



*В.А. Шорин, Г.Л. Казан, А.Ю. Вельсовский*  
*Вологодский государственный университет*

## РАЗВИТИЕ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА ПРОВЕРКИ ДОРОЖНОЙ КОНСТРУКЦИИ НА МОРОЗОУСТОЙЧИВОСТЬ

В статье рассматривается метод проверки дорожной конструкции на морозоустойчивость. Он основан на использовании характеристик морозного пучения, устанавливаемых при проведении лабораторных испытаний. Результаты многолетних натурных испытаний позволили обосновать для дорожной конструкции характерную эпюру изменения интенсивности морозного пучения по глубине промерзания. В статье рассматривается возможность построения этой эпюры по данным лабораторных испытаний, предлагается новый метод проверки дорожной конструкции на морозоустойчивость, суть которого изложена с помощью примера.

Морозоустойчивость, деформация морозного пучения, относительная деформация, интенсивность морозного пучения, характерная эпюра интенсивности.

Морозоустойчивость – это термин, который применяется в нормативной литературе при проектировании дорожных конструкций. Под ним понимают учет негативного воздействия на конструкцию дороги при ее промерзании – деформации морозного пучения ( $l_{пуч}$ ). Необходимо, чтобы эта деформация не превышала допустимых значений ( $l_{доп}$ ), устанавливаемых в зависимости от типа дорожных одежд, то есть:

$$l_{пуч} \leq l_{доп} \quad (1)$$

Таким образом, исходным параметром для реализации данной методики является определение расчетной величины морозного пучения ( $l_{пуч}$ ) пучинистого грунта в дорожной конструкции. Нормативная методика ее определения разработана в 70-х годах прошлого века. Теоретической основой для нее послужило решение Н.А. Пузакова, которое было доведено до практического применения коллективом сотрудников института ЛенСоюзДОРНИИ под руководством М.Б. Корсунского.

До настоящего времени эта методика без принципиальных изменений используется в действующих нормах, в частности, ОДН 218.046-01 [1].

Данная методика выполняется в два этапа. На первом этапе (предварительная проверка на морозоустойчивость) определяется расчетная величина деформации морозного пучения дорожной конструкции  $l_{пуч}$  и обеспечивающую ее толщину защитного слоя ( $h_{мз}$ ).

На втором этапе выполняется уточненный расчет высоты морозозащитного слоя, по термическому сопротивлению дорожной конструкции.

В настоящей статье рассматривается раздел методики, связанный с выполнением первого этапа. Отметим, что для реализации этого раздела нормативной методики необходима классификация грунта по степени морозного пучения. Следует иметь в виду, что в период выхода нормативной методики, стандарт по определению степени морозного пуче-

ния отсутствовал. Поэтому авторами нормативной методики был предложен ведомственный стандарт по лабораторному определению степени морозного пучения грунта [2] и предусмотрена возможность определения характеристики  $l_{пуч}$  приближенным методом по физическим характеристикам грунта. Методика также учитывает влияние значительного количества различных природных факторов на величину морозного пучения дорожной конструкции. Каждый из этих факторов влияет на морозное пучение в большом диапазоне, изменяя итоговую величину пучения до полутора раз.

В 1990 году введен в действие первый стандарт по определению степени пучинистости при проведении лабораторных испытаний [3]. В результате этих испытаний устанавливается характеристика – относительная деформация морозного пучения грунта ( $\varepsilon_{fh}$ ). По величине этой характеристики грунт классифицируется по степени пучинистости. Эту характеристику определяют из выражения.

$$\varepsilon_{fh} = h_f / d_i, \quad (2)$$

где  $h_f$  – вертикальная деформация образца грунта в конце испытаний;

$d_i$  – фактическая толщина промерзания слоя грунта. При полном промерзании образца при испытании эта величина равна высоте образца ( $H_{обр}$ ), то есть  $d_i = H_{обр}$ .

Подобный метод оценки предполагает, что интенсивность морозного пучения по глубине промерзания есть постоянная величина. Интенсивность морозного пучения ( $f$ ) характеризует в любой точке по глубине промерзания грунтового массива (рис. 1) как отношение приращения величины морозного пучения ( $dl_{пуч}$ ) к приращению глубины промерзания ( $dz$ ), то есть:

$$f = dl_{пуч} / dz$$

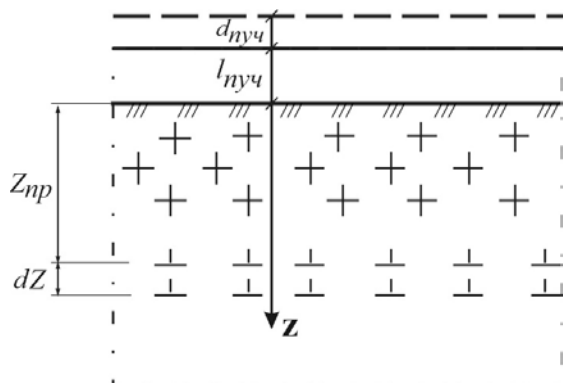


Рис. 1. Схема промерзания  
грунтового массива

Вид этой эпюры при постоянной величине интенсивности морозного пучения приведен на рисунке 2.

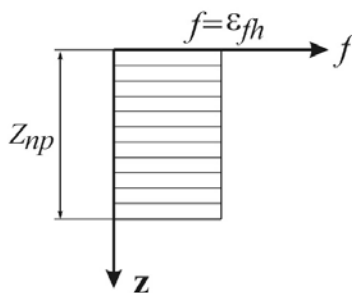


Рис. 2. Эпюра интенсивности  
морозного пучения

Очевидно, что площадь этой эпюры равна полной деформации пучения промерзшего массива грунта, то есть:

$$l_{\text{пуч}} = Z_{\text{пр}} \cdot \varepsilon f h \quad (3)$$

Авторы ГОСТ 28622-90 считают, что использование данных лабораторных испытаний позволяет определить полную величину морозного пучения в натуральных условиях с точностью до 10-15%. Подобный подход был использован при проверке на морозоустойчивость разработчиками стандарта для дорожных одежд переходного типа [4].

Существенное отличие упомянутого выше ведомственного стандарта от действующего определялась размерами, испытываемых образцов цилиндрической формы. Так, согласно действующего стандарта образцы должны иметь диаметр и высоту не менее 100 мм и 150 мм, а в ведомственном стандарте эти размеры соответственно составляли 100 и 82 мм. Отсюда следует, что ведомственный стандарт не позволяет моделировать процесс промерзания грунта в натуральных условиях, а значит и определить величину расчетной деформации морозного пучения дорожной конструкции. Очевидно это и обусловило необходимость учета различных природных факторов в нормативной методике расчета дорожных конструкций на морозоустойчивость.

Выполненный авторами статьи анализ нормативной методики выявил ряд существенных недостатков [5]. Так, использовании приближенного метода для классификации степени пучинистости грунтов приводит к погрешности недопустимой для инженерной

практики. Этот вывод получен при сравнительном анализе результатов определения степени пучинистости по данным лабораторных испытаний в соответствии с действующим стандартом и приближенным методом. Необоснованным также является учет природных факторов при определении расчетной величины деформации морозного пучения. Это подтверждается более поздними исследованиями в данной области. Следует также отметить, что действующий стандарт в процессе лабораторных испытаний обеспечивает моделирование процессов промерзания связанных с определением деформаций морозного пучения. С учетом указанных недостатков расчетную величину морозного пучения следует определять только при проведении лабораторных испытаний образцов грунта при полном их водонасыщении.

Поскольку дорожная конструкция выполняется частично из непучинистых материалов представляет интерес характер изменения интенсивности морозного пучения по глубине промерзания в натуральных условиях. Комплекс многолетних экспериментальных исследований в этом направлении выполнялся на Игарской (Заполярная Сибирь) и Сковородинской (Забайкалье) мерзлотных станциях под руководством В.О. Орлова. Результаты этих исследований изложены в работе [6].

В этой работе выделены характерные эпюры для двух случаев в зависимости от распределения предзимней влажности в грунте ( $W$ ) по глубине промерзания ( $Z_{\text{пр}}$ ) 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 3а, а для второго – на рисунке 3б.

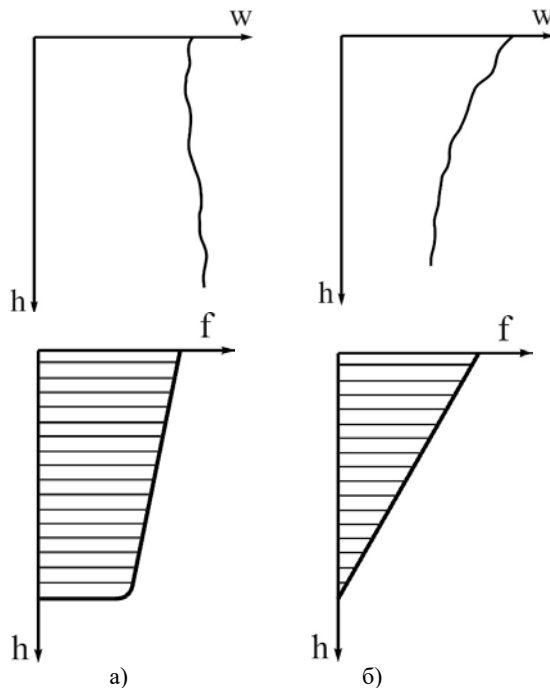


Рис. 3. Характерные эпюры предзимней влажности и интенсивности морозного пучения: а) – при близком залегании грунтовых вод к промерзающему грунту,

б) – при глубоком залегании грунтовых вод к промерзающему грунту

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.

Треугольный характер изменения эпюры интенсивности по глубине промерзания установлен также при проведении экспериментальных натурных исследований на ряде объектов выполнявшимся институтом ЦНИИЭСЕЛЬСТРОЙ [7].

Применительно к дорожной конструкции подобный характер эпюры интенсивности морозного пучения можно принять в качестве основного.

Как отмечалось ранее лабораторные испытания позволяют с необходимой точностью при прямоугольной эпюре интенсивности морозного пучения определить деформацию морозного пучения при промерзании. Очевидно площадь прямоугольной эпюры (рисунок 4а) и треугольной (рисунок 4в) должны быть равны:  $Z_{np} \cdot \varepsilon_{fh} = \frac{1}{2} f_{max} \cdot Z_{np}$ , откуда  $f_{max} = 2\varepsilon_{fh}$ .

Следовательно, основываясь на данных лабораторных испытаний, можно построить треугольную эпюру интенсивности морозного пучения, которая соответствует характеру распространения ее в натурных условиях.

Наличие данной эпюры позволяет выполнить проверку дорожной конструкции на морозоустойчивость и определить толщину морозозащитного слоя. Последовательность выполнения необходимых расчетов покажем на примере.

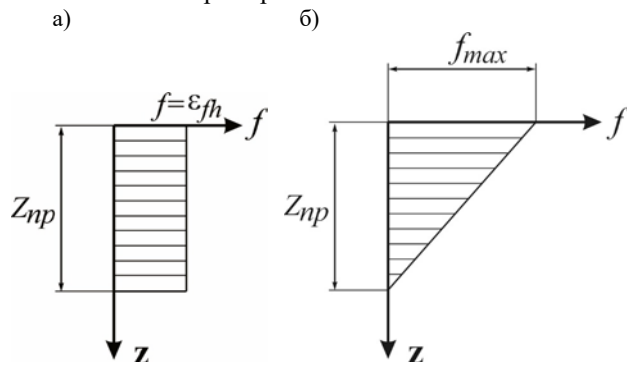


Рис. 4. Расчетные эпюры интенсивности морозного пучения

Требуется определить толщину морозозащитного слоя для участка проектируемой дороги III технической категории в районе г. Вологда. Исходные данные, необходимые для выполнения этого расчета, включают:

- толщину дорожной одежды, определенную по условию прочности  $Z_{до}^{np} = 45$  см. Данная конструкция устраивается из непучинистых материалов;

- относительную деформацию морозного пучения грунта земляного полотна, определенную по результатам лабораторных испытаний  $\varepsilon_{fh} = 0,077$ ;

- допустимую для данной дороги деформацию морозного пучения  $l_{доп} = 4$  см;

- расчетную величину глубины промерзания  $Z_{np} = 207$  см.

Расчет выполняется в такой последовательности:

1. Определение параметра  $f_{max} = 2 \cdot \varepsilon_{fh} = 0,154$ , построение расчетной треугольной эпюры интенсивности морозного пучения (рисунок 5) и определение  $\text{tg } \beta$ .  $\text{tg } \beta = \frac{0,154}{207} = 0,744 \cdot 10^{-3}$ .

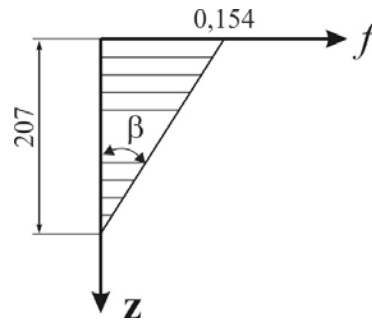


Рис. 5. Расчетная эпюра интенсивности морозного пучения

2. Определение допустимой высоты промерзания нижних слоев земляного полотна ( $Z_{зп}$ ) из выражения:

$$Z_{зп} = \sqrt{\frac{2l_{доп}}{\text{tg } \beta}} \quad (4)$$

$$Z_{зп} = \sqrt{\frac{2 \cdot 4}{0,744 \cdot 10^{-3}}} = 103 \text{ см.}$$

3. Определение толщины морозозащитного слоя ( $Z_{мз}$ ), устраиваемого из непучинистого материала:

$$Z_{мз} = Z_{np} - Z_{до}^{np} - Z_{зп},$$

$$Z_{мз} = 207 - 45 - 103 = 59 \text{ см.}$$

В соответствии с выполненным расчетом схема дорожной конструкции и эпюры интенсивности морозного пучения приведена на рисунке 6.

Что касается пучиноопасных участков, то дорожная конструкция для них должна выполняться на всю глубину промерзания из стабильных непучинистых материалов.



Рис. 6. Расчетная схема дорожной конструкции

В заключение следует отметить:

1. При треугольной эпюре интенсивности морозного пучения, очевидно, что основную часть деформации морозного пучения вызывает промерзание верхних слоев грунта. В дорожной конструкции эта часть выполняется из непучинистых материалов. При промерзании земляного полотна деформация морозного пучения будет значительно меньше. Так, для

рассматриваемого примера при промерзании массива грунта на полную глубину ( $Z_{пр} = 207$  см) полная деформация морозного пучения составит более 15 см, а при промерзании в дорожной конструкции земляного полотна ( $Z_{пр} = 103$  см) эта деформация составит 4 см.

2. В основу предлагаемого метода положены материалы многолетних натурных исследований, что позволяет рекомендовать его для применения в инженерной практике.

#### Литература

1. ОДН 218.046-01. Проектирование нежестких дорожных одежд. – Введ. 20.12.2000. – Москва: Информавтодор, 2001. – 144 с.

2. ВСН 46-83. Инструкция по проектированию дорожных одежд нежесткого типа / Министерство транспортного строительства СССР. – Введ. 01.01.1984. – Москва: Транспорт, 1985. – 318 с.

3. ГОСТ 28622-90. Грунты. Метод лабораторного определения степени пучинистости. – Введ. 01.09.1990. – Москва: Изд-во стандартов, 1990. – 7 с.

4. Проект ПНСТ. Конструирование и расчет дорожных одежд автомобильных дорог с низкой интенсивностью движения. Дорожная одежда. Конструирование и расчет. – Москва: ФАУ «РОСДОРНИИ», 2017. – 80 с.

5. Каган, Г. Л. Разработки в области строительства сооружений на сезоннопромерзающих грунтах: монография / Г. Л. Каган, В. А. Шорин, А. Ю. Вельсовский. – Вологда: ВоГУ, 2016. – 184 с.

6. Орлов, В. О. Пучение промерзающих грунтов и его влияние на фундаменты сооружений / В. О. Орлов, Ю. Д. Дубнов, Н. Д. Меренков. – Ленинград: Стройиздат, Ленинградское отд., 1977. – 184 с.

7. Сажин, В. С. Проектирование и строительство фундаментов сооружений на пучинистых грунтах / В. С. Сажин, В. Я. Шишкин, А. С. Волох. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1988. – 235 с.

**V.A. SHORIN, G.L. KAGAN, A.Y. VELSOVSKY**  
Vologda State University

#### **DEVELOPMENT AND IMPROVEMENT OF VERIFICATION METHOD OF ROAD CONSTRUCTION ON FROST**

The article deals with the method of checking the road structure for frost resistance. It is based on the use of characteristics of frost heaving, established during laboratory tests. The results of many years of full-scale tests allowed to justify for the road structure characteristic diagram of changes in the intensity of frost heaving at the depth of freezing. The article discusses the possibility of constructing this plot according to laboratory tests. A new method of checking the road structure for frost resistance is proposed, the essence of which is set out with the help of an example.

Frost resistance, deformation of frost heaving, relative deformation, intensity of frost heaving, characteristic intensity plot.