УДК 625.73+624.139.22

НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ПРОВЕРКЕ ДОРОЖНОЙ КОНСТРУКЦИИ НА МОРОЗОУСТОЙЧИВОСТЬ

Канд. геол.-минерал. наук, доцент **Г.Л. Каган**,
д-р хим. наук, профессор **В.А. Шорин**,
канд. тех. наук, доцент **А.Ю. Вельсовский**
(Вологодский государственный университет)
Конт. информация: 8(8172) 53-32-01;
npcmp@yandex.ru

В статье представлены методы определения деформаций пучения при промерзании грунтового массива, в том числе дорожной конструкции. Такие методы основаны 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. Рассматривается возможность построения этой эпюры по данным лабораторных испытаний. Предлагается новый метод проверки дорожной конструкции на морозоустойчивость, суть которого изложена на приведенном примере.

Ключевые слова: *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 деформации морозного пучения ($l_{пуч}$). Необходимо, чтобы это деформация не превышала допустимые значения ($l_{доп}$), устанавливаемые в зависимости от типа дорожных одежд, т.е.:

$$l_{\text{пуч}} \leq l_{\text{доп}} \quad . \qquad \textbf{(1)}$$

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 бы-

ло доведено до практического применения коллективом сотрудников института ЛенСоюзДОРНИИ под руководством М.Б. Корсунского.

Эта методика без принципиальных изменений используется в действующих нормах и в настоящее время, в частности ОДН 218.046-01 [**1**]. Отмеченные авторами недостатки такой методики приведены в работе [**2**]. Для реализации данной методики необходимо классифицировать грунт по степени пучинистости при промерзании. Эту классификацию рекомендуют устанавливать при проведении лабораторных испытаний. Допускается также классифицировать грунт косвенным (приближенным) методом, используя физические характеристики грунта.

Лабораторное определение степени морозного пучения выполняется в соответствии с ГОСТ 28622-2012 [**3**]. Это достаточно новый стандарт, его первое издание вышло в 1990 г. В результате проведения лабораторных испытаний устанавливается характеристика – относительная деформация морозного пучения грунта (ε_{fh}). По величине этой характеристики грунт классифицируется по степени пучинистости. Эту характеристику определяют из выражения:

$$\varepsilon_{fh} = \frac{h_f}{d_i}\ , \qquad (2)$$

где

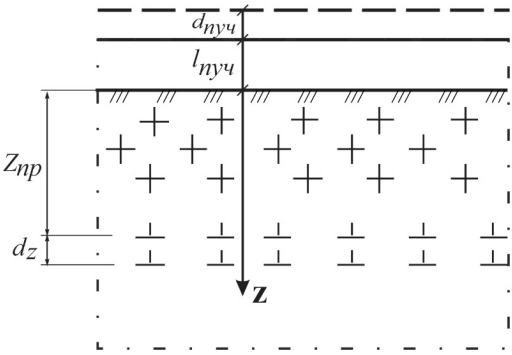
h_f – вертикальная деформация образца грунта в конце испытаний;

d_i – фактическая толщина промерзания слоя грунта. При полном промерзании образца в ходе испытания эта величина равна высоте образца ($H_{\text{обр}}$), т.е. $d_i = H_{\text{обр}}$.

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 в массиве (**рис. 1**) отношение приращения величины морозного пучения ($dl_{\text{пуч}}$) к приращению глубины промерзания (dz), т.е.:

$$f = \frac{dl_{\text{пуч}}}{dz}\ .$$

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



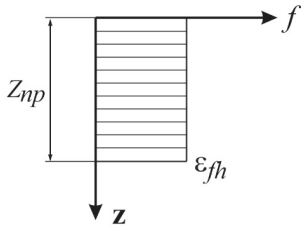


Рис. 1. Схема промерзания грунтового массива

Рис. 2. Эпюра интенсивности морозного пучения

Очевидно, площадь этой эпюры равна полной деформации пучения промерзшего массива грунта, т.е.:

$$l_{пуч} = Z_{пр} \cdot \varepsilon_{fh} \quad . \qquad \textbf{(3)}$$

Авторы ГОСТ 28622-2012 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**].

Классификация степени пучинистости грунта с использованием косвенного (приближенного) метода приводит к недопустимым для инженерной практики погрешностям. Этот вывод получен авторами в ходе сравнительного анализа при классификации степени пучинистости грунта по данным лабораторных испытаний и косвенного метода [**2**].

Поскольку дорожная конструкция выполняется частично из непучинистых материалов, представляет интерес характер изменения интенсивности морозного пучения по глубине промерзания в натурных 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 [**5**].

В этой работе выделены характерные эпюры 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 **рис. 3 а**, а для второго – на **рис. 3 б**.

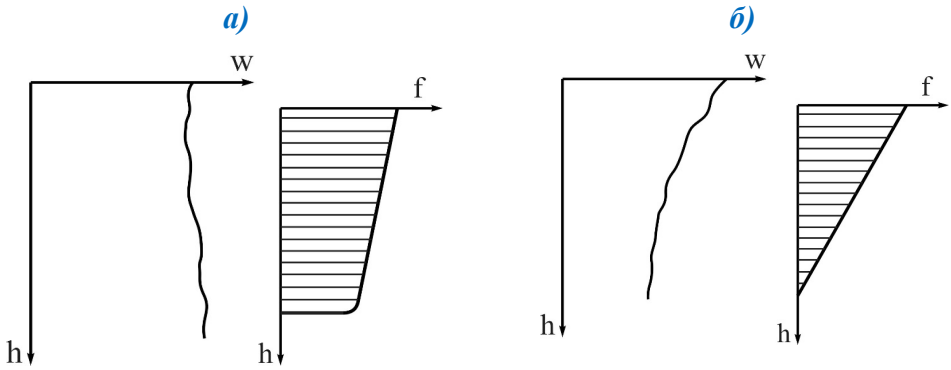


Рис. 3. Характерные эпюры интенсивности морозного пучения:
а) при близком залегании грунтовых вод к промерзающему грунту;
б) при глубоком залегании грунтовых вод к промерзающему грунту

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 м 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, выполнявшихся на ряде объектов институтом ЦНИИЭПСельстрой [**6**].

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 (**рис. 4 а**) и треугольной (**рис. 4 в**) должны быть равны.

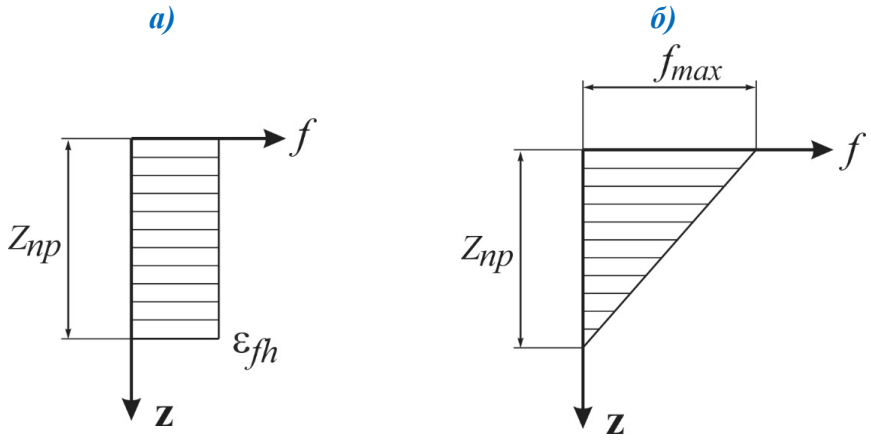


Рис. 4. Расчетные эпюры интенсивности морозного пучения

Из этого равенства находим, что $f_{max} = 2\varepsilon_{fh}$. Следовательно, основываясь на данных лабораторных испытаний, можно построить треугольную эпюру интенсивности морозного пучения, которая соответствует характеру ее распространения в натурных условиях.

Наличие данной эпюры позволяет выполнить проверку дорожной конструкции на устойчивость и определить толщину морозозащитного слоя.

Последовательность выполнения необходимых расчетов покажем на примере.

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

– толщину дорожной одежды, определенную по условию прочности $Z_{\text{до}}^{\text{пр}} = 45$ 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 $l_{\text{доп}} = 4$ см;

– расчетную величину глубины промерзания $Z_{\text{пр}} = 207$ см.

Расчет выполняется в такой последовательности:

1. Определение параметра $f_{max} = 2 \cdot \varepsilon_{fh} = 0{,}154$, построение расчетной треугольной эпюры интенсивности морозного пучения (**рис. 5**) и определение $\operatorname{tg}\beta$:

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{0{,}154}{207} = 0{,}744 \cdot 10^{-3}.$$

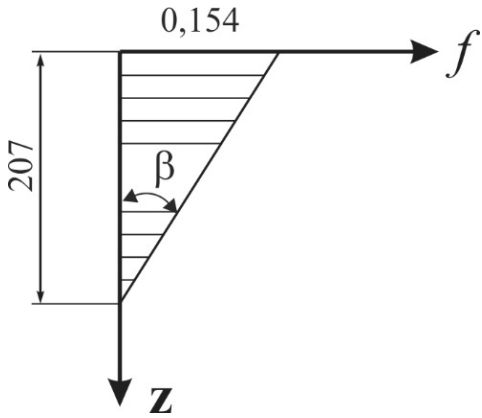


Рис. 5. Расчетная эпюра интенсивности морозного пучения

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

$$Z_{зп} = \sqrt{\frac{2l_{доп}}{\operatorname{tg}\beta}}\ ; \qquad \textbf{(4)}$$

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

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

$$Z_{мз} = Z_{пр} - Z_{до}^{пр} - Z_{зп}\ ;$$

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

В соответствии с выполненным расчетом схема дорожной конструкции и эпюры интенсивности морозного пучения приведены на **рис. 6**.

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

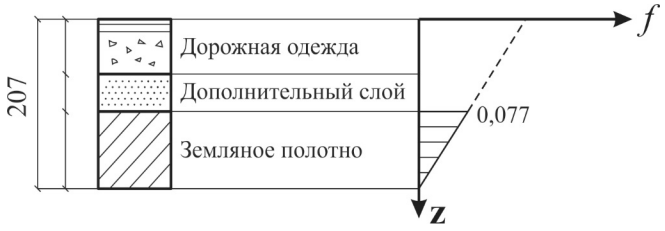


Рис. 6. Расчетная схема дорожной конструкции

Заключение

1. При треугольной эпюре интенсивности морозного пучения, очевидно, что основную часть деформации морозного пучения вызывает промерзание верхних слоев грунта. В дорожной конструкции это 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) – 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. 2000-12-20. – М.: Информавтодор, 2001. – 144 с.*
2. *Каган Г.Л. Разработки в области строительства сооружений на сезоннопромерзающих грунтах: монография / Г.Л. Каган, В.А. Шорин, А.Ю. Вельсовский; М-во обр. и науки РФ, Вологод. гос. ун-т. – Вологда: ВоГУ, 2016. –184 с.*
3. *ГОСТ 28622-2012. Грунты. Метод лабораторного определения степени пучинистости. – Введ. 2012-12-18. – М.: Стандартинформ, 2013. – 9 с.*
4. *Проект ПНСТ. Конструирование и расчет дорожных одежд автомобильных дорог с низкой интенсивностью движения. Дорожная одежда. Конструирование и расчет. – М.: ФАУ «РОСДОРНИИ», 2017. – 80 с.*
5. *Орлов В.О. Пучение промерзающих грунтов и его влияние на фундаменты сооружений / В.О. Орлов, Ю.Д. Дубнов, Н.Д. Ме-*

ренков. – Л.: Стройиздат, Ленинградское отделение, 1977. – 184 с.
6. *Сажин В.С. Проектирование и строительство фундаментов сооружений на пучинистых грунтах / В.С. Сажин, В.Я. Шишкин, А.С. Волох. – Саратов: изд-во Сарат. ун-та, 1988. – 235 с.*

L I T E R A T U R A

1. *ODN 218.046-01. Proektirovanie nezhestkih dorozhnyh odezhd. – Vved. 2000-12-20. – M.: Informavtodor, 2001. – 144 s.*
2. *Kagan G.L. Razrabotki v oblasti stroitel'stva sooruzhenij na sezonnopromerzajushhih gruntah: monografija / G.L. Kagan, V.A. Shorin, A.Ju. Vel'sovskij; M-vo obr. i nauki RF, Vologod. gos. un-t. – Vologda: VoGU, 2016. – 184 s.*
3. *GOST 28622-2012. Grunty. Metod laboratornogo opredelenija stepeni puchinistosti. – Vved. 2012-12-18. – M.: Standartinform, 2013. – 9 s.*
4. *Proekt PNST. Konstruirovanie i raschet dorozhnyh odezhd avtomobil'nyh dorog s nizkoj intensivnost'ju dvizhenija. Dorozhnaja odezhda. Konstruirovanie i raschet. – M.: FAU «ROSDORNII», 2017. – 80 s.*
5. *Orlov V.O. Puchenie promerzajushhih gruntov i ego vlijanie na fundamenty sooruzhenij / V.O. Orlov, Ju.D. Dubnov, N.D. Merenkov. – L.: Strojizdat, Leningradskoe otdelenie, 1977. – 184 s.*
6. *Sazhin V.S. Proektirovanie i stroitel'stvo fundamentov sooruzhenij na puchinistyh gruntah / V.S. Sazhin, V.Ja. Shishkin, A.S. Voloh. – Saratov: izd-vo Sarat. Un-ta, 1988. – 235 s.*

NEW APPROACHES TO THE FROST RESISTANCE VERIFICATION OF ROAD STRUCTURE

Ph. D. (Geology and Mineralogy), Associated Professor ***G.L. Kagan****,*
Doctor of Chemistry, Professor ***V.A. Shorin****,*
Ph. D. (Tech.), Associated Professor ***A.Yu. Velsovsky***
(Vologda State University)
Contact information: 8 (8172) 53-32-01;
npcmp@yandex.ru

The article discusses some methods for determining the heave deformation during the soil mass freezing, including the road structure.

These methods are based on the use of characteristics of frost heaving deter-determined during laboratory tests. The results of many years of field tests allowed justifying the characteristic diagram of the change in the intensity of frost heaving at the depth of freezing for road structure. The possibility of constructing this diagram according to laboratory tests is considered. A new method of testing road structure for frost resistance is proposed, the core of which is described in the example.
***Key words**: frost resistance, frost heave deformation, relative deformation, intensity of frost heaving, characteristic intensity diagram.*

Рецензент: д-р техн. наук, профессор А.М. Кулижников (ФАУ «РОСДОРНИИ»).
Статья поступила в редакцию: 06.07.2018 г.