

Определение деформаций морозного пучения грунтов в лабораторных условиях

Невзоров А.Л., д.т.н., проф.

Северный (Арктический) федеральный университет, г.Архангельск;

Скопинцев Д.Г., инженер

ООО «НПП Геотек», г.Пенза

Пучение грунтов при промерзании обусловлено кристаллизацией воды, содержащейся в порах, и влаги, мигрирующей к фронту промерзания из нижележащих слоев [2]. Морозное пучение является сложным процессом, обусловленным изменением толщины пленок связанной воды на контактах частиц за счет фазовых переходов и всасывания влаги из немерзлой зоны.

Существующие методики оценки пучинистости грунтов по гранулометрическому составу, показателям пластичности, другим классификационным характеристикам требуют корректировки применительно к региональным инженерно-геологическим условиям. В ряде случаев они позволяют выявить лишь заведомо непучинистые или потенциально пучинистые грунты. Наиболее надежным считается определение деформаций пучения по данным лабораторных исследований, моделирующих промерзание грунта в основании сооружения. На верхнем торце образца поддерживается отрицательная, а на нижнем - положительная температура, со стороны нижнего торца образец подпитывается водой [2, 4].

Традиционно в отечественных нормативных документах для оценки пучинистости, а также в качестве расчетной характеристики грунта при проектировании оснований, используется величина относительной деформации морозного пучения (рис.1) [2, 8, 9]:

$$\varepsilon_f = h_f/d_f, \quad (1)$$

где h_f - вертикальная деформация пучения; d_f - толщина промерзшего слоя грунта.

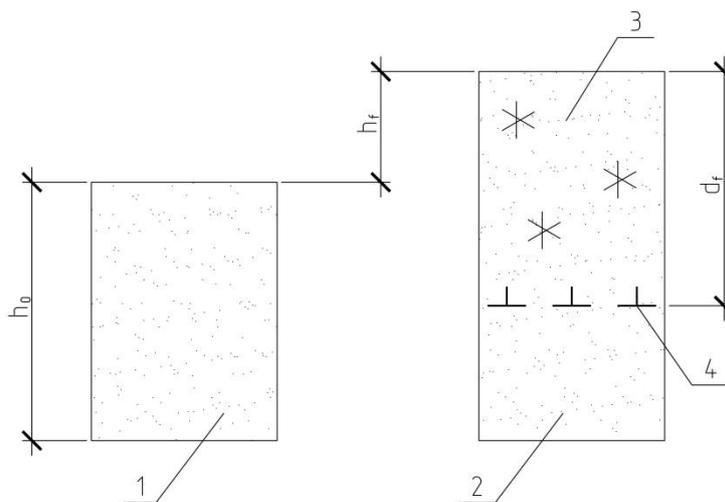


Рис.1. Схема проведения опыта: а) исходное состояние образца, б) образец в ходе промерзания; 1 – образец грунта, 2 – немерзлый грунт, 3 – мерзлый грунт, 4 – фронт промерзания

В ГОСТ 25100-2011 [1] приведена формула для расчета ε_f , полученная по аналогии с величинами относительного набухания и просадки:

$$\varepsilon_{fh} = \frac{h_{0,f} - h_0}{h_0} \times 100\% \quad (2)$$

где $h_{0,f}$ – высота образца промерзшего грунта, см;

h_0 - начальная высота образца, см.

Следует заметить, что обработка результатов испытаний по формуле (2) приведет к ошибке в оценке пучинистости, так как на нижнем торце в ходе опыта поддерживается положительная температура и проморозить образец на всю высоту не удастся. Например, согласно ГОСТ 28622-2012 [2] опыт следует прекращать при $d_f = 100$ мм, при высоте образца 150 мм. Таким образом, расчет по формуле (2) приведет к занижению пучинистости в полтора раза!

За рубежом в качестве классификационного показателя и расчетного параметра используют не относительную деформацию, а скорость пучения или сегрегационный потенциал [4, 13].

При проведении исследований следует учитывать ряд факторов, оказывающих влияние на интенсивность миграции влаги и толщину пленок воды, разделяющих частицы:

- скорость перемещения фронта промерзания;
- условия подпитки образца;
- нагрузку, прикладываемую на образец.

Рядом экспериментов показано, что с уменьшением скорости перемещения фронта промерзания пучение грунтов увеличивается, так как возрастает количество влаги, мигрирующей в зону фазовых переходов [7, 10]. Отсюда, скорости перемещения фронта промерзания в образце и основании сооружения должны быть примерно одинаковыми. Добиться выполнения этого условия в ходе опыта можно за счет управления градиентом температуры. Обычно изменяют температуру верхнего торца образца, а ход промерзания контролируют с помощью датчиков, размещенных на различной высоте.

Заметим, что в лабораторной практике успешно применяется и принципиально иной способ обеспечения заданной скорости перемещения фронта промерзания, когда вдоль образца сверху вниз опускается небольшая морозильная камера [6, 14].

Важным фактором, влияющим на деформации пучения, является расстояние от фронта промерзания до уровня грунтовых вод (УГВ). Так, согласно СП 22.13330-2011 [8] мелкие и пылеватые пески в зависимости от положения УГВ считаются пучинистыми или непучинистыми. В СП 34.13330-2012 [9] оценка участков строительства по пучинистости выполняется не только по свойствам грунта, но и условиям увлажнения. При расчете деформаций пучения основания насыпей по методике, рекомендованной МОДН 2-2001 [3], вводится коэффициент $0,6 \dots 1$, зависящий от положения УГВ.

При лабораторных исследованиях измеряют, как правило, максимальное пучение. Подпитка образца водой производится из сосуда, в котором уровень воды поддерживается чуть выше его нижнего "теплого" торца. Моделирование положения УГВ возможно с помощью решения, защищенного патентом,

но не нашедшего пока широкого применения в практике изысканий, когда в сосуде, служащем для подпитки образца водой, создается разрежение, соответствующее глубине залегания грунтовых вод [5].

ГОСТ 28622-2012 [2] предусматривает приложение на верхний торец образца давления, равного "давлению от сооружения на заданной глубине, но не более 0,05 МПа". Указанное значение характерно для оснований легких малоэтажных зданий и насыпей высотой до 2,5...3 м, тогда как давление пучения глинистых грунтов может достигать 400-600 кПа и выше [15, 16]. Очевидно, что отнесение грунта к разновидности слабо-, средне-, сильно- и чрезмернопучинистых грунтов по величине ε_f зависит от величины давления, приложенного на образец при испытаниях.

Кроме того, при проведении лабораторных исследований необходимо принимать во внимание возможность смерзания образца с обоймой и силы трения, возникающие между ними. Это влияние можно существенно снизить за счет разрезки обоймы на отдельные кольца, применения смазок, покрытия образца оболочкой, пленкой и т.п.. Оригинальное решение использовано в британском стандарте BS 812-124 [12], согласно которому верхняя промерзающая часть образца размещается не в обойме, а в гильзе из парафинированной бумаги, и засыпается с внешней стороны крупным песком. Здесь, конечно, требует изучения проблема, связанная с взаимной зависимостью радиальных и вертикальных деформаций пучения образца.

Таким образом, относительная деформация морозного пучения идентичных образцов, испытываемых при различных градиентах температуры, способах подпитки образца водой, нагрузках на образец, высоте колец обоймы и др. может отличаться в несколько раз, поэтому условия испытаний следует определять в техническом задании, исходя из гидрогеологических условий участка строительства и конструктивных особенностей проектируемого сооружения.

С учетом природы процесса пучения и факторов, влияющих на него, а также данных ранее выполненных исследований в ООО «НПП Геотек» раз-

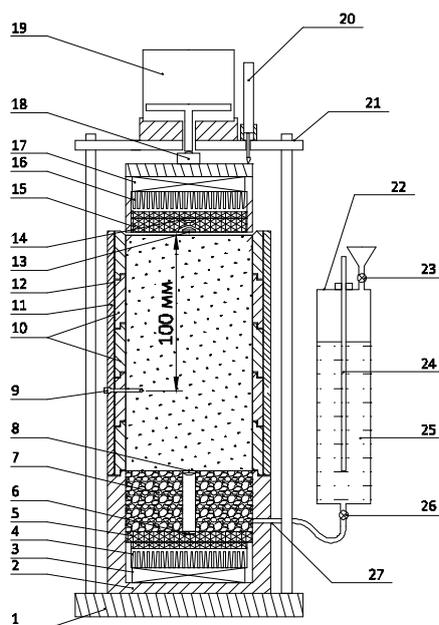
работана новая конструкция прибора, позволяющего автоматически регулировать температуру на верхнем и нижнем торцах образца, поддерживать необходимую вертикальную нагрузку на образец и регистрировать в ходе опыта положение фронта промерзания. Заданная температура на торцах образца поддерживается с помощью двух одинаковых термоэлектрических модулей (элементов Пельтье), управляемых компьютером. Вертикальная нагрузка создается пневмоцилиндром, а ее величина контролируется с помощью датчика силы. Возможно размещение прибора в стандартном универсальном устройстве силового нагружения конструкции ООО «НПП Геотек», применяемом, например, для установки компрессионных приборов. Определение глубины промерзания образца выполняется с помощью датчиков температуры, закладываемых в образец.

Прибор для определения морозного пучения состоит из опорной плиты 1 с поддоном 2, на котором установлен термоизолирующий кожух 11 (рис. 2а).

Внутри контейнера размещена обойма для образца грунта 10, составленная из отдельных колец. После установки в обойму образец покрывается резиновой оболочкой 12.

В поддон встроены термоэлектрический модуль 5, два датчика температуры 6 и 8, штуцер 27 для подачи воды из колбы 22. Датчик температуры 6 установлен в нижней термостатированной плите и по его показаниям осуществляется управление нижним термоэлектрическим модулем, обеспечивающим температуру $+2^{\circ}\text{C}$. Датчик температуры 8 установлен на пьедестале в пористом камне 7, по показаниям этого датчика обеспечивается температура нижнего торца образца $+1^{\circ}\text{C}$.

Штамп, размещенный на верхнем торце, снабжен термоэлектрическим модулем 15, радиатором 16, вентилятором 17 и двумя датчиками температуры 13 и 14. Датчик 14 установлен в верхней термостатированной плите, с его помощью осуществляется управление верхним термоэлектрическим модулем, обеспечивающим температуру в диапазоне от 0 до



а)

б)

Рис.2. Прибор для определения деформаций морозного пучения ООО «НПП Геотек»: а - конструкция прибора, б - общий вид. 1 – опорная плита, 2 – поддон, 3 – вентилятор, 4 – радиатор, 5 – нижняя термостатированная плита (подогревающая), 6 – термодатчик, 7 - пористый камень, 8 – термодатчик, 9 – термодатчик, 10 – кольцевая обойма, 11 – термоизолирующий кожух, 12 – резиновая оболочка, 13 – термодатчик, 14 – термодатчик, 15 – верхняя термостатированная плита (охлаждающая), 16 – радиатор, 17 – вентилятор, 18 – датчик силы, 19 – пневмоцилиндр, 20 – датчик перемещения, 21 – траверса, 22 – сосуд Мариотта, 23 – кран заполнения, 24 – капиллярная трубка, 25 – вода, 26 – кран питания, 27 – штуцер подачи воды.

– 4°C. Датчик 13, установленный на термоизолированной подставке, контактирует с верхним торцом образца.

Прибор работает следующим образом.

Образец грунта помещают в резиновую оболочку и устанавливают в обойму. На верхний торец образца устанавливают штамп, шток пневмоцилиндра приводят в касание с датчиком силы. Прибор размещают в климатической камере с температурой +1°C не менее чем на сутки. Используя пневморедуктор и датчик силы, прикладывают к верхнему штампу заданную нагрузку и записывают начальные показания датчика перемещений. По команде компьютера с помощью термоэлектрических модулей создают отрицательную температуру на верхнем торце образца и сохраняют положительную - на нижнем. Зная температуру начала замерзания воды, контролируют про-

цесс продвижения фронта промерзания до глубины 100 мм от верхнего штампа. Время испытаний обычно составляет порядка 3...5 суток.



а)

б)

Рис. 3. Размещение приборов: а – в климатической камере; б – в стандартной морозильной камере

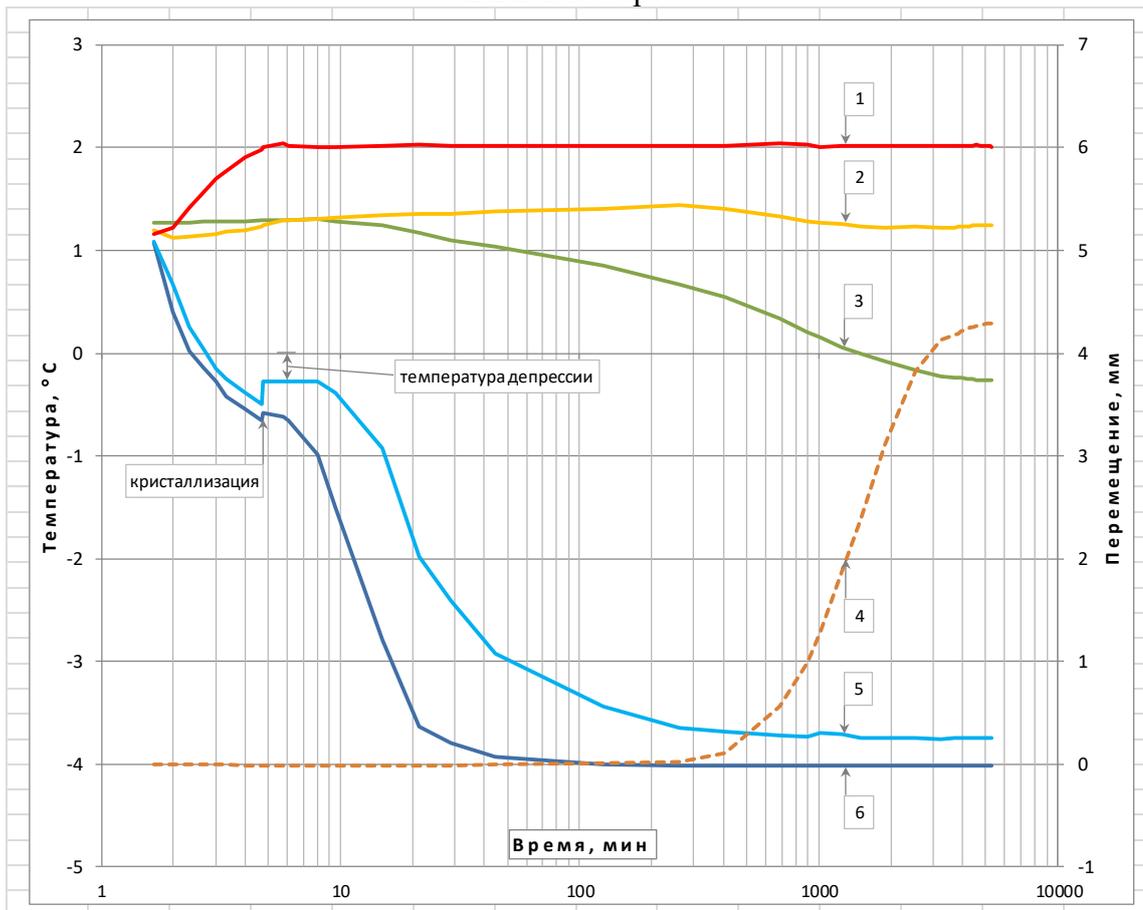


Рис. 4. Результаты эксперимента: 1 – температура нижней термостатированной плиты, 2 – температура нижнего среза образца, 3 – температура в образце на 100 мм от верхнего среза, 4 – деформация пучения, 5 – температура верхнего среза образца, 6 – температура верхней термостатированной плиты.

На рис. 3,а дан общий вид морозильной камеры большого объема с размещенными в ней приборами для испытания мерзлых грунтов, объем камеры позволяет разместить в ней одновременно четыре прибора морозного пучения. На рис. 3,б показан прибор морозного пучения, размещенный в небольшой морозильной камере.

Схема управления и некоторые результаты испытаний глинистого грунта показаны на рис. 4. Деформация пучения в рассматриваемом опыте достигла 4,3 мм. Фронт промерзания стабилизировался на глубине 111 мм. Относительная деформация морозного пучения составила 0,039. По классификации ГОСТ 28622-2012 грунт является среднепучинистым.

На графике изменения температуры верхнего торца образца выделяется резкий подъем температуры при лавинообразном замерзании переохлажденного грунта. Это явление, которое автоматически контролируется в опыте, позволяет определить температуру начала замерзания или кристаллизации свободной воды в образце без проведения предварительных опытов.

Выводы:

1. Относительная деформация морозного пучения идентичных образцов, испытываемых при различных градиентах температуры, способах подпитки образца водой, нагрузках на образец может отличаться в несколько раз, поэтому условия испытаний следует уточнять в техническом задании, исходя из гидрогеологических условий участка строительства и конструктивных особенностей проектируемого сооружения.

2. Для расчета степени пучинистости следует пользоваться формулой, указанной в ГОСТ 28622-2012 [2], но не ГОСТ 25100-2011 [1].

3. Разработанный ООО «НПП Готек» прибор учитывает большинство факторов, влияющих на величину морозного пучения грунтов. Конструкция прибора соответствует не только требованиям ГОСТ 28622-2012 [2], но и стандартам США и Великобритании [11, 12].

4. Прибор позволяет проводить испытания в полностью автоматическом режиме без участия оператора.

5. В ходе опыта может определяться температура начала замерзания поровой влаги, что существенным образом сокращает трудоемкость и продолжительность лабораторных исследований.

Литература

1. ГОСТ 25100-2011 Грунты. Классификация. М.: МНТКС, 2012, с.19.
2. ГОСТ 28622-2012 Грунты. Метод лабораторного определения степени пучинистости. М.: Стандартиформ, 2013, с.8.
3. МОН 2-2001. Проектирование нежестких дорожных одежд. М.: Союздорнии, 2002, с.30.
4. Невзоров А.Л. Фундаменты на сезоннопромерзающих грунтах. М.: Изд. АСВ, 2000, 152 с.
5. Невзоров А.Л., Коршунов А.А. Прибор для измерения деформаций морозного пучения грунта. Патент на изобретение № 2474650. Опубл. 10.02.2013, Бюлл. № 4.
6. Невзоров А.Л., Коршунов А.А., Чуркин С.В. Методы оценки степени пучинистости грунтов с использованием современных приборов. Инженерные изыскания, 2013, №5, с.52-56.
7. Пусков В.И., Крицкий М.Я., Мельников И.А. Морозное пучение компрессионно нагруженных образцов грунта// Инж.-геол. условия, основания и фундаменты транспортных сооружений в Сибири: Межвуз.сб.научн.тр.- - Новосибирск: НИИЖТ, 1991.- с.76-84.
8. СП 22.13330-2011 Основания зданий и сооружений. М.: Минрегион России, 2011, 166 с.
9. СП 34.13330.2012 Автомобильные дороги. М.: Союздорнии, 2012, 99 с.
10. Шевченко Л.В., Лапшин В.Я. Морозное пучение грунта при различных криогенных текстурах с учетом его усадки/Мерзлотные исследования. Вып.XVI. - М.: МГУ, 1977,- с. 188 - 194.

11. ASTM D 5918. Standard Test Methods for Frost Heave and Thaw Weakening Susceptibility of Soils, 2006, p.12
12. BS812-124. Testing aggregates – Part 124: Method for determination of frost-heave, 1998, p. 29
13. Konrad J.M. Frost heave mechanics: Ph.D.Thesis, Edmonton Alberta.- 1980,- 472p.
14. Korshunov A., Churkin S., Nevzorov A. Numerical simulation of laboratory freezing tests of frost-susceptible soils.- Numerical methods in geotechnical engineering: Proceedings of the 8th European conference. Delft, The Netherlands, 18-20 June 2014. CRC Press/ Balkema. - p.977-982.
15. Penner E., Ueda T. The dependence of frost heaving on load application – preliminary results// Int. symp. on frost action in soils. V.1.- Lulea, Sweden, 1977, p. 92-101.
16. Sheng D. Thermodynamics of freezing soils. Theory and application/ Doct. Thesis.- Lulea Univ. of Techn., 1994,- 201 p.