

УДК 625.731.1.042.1/.2.001.5

ЧУРИЛИН ВЛАДИМИР СЕРГЕЕВИЧ, аспирант,
lex-16-2008@mail.ru
Томский государственный архитектурно-строительный университет,
634003, г. Томск, пл. Соляная, 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСТИМОЙ ВЕЛИЧИНЫ МОРОЗНОГО ПУЧЕНИЯ ГРУНТОВ*

Приведены результаты экспериментальных исследований по определению допустимой величины поднятия покрытия для асфальтовых бетонов при расчётной отрицательной температуре покрытия. Показаны зависимости изменения допустимой величины поднятия покрытия для асфальтовых бетонов при расчётной отрицательной температуре покрытия с учётом вида асфальтобетонной смеси и толщины дорожной одежды.

Ключевые слова: допустимая величина поднятия покрытия; асфальтобетонная смесь; морозоустойчивость; дорожная одежда.

VLADIMIR S. CHURILIN, Research Assistant,
lex-16-2008@mail.ru
Tomsk State University of Architecture and Building,
2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia

DETERMINATION OF ALLOWED VALUE OF FROST HEAVE IN SOILS

The paper presents results of experimental studies on the determination of the allowed value of frost heave in asphalt concrete coatings under estimated negative temperature. The dependences between the allowed value of frost heave in asphalt concrete coatings and the estimated negative temperature are obtained allowing for the type of asphalt mixture and the thickness of pavement.

Keywords: allowed value; frost heave; road concrete mix; frost resistance; pavement.

При формировании информационной базы в разрабатываемой в Томском государственном архитектурно-строительном университете технологии дорожно-климатического районирования, основанной на тестовых методах распознавания образов и средствах когнитивной графики, использован комплекс факторов, учитывающий территориальные особенности природно-климатических условий [1, 2]. Среди показателей, включённых в исходные данные для моделирования геокомплексами, важное место принадлежит характеристикам водно-физических свойств грунтов земляного полотна автомобильных дорог, в том числе влажности, пучению, глубине и скорости промерзания. К сожалению, некоторые показатели, включённые в информационную базу, например допустимая величина поднятия покрытия для асфальтовых бетонов $I_{\text{доп}}$, были установлены ещё в 60-е гг. прошлого столетия и не учитывают применяемые в практике современного дорожного строительства конструктивно-технологич-

* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №14-07-00673А.

ческие решения и материалы. Поэтому содержание статьи направлено на определение допустимой величины поднятия покрытия при наличии дорожной одежды из мелкозернистых асфальтовых бетонов типов А и Б.

В районах сезонного промерзания грунтов земляного полотна автомобильных дорог расчёт на прочность дорожных одежд дополняется расчётом их на морозоустойчивость по ОДН 218.046–01. Расчёт основан на рассмотрении неравенства

$$l_{\text{пуч}} < l_{\text{доп}}, \quad (1)$$

где $l_{\text{доп}}$ – допустимая величина поднятия покрытия; $l_{\text{пуч}}$ – расчётное ожидаемое поднятие поверхности покрытия дорожной одежды.

Допустимую величину поднятия покрытия для асфальтовых бетонов устанавливают исходя из обеспечения необходимой прочности покрытия в зимний период [3].

Для эксперимента были изготовлены 4 состава асфальтобетонной смеси по ГОСТ 9128 (тип А, тип Б, тип Б с добавкой 0,4 % УРМ, тип Б с добавкой 0,4 % РТЭП). Асфальтобетонные смеси приготовлены на битуме БНД 90/130 Омским НПЗ. Щебень и песок поставлен Сибирским центром логистики, минеральный порошок – ООО ТДЗК. Все материалы, необходимые для приготовления асфальтобетонных смесей, соответствуют требованиям стандартов.

Готовую смесь выдерживали в термостате при температуре 160 °С в течение 2 ч, затем перемешивали в течение 2–3 мин и формовали образцы в соответствии с ГОСТ 12801. Принятые составы асфальтобетонных смесей типа А и Б без добавок являются наиболее применяемыми для устройства дорожных одежд в Западной Сибири. В таблице приведены составы асфальтобетонных смесей.

Составы асфальтобетонных смесей

Материал	Тип смесей			
	Тип А марка I	Тип Б марка I	Тип Б марка I с добавкой УРМ	Тип Б марка I с добавкой РТЭП
	% по массе			
Щебень	50	38	38	38
Отсев дробления	38	50	50	50
Песок	3	3	2,8	2,8
Мин. порошок	4	4	3,8	3,8
Битум	5	5	5	5
УРМ	–	–	0,4	–
РТЭП	–	–	–	0,4

По нашим расчётам при постоянной надёжности $P = 0,95$ для достоверных результатов в одной точке должно быть не менее 4 измерений.

Эксперимент проводился на испытательной машине ИП 5150-50, фотографии образцов представлены на рис. 1, 2.



Рис. 1. Внешний вид образцов из мелкозернистого асфальтового бетона типа Б в поперечном профиле



Рис. 2. Внешний вид образца из мелкозернистого асфальтового бетона типа Б в испытательной машине ИП 5150-50

В результате обработки эмпирических данных получены зависимости, которые показаны на рис. 3, 4. Необходимо отметить, что дисперсия точек во всех статистических зависимостях незначительная (линейный коэффициент корреляции находится в пределах 0,98–0,97), что обеспечивает достаточную точность расчётов.

На рис. 3, 4 прослеживается криволинейная связь между предельной относительной деформацией, прочностью на изгиб и отрицательной температурой покрытия дорожных одежд из асфальтовых бетонов типа Б с применением модифицирующих добавок. Это объясняется геокриологическими особенностями материала.

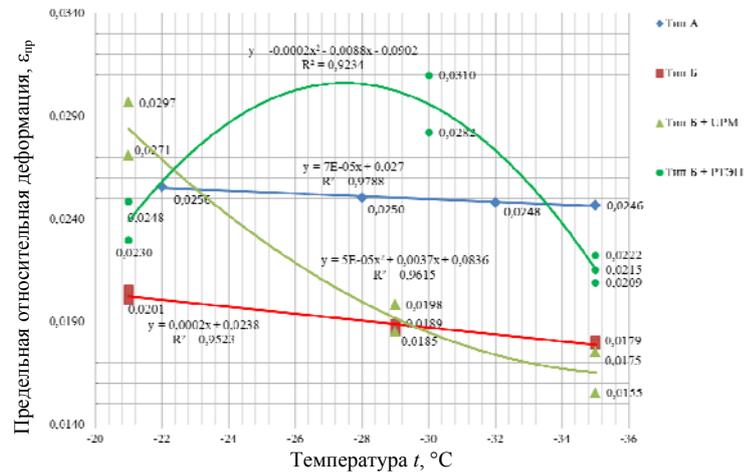


Рис. 3. Зависимость изменения предельной относительной деформации при отрицательных температурах покрытий дорожных одежд из мелкозернистых асфальтовых бетонов типов А и Б

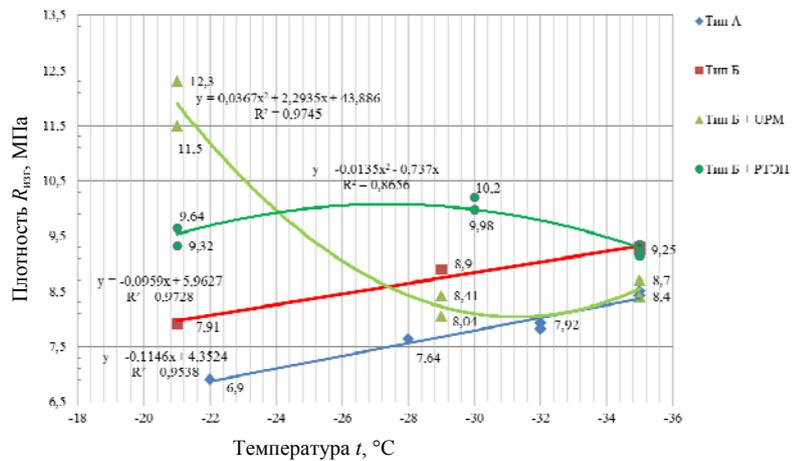


Рис. 4. Зависимость изменения прочности на изгиб при отрицательных температурах покрытий дорожных одежд из мелкозернистых асфальтовых бетонов типов А и Б

Приведённые зависимости (рис. 3, 4) показывают характер изменения прочности на изгиб и предельную относительную деформацию асфальтовых

бетонов в зависимости от типа асфальтобетонной смеси и значения отрицательной температуры покрытия в пределах от -20 до -35 °С.

При анализе результатов, представленных на рис. 3, 4, видно, что величина прочности на изгиб при отрицательной температуре для мелкозернистых асфальтовых бетонов типа Б без добавок выше, чем у типа А. В свою очередь, мелкозернистый асфальтовый бетон типа А показал большую предельную относительную деформацию в отличие от типа Б без добавок.

Таким образом, чем выше прочность асфальтовых бетонов без добавок на изгиб, тем ниже их морозоустойчивость. Однако асфальтовые бетоны с добавками не показали такой зависимости.

Известно, что наибольшее искривление покрытия под воздействием неравномерности пучения грунтов земляного полотна наблюдается в поперечном направлении относительно оси дороги и в несколько раз превосходит искривление в продольном направлении [4]. Учитывая это, при определении допускаемых величин поднятия покрытия для нежестких дорожных покрытий необходимо принять в качестве расчётной схемы изгиб балки толщиной H в поперечном направлении относительно продольной оси дороги. Критерием для установления допускаемых величин поднятия покрытия $l_{\text{доп}}$ служит предельное относительное удлинение материала ε при расчётной температуре покрытия.

Особый интерес представляет влияние отрицательной температуры покрытия на установление величины предельной относительной деформации при исследовании морозоустойчивости дорожных одежд в процессе промерзания и пучения грунтов земляного полотна [5].

Связь между ε и $l_{\text{доп}}$ была получена А.И. Шеслером [4] и определяется по эмпирическому уравнению

$$\varepsilon = 0,001 H (\eta l_{\text{доп}})^{0,734}, \quad (5)$$

где H – толщина дорожной одежды; η – коэффициент неравномерности поднятия покрытия.

Выразим из формулы (5) допускаемую величину пучения $l_{\text{доп}}$ и получим следующий вид уравнения:

$$l_{\text{доп}} = \frac{\varepsilon}{\sqrt[0,734]{0,001 H \eta^{0,734}}}. \quad (6)$$

В исследованиях В.Н. Ефименко [6] были получены значения коэффициента неравномерности поднятия грунтов земляного полотна автомобильных дорог Западной Сибири (при близком – 0,59 и глубоком залегании грунтовых вод – 0,71 с обеспеченностью 0,95).

В технических условиях Superpave [7] для определения минимальной расчётной температуры покрытия T_{min} предложена следующая эмпирическая зависимость:

$$T_{\text{min}} = 0,859 T_{\text{air}} + 1,70 \text{ °С}, \quad (7)$$

где T_{air} – минимальная температура воздуха.

Определение расчётных значений температуры покрытия по формуле из технических условий Supergave представляется более обоснованным и апробированным [8]. Для Томска расчётная температура покрытия по формуле (7) составляет $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ с обеспеченностью 0,98.

Подставив в уравнение (6), полученное экспериментальным путём предельное относительное удлинение для различных видов асфальтобетонных покрытий при пониженных температурах, построим графики (рис. 5, 6).

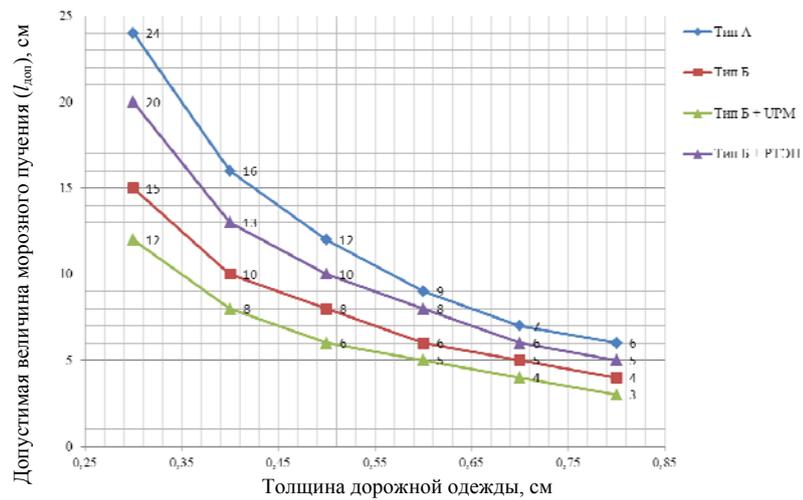


Рис. 5. Зависимость изменения допустимой величины поднятия покрытия от толщины дорожной одежды при расчётной температуре покрытия $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ для глубокого залегания грунтовых вод

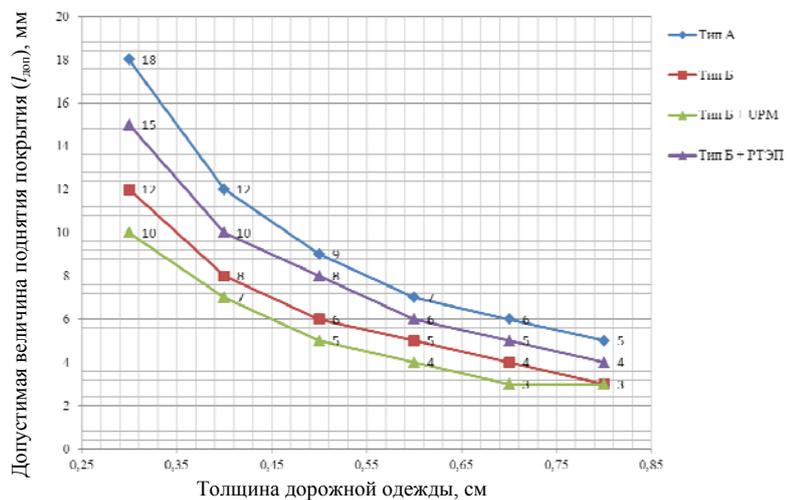


Рис. 6. Зависимость изменения допустимой величины поднятия покрытия от толщины дорожной одежды при расчётной температуре покрытия $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ для близкого залегания грунтовых вод

Представленные результаты эксперимента показывают, что при учёте ряда факторов (расчётная температура покрытия, близкое залегание грунтовых вод и толщина дорожной одежды) допустимая величина поднятия покрытия при толщине дорожной одежды в 60 см, например, при мелкозернистом асфальтовом бетоне типа Б и расчётной температуре покрытия -35 °С составляет 0,5 см. Из графика (рис. 5, 6) видно, что капитальные типы дорожных одежд более чувствительны к допустимой величине поднятия покрытия в сравнении с облегченными. Для них величина допустимой величины поднятия покрытия меньше примерно на 45 %. Это согласуется с данными А.И. Шеслера [9].

Сопоставив результаты ранее проведённых исследований [5] и представленных нами, отметим, что допустимая величина поднятия покрытия для асфальтобетона соответствует 1,2 см при расчётной температуре покрытия -25 °С и толщине дорожной одежды 60 см. По результатам наших экспериментов при схожих условиях допустимая величина поднятия покрытия для асфальтовых бетонов типа Б составляет 0,7 см при глубоком залегании грунтовых вод и 0,5 см – при близком. Значительная разница в значениях свидетельствует о необходимости дополнительного учёта ряда факторов (расчётной температуры покрытия, типа асфальтового бетона, уровня залегания грунтовых вод, толщины дорожной одежды) при проектировании дорожных одежд по условию морозоустойчивости. Известно, что при проектировании нежестких дорожных одежд по ОДН 218.046–01 принимают значение допустимой величины поднятия покрытия, равное 4 см. Выявленные несоответствия при формировании базы данных для расчётов свидетельствуют о недостаточном качестве проектируемых дорожных одежд и не обеспеченной по критерию «работоспособность» надёжности эксплуатируемых автомобильных дорог, особенно во вновь осваиваемых районах России.

Результаты дальнейших исследований по определению допустимой величины поднятия поверхности покрытия позволят назначать оптимальные толщины дорожных одежд по условию морозоустойчивости с учётом особенностей водно-теплового режима земляного полотна автомобильных дорог, например, в Западной Сибири.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Ефименко, С.В.* Учёт территориальной однородности географических комплексов при проектировании автомобильных дорог / С.В. Ефименко // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2015. – № 3. – С. 226–236.
2. *К обоснованию* территориального распространения границы II–III дорожно-климатических зон в Западно-Сибирском регионе / В.Н. Ефименко, С.В. Ефименко, А.В. Сухоруков, Т.А. Кожухарь // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2014. – № 5. – С. 133–143.
3. *Чурилин, В.С.* Расчётные характеристики глинистых грунтов для проектирования дорожных одежд по условию морозоустойчивости в Западно-Сибирском регионе / В.С. Чурилин // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2013. – № 4. – С. 291–294.
4. *Шеслер, А.И.* Определение допускаемого пучения земляного полотна для нежестких дорожных одежд / А.И. Шеслер // Автомобильные дороги. – 1968. – № 4. – С. 17–18.

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. *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.
7. *Superpave Mix Design*, Superpave Series №2, Asphalt Institute, 1996 – 172 p.
8. *Телтаев, Б.Б.* Учёт климатических условий эксплуатации при выборе битума для асфальтобетонных смесей / Б.Б. Телтаев, Е.В. Каганович, Г.Г. Измайлова // Наука и технологии в дорожной отрасли. – 2008. – № 2. – С. 17–20.
9. *Шеслер, А.И.* Неравномерность деформации нежестких дорожных одежд под воздействием пучения-осадки грунтов: дис. ... канд. техн. наук. – М., 1968. – 181 с.

REFERENCES

1. *Efimenko S.V.* Uchyot territorialnoj odnorodnosti geograficheskikh kompleksov pri proektirovani avtomobilnyh dorog [Territorial homogeneity of geographic complexes in design of automobile roads]. *Vestnik TSUAB*, 2015. No. 3. Pp. 226–236. (rus)
2. *Efimenko V. N., Efimenko S.V., Suhorukov A.V., Kozhuhar T.A.* K obosnovaniyu territorialnogo rasprostraneniya granicy II III dorozhno klimaticheskikh zon v Zapadno Sibirskom regione [Rationale for boundaries of climatic zones II-III in West Siberia]. *Vestnik TSUAB*, 2014. No. 5. Pp. 133–143. (rus)
3. *Churilin V.S.* Raschyotnye karakteristiki glinistykh gruntov dlya proektirovaniya dorozhnykh odezhd po usloviyu morozoustojchivosti v Zapadno Sibirskom regione [Frost resistant pavement design in West Siberian region]. *Vestnik TSUAB*, 2013. No. 4. Pp. 291–294. (rus)
4. *Shesler A.I.* Opredelenie dopuskaemogo pucheniya zemlyanogo polotna dlya nezhyostkih dorozhnykh odezhd [Determination of permissible value of heaving subgrade for non-rigid pavements]. *Avtomobilnye dorogi*. 1968. No. 4. Pp. 17–18. (rus)
5. *Zolotar' I.A., Puzakov N.A., Sidenko V.M.* Vodno-teplovoy rezhim zemlyanogo polotna i dorozhnykh odezhd [Water and thermal balance of road subgrades and pavements]. Moscow : Transport Publ., 1971. 416 p. (rus)
6. *Efimenko V.N.* Vodno-teplovoy rezhim zemlyanogo polotna avtomobil'nykh dorog pri glubokom promerzani 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)
7. *Superpave Mix Design*, Superpave Series N 2, Asphalt Institute, 1996. 172 p.
8. *Teltaev B.B., Kaganovich E.V., Izmajlova G.G.* Uchyot klimaticheskikh usloviy ehkspluatacii pri vybore bituma dlya asfaltobetonnnyh smesei [The climatic conditions at the selection of bitumen for asphalt mixes]. *Nauka i tekhnologii v dorozhnoj otrasli*. 2008. No.2. Pp. 17–20. (rus)
9. *Shesler A.I.* Neravnomernost deformacii nezhyostkih dorozhnykh odezhd pod vozdejstviem pucheniya osadki gruntov: dis. ... kand. tekhn. nauk [The uneven deformation of non-rigid pavements under the influence of heaving-soil settling. PhD thesis]. Moscow: 1968. 181 p. (rus)