

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПРОМЕРЗАЮЩЕГО ПУЧИНИСТОГО ГРУНТА В НЕОДНОМЕРНОЙ ПОСТАНОВКЕ

Мельников А. В., Сахаров И. И.

ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», Санкт-Петербург, Россия (190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., 4), e-mail: a-melnikov.spb@yandex.ru

Для определения параметров напряженно-деформированного состояния (НДС) промерзающего пучинистого грунта в неоднородной постановке на основании выполненных экспериментальных исследований произведена адаптация известной аналитической методики Карлова В. Д., изначально предназначенной для решения одномерной задачи. Для достижения поставленной цели были проведены лабораторные эксперименты на крупномасштабных образцах глинистого грунта. В результате лабораторных исследований установлены экспериментальные зависимости параметров пучения от температуры промораживания, количества фронтов промерзания и условий миграции влаги. Полученные аналитические зависимости позволяют описывать НДС морозоопасного грунта при любых условиях промерзания и пучения. Предложенная методика может быть использована для прогноза сил и деформаций морозного пучения грунта при взаимодействии с фундаментами сооружений в районах глубокого сезонного промерзания.

Ключевые слова: промерзание грунта, морозное пучение, силы и деформации пучения.

ESTIMATION OF THE STRESS-STRAIN STATE OF HEAVING SOIL DURING FREEZING IN NON ONE-DIMENSIONAL CONDITIONS

Melnikov A. V., Sakharov I. I.

Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint-Petersburg, Russia (190005, Saint-Petersburg, 2-nd Krasnoarmeiskaya st., 4), e-mail: a-melnikov.spb@yandex.ru

To estimate the stress-strain state of heaving soil during freezing in non one-dimensional conditions the adaptation of well-known analytical method of Karlov V.D. was done on the base of experimental investigations. Karlov's method was initially intended for one-dimensional problem solution. To achieve a goal the laboratory experiments on large-scale clay soil samples were made. As a result of laboratory tests the experimental parameters of frost heave were established depend on the temperature of freezing, number of freezing fronts and water migration conditions. The obtained analytical dependences make it possible to describe the stress-strain state of heaving soil in any conditions of a freezing and heave. The proposed method can be used for prediction of soil heaving forces and deformations in interaction with foundations in the regions with deep seasonal freezing.

Key words: soil freezing, frost heave, heaving forces and deformations.

Введение

При заложении фундамента в слое сезонного промерзания морозоопасного грунта существует опасность возникновения сил морозного пучения, оказывающих негативное влияние на сохранность конструкций здания и его эксплуатационные свойства. В условиях глубокого сезонного промерзания фундаменты могут быть подвержены действию всего комплекса сил морозного пучения: касательных, вызванных смерзанием грунта с боковой поверхностью фундаментов; вертикальных нормальных, действующих по нормали к подошве фундаментов; горизонтальных нормальных, действующих по нормали к боковой поверхности фундаментов. При этом промерзание грунта может осуществляться в одном направлении – с дневной поверхности земли около здания или в двух направлениях: в

вертикальном – с поверхности земли около здания, в горизонтальном – через стены неотапливаемых подвалов или подполий. Таким образом, в общем случае задача промерзания и морозного пучения в этих условиях должна рассматриваться в двухмерной постановке.

Вопрос возникновения и развития касательных и вертикальных нормальных сил морозного пучения и вызываемых ими деформаций на сегодняшний день исследован удовлетворительно. Горизонтальные нормальные воздействия морозного пучения к настоящему времени исследованы недостаточно, закономерности их развития в условиях одностороннего и двухстороннего промерзания не установлены. Отсутствуют также и рациональные расчетные методики их определения при воздействии на боковые поверхности фундаментов.

Цель настоящего исследования заключается в следующем: используя экспериментально полученные в лабораторных опытах закономерности пучения глинистого грунта, выбрать и усовершенствовать расчетную методику оценки НДС промерзающего грунта в неоднородной постановке.

Материалы и методы исследования

Для выявления закономерностей развития вертикальных и горизонтальных нормальных сил морозного пучения и вызываемых ими деформаций нами было проведено несколько серий лабораторных экспериментов (всего около 30 опытов) на крупномасштабных образцах глинистого грунта. В результате лабораторных исследований были установлены экспериментальные зависимости указанных параметров от температуры промораживания (скорости промерзания), количества фронтов промерзания (один или два) и условий миграции влаги (открытая или закрытая система).

Для определения сил и деформаций морозного пучения грунта в неоднородной постановке на основании выполненных экспериментальных исследований произведена адаптация известной аналитической методики Карлова В. Д. [1], изначально предназначенной для условий одностороннего промерзания и пучения.

Результаты исследования

Карлов В. Д. установил линейную зависимость между коэффициентом морозного пучения и исходной объемной влажностью, которую он рассматривал как интегральную характеристику физического состояния грунта. Если основание воспринимает внешнее давление от сооружения σ , МПа, общее аналитическое выражение для определения относительной деформации морозного пучения поверхности глинистого грунта без возможности бокового расширения, перпендикулярной фронту промерзания при одностороннем его продвижении в любой плоскости, имеет вид:

$$\varepsilon_{fh\perp}^0 = [\alpha w_v - \beta - \psi \sigma] \gamma_T \chi, \quad (1)$$

где $w_v = w \frac{\rho_d}{\rho_w}$ – объемная влажность глинистого грунта, д.е.; α , β , ψ – экспериментально установленные параметры пучинистых свойств, зависящие от вида глинистого грунта, его числа пластичности и предела текучести; γ_T – поправочный коэффициент, учитывающий снижение интенсивности пучения с увеличением скорости промерзания (зафиксировано также в наших опытах), для районов с нормативной глубиной промерзания $d_{fn} \geq 3$ м равен 1; w – весовая влажность глинистого грунта до промерзания, д.е.; ρ_d – плотность сухого грунта, кН/м³; ρ_w – плотность воды, кН/м³; χ – коэффициент, учитывающий влияние подземных вод на интенсивность морозного пучения грунта.

Предлагается для условий незамкнутого объема принять зависимость уменьшения величины пучения от внешнего давления линейной. Тогда максимальную величину удельного нормального давления морозного пучения глинистого грунта, действующего на заглубленную конструкцию перпендикулярно фронту промерзания без возможности ее податливости, можно определить по формуле Карлова В. Д.:

$$p_{fh,max\perp} = [\alpha(\rho_d / \rho_w)w - \beta] / \psi, \quad (2)$$

где все обозначения те же, что и в формуле (1).

В условиях одностороннего вертикального промерзания при возможности бокового расширения природа возникновения горизонтальных нормальных сил пучения обусловлена анизотропией морозного пучения, которая к настоящему времени исследована недостаточно и упоминается лишь в отдельных работах [2–5]. В соответствии с этими исследованиями количественно она характеризуется экспериментально определяемым коэффициентом анизотропии морозного пучения, который представляет собой отношение:

$$\psi_a = \varepsilon_{fh\parallel} / \varepsilon_{fh\perp}, \quad (3)$$

где $\varepsilon_{fh\perp}$ и $\varepsilon_{fh\parallel}$ – относительные деформации морозного пучения при возможности бокового расширения, соответственно перпендикулярно и параллельно фронту промерзания.

Величина ψ_a для различных видов грунтов и условий промерзания теоретически может изменяться от -1 (равнообъемная боковая усадка) до 1 (равнообъемное боковое расширение).

Для исследования закономерностей развития вертикальных и горизонтальных воздействий морозного пучения в неоднородной постановке, а также экспериментального определения коэффициента анизотропии пучения следует обратиться к результатам двух серий наших опытов по промораживанию образцов пылеватого суглинка без возможности бокового расширения и при свободном горизонтальном пучении образцов (рис. 1 и 2). При

проведении опытов в условиях одностороннего и двухстороннего промерзания измерялись вертикальные и горизонтальные деформации пучения, а также боковое давление.

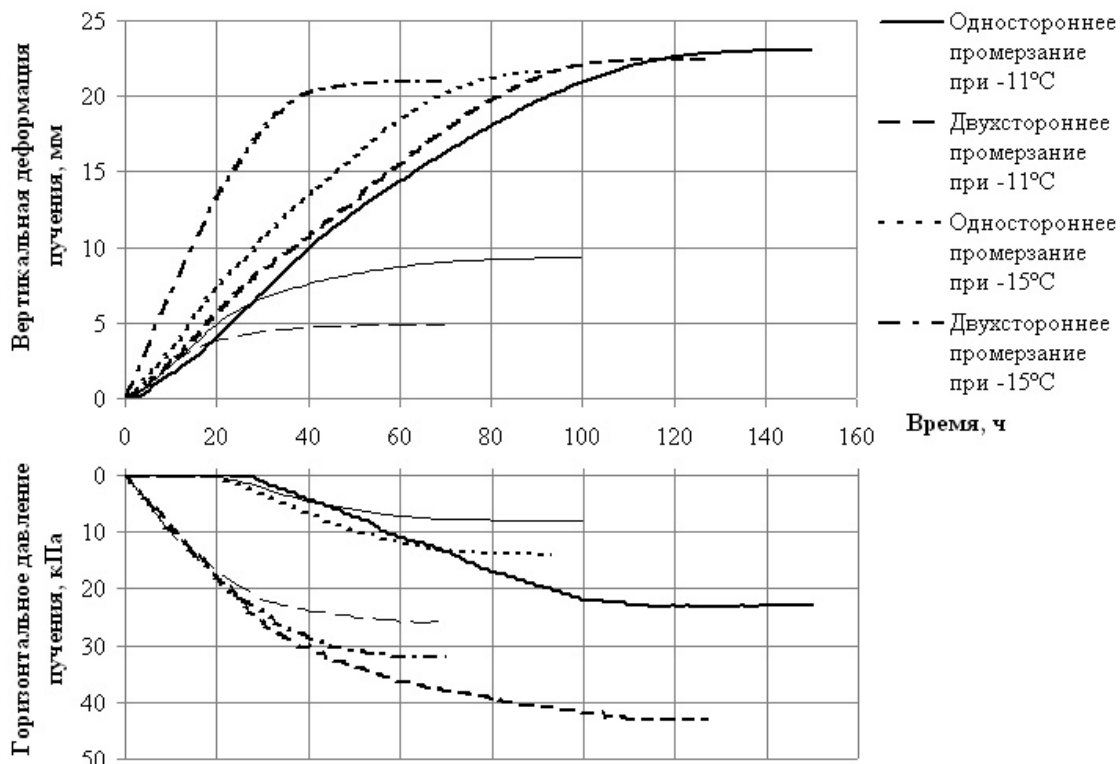


Рис. 1. Графики развития вертикальных деформаций и горизонтального давления морозного пучения суглинка без возможности бокового расширения. На графиках толстой линией показаны зависимости в условиях открытой системы, тонкой – закрытой

Из рис. 1 видно, что вертикальные деформации пучения при одностороннем промерзании превышали эти значения при двухстороннем промерзании; горизонтальные же силы, напротив, возрастали при наличии двух фронтов промерзания. При увеличении скорости промерзания конечные значения сил и деформаций пучения в обоих направлениях снижались, что подтверждает правомерность коэффициента γ_T в формуле (1).

Указанные тенденции сохранялись и для деформаций в обоих направлениях (рис. 2) при возможности смещения боковой стенки образцов. При одностороннем промерзании во всех случаях горизонтальное пучение было значительно меньше вертикального, составляя от его величины лишь от 4 до 14 %, и зачастую начиналось позднее. В условиях двухстороннего промерзания они становились сопоставимы по значению – горизонтальная деформация превышала вертикальную не более чем на 19 % при закрытой системе и на 30 % при открытой. При этом в условиях закрытой системы внутренний миграционный поток при двух фронтах промерзания разделялся на две части, что приводило к значительному уменьшению вертикального пучения и возрастанию горизонтального по сравнению с односторонним промерзанием. В условиях открытой системы горизонтальное воздействие

пучения при этом также возрастало, но вертикальное снижалось не столь существенно, как при закрытой системе, что, вероятно, объясняется возрастанием внешнего суммарного миграционного потока.

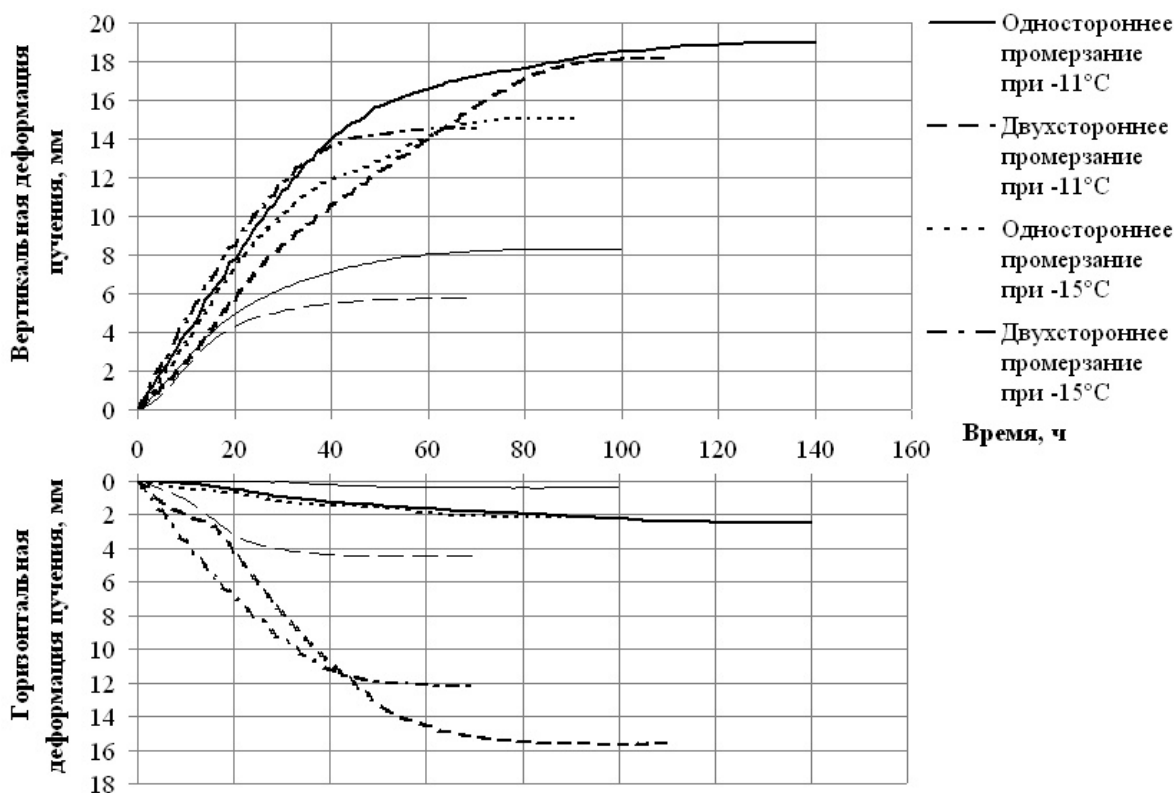


Рис. 2. Графики развития вертикальных и горизонтальных деформаций морозного пучения суглинка при возможности бокового расширения. На графиках толстой линией показаны зависимости в условиях открытой системы, тонкой – закрытой

Значения коэффициента анизотропии для исследуемого пылеватого суглинка, определенные экспериментально, составили:

- в условиях закрытой системы $\psi_a = 0 \div 0.05$;
- в условиях открытой системы $\psi_a = 0.10 \div 0.15$.

Из результатов проведенных лабораторных опытов следует, что в условиях закрытой системы при отсутствии подсоса дополнительной влаги извне при возможности бокового расширения и без него в грунте замерзает одно и то же количество воды. Тогда для условий одностороннего промерзания можно записать следующее выражение:

$$\varepsilon_{fh\perp}^0 = \varepsilon_{fh\perp} + \varepsilon_{fh\parallel} \quad (4)$$

Подставляя в это выражение зависимость (3), получим:

$$\varepsilon_{fh\perp} = \varepsilon_{fh\perp}^0 / (1 + \psi_a) \quad (5)$$

и

$$\varepsilon_{fh\parallel} = \psi_a \varepsilon_{fh\perp}^0 / (1 + \psi_a) \quad (5a)$$

Для определения максимального бокового давления морозного пучения в условиях одностороннего промерзания по аналогии с (3) запишем:

$$P_{f_{h,\max II}} = \Psi_a P_{f_{h,\max \perp}} \quad (6)$$

где все величины имеют тот же смысл, что и в выражении (3).

Как было показано выше, в условиях закрытой системы при двухстороннем промерзании вертикальные и боковые деформации пучения сопоставимы по значению. Тогда, рассматривая двухстороннее и полное промерзание глинистого грунта с одинаковой скоростью перемещения фронтов, в первом приближении можно записать:

$$f_{f_h}^v \approx f_{f_h}^h = f_{f_{h\perp}}^0 / 2. \quad (7)$$

где $f_{f_h}^v$ и $f_{f_h}^h$ – соответственно абсолютные вертикальная и горизонтальная деформации пучения при возможности верхнего и бокового расширения; $f_{f_{h\perp}}^0$ – абсолютная деформация, перпендикулярная фронту промерзания, при пучении без возможности бокового расширения.

Для условий открытой системы при одностороннем промерзании будут справедливы выражения (3)–(6). При наличии же двух фронтов промерзания и возможности бокового расширения общий миграционный поток влаги в образец извне усиливается, что приводит к увеличению суммарной деформации пучения по сравнению с односторонним процессом. Для этого случая выражение (7) может быть записано в следующем виде:

$$f_{f_h}^v \approx f_{f_h}^h = (f_{f_{h\perp}}^0 / 2) \Delta\chi. \quad (8)$$

где $\Delta\chi$ – безразмерный коэффициент, учитывающий увеличение миграционного потока влаги, в наших экспериментах $\Delta\chi=1.4$.

Заключение

Зависимости (1)–(8) позволяют аналитически описать НДС промерзающего пучинистого грунта в неоднородной постановке при любых условиях промерзания и пучения. Предложенная методика может быть использована для прогноза параметров НДС промерзающего пучинистого грунта при взаимодействии с фундаментами сооружений в районах глубокого сезонного промерзания.

Список литературы

1. Карлов В. Д. Основания и фундаменты на сезоннопромерзающих пучинистых грунтах / В. Д. Карлов. – СПб.: СПбГАСУ, 2007. – 362 с.
2. Кудрявцев С. А. Геотехническое моделирование процесса промерзания и оттаивания морозоопасных грунтов / С. А. Кудрявцев. – СПб.; М.: АСВ, 2004. – 37 с.

3. Полянкин Г. Н. Исследование совместной работы основания и фундамента в промерзающих пучинистых грунтах: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Л., 1982. – 19 с.
4. Сахаров И. И. Физикомеханика криопроецессов в грунтах и ее приложения при оценке деформаций зданий и сооружений: автореф. дисс. ... докт. техн. наук. – Пермь, 1995. – 44 с.
5. Kudryavtsev S. A. Numerical forecast of freezing, heave and thawing of soils under footings in three-dimensional mode / Kudryavtsev S. A, Sakharov I. I., Paramonov V. N. // Proceeding of the fifth International symposium on permafrost engineering. Vol.1. – Yakutsk: Permafrost Institute Press, 2002. – P.198-202.

Рецензенты:

Парамонов Владимир Николаевич, д-р техн. наук, профессор, технический директор ООО «ПИ Геореконструкция», г. Санкт-Петербург.

Усманов Рустам Алимджанович, д-р техн. наук, профессор кафедры геотехники СПбГАСУ, г. Санкт-Петербург.