

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

2018, №3, Том 5 / 2018, No 3, Vol 5 <https://t-s.today/issue-3-2018.html>

URL статьи: <https://t-s.today/PDF/10SATS318.pdf>

DOI: 10.15862/10SATS318 (<http://dx.doi.org/10.15862/10SATS318>)

Статья поступила в редакцию 09.07.2018; опубликована 27.08.2018

Ссылка для цитирования этой статьи:

Шорин В.А., Каган Г.Л., Вельсовский А.Ю. К вопросу определения деформации морозного пучения грунта дорожных конструкций разными методами // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», 2018 №3, <https://t-s.today/PDF/10SATS318.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/10SATS318

For citation:

Shorin V.A., Kagan G.L., Velsovsky A.Yu. (2018). To a question of definition of deformation of frosty heaving of soil of road designs by different methods. *Russian journal of transport engineering*, [online] 3(5). Available at: <https://t-s.today/PDF/10SATS318.pdf> (in Russian). DOI: 10.15862/10SATS318

УДК 625.7

ГРНТИ 67.03.03

Шорин Владимир Александрович

ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет», Вологда, Россия
Доцент кафедры «Автомобильные дороги»
Доктор химических наук, профессор
E-mail: shorin.ru@ya.ru

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=108100

Каган Георгий Лазаревич

ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет», Вологда, Россия
Доцент кафедры «Автомобильные дороги»
Кандидат геолого-минералогических наук
E-mail: nrcmp@ya.ru

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=616580

Вельсовский Анатолий Юрьевич

ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет», Вологда, Россия
Доцент кафедры «Автомобильные дороги»
Кандидат технических наук
E-mail: v2u@ya.ru

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=616228

К вопросу определения деформации морозного пучения грунта дорожных конструкций разными методами

Аннотация. В статье отмечается актуальность вопросов обеспечения морозоустойчивости сооружений, в том числе и дорожных, в связи почти повсеместным распространением явления морозного пучения на территории Российской Федерации. Рассматривается вопрос о известных методах определения расчетной характеристики морозного пучения грунта, которая является исходной характеристикой расчета сооружений на морозоустойчивость. Состав этих методов включает нормативный метод, метод ВоГУ в двух вариантах и метод института РОСДОРНИИ. Эти методы представлены в виде блок-схемы с

подробным описанием отдельных блоков. Отмечены недостатки нормативного метода, которые приводят в отдельных случаях к недопустимым для инженерной практики погрешностям. Метод ВоГУ в первом варианте основывается только на использовании данных лабораторных испытаний и построении эпюры интенсивности морозного пучения. Во втором варианте метода ВоГУ характер эпюры интенсивности принимается на основе данных многолетних натурных испытаний, выполненных В.О. Орловым, в методе института РОСДОРНИИ эпюра интенсивности морозного пучения принимается постоянной по глубине промерзания. Для конкретного примера дорожной конструкции выполнено определение высоты морозозащитного слоя. В выводах к статье отмечается, что перспективным направлением является метод ВоГУ (второй вариант) который требует дальнейшей разработки и совершенствования.

Ключевые слова: морозное пучение; деформация морозного пучения; интенсивность морозного пучения; нормативный метод; метод ВоГУ; метод РОСДОРНИИ

На большей части территории Российской Федерации природно-климатические условия благоприятны для развития процессов морозного пучения. Негативное воздействие этого явления при строительстве различных сооружений, в том числе транспортных, учитывается с использованием специальных методик, обеспечивающих их морозоустойчивость. Исходной характеристикой, обеспечивающей их реализацию, является расчетная величина деформации морозного пучения. Известные методы определения этой характеристики, применительно к дорожному строительству, рассматриваются нами в настоящей статье.

Нормативная методика определения расчетной характеристики морозного пучения разработана в 70-х годах прошлого века. Теоретической основой для нее послужило решение Н.А. Пузакова [1], которое было доведено до практического применения коллективом сотрудников института ЛенСоюзДОРНИИ под руководством М.Б. Корсунского [2].

Эта методика без принципиальных изменений используется в действующих нормах и в настоящее время, в частности, ОДН 218.046-01¹. На рисунке 1 приведена блок-схема этого метода расчета.

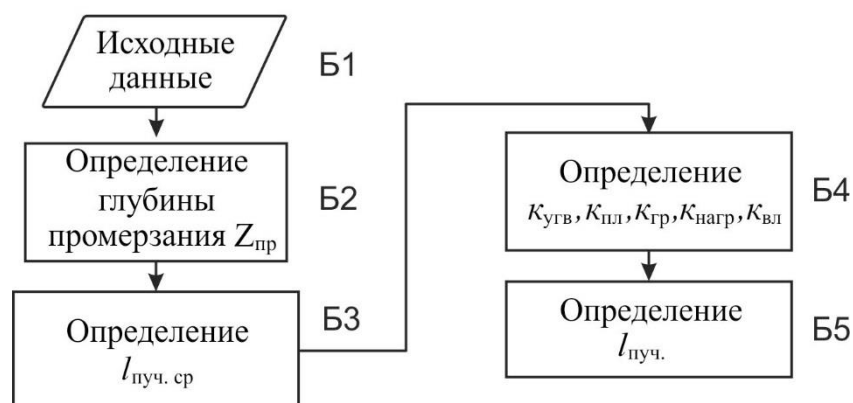


Рисунок 1. Блок-схема нормативной методики определения расчетной характеристики морозного пучения по ОДН 218.046-01 (составлено/разработано автором)

¹ ОДН 218.046-01. Проектирование нежестких дорожных одежд [Текст]. – Введ. 2000-12-20. – М.: Информавтодор, 2001. – 144 с.

Содержание блоков:

Б1. Блок включает, необходимые для выполнения расчетов, исходные данные: категорию дороги; район проектирования; тип дорожной одежды; дорожно-климатическую зону; тип местности по условиям увлажнения; характеристики грунта рабочего слоя, в том числе и морозного пучения; конструкцию дорожной одежды по условию прочности; допускаемая деформация морозного пучения поверхности дорожного покрытия для данной конструкции.

Б2. $Z_{пр}$ допускается определять следующим способом:

1. по данным натурных наблюдений;
2. по формуле $Z_{пр} = 1,38 \cdot Z_{пр}^{cp}$, где $Z_{пр}^{cp}$ находят по карте изолиний приведенной в ОДН 218.046-01.

Б3. $l_{пуч}^{cp}$ – величина морозного пучения при осредненных условиях. Определяется по графикам норм при $Z_{пр} = 1,0, 1,5, 2,0$ м. Если $Z_{пр} = 2$ до 3 м, то $l_{пуч}^{cp}$ рассчитывается по формуле: $l_{пуч}^{cp} = l_{пуч, 2,0}^{cp} \cdot [a + b(Z_{пр} - c)]$, где $l_{пуч, 2,0}^{cp}$ – величина пучения определяемая по графику $Z_{пр} = 2,0$ м, а, b, c – коэффициенты рекомендуемые нормами.

Б4. Коэффициенты $K_{угв}$, $K_{пл}$, $K_{гр}$, $K_{нагр}$, $K_{вл}$ – определяются по рекомендациям (графикам, таблицам) норм.

Б5. Расчетная величина морозного пучения определяется из выражения: $l_{пуч} = l_{пуч}^{cp} \cdot K_{угв} \cdot K_{пл} \cdot K_{гр} \cdot K_{нагр} \cdot K_{вл}$.

К существенному недостатку данной методики относится точность определения степени пучинистости грунта. В настоящее время она оценивается, в основном, косвенными методами, что допускается действующими нормами. Очевидно, это связано с отсутствием стандартного оборудования для проведения лабораторных испытаний на морозное пучение. Также отмечалось, что по рекомендации Технического комитета по мерзлым грунтам Международного общества по механике грунтов геотехнике и фундаментостроению это определение характеризуется для песчаных грунтов (первый уровень оценки) как грубое, для глинистых грунтов (второй уровень оценки) как приближенное. Подобное заключение подтверждают результаты испытаний на морозное пучение различных видов грунтов, выполнявшихся в специализированной лаборатории ВоГУ [3, 4]. Данная лаборатория создана при кафедре автомобильных дорог ВоГУ и оснащена установками для испытания на морозное пучение собственной конструкции [5, 6, 7]. Общие сведения о лаборатории приведены в работах [4, 8, 9].

Принципиально новый метод был предложен авторами и впервые опубликован в работе [10]. В основу предлагаемого метода положена гипотеза о том, что лабораторные испытания грунта на морозное пучение, в соответствии с требованиями ГОСТ 28622-2012², обеспечивают моделирование процессов пучения грунта в натуральных условиях. Как отмечали разработчики данного ГОСТа, результаты лабораторных испытаний по определению величины деформации морозного пучения отличаются от натуральных на 10-15 %, что считается приемлемым для решения практических задач. Данная гипотеза позволяет считать, что определяемая при лабораторных испытаниях величина изменения интенсивности морозного пучения по глубине промерзания образца соответствует ее изменению в натуральных условиях.

² ГОСТ 28622-2012. Грунты. Метод лабораторного определения степени пучинистости. – Введ. 01.11.2013. – Москва: Стандартинформ, 2013. – 9 с.

Под интенсивностью морозного пучения (f) понимают отношение:

$$f = \frac{dl_{\text{пуч}}}{dz_{\text{пр}}},$$

где: $dl_{\text{пуч}}$ – приращение деформации морозного пучения, вызванное приращением глубины промерзания $dz_{\text{пр}}$ (рисунок 2).

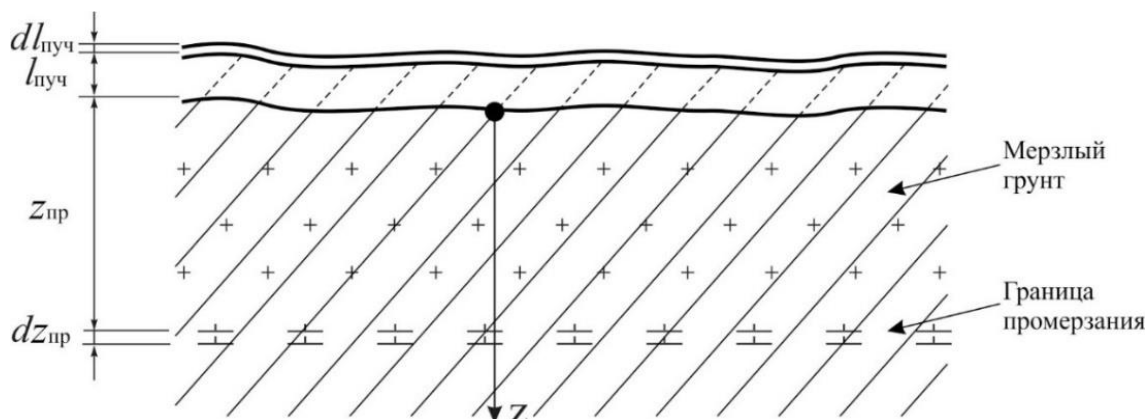


Рисунок 2. Характеристики морозного пучения (составлено/разработано автором)

Заимствованный из работы [11] общий вид этой эпюры для однородного грунта приведен на рисунке 3. Как следует из определения интенсивности площадь этой эпюры равна деформации морозного пучения промерзшего слоя грунта.

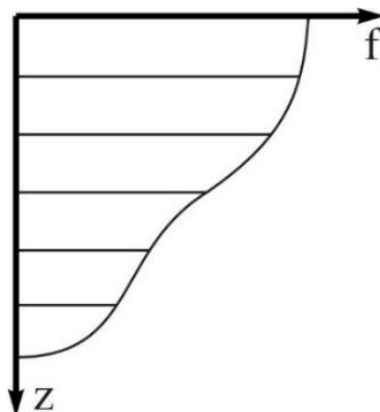


Рисунок 3. Общий вид эпюры интенсивности морозного пучения по глубине промерзания [11]

При решении практических задач обычно используется осредненное значение интенсивности морозного пучения, которое называют относительной деформацией морозного пучения (ϵ_{fh}). Ее находят как отношение деформации морозного пучения к глубине промерзания. В отличие от интенсивности морозного пучения величина относительной деформации (ϵ_{fh}) постоянна по глубине промерзания.

В соответствии с предложенной гипотезой о возможности моделирования интенсивности морозного пучения при проведении лабораторных испытаний предлагается новый метод по определению расчетной деформации пучения дорожной конструкции.

Блок-схема этого метода приведена на рисунке 4.



Рисунок 4. Блок-схема к определению расчетной деформации дорожной конструкции (составлено/разработано автором)

Рассмотрим подробнее состав входящих в эту схему блоков. Блок Б1 помимо традиционных исходных данных, необходимых для проверки на морозоустойчивость (категория дороги, глубина промерзания и т. п.) должен содержать материалы лабораторных испытаний грунта на морозное пучение, в том числе график нарастания деформации морозного пучения (S^n) во времени (t) в процессе промерзания образца.

В блоке Б2 приводится конструкция автомобильной дороги, для которой определяется расчетная величина пучения. Предварительные параметры этой конструкции принимаются по результатам расчета ее на прочность.

В блоке Б3 по материалам лабораторных испытаний строят графики изменения во времени (t) глубины промерзания образца (h^{np}) и деформации пучения (S^n). При построении первого графика $h^{np} = \varphi_2(t)$ используются результаты экспериментальных исследований, которые, позволяют аппроксимировать ее линейной зависимостью. Зная время промерзания образца на всю его высоту, можно построить данный график.

Для построения второго графика $S^n = \varphi_1(t)$ используются результаты измерений при лабораторных испытаниях. Отдельные характерные участки этого графика количеством не более 4-5 аппроксимируются линейной зависимостью. Зная время промерзания каждого из характерных участков, по первому графику определяется, соответствующая этому участку, длина промерзающей части образца.

В блоке Б4 для каждого выделенного участка по высоте образца определяется его длина h_i^{np} и величина морозного пучения S^n вызванная промерзанием данного участка. По этим данным для каждого участка определяется интенсивность пучения $f_i = S_i^n / h_i^{np}$ и строится график $f_i = \varphi_3(h^{np})$, причем по оси ординат откладывается глубина промерзания в процентах от длины образца.

В блоке Б5 производится расчет деформации морозного пучения покрытия (S^n) при промерзании дорожной конструкции. При ее расчете для каждого слоя принимается его мощность в процентах по высоте от полной глубины промерзания. Устанавливают осредненную интенсивность (относительную деформацию) каждого слоя (f_i) дорожной конструкции. Принято считать, что слои дорожной одежды без учета морозозащитного слоя устраиваются из непучинистых материалов, т. е. их осредненная интенсивность равна 0. Осредненная интенсивность песчаного грунта, используемого для устройства морозозащитного слоя, принимается по данным лабораторных определений.

Нижняя часть дорожной конструкции относится к земляному полотну или рабочему слою. Осредненная интенсивность его слоев, входящих в эту часть, принимается по графику $f_i = \varphi_3(h_i^{np})$, построение которого рассматривалось в блоке Б4.

Деформация морозного пучения каждого слоя находится из выражения:

$$S_i^n = f_i \cdot h_i^{np},$$

где: h_i^{np} высота рассматриваемого слоя. Деформация морозного пучения дорожной конструкции в пределах глубины промерзания находится суммированием деформации морозного пучения каждого из слоев.

Для упрощения методики построения эпюр предлагается использовать материалы натуральных экспериментальных исследований, изложенных в работе [11]. Эти исследования позволяют выделить характерные эпюры интенсивности морозного пучения для двух случаев в зависимости от распределения предзимней влажности в грунте (W) по глубине промерзания ($Z_{пр}$) и залегания грунтовых вод.

Первый случай соответствует близкому залеганию грунтовых вод к промерзающему грунту, а второй случай – их глубокому залеганию. Соответствующие графики распределения влажности (W) и интенсивности морозного пучения (f) приведены для первого случая на рисунке 5а, а для второго – на рисунке 5б.

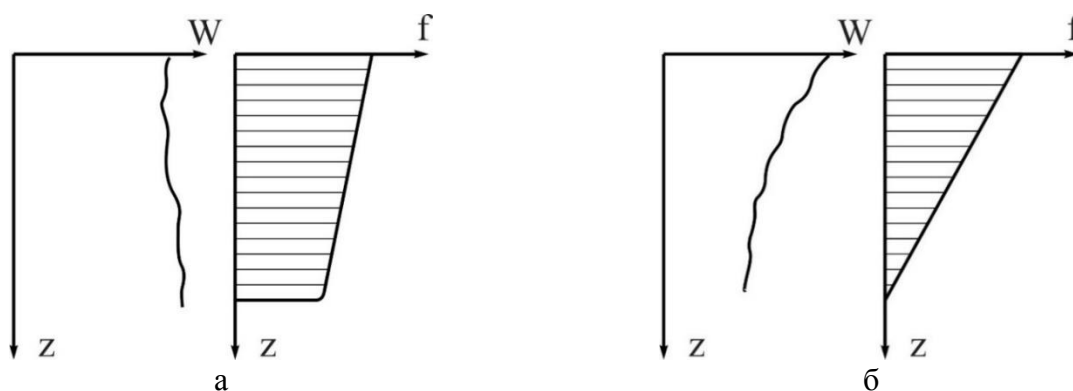


Рисунок 5. Характерные эпюры интенсивности морозного пучения:
а – при близком залегании грунтовых вод к промерзающему грунту, б – при глубоком залегании грунтовых вод к промерзающему грунту [11]

Отметим, что применительно к дорожной конструкции первый случай соответствует пониженным участкам рельефа при высоком расположении грунтовых вод. Такие участки дороги обычно относят к пучиноопасным. Второй случай характерен для равнинных участков при устройстве дорог в насыпи и расположении горизонта грунтовых вод на глубине более 1,5 метров от поверхности. Этот случай чаще всего встречается в практике дорожного строительства.

Вид эпюры интенсивности для данного случая (рис. 5б) позволяет упростить расчет дорожной конструкции на морозоустойчивость по методу ВоГУ.

В этом случае для построения треугольной эпюры интенсивности морозного пучения по данным лабораторных испытаний требуется знать только ее ординату (f_0) в верхних слоях грунта. При проверке на морозоустойчивость необходимо знать конструкцию дорожной одежды по условию прочности и степень пучинистости грунта морозозащитного слоя. Если морозозащитный слой выполнен из непучинистого грунта, то высота слоя земляного полотна ($Z_{зп}$), при промерзании которого деформация пучения дорожной конструкции равна допустимой, определяется из выражения:

$$Z_{зп} = \sqrt{\frac{2l_{доп}}{tg\beta}},$$

где: $l_{доп}$ – допускаемое для данной конструкции пучение грунта; β – угол наклона графика интенсивности морозного пучения к вертикали (см рис. 6а).

Если морозозащитный слой устраивается из пучинистого материала, то величина $Z_{зп}$ определяется подбором. Эпюры интенсивности морозного пучения для этих двух случаев дорожной конструкции приведены на рисунках 6в и 6с.

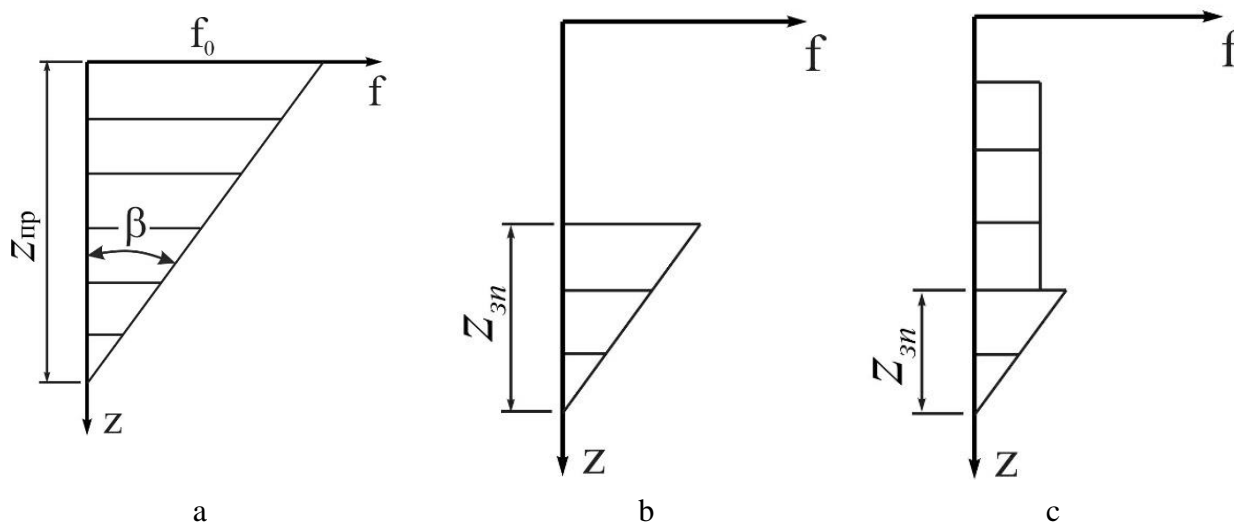


Рисунок 6. Эпюры интенсивности морозного пучения:

а – для однородного грунта, в, с – при устройстве морозозащитного слоя из непучинистого и пучинистого грунта (составлено/разработано автором)

Принципиально новый метод расчета на морозоустойчивость дорожного покрытия предложен А.М. Кулижниковым (РОСДОРНИИ), изложенный им в второй редакции ПНСТ «Дороги автомобильные общего пользования с низкой интенсивностью движения. Дорожная одежда. Конструирование и расчет», 2017 г.

В этом стандарте проверка на морозоустойчивость предлагается выполнять только для дорожных одежд переходного типа. Дорожные одежды низшего типа на морозоустойчивость не проверяются.

Приведем блок-схему определения расчетной величины морозного пучения грунта земляного полотна (рисунок 7).

Приведем содержание указанных блоков.

Блок Б1 помимо стандартных исходных данных, необходимых для проектирования автомобильной дороги, должен включать высоту дорожной одежды по условию прочности ($Z_{до}$), допустимую деформацию по условию морозного пучения ($l_{доп}$), характеристики морозного пучения грунта основания, в том числе интенсивность морозного пучения f .

Блок Б2 включает определение глубины промерзания ($Z_{пр}$). Ее рекомендуется устанавливать по данным натуральных наблюдений или по формуле $Z_{пр} = 1,38 \cdot Z_{пр}^{cp}$, где $Z_{пр}^{cp}$ – средняя глубина промерзания для данного региона, устанавливается по карте изолиний (см ОДН 218.046-01).

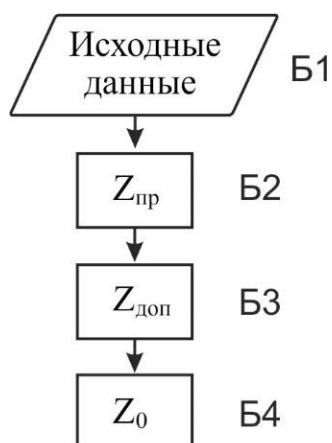


Рисунок 7. Блок-схема к расчету дорожного покрытия по методу РОСДОРНИИ (составлено/разработано автором)

В блоке **Б3** устанавливается допустимая глубина промерзания грунта земляного полотна ($Z_{доп}$) по формуле $Z_{доп} = \frac{l_{доп}}{f}$, значения $l_{доп}$ и f приведены в Б1.

В блоке **Б4** устанавливается высота дорожной конструкции (Z_0) с учетом допустимой глубины промерзания земляного полотна, т. е. $Z_0 = Z_{до} + Z_{доп}$, где $Z_{до}$ – толщина дорожной одежды по условию прочности (см. Б1).

Представляет интерес для конкретного примера сравнить результаты расчетов на морозоустойчивость дорожной конструкции методами: нормативным (по ОДН218.046.01), методу ВоГУ, методу РОСДОРНИИ. Эти расчеты выполнялись для определения толщины морозозащитного слоя дорожной конструкции нежесткого типа при следующих исходных данных.

Исходные данные для расчета конструкций дорожных одежд нежесткого типа: категория дороги 3; район проектирования Вологодская область; тип дорожной одежды капитальный; дорожно-климатическая зона II-1; тип местности по увлажнению 3; уровень надежности 0,95; общее число полос 2; номер расчетной полосы 1; тип расчетной нагрузки А1; грунт рабочего слоя – супесь легкая; нормативная глубина промерзания грунта для супеси, 1,8 м; Нарастание деформации морозного пучения грунта рабочего слоя во времени по данным лабораторных испытаний приведено в таблице 2.

Таблица 2

Время, час	0	1,3	3,5	26	27,4	49,1	51,1	97,3	99,8	101,2	110	122	134
hp, мм	0	0,02	0,64	5,22	5,49	7,12	7,23	11,14	11,17	11,37	11,4	11,4	11,6

Составлено/разработано автором

Расчеты выполнялись с учетом требуемого модуля упругости конструкции – 200 МПа. Расчетная нагрузка для группы А1 составляла: нагрузка на ось – 100 кН, диаметр следа колеса – 37 см, распределенная нагрузка – 0,6 МПа.

Основываясь на этих исходных данных, выполнялся расчет дорожной одежды нежесткого типа на морозоустойчивость по методикам: нормативной, в соответствии с ОДН 218.046-01, предложенной ВоГУ и по методу РОСДОРНИИ.

Таблица 3

Результаты расчета

№	Наименование методики расчета	Высота морозозащитного слоя в конструкции дорожной одежды, см
1	Нормативная (по ОДН 218.046-01)	31
2	Метод ВоГУ	60
3	Упрощенный метод ВоГУ	65
4	Метод РОСДОРНИИ	156

Составлено/разработано автором

Как следует из таблицы для рассматриваемого примера минимальная толщина морозозащитного слоя установлена при применении нормативной методики.

В заключение считаем необходимым отметить:

1. Как показал выполненный нами ранее анализ нормативной методики [3, 4] в ней не учитываются результаты новейших исследований в данной области. Это в ряде случаев приводит к погрешностям, которые представляются недопустимыми для инженерной практики.
2. Перспективным направлением по разработке расчетной методики определения деформации пучения дорожной конструкции является использование материалов многолетних натуральных исследований по определению эпюры интенсивности морозного пучения [11]. Это направление требует дальнейшей разработки и совершенствования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Золотарь, И.А. Водно-тепловой режим земляного полотна и дорожных одежд [Текст]: учебник / И.А. Золотарь, Н.А. Пузаков, В.М. Сиденко. – Москва: Транспорт, 1971. – 416 с.
2. Корсунский М.Б. Основы комплексного проектирования конструкций дорожных одежд и земляного полотна [Текст]. Дисс. докт. техн. наук. Л., 1970. – 557 с.
3. Каган, Г.Л. О соответствии результатов оценки степени пучинистости грунта косвенными и лабораторными методами [Текст] / Г.Л. Каган, В.А. Шорин, А.Ю. Вельсовский // Научное издание, из списка ВАК «Дороги и мосты». – М.: РОСДОРНИИ. – 2015. – Вып. 33/1 – С. 67-83.
4. Каган, Г.Л. Разработки в области строительства сооружений на сезоннопромерзающих грунтах: монография [Текст] / Г.Л. Каган, В.А. Шорин, А.Ю. Вельсовский; М-во обр. и науки РФ, Вологод. гос. ун-т. – Вологда: ВоГУ, 2016. – 184 с.
5. Пат. 2021600 Российская Федерация, МПК G01 N33/38. Устройство для испытания материалов на морозоустойчивость [Текст] / Малышев П.В., Каган Г.Л., Шорин В.А. // Опубликовано: 15.10.1994 Бюл. 19.
6. Пат. 2313788 Российская Федерация, МПК G01 N33/38. Автономное устройство для испытания грунта на морозоустойчивость [Текст] / Шорин В.А., Каган Г.Л., Вельсовский А.Ю. // Б.И. – 2007. – № 36.
7. Пат. 2319145 Российская Федерация, МПК G01 N33/38. Автономное устройство для испытания грунта на морозоустойчивость [Текст] / Шорин В.А., Каган Г.Л., Вельсовский А.Ю. // Б.И. – 2008. – № 7.
8. Шорин, В.А. Новый прибор для диагностики и метод стабилизации пучинистого грунта в основании сооружений [Текст] / Шорин В.А., Каган Г.Л., Вельсовский А.Ю. // Журнал «Основания, фундаменты и механика грунтов», №4, 2008 г.
9. Шорин, В.А. Совершенствование методики определения пучинистых свойств грунтов [Текст] / Шорин В.А., Каган Г.Л., Вельсовский А.Ю. // Научное издание «ДОРОГИ И МОСТЫ». – Москва: ФГУП «РОСДОРНИИ», – 2010. Выпуск 24/2. – с. 71-79.
10. Каган, Г.Л. Новый метод проверки дорожной конструкции на морозоустойчивость / Г.Л. Каган, А.Ю. Вельсовский // Печ. Научное издание, из списка ВАК «Дороги и мосты». – М.: РОСДОРНИИ. – 2013, вып. 29/1. – С. 29-40.
11. Орлов, В.О. Пучение промерзающих грунтов и его влияние на фундаменты сооружений: учебник / В.О. Орлов, Ю.Д. Дубнов, Н.Д. Меренков. – Ленинград: Стройиздат, Ленинградское отделение, 1977. – 184 с.

Shorin Vladimir Aleksandrovich

Vologda state university, Vologda, Russia
E-mail: shorin.ru@ya.ru

Kagan George Lazarevic

Vologda state university, Vologda, Russia
E-mail: npcmp@ya.ru

Velsovsky Anatoly Yuryevich

Vologda state university, Vologda, Russia
E-mail: v2u@ya.ru

To a question of definition of deformation of frosty heaving of soil of road designs by different methods

Abstract. The article notes the relevance of the issues of ensuring frost resistance of structures, including road, in connection with the almost universal spread of the phenomenon of frost heaving in the territory of the Russian Federation. The question of known methods for determining the calculated characteristics of frost heaving of the soil, which is the initial characteristic of the calculation of structures for frost resistance, is considered. These methods include the standard method, the method VGU in two variants and the method ROSDORNII Institute. These methods are presented in the form of a flowchart with a detailed description of the individual blocks. The shortcomings of the normative method, which lead in some cases to unacceptable errors for engineering practice, are noted. The VGU method in the first embodiment is based only on the use of laboratory test data and plotting the intensity of frost heaving. In the second variant of the VGU method, the character of the intensity plot is taken on the basis of data from long-term field tests.

Keywords: frost heaving; deformation of frost heaving; intensity of frost heaving; normative method; VGU method; ROSDORNII method

REFERENCES

1. Zolotar I.A., Puzakov N.A., Sidenko V.M. (1971). Vodno-teplovoi rezhim zemlianogo polotna i dorozhnykh odezhd. [*Water-thermal regime of the roadbed and road clothes.*] Moscow: Transportation, p. 416.
2. Korsunskii M.B. (1970). Osnovy kompleksnogo proektirovaniia konstruksii dorozhnykh odezhd i zemlianogo polotna. [*Fundamentals of complex design of the construction of road clothes and roadbeds.*] Leningrad, p. 557.
3. Kagan G.L., Shorin V.A., Velsovskii A.Iu. (2015). On the consistency of the results of evaluation of the degree of soil heathing by indirect and laboratory methods. *Scientific publication, from the list of VAK "Roads and bridges"*, 33(1), pp. 67-83. (in Russian).
4. Kagan G.L., Shorin V.A., Velsovskii A.Iu. (2016). Razrabotki v oblasti stroitelstva sooruzhenii na sezonopromerzaiushchikh gruntakh. [*Developments in the field of construction of structures on seasonally frozen ground.*] Vologda: Volgograd State University, p. 184.
5. Malyshev P.V., Kagan G.L., Shorin V.A. (1994). Device for testing materials for frost resistance. *Patent 2021600 Russian Federation, IPC G01 N33/38*, bulletin 19. (in Russian).
6. Shorin V.A., Kagan G.L., Velsovskii A.Iu. (2007). Autonomous device for testing the soil for frost resistance. *Patent 2313788 Russian Federation, IPC G01 N33/38*, bulletin 36. (in Russian).
7. Shorin V.A., Kagan G.L., Velsovskii A.Iu. (2008). Autonomous device for testing the soil for frost resistance. *Patent 2319145 Russian Federation, IPC G01 N33/38*, bulletin 7. (in Russian).
8. Shorin V.A., Kagan G.L., Velsovskii A.Iu. (2008). A new device for diagnostics and a method for stabilizing the soils in the foundation of structures. *The journal "Grounds, foundations and mechanics of soils"*, 4. (in Russian).
9. Shorin V.A., Kagan G.L., Velsovskii A.Iu. (2008). Perfection of the technique for determining the soil properties of soils. *Scientific publication "ROADS AND BRIDGES"*, 24(2), pp. 71-79. (in Russian).
10. Kagan G.L., Velsovskii A.Iu. (2013). New method of testing the road structure for frost resistance. *Scientific publication "ROADS AND BRIDGES"*, 29(1), pp. 29-40. (in Russian).
11. Orlov V.O., Dubnov Iu.D., Merenkov N.D. (1977). Puchenie promerzaiushchikh gruntov i ego vliianie na fundamente sooruzhenii. [*The way of freezing soils and its influence on foundations of structures.*] Leningrad: Stroyizdat, p. 184.