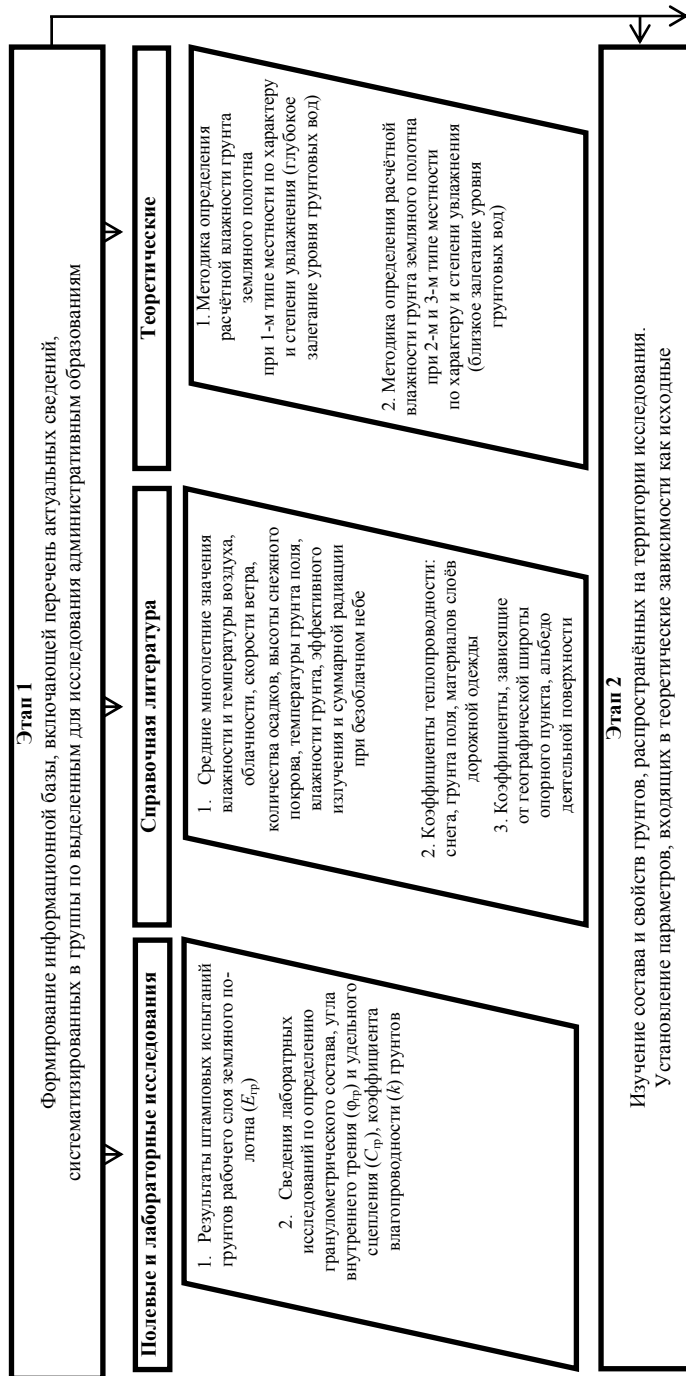


Рис. 2. Блок-схема, отражающая 1–2 этапы стадии обоснования расчётных значений характеристик прочности и деформируемости глинистых грунтов

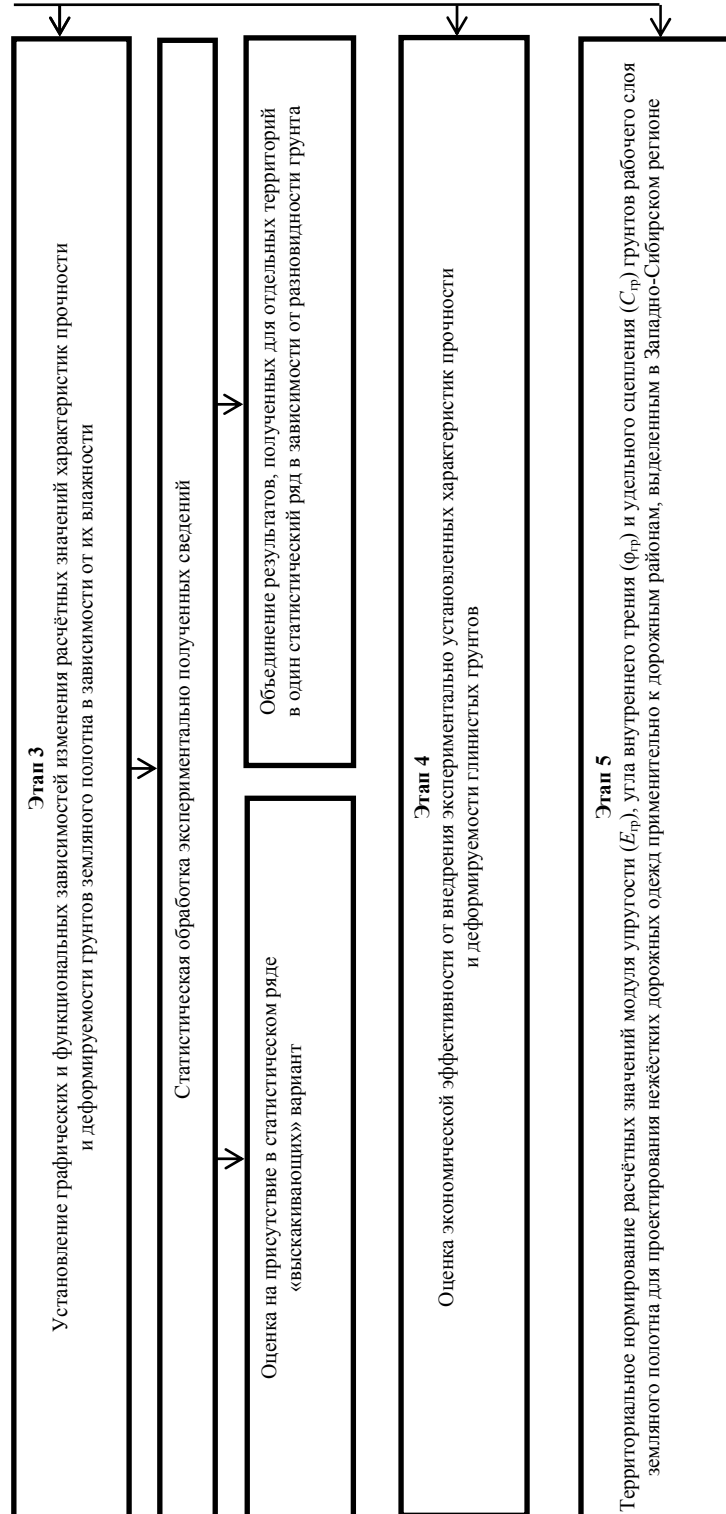


Рис. 3. Блок-схема, отражающая 3–5 этапы стадии обоснования расчётных значений характеристик прочности и деформируемости глинистых грунтов

График зависимости угла внутреннего трения суглинка пылеватого от его относительной влажности показан на рис. 4.

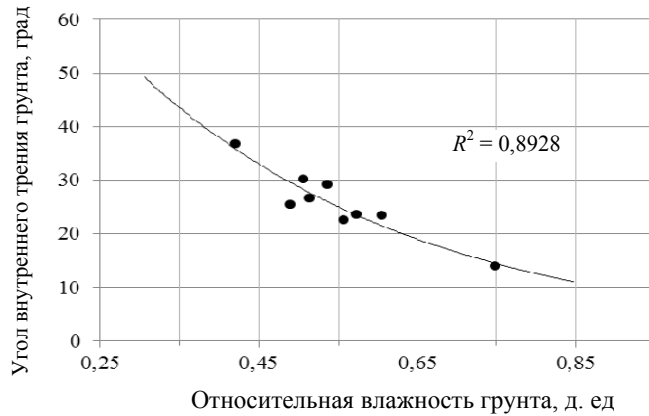


Рис. 4. Зависимость угла внутреннего трения суглинка пылеватого от его относительной влажности

Уравнение кривой, выражающее графическую зависимость, показанную на рис. 2, представлено в виде

$$\varphi_{гр} = 114,73 \cdot e^{-2,768 \cdot W_{от}}, \quad (2)$$

где $\varphi_{гр}$ – угол внутреннего трения грунта, град.

График, характеризующий зависимость удельного сцепления суглинка пылеватого от его относительной влажности, построенный по результатам наших исследований, представлен на рис. 5.

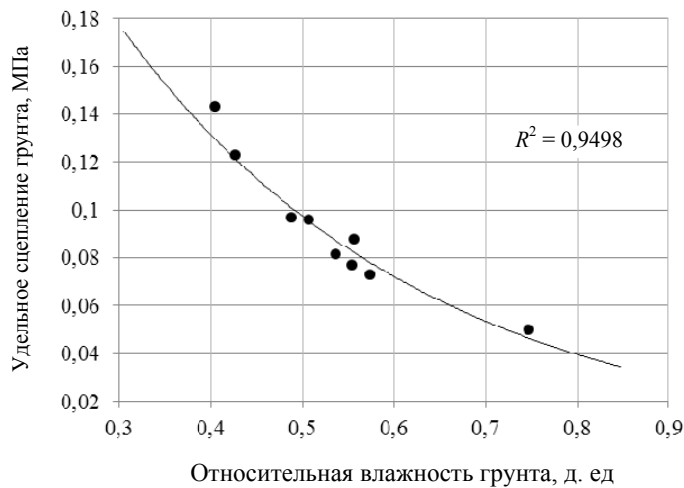


Рис. 5. Зависимости удельного сцепления суглинка пылеватого от его относительной влажности

Изменение значений удельного сцепления супеси пылевой выражено аппроксимирующей функцией

$$C_{гр} = 0,4361 \cdot e^{-2,996 \cdot W_{от}}, \quad (3)$$

где $C_{гр}$ – удельное сцепление грунта, МПа.

Следующий этап – оценка экономической эффективности от внедрения экспериментально установленных характеристик прочности и деформируемости глинистых грунтов по сравнению со значениями, рекомендуемыми ОДН 218.046–01¹. Методика и результаты оценки эффективности, выполненной согласно руководству по оценке экономической эффективности использования в дорожном хозяйстве инноваций и достижений научно-технического прогресса², применительно к территориальным условиям Омской области приведены в работе [23].

Руководствуясь выявленными графическими и функциональными зависимостями, выполняют заключительный этап исследований – территориальное нормирование расчётных значений модуля упругости ($E_{гр}$), угла внутреннего трения ($\varphi_{гр}$) и удельного сцепления ($C_{гр}$) грунтов рабочего слоя земляного полотна для проектирования нежёстких дорожных одежд применительно к дорожным районам, выделенным на первой стадии исследования.

Расчётные значения влажности, прочности и деформируемости глинистых грунтов земляного полотна для удобства пользования можно представить в табличном виде для каждого территориально обозначенного района. Так, в табл. 1 приведены значения характеристик глинистых грунтов рабочего слоя земляного полотна в условиях 1-го типа местности по характеру и степени увлажнения для дорожных районов, выделенных на территории Омской области (рис. 6).

Таблица 1

Расчётные значения характеристик глинистых грунтов (суглинки пылеватые) в условиях 1-го типа местности по характеру и степени увлажнения для дорожных районов Омской области

Индекс дорожного района	Наименования административных пунктов	Расчётная относительная влажность грунта $W_{от}$, д. ед.	Модуль упругости грунта $E_{гр}$, МПа	Угол внутреннего трения грунта $\varphi_{гр}$, град	Удельное сцепление грунта $C_{гр}$, МПа
П.Р.1	Тара, Тевриз, Усть-Ишим	0,84	9,4	11,22	0,035

¹ ОДН 218.046-01. Проектирование нежёстких дорожных одежд ; Введ. 2000.12.20. М. : Государственная служба дорожного хозяйства Министерства транспорта Российской Федерации : Информавтодор, 2001. 145 с.

² Руководство по оценке экономической эффективности использования в дорожном хозяйстве инноваций и достижений научно-технического прогресса: отраслевой дор. метод, док.; утв. распоряжением Минтранса России 10.12.2002 № ОС 1109-р.

Окончание табл. 1

Индекс дорожного района	Наименования административных пунктов	Расчётная относительная влажность грунта $W_{от}$, д. ед.	Модуль упругости грунта $E_{гр}$, МПа	Угол внутреннего трения грунта $\phi_{гр}$, град	Удельное сцепление грунта $C_{гр}$, МПа
II.P.2	Утускун, Васисс, Седельниково	0,84	8,9	10,61	0,033
II.P.3	Моторово, Финны, Евгацино	0,86	9,4	11,22	0,035
II.P.4	Муромцево	0,84	9,4	11,22	0,035
III.P.1	Тюкалинск, Называевск	0,79	10,7	12,88	0,041
III.P.2	Омск, Калачинск, Горьковское	0,70	13,6	16,53	0,054
IV.P.1	Великорусское, Черлак, Крестики	0,67	14,7	17,96	0,059
IV.P.2	Полтавка, Одесское	0,65	15,5	18,98	0,062

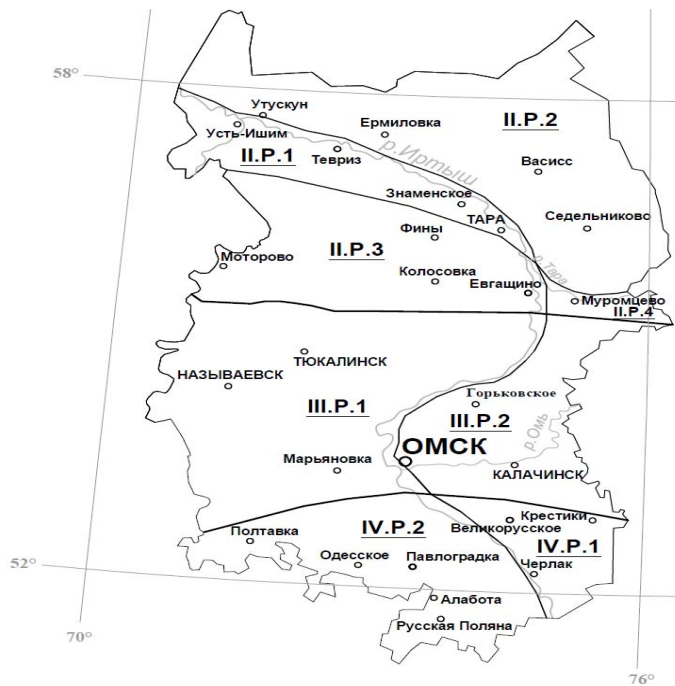


Рис. 6. Карта-схема дорожно-климатического районирования территории Омской области: II, III, IV – дорожно-климатические зоны по результатам исследований, выполненных в ТГАСУ; 1–4 – номера дорожных районов, выделенных на территории Омской области; P – подзона по типу рельефа (равнинная)

Внедрение расчётных значений характеристик влажности, прочности и деформируемости, установленных по результатам наших исследований, позволит обеспечить эксплуатационную надёжность проектируемых дорожных одежд с более высоким коэффициентом надёжности и нормативные межремонтные сроки проведения капитального ремонта и ремонта автомобильных дорог на территории Западной Сибири.

Такой подход к территориальному нормированию расчётных значений прочности и деформируемости глинистых грунтов отличается научной новизной, заключающейся в комплексном изучении связей и закономерностей, характеризующих изменение свойств глинистых грунтов, устанавливаемых с учётом индивидуальных природно-климатических особенностей отдельных административных образований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Технология учёта региональных природно-климатических условий* при проектировании транспортных сооружений (на примере территорий Западной Сибири) / В.Н. Ефименко, С.В. Ефименко, М.В. Бадина, А.В. Григорьев // Вестник ТГАСУ. – 2011. – № 4. – С. 221–227.
2. *Ефименко, С.В.* Применение информационных систем при уточнении границ дорожно-климатических зон / С.В. Ефименко, Д.Н. Черепанов // Вестник МГСУ. – 2013. – № 6. – С. 214–222.
3. *Ефименко, С.В.* Некоторые вопросы совершенствования норм проектирования дорожных одежд автомобильных дорог / С.В. Ефименко, В.Н. Ефименко, М.В. Бадина // Дороги и мосты. – 2013. – № 29. – С. 81–91.
4. *Применение информационных технологий в дорожно-климатическом районировании* / В.Н. Ефименко С.В. Ефименко, М.В. Бадина, А.В. Сухоруков // Вестник КазДорНИИ. – 2014. – № 3–4. – С. 60–67.
5. *RStO 01 Richtlinien für die Standartisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen* (Bonn, 2001), 59 p.
6. *RVS 8S.06.32* (Austrian Association for Research on Road, Rail, and Transport, Guidelines and Specifications for Road Construction, 2006).
7. *Шарипов, Э.Р.* Разработка альбома конструкций дорожных одежд для строительства автомобильных дорог III технической категории в Томской области / Э.Р. Шарипов, М.В. Бадина, А.А. Бурлуцкий // Избранные доклады 61-й университетской научно-технической конференции студентов и молодых учёных. – Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2015. – С. 256–259.
8. *Ефименко, В.Н.* Назначение расчётных характеристик грунтов земляного полотна для расчёта дорожных одежд / В.Н. Ефименко, С.В. Ефименко, А.В. Сухоруков // Вестник КузГТУ. – 2015. – № 3. – С. 124–130.
9. *Чарыков, Ю.М.* Методика полевых исследований при формировании банка исходных данных при подготовке предложений по уточнению границ дорожно-климатических зон на территории Западной Сибири / Ю.М. Чарыков, А.В. Сухоруков // Материалы Международной научно-практической конференции, посвящённой 80-летию Сибирского государственного университета путей сообщения. Ч. I. – Новосибирск : Изд-во СГУПС, 2013. – С. 106–109.
10. *Сухоруков, А.В.* Некоторые результаты полевых и лабораторных исследований при подготовке предложений по районированию Западно-Сибирского региона / А.В. Сухоруков, С.В. Ефименко, Ю.М. Чарыков // Материалы I Международной научной конференции студентов и молодых учёных. – Томск : Изд-во Том. гос. архит. строит. ун-та, 2014. – С. 399–400.

11. Ефименко, С.В. Дорожное районирование территории Западной Сибири / С.В. Ефименко, М.В. Бадина : монография. – Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2014. – 244 с.
12. Yaning Qiao, Gerardo W. Flintsch, Andrew R. Dawson, and Tony Parry, Journal of the Transportation Research Board 2349, pp. 100–107 (2013).
13. D.H. Kevin and S. Rao, Transport Res. Rec. 1652. – P. 98–106 (1999).
14. Золотарь, И.А. Водно-тепловой режим земляного полотна и дорожных одежд / И.А. Золотарь ; под. ред. И.А. Золотаря, Н.А. Пузакова, В.М. Сиденко. – М. : Транспорт, 1971. – 416 с.
15. 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. – С. 21–24.
16. 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. – С. 21–25.
17. Ефименко, В.Н. Назначение расчётной влажности глинистых грунтов земляного полотна для проектирования дорожных одежд на территории Западной Сибири / В.Н. Ефименко, С.В. Ефименко, А.Д. Бердников // Вестник ТГАСУ. – 2012. – № 1. – С. 160–168.
18. 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.
19. Ефименко, В.Н. Водно-тепловой режим земляного полотна автомобильных дорог при глубоком промерзании грунтов (На примере Юго-Востока Западной Сибири) : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.03 : / В.Н. Ефименко. – М., 1978. – 216 с.
20. Ефименко, С.В. Обоснование расчётных значений характеристик глинистых грунтов для проектирования дорожных одежд автомобильных дорог (на примере Западной Сибири) : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.11 : / Ефименко Сергей Владимирович. – Омск, 2006. – 217 с.
21. Полищук, А.И. Исследования состава и свойств глинистых грунтов районов Западной Сибири для назначения их расчётных характеристик / А.И. Полищук, С.В. Ефименко // Вестник ТГАСУ. – 2005. – № 1. – С. 213–220.
22. Ефименко, С.В. Особенности генезиса, состава и свойств глинистых грунтов Западной Сибири / С.В. Ефименко, А.А. Краевский, В.С. Чурилин // Вестник ТГАСУ. – 2014. – № 2. – С. 177–181.
23. Боброва, Т.В. Оценка экономической эффективности учёта изменчивости геоконплексов при проектировании дорожных одежд автомобильных дорог / Т.В. Боброва, С.В. Ефименко // Вестник СибАДИ. – 2013. – № 4. – С. 136–140.

REFERENCES

1. 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 for regional climatic conditions in designing transport facilities (a Western Siberia case study)]. *Vestnik TSUAB*. 2011. No. 4. Pp. 221–227. (rus)
2. Efimenko S.V., Cherepanov D.N. Primenenie informatsionnykh sistem pri utochnenii granits dorozhno-klimaticheskikh zon [Application of information systems while adjustment of borderlines of road climatic zones]. *Scientific and Technical Journal on Construction and Architecture*. 2013. No. 6. Pp. 214–222. (rus)
3. Efimenko S.V., Efimenko V.N., Badina M.V. Nekotorye voprosy sovershenstvovaniya norm proektirovaniya dorozhnykh odezhd avtomobil'nykh dorog [Some issues concerning the improvement of road pavement design standards]. *Dorogi i mosty*. 2013. No. 29. Pp. 81–91. (rus)

4. Efimenko V.N., Efimenko S.V., Badina M.V., Sukhorukov A.V. Primenenie informatsionnykh tekhnologii v dorozhno-klimaticheskom raionirovanii [Application of information technology in road-building climatic zoning]. *Vestnik KazDorNII*. 2014. No. 3–4. Pp. 60-67. (rus)
5. *RStO 01 Richlinien* fur die Standartisierung des Oberbaues von Verkehrsfiuchen, (Bonn, 2001), 59 p.
6. *RVS 8S.06.32* Austrian Association for Research on Road, Rail, and Transport, Guidelines and Specifications for Road Construction, 2006.
7. Sharipov E.R., Badina M.V., Burlutskii A.A. Razrabotka al'boma konstruksii dorozhnykh odezhd dlya stroitel'stva avtomobil'nykh dorog III tekhnicheskoi kategorii v Tomskoi oblasti [Development of roads pavements construction of III category in the Tomsk region]. *Proc. 61st Int. Sci. Conf. of Students and Young Scientists 'Prospects of Fundamental Sciences Development'*, Tomsk: TSUAB Publ., 2015. Pp. 256-259. (rus)
8. Efimenko V.N., Efimenko S.V., Sukhorukov A.V. Naznachenie raschetnykh kharakteristik gruntov zemlyanogo polotna dlya rascheta dorozhnykh odezhd [Assignment of design properties for clayey subgrade soils road pavements]. *Vestnik KuzSTU*. 2015. No. 3. Pp. 124-130. (rus)
9. Charykov Yu.M., Sukhorukov A.V. Metodika polevykh issledovaniy pri formirovanii banka iskhodnykh dannykh pri podgotovke predlozhenii po utochneniyu granits dorozhno-klimaticheskikh zon na territorii Zapadnoi Sibiri [Field research in the formation of initial database for proposals on road-climatic zone borders in Western Siberia]. *Proc. Int. Sci. Conf. Novosibirsk : Siberian Transport University Publ.*, 2013. Pp. 106-109. (rus)
10. Sukhorukov, A.V., Efimenko S. V., Charykov Yu.M. Nekotorye rezul'taty polevykh i laboratornykh issledovaniy pri podgotovke predlozhenii po raionirovaniyu zapadno-sibirskogo regiona [Results of field and laboratory studies of West Siberian region zoning]. *Proc. 1st Int. Sci. Conf. of Students and Young Scientists*, Tomsk : TSUAB Publ., 2014. Pp. 399-400. (rus)
11. Efimenko S.V., Badina M.V. Dorozhnoe raionirovanie territorii Zapadnoi Sibiri [Road zoning of the West Siberia territory. Monograph]. TSUAB Publ., 2014 – 244 p. (rus)
12. Qiao Ya., Flintsch G.W., Dawson A.R., Parry T. *Journal of the Transportation Research Board*. 2013. No 2349. Pp. 100–107.
13. Kevin D. H., Rao S. *Transport Res. Rec.* 1999. No 1652. Pp. 98–106.
14. 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)
15. Efimenko S.V. Sukhorukov A.V., Efimenko V.N. Utochnenie skhemy rascheta velichiny ispareniya s poverkhnosti gruntovykh osnovanii avtomobil'nykh dorog pri formirovanii informatsionnoi bazy dlya prognozirovaniya ikh vlazhnosti [Design calculation of evaporation from soil subgrade for the prediction of moisture content database]. *Transport and Road of Kazakhstan*. 2013. No. 4. Pp. 21–24. (rus)
16. Sukhorukov A.V. K obosnovaniyu perioda osennego vlagonakopleniya pri prognozirovanii vlazhnosti gruntov zemlyanogo polotna avtomobil'nykh dorog zapadno-sibirskogo regiona [Towards justification of autumn period of moisture accumulation in forecasting subgrade soil moisture content of roads in West Siberia]. *Tekhnika i tekhnologii dorozhnogo khozyaistva*. 2014. No. 1. Pp. 21–25. (rus)
17. Efimenko V.N., Efimenko S.V., Berdnikov A.D. Naznachenie raschetnoi vlazhnosti glinistykh gruntov zemlyanogo polotna dlya proektirovaniya dorozhnykh odezhd na territorii Zapadnoi Sibiri [Design humidity of subgrade clay soils for designing road pavements in Western Siberia]. *Vestnik TSUAB*. 2012. No. 1. Pp. 160–168. (rus)
18. Zolotar' I.A. Prognoz vlazhnosti grunta zemlyanogo polotna v tselyakh naznacheniya ego prochnostnykh kharakteristik [Prediction moisture content of subgrade soil for its strength properties]. *Proc. All-Union Sci. Conf. on pavement strength*. Khar'kov : KNU Publ., 1969. Pp. 100–105 (rus)
19. Efimenko V.N. Vodno-teplovoy rezhim zemlyanogo polotna avtomobil'nykh dorog pri glubokom promerzaniy gruntov (Na primere Yugo-Vostoka Zapadnoi Sibiri): dis. ... kand. tekhn. nauk [Water-heating mode of subgrades with deep soil freezing (on the example of South-East of Western Siberia). PhD thesis]. Moscow, 1978. 216 p. (rus)

20. *Efimenko S.V.* Obosnovanie raschetnykh znachenii kharakteristik glinistykh gruntov dlya proektirovaniya dorozhnykh odezhd avtomobil'nykh dorog (na primere Zapadnoi Sibiri): dis. ... kand. tekhn. nauk [Substantiation of calculated values of characteristics of clay soils for design of road pavements. PhD thesis]. Omsk, 2006. 217 p. (rus)
21. *Polishchuk A.I., Efimenko S.V.* Issledovaniya sostava i svoistv glinistykh gruntov raionov Zapadnoi Sibiri dlya naznacheniya ikh raschetnykh kharakteristik [Research of structure and properties of clay soils in West Siberia]. *Vestnik TSUAB*. 2005. No. 1. Pp. 213–220. (rus)
22. *Efimenko S.V., Kraevskii A.A., Churilin V.S.* Osobennosti genezisa, sostava i svoistv glinistykh gruntov Zapadnoi Sibiri [Genesis, structure and properties of clay soils in Western Siberia]. *Vestnik TSUAB*. 2014. No. 2. Pp. 177–181. (rus)
23. *Bobrova T.V., Efimenko S.V.* Otsenka ekonomicheskoi effektivnosti ucheta izmenchivosti geokompleksov pri proektirovanii dorozhnykh odezhd avtomobil'nykh dorog [Estimation of cost-efficiency of geocomplexes in pavement design]. *SibADI Journal*. 2013. No 4. Pp. 136–140. (rus)