

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

УДК 625.731.8

*ПЕТРОВА ПОЛИНА ЮРЬЕВНА, магистрант,
polina15060@yandex.ru*

*КАЛИНКИН МАКСИМ ЮРЬЕВИЧ, магистрант,
maxxkalinkin@gmail.com*

*БАДИНА МАРИЯ ВЛАДИМИРОВНА, канд. техн. наук,
mvbadina@yandex.ru*

*Томский государственный архитектурно-строительный университет,
634003, г. Томск, пл. Соляная, 2*

ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОРОЗОУСТОЙЧИВОСТИ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД НА ТЕРРИТОРИИ ОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Показаны недостатки методов расчёта дорожных одежд на морозоустойчивость, приведенных в ОДН 218.046-01. Приведены результаты дорожно-климатического районирования с учётом природно-климатических условий территории Омской области. Обоснован комплекс расчётных значений глинистых грунтов земляного полотна для проектирования нежестких дорожных одежд по условию морозоустойчивости. Установлено, что для рассматриваемых природно-климатических условий наиболее приемлем метод профессора Н.А. Пузакова. Рекомендованы оптимальные толщины морозоустойчивых конструкций дорожных одежд на территории Омской области.

Ключевые слова: земляное полотно; морозное пучение; глубина промерзания; коэффициент теплопроводности; дорожно-климатическое районирование.

*POLINA Yu. PETROVA, Undergraduate Student,
polina15060@yandex.ru*

*MAKSIM Yu. KALINKIN, Undergraduate Student,
maxxkalinkin@gmail.com*

*MARIA V. BADINA, PhD,
mvbadina@yandex.ru*

*Tomsk State University of Architecture and Building,
2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia*

FROST RESISTANCE OF ROAD PAVEMENTS IN THE OMSK REGION

The paper reveals shortcomings of design methods for frost resistance of road pavements given in the Industry Road Code 218.046-01. The results of road-climatic zoning are given with consideration of natural and climatic conditions of the Omsk region. The paper provides a proof for estimated values of clay soils of the subgrade for the flexible pavement design according to frost resistance conditions. It was found that Prof. Puzakov's method is the most appropriate for the natural and climatic conditions under study. The optimum thickness values are obtained for frost-resistant road pavements on the territory of the Omsk region.

Keywords: subgrade; frost heave; frost penetration; moisture conductivity; road-building climatic zoning.

На территории Западной Сибири, характеризующейся сезонным промерзанием грунтов земляного полотна при неблагоприятных грунтовых и гидрологических условиях, вместе с требуемой прочностью и устойчивостью дорожных одежд должна быть обеспечена их достаточная морозоустойчивость [1]. Действующие отраслевые дорожные нормы (ОДН) [2] для определения толщины морозозащитного слоя дорожной конструкции предусматривают возможность применения двух методов расчёта с учетом коэффициентов тепло- и влагопроводности. Однако предлагаемые методы имеют недостатки в части формирования банка исходных данных.

Для примера была рассчитана конструкция дорожной одежды, запроектированная на территории Омской области, состоящая из следующих конструктивных слоев: асфальтобетон мелкозернистый – 5 см, асфальтобетон крупнозернистый – 7 см, щебень по способу заклинки – 25 см, гравийно-песчаная смесь – 28 см. В результате расчета дорожной одежды с применением коэффициентов теплопроводности значение толщины морозозащитного слоя получили отрицательное, что говорит о нецелесообразности его устройства. По выполненным ранее исследованиям [3, 4] установлено, что на территории Западной Сибири преобладают пучинистые и сильнопучинистые грунты, что говорит о необходимости устройства морозозащитных слоев.

Рекомендуемые значения коэффициентов теплопроводности материалов (λ) дорожной одежды, а также грунтов земляного полотна, необходимые при проведении расчета и приведенные в табл. П.5.1 [2], установлены только с учетом плотности материалов. Однако известно, что значение коэффициента теплопроводности зависит также от таких параметров, как температура, плотность и влажность. Поэтому значения (λ), приведенные в ОДН, не являются корректными. Также не совсем корректно предлагаемое усреднение значений коэффициентов теплопроводности грунтов в мерзлом и талом состоянии. Следует отметить, что расчетные значения глубины промерзания грунтов можно определять по результатам региональных исследований. Но при отсутствии достоверных фактических данных значения характеристик рекомендуется принимать по карте изолиний, представленной в ОДН 218.046–01. Однако указанная карта специализирована для целей фундаментостроения и не может учитывать специфику работы дорожных конструкций в зимний период года.

Определение величины морозного пучения с применением коэффициента влагопроводности предусматривает последовательное определение сред-

ней осенней влажности, характеристики скорости промерзания, а также средней весенней влажности грунта рабочего слоя земляного полотна. При этом учитывается продолжительность периода весеннего влагонакопления ($t_{вл}$) и промерзания ($t_{пр}$), расчетное удаление верха земляного полотна от уровня грунтовых (или поверхностных) вод, характеристика суровости зимнего периода (σ), выражаемая суммой градусо-суток отрицательной температуры воздуха. Следует отметить, что в ОДН [2] приведены значения $t_{вл}$, $t_{пр}$ и σ всего для 65 пунктов России. При отсутствии в перечне нужного населенного пункта значения характеристик принимаются по ближайшему в географическом положении. Также в настоящий момент проведены единичные испытания по определению коэффициента влагопроводности грунта, поэтому корректно назначить эту величину не представляется возможным.

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что методы, приведенные в ОДН, не дают достоверных результатов. При этом [2] не запрещает применять другие методы расчета дорожных одежд по условию морозоустойчивости.

По результатам выполненных исследований установлено, что для территории Западной Сибири наиболее приемлем метод профессора Н.А. Пузакова. Однако для выполнения расчета необходимы статистические данные наблюдений на метеорологических станциях в местных грунтово-геологических условиях за длительностью и глубиной промерзания [5].

Сотрудниками кафедры «Автомобильные дороги» Томского государственного архитектурно-строительного университета обоснован комплекс расчетных значений глинистых грунтов земляного полотна для расчета дорожных одежд по условию морозоустойчивости для территории Омской области. Выполненные исследования базируются на учете особенностей протекания водно-теплового режима грунтов земляного полотна автомобильных дорог.

В процессе выполнения работы установлены границы дорожно-климатических зон (ДКЗ) и выделены дорожные районы, однородные по геоконтактам зонального, интразонального и регионального характера (рис. 1). В условиях равнинной территории Омской области отчетливо выражена широтная зональность. Наиболее холодной и переувлажненной является крайняя северная часть области. Избыточное увлажнение характерно для северной части исследуемой территории. Граница II–III ДКЗ соответствует линии перехода лесной зоны избыточного увлажнения в лесостепную зону со значительным увлажнением в отдельные годы. Граница III–IV ДКЗ – это линия перехода лесостепной зоны со значительным увлажнением в отдельные годы в степную зону с недостаточным увлажнением грунтов [6, 7].

Граница между выделенными дорожными районами обусловлена индивидуальными особенностями свойств грунтов. Так, во II ДКЗ выделено четыре дорожных района, в III и IV ДКЗ – по два дорожных района (рис. 1).

При обосновании комплекса расчетных значений глинистых грунтов земляного полотна для расчёта дорожных одежд по условию морозоустойчивости на территории Омской области была разработана карта-схема изолиний глубины промерзания грунтов земляного полотна (рис. 2, а). При этом были применены зависимости, полученные ранее при изучении водно-теплового

режима грунтов земляного полотна автомобильных дорог юго-восточной части Западной Сибири [8]:

$$Z_p = m \cdot \ln \theta_p + n, \quad (1)$$

где Z_p – расчётная глубина промерзания дорожной конструкции от низа дорожной одежды; θ_p – расчётная (исходя из «мягкой» зимы) сумма отрицательных температур воздуха за зиму, градусо-суток; $m = 425$ и $n = -1223,5$ – коэффициенты, установленные из условия наиболее полного соответствия расчётной глубины промерзания опытными данными.



Рис. 1. Дорожно-климатическое районирование территории Омской области (по результатам исследований ТГАСУ)

Расчётная сумма отрицательных температур устанавливается с определенной вероятностью за период между капитальными ремонтами дорожной одежды, исходя из «мягкой» зимы, и определяется по формуле [8]

$$\theta_p = \theta_{cp} - t \cdot \sigma, \quad (2)$$

где θ_{cp} – средняя многолетняя сумма отрицательных температур воздуха конкретного дорожного района, градусо-суток; σ – среднее квадратическое отклонение величины θ_{cp} ; t – нормативное отклонение сумм θ_{cp} .

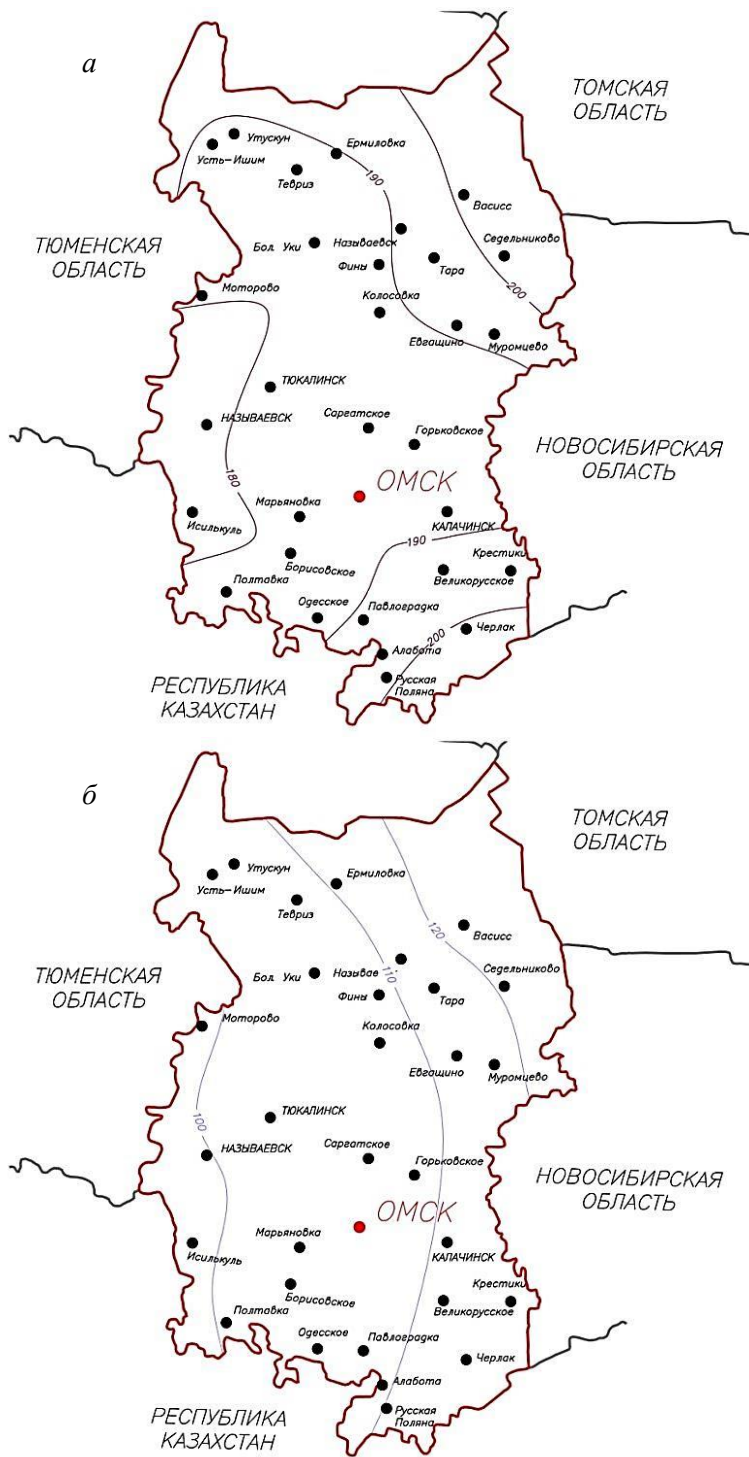


Рис. 2. Карта-схема изолиний: а – расчетной глубины промерзания дорожных конструкций Z_p , см; б – климатического коэффициента α_0 , $\text{см}^2/\text{сут}$

Исходя из полученных значений расчётной глубины промерзания, а также с учетом средней многолетней продолжительности промерзания грунта земляного полотна была определена величина климатического показателя α_0 [1] (рис. 2, б). При этом температура, соответствующая началу промерзания грунта земляного полотна, установлена на основе теплотехнического метода расчета дорожных одежд как слоистой системы. За конец периода промерзания принята дата наступления весной устойчивой температуры воздуха выше 0°C .

Комплексная характеристика грунта по степени пучинистости B назначена на основе сведений, полученных при испытании грунта на морозоустойчивость (табл. 1).

Таблица 1

**Характеристики пучинистости глинистых грунтов
на территории Омской области**

Индекс дорожно-го района	Комплексная характеристика грунта по степени пучинистости B , $\text{см}^2/\text{сут}$		
	Пучинистый	Сильнопучинистый	Чрезмернопучинистый
IV. P.1	5,6	9,8	14,0
III. P.2	4,6	8,1	11,6
II. P.4	5,7	9,9	14,2
II. P.2	5,2	9,2	13,1
II. P.1	4,5	7,8	11,2
II. P.3	4,5	7,8	11,2
III. P.1	4,6	8,0	11,4
IV. P.2	4,3–4,5	7,5–7,8	10,7–11,2

Комплекс расчетных значений характеристик глинистых грунтов земляного полотна обоснован для выделенных на территории Омской области дорожных районов (табл. 2).

Установлено, что на территории Омской области широко распространены пучинистые глинистые грунты. В связи с этим расчет конструкции дорожных одежд на морозоустойчивость следует выполнять отдельно для участков с глубоким (I и II типы местности по увлажнению) и с близким (III тип местности по увлажнению) залеганием грунтовых вод.

Для участков автомобильных дорог с глубоким залеганием грунтовых вод общую толщину стабильных слоев дорожной одежды Z_1 следует назначать по формуле проф. Н.А. Пузакова [9]:

$$Z_1 = Z_{\text{кр}} - \frac{(l_{\text{дон}} \cdot \alpha)}{(B \cdot \beta \cdot \gamma)}, \quad (3)$$

где $Z_{\text{кр}}$ – критическая глубина промерзания, в пределах которой пучение грунта оказывает влияние на неравномерность деформации покрытия дорожной одежды. Для глин и суглинков величина $Z_{\text{кр}}$ составляет 160 см, для тяжелых пылеватых суглинков $Z_{\text{кр}} = 140$ см; β – коэффициент, учитывающий гидрологические условия местности (для сухих мест $\beta = 1$, для сырых $\beta = 1,5$); γ – коэффициент, учитывающий конструкцию земляного полотна (для насыпей $\gamma = 1,0$, для выемок $\gamma = 1,5$).

Таблица 2

Расчетные значения характеристик промерзания грунтов земляного полотна для расчета дорожных одежд по условиям морозостойкости на территории Омской области

Индекс дорожного района	Административный пункт	Грунт земляного полотна	Расчётные характеристики			Расчётный уровень грунтовых вод, см
			Z _р , см	Z _{кр} , см	σ ₀ , см ² /сут	
IV. P.1	Черлак	Озерно-аллювиальные отложения: суглинки и глины, в основном пески. Элювиальные, делювиальные, озерно-аллювиальные отложения: лессовидные суглинки, супеси, лессы	214	140	140	300
III. P.2	Калачинск	Озерно-аллювиальные отложения: суглинки и глины, в основном пески. Элювиальные, делювиальные, озерно-аллювиальные отложения: лессовидные суглинки, супеси и лессы	196	150	116	290
	Омск		196	150	116	
II. P.4	Муромцево	Озерно-аллювиальные отложения: пылеватые супеси, суглинки, часто лессовидные	220	160	142	280
II. P.2	Васисс	Озерные и аллювиальные отложения: пески, лессы, глины, пылеватые супеси и суглинки, часто лессовидные	212	160	131	280
II. P.1	Тевриз	Аллювиальные, озерно-аллювиальные отложения первой и второй, третьей надпойменных террас р. Иртыш: пески, супеси и суглинки	196	160	112	260
	Тара		196	160	112	
II. P.3	Колосовка	Аллювиальные и озерно-аллювиальные отложения: пески, супеси, суглинки, пылеватые супеси, суглинки, часто лессовидные	196	160	112	260
III. P.1	Тюкалинск	Озерно-аллювиальные отложения: пески с прослоями супесей, суглинков и лигнитов. Элювиальные, делювиальные, озерно-аллювиальные отложения: лессовидные суглинки, супеси и лессы	194	160	114	270
IV. P.2	Полтавка	Озерно-аллювиальные отложения: глины, пески, супеси, пылеватые супеси, суглинки, часто лессовидные	193	140	107	300
	Одесское		197	140	112	

Для участков автомобильных дорог с близким залеганием уровня грунтовых вод общую толщину дорожной одежды, исходя из условия морозостойкости, следует определять по методу, разработанному в СоюздорНИИ [10].

Для дорожных районов, выделенных на территории Омской области в зависимости от разновидности грунта по степени пучинистости, установлены оптимальные толщины морозостойчивых дорожных одежд для 1 и 2, 3 типа местности по характеру и степени увлажнения (табл. 3).

Таблица 3

**Оптимальные толщины морозостойчивых дорожных одежд
на территории Омской области**

Грунт по степени пучинистости	Предлагаемые толщины дорожной одежды, см							
	3 тип местности по характеру и степени увлажнения/ 1 и 2 тип местности по характеру и степени увлажнения							
	индекс дорожного района							
	IV. P.1	III. P.2	II. P.4	II. P.2	II. P.1	II. P.3	III. P.1	IV. P.2
Пучинистый	75/ 60	85/ 69	96/ 80	95/ 79	96/ 80	96/ 80	96/ 81	77/ 62
Сильнопучинистый	103/ 94	113/ 104	123/ 114	123/ 114	123/ 114	123/ 114	123/ 114	104/ 95
Чрезмернопучинистый	114/ 108	124/ 118	134/ 128	134/ 128	134/ 128	134/ 128	134/ 128	115/ 109

Выполненные исследования по обоснованию расчетных характеристик глинистых грунтов земляного полотна на территории Омской области для расчёта дорожных одежд автомобильных дорог по условию морозостойкости позволят повысить уровень надежности транспортных сооружений и увеличить срок их службы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Стандартизация расчётных значений* характеристик глинистых грунтов Кузбасса для обеспечения качества проектирования автомобильных дорог / С.В. Ефименко, В.Н. Ефименко, М.В. Бадина, А.В. Сухоруков [и др.] // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2015. – № 5 (52). – С. 173–183.
2. *ОДН 218.046-01*. Проектирование нежестких дорожных одежд / Гос. служба дор. хоз-ва М-ва транспорта Российской Федерации. – М., 2001. – 148 с.
3. *Ефименко, В.Н.* Пути обеспечения эксплуатационной надёжности автомобильных дорог в природных условиях Сибири / В.Н. Ефименко, С.В.Ефименко, М.В. Бадина // Транспортное строительство. – 2007. – № 1. – С. 18–19.
4. *Чурилин, В.С.* Некоторые результаты испытания пучинистых свойств глинистых грунтов / В.С. Чурилин, В.П. Базуев, М.В. Бадина // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2014. – № 6 (47). – С. 191–196.
5. *Бадина, М.В.* Обеспечение качества проектирования дорожных конструкций на основе учёта региональных природно-климатических условий (на примере Западной Сибири) : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Омск, 2009. – 25 с.

6. *Ефименко, В.Н.* Учет региональных природно-климатических условий при уточнении норм проектирования автомобильных дорог / В.Н. Ефименко, С.В. Ефименко, М.В. Бадина // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2012. – № 1. – С. 14–17.
7. *Ефименко, С.В.* Дорожное районирование территории Западной Сибири: монография / С.В. Ефименко, М.В. Бадина. – Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2014. – 244 с.
8. *Ефименко, В.Н.* Водно-тепловой режим земляного полотна автомобильных дорог при глубоком промерзании грунтов (На примере Юго-Востока Западной Сибири) : дис. ... канд. техн. наук. – М., 1978. – 216 с.
9. *ВСН 46-83.* Инструкция по проектированию дорожных одежд нежесткого типа. – М. : Транспорт, 1985. – 157 с.
10. *Водно-тепловой режим* земляного полотна и дорожных одежд / под ред. И.А. Золотаря, Н.А. Пузакова, В.М. Сиденко. – М. : Транспорт, 1971. – 416 с.

REFERENCES

1. *Efimenko S.V., Badina M.V., Sukhorukov A.V., et al.* Standartizatsiya raschetnykh znachenii kharakteristik glinistykh gruntov Kuzbassa dlya obespecheniya kachestva proektirovaniya avtomobil'nykh dorog [Standardization of estimated values of clayey soil properties for the quality assurance in road design in Kuzbass]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2015. No. 5. Pp. 173–183. (rus)
2. *Industry Road Code 218.046-01. Proektirovanie nezhestkikh dorozhnykh odezhd. Gosudarstvennaya sluzhba dorozhnogo khozyaistva Ministerstva transporta Rossiiskoi Federatsii* [Design of nonrigid road clothes. Public service of road economy of the Ministry of Transport of the Russian Federation]. Moscow: Informavtodor Publ., 2001. 145 p. (rus)
3. *Efimenko V.N., Efimenko S.V., Badina M.V.* Puti obespecheniya ekspluatatsionnoi nadezhnosti avtomobil'nykh dorog v prirodnykh usloviyakh Sibiri [Practical ways forward in performance reliability of automobile roads under natural conditions of Siberia]. *Transportnoe stroitel'stvo. Transport Rossiiskoi Federatsii*. 2007. No. 1. Pp. 18–19. (rus)
4. *Churilin V.S., Bazuev V.P., Badina M.V.* Nekotorye rezul'taty ispytaniya puchinystrykh svoystv glinistykh gruntov [Test results of clayey soil heaving properties]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2014. No. 6. Pp. 191–196. (rus)
5. *Badina M.V.* Obespechenie kachestva proektirovaniya dorozhnykh konstruksii na osnove ucheta regional'nykh prirodno-klimaticheskikh uslovii (na primere Zapadnoi Sibiri) [Quality maintenance of road facility design allowing for regional climatic conditions (as exemplified by Western Siberia)]. Omsk, 2009. 25 p. (rus)
6. *Efimenko V.N., Efimenko S.V., Badina M.V.* Uchet regional'nykh prirodno-klimaticheskikh uslovii pri utocnenii norm proektirovaniya avtomobil'nykh dorog [Regional climatic conditions in design redulations for automobile roads]. *Nauka i tekhnika v dorozhnoi otrasli*. 2012. No. 1. Pp. 14–17. (rus)
7. *Efimenko S.V., Badina M.V.* Dorozhnoe raionirovanie territorii Zapadnoi Sibiri [Road zoning of the West Siberia territory]. Tomsk: TSUAB Publ., 2014. 244 p. (rus)
8. *Efimenko V.N.* Vodno-teplovoi rezhim zemlyanogo polotna avtomobil'nykh dorog pri glubokom promerzaniu gruntov (Na primere Yugo-Vostoka Zapadnoi Sibiri) [Water and thermal conditions of subgrades at deep soil freezing (South-East of Western Siberia case studies). PhD Thesis]. Moscow, 1978. 216 p. (rus)
9. *Industry building code 46-83 Instruksiya po proektirovaniyu dorozhnykh odezhd nezhestkogo tipa* [Regulations for flexible road pavements design]. Moscow: Transport Publ., 1985. 157 p. (rus)
10. *Zolotar' I.A., Puzakov N.A., Sidenko V.M.* Vodno-teplovoi rezhim zemlyanogo polotna i dorozhnykh odezhd. [Water and thermal balance of road subgrades and pavements]. Moscow: Transport Publ., 1971. 416 p. (rus)