

## УДК XXX.XXX

*Бояринцев Андрей Владимирович*, аспирант,  
ассистент

*Матюшина Валентина Алексеевна*, студент

*Родионова Екатерина Сергеевна*, студент

*Шорина Анастасия Юрьевна*, студент

(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет)

*E-mail:*

*Andrey\_boyarintsev@mail.ru*

*yalya98@mail.ru* ,

*july.evans170307@gmail.com*,

*anastasia12shorina@mail.ru*

*Boyarintsev Andrey Vladimirovich*, post-  
graduate student student, Teaching Assistan

*Matyushina Valentina Alekseyevna*, student

*Rodionova Yekaterina Sergeyeвна*, student

*Shorina Anastasia Yurievna*, student

(Saint Petersburg State University of  
Architecture and Civil Engineering)

*E-mail:*

*Andrey\_boyarintsev@mail.ru*

*yalya98@mail.ru* ,

*july.evans170307@gmail.com*,

*anastasia12shorina@mail.ru*

## ОПЫТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ МОРОЗНОГО ПУЧЕНИЯ ГРУНТОВ

### EXPERIMENTAL DETERMINATION OF FROST HEAVING SPEED

На конструкцию оказывает разрушающее действие сила морозного пучения. Она имеет две составляющие – нормальную и касательную. Если влияние нормальной составляющей давно изучено и исключено, то касательной, как правило, пренебрегают, но зачастую именно она вызывает выпучивание подземных конструкций.

Касательная составляющая определяется прочностью смерзания, которая зависит от нескольких факторов: температура окружающего воздуха и, следовательно, грунта, его тип, влажность, шероховатость поверхности конструкции, а так же скорость приложения нагрузки.

В данной статье описывается экспериментальное определение величины скорости пучения для различных видов грунтов и установление соответствия между их видами и скоростью пучения.

По проведенным испытаниям был построен график, по данным которого можно дополнить таблицу ГОСТ и использовать полученные результаты в практических целях.

*Ключевые слова:* скорость пучения, прочность смерзания, морозное пучение, степень пучинистости, промерзание, деформация.

Frost heaving has a destructive effect on a construction. It consists of two components – normal and rotational force. The influence of normal component has been studied and excluded for a long time, whereas the influence of rotational component generally has been neglected, but in fact it often causes buckling of underground structures.

The tangent component is determined by the adfreezing strength, which depends on several components: the ambient air temperature and, consequently, the soil, the type of soil, water content, surface roughness of the structure, the rate of load application, as well as the rate of load application.

This article describes the experimental determination speed of frost heaving for various types of soils and the establishment of conformity between their types and speed of frost heaving.

Based on the tests, a diagram was built, according to which it is possible to supplement the GOST table for practical use.

*Key words:* speed of heaving, freezing strength, frost heaving, degree of heaving, freezing, deformation.

## **1. Введение**

Значительную часть территории нашей страны занимают сезоннопромерзающие грунты. При смене сезона вода в составе грунта попеременно оттаивает и снова замерзает.

Морозное пучение – это увеличение объема грунта при его промерзании, происходящее из-за увеличения в объеме воды, содержащейся в грунте.

В зимний период грунт, окружающий фундамент, смерзается с боковой поверхностью и в результате пучения стремится увлечь фундамент вверх. Всю силу пучения можно разложить на две составляющие: одна действует на подошву фундамента (нормальная составляющая), вторая – по боковой поверхности (касательная составляющая). Первые исключаются путём заглубления фундаментов ниже глубины промерзания, вторые остаются и могут воздействовать на подземные конструкции. В результате циклического сезонного промерзания и оттаивания через несколько лет фундамент может быть «выпучен» из грунта на десятки сантиметров. Кроме того, при неравномерном поднятии фундамента в здании могут возникнуть трещины, перекосы стен, дверных проемов и окон.

На величину касательной составляющей силы пучения влияет прочность смерзания, которая, в свою очередь, зависит от многих факторов, среди которых: температура грунта, его свойства, шероховатость поверхности конструкции, а также скорость приложения нагрузки.

## **2. Понятие прочность смерзания в литературных источниках**

Такие учёные, как Цытович Н.А.[1], Далматов Б.И [2], Соколов В.Н.[3] в своих работах упоминали влияние прочности смерзания на величину касательных сил пучения.

В зависимости от скорости приложения нагрузки можно получить длительную и мгновенную прочность смерзания грунта с материалом фундамента. Во многих исследованиях установлено, что длительная прочность смерзания грунта может составлять  $\approx 0,1$  от мгновенной. Довольно распространенной является оценка сопротивления смерзания по предельно длительной прочности смерзания грунта с фундаментом. Н. А. Цытовичем [1] предложено принимать прочность смерзания грунта с фундаментом в качестве касательной составляющей силы пучения.

Далматов Б. И. [2] предполагал, что для более точного установления воздействия касательных сил, необходимо продавливать модели свай сквозь мёрзлые грунты при скорости пучения этих грунтов. Под скоростью пучения

следует понимать скорость движения грунта при его промерзании относительно подземной конструкции. Однако, технические средства, доступные на то время, не позволяли достоверно определить данную характеристику. Сегодня испытательное оборудование оснащено средствами измерения с непрерывной записью данных, что предоставляет указанную возможность.

Поскольку длительная прочность смерзания достигается в течение срока службы здания, то становится очевидным, что процессы пучения, протекающие в течение трёх-четырёх месяцев, имеют более высокое значение скорости [3]. Цель данного исследования – экспериментально определить величину скорости пучения для различных видов грунтов, установить соответствие между их видами и скоростью пучения.

### 3. Материалы и методы

Проводились испытания 4-х образцов разных типов грунтов ненарушенного сложения на приборе для определения степени морозного пучения грунтов компании Геотек согласно ГОСТ 28622-2012 «Грунты. Методы лабораторного определения степени пучинистости» [4]. Соблюдение температурного и влажностного режимов в течение 24 часов обеспечивало скорость перемещения фронта промерзания аналогично природным условиям. Параметры, которые устанавливались перед испытанием: температура на верхней границе грунта – минус 4 °С, на нижней – 1 °С, нормальное давление на образец 30 кПа.

### 4. Определение относительной деформации морозного пучения грунта

По окончании испытания образец извлекался из обоймы, разрезался вдоль вертикальной оси, и производились измерения фактической толщины промерзшего слоя (рис. 1).



Рисунок 1 – Испытанные образцы грунта

а) Образец №1; б) Образец №2

Figure 1. Tested soil samples: a) - Sample №; b) – Sample №2

Затем по формуле, представленной ниже, определялась относительная деформация:

$$\varepsilon_{fh} = h_f/d_i, \quad (1)$$

где  $h_f$  – вертикальное перемещение образца после промерзания;  
 $d_f$  – фактическая толщина промёрзшего слоя.

## 5. Результаты и выводы

В процессе испытания велась непрерывная запись деформации морозного пучения. На основе этих данных строились графики развития деформаций во времени (рис.2, а). Анализируя данную зависимость, можно заключить, что скорость пучения математически может быть определена как тангенс угла наклона касательной к кривой. Сопоставляя экспериментально полученные скорости пучения со скоростями, при которых определялись значения длительной прочности смерзания грунтов [2], равные 0,985 мм/сут или 0,041 мм/час, можно заметить, что сделанное авторами предположение об отличии реальной скорости пучения от той, при которой достигается длительная прочность смерзания, является верным.

На основании полученных данных построен график зависимости скорости пучения, мм/час от относительной деформации грунта (рис.2, б). Исходя из данной зависимости, можно сделать вывод, что различные по степени пучинистости грунты обладают разными скоростями пучения. На основе построенного графика можно определить характерные скорости пучения для разных видов грунтов. Таким образом, стандартную таблицу ГОСТ можно дополнить графой со значениями скорости пучения  $V_{пуч}$ :

*Таблица 1. Таблица Б.27 ГОСТ дополненная результатами опыта*

Разновидность грунтов	Степень пучинистости $\varepsilon_{th}$ , %	Скорость пучения $V_{пуч}$ , мм/час
Непучинистый	$\varepsilon_{th} < 1,0$	$V_{пуч} < 0,025$
Слабопучинистый	$1,0 < \varepsilon_{th} < 3,5$	$0,025 < V_{пуч} < 0,075$
Среднепучинистый	$3,5 < \varepsilon_{th} < 7,0$	$0,075 < V_{пуч} < 0,2$
Силнопучинистый	$7,0 < \varepsilon_{th} < 10,0$	$0,2 < V_{пуч} < 0,34$
Чрезмерно пучинистый	$\varepsilon_{th} > 10,0$	$V_{пуч} > 0,34$

Представленные данные (табл. 1) могут быть использованы при задании определённой скорости продавливания образца мёрзлого грунта сквозь образец материала фундамента при определении прочности смерзания методикой, предложенной Бояринцевым А. В. [5]. Значения прочности смерзания, полученные данным образом, могут быть интерпретированы как касательные силы пучения и использованы в соответствующих расчётах.

Практический смысл установления скорости пучения различных видов грунтов заключается в том, что, принимая при расчете касательных напряжений за скорость пучения длительную прочность смерзания грунта,

можно получить заниженные значения деформаций основания, что в свою очередь может повлечь большие значения выпучивания фундамента.

Для уточнения граничных значений скоростей пучения требуется проведение дополнительных испытаний большего числа образцов грунта. Кроме того, в описанном эксперименте не исследовалось влияние нормальной нагрузки на образец промораживаемого грунта, моделирующей расположение испытуемого грунта по глубине промерзающей толщи, что, по мнению авторов, может быть существенным и должно быть исследовано в будущем.

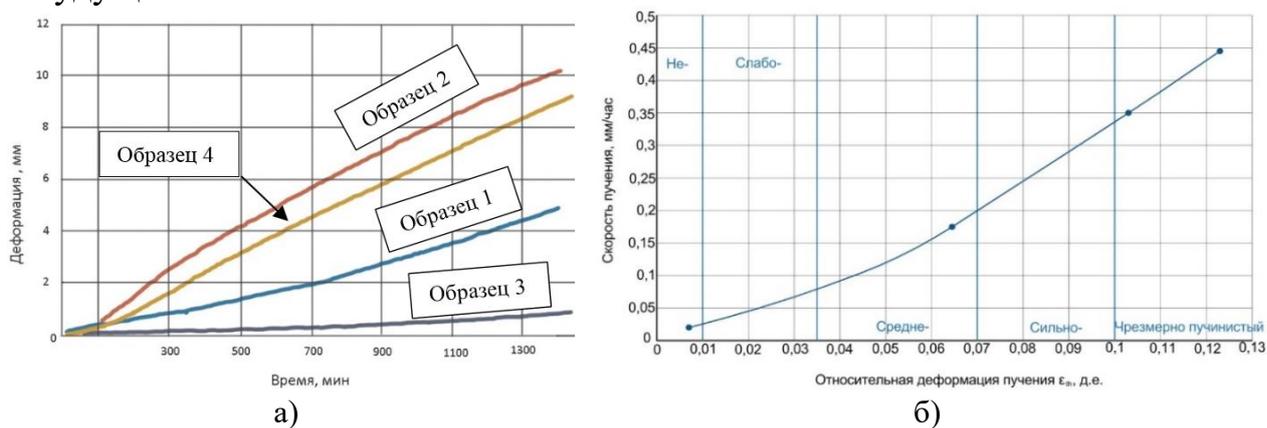


Рисунок 2 – Анализ полученных данных

а) Зависимость деформации морозного пучения образцов грунта от времени

б) Зависимость скорости пучения от относительной деформации

## Литература

1. Цытович, Н. А. Механика мёрзлых грунтов: учеб. пособие / Н. А. Цытович. – М.: Высшая школа, 1973. – 448 с.
2. Далматов Б. И. «Воздействие морозного пучения грунтов на фундаменты сооружений». // Диссертация на соискание ученой степени д. т. н. 1955.
3. Соколов В. Н. «Исследование силового воздействия промерзающего грунта на вертикальные элемента трубопровода». // Диссертация 1976.
4. ГОСТ 28622-2012 «Грунты. Метод лабораторного определения степени пучинистости». МНТКС.М., 2013.– 8 с.
5. Boyarintsev A.V., Lanko S.V. Experimental estimate of instantaneous adfreeze strength of glass-fibre reinforced plastic in frozen soil/ Geotechnics Fundamentals and Applications in Construction – Mangushev et al. (Eds) © Taylor & Francis Group, London. 2019. Vol.2 P. 49-53 ISSN 2639-7749