

УДК 624.131

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ПУЧИНИСТЫХ ГРУНТОВ ЮЖНЫХ РАЙОНОВ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

**Шестаков И.В.***Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Хабаровск,  
e-mail: kudr@festu.khv.ru*

Проблема проектирования и строительства на пучинистых грунтах особенно остро стоит в южной части Дальневосточного региона в связи с возрастающими объемами строительства зданий и сооружений на буронабивных сваях. Дальний Восток отличается суровым климатом с глубоким сезонным промерзанием и особенностями инженерно-геологических условий региона. И деформации грунтов в основании фундаментов при их промерзании и оттаивании (морозное пучение) вызывают серьезные повреждения малонагруженным фундаментам зданий и сооружений, а также незавершенным объектам строительства. Для снижения негативного воздействия сил морозного пучения на свайный фундамент применяется целый комплекс мер: понижение уровня грунтовых вод, организованный отвод поверхностных вод от объекта строительства, размещение подошвы ростверка выше поверхности земли, нанесение на боковую поверхность свай материалов снижающих сцепление грунта при действии касательных сил морозного пучения. Конструктивными методами, показавшими высокую эффективность, является применение экструдированного пенополистирола при утеплении фундамента на буронабивных сваях для повышения температуры промерзающего грунта.

**Ключевые слова:** морозное пучение, буронабивные сваи

## TEMPERATURE REGIME AROUND THE PIPE WITH INSULATION IN HEAVING SOILS SOUTHERN DISTRICT OF THE FAR EASTERN

**Shestakov I.V.***Far Eastern State Transport University, Khabarovsk, e-mail: kudr@festu.khv.ru*

The problem of design and construction on heaving soils is particularly acute in the southern part of the Far Eastern due to the increased volume of construction of buildings and structures on the bored piles. The Far Eastern is extreme climates with deep seasonal freezing and geotechnical characteristics of the region. And deformation of soils at the base of foundations during their freezing and thawing (frost heave) have a lightly loaded serious damage to building foundations and structures, as well as unfinished construction projects. To reduce the effects of frost heaving forces on pile foundation used a range of measures: reduction of the water table, organized withdrawal of surface water from the construction project, placing the bottom grillage above soil, coating the surface of the pile side friction materials reduce shear forces from the action of frost heaving. In addition to the above methods shows high efficiency insulation foundation on bored piles extrusion styrofoam.

**Keywords:** frost heave, bored piles

Проблема проектирования и строительства на пучинистых грунтах особенно остро стоит в Дальневосточном регионе в связи с возрастающими объемами строительства. Дальний Восток отличается суровым климатом с глубоким сезонным промерзанием и особенностями инженерно-геологических условий региона. И деформации грунтов в основании фундаментов при их промерзании и оттаивании вызывают серьезные повреждения малонагруженным фундаментам зданий и сооружений, незавершенным объектам (без отопления).

Проектирование и конструирование фундаментов необходимо производить комплексно в годичном цикле процессов промерзания, морозного пучения и оттаивания. При этом должны быть проработаны конструктивные меры защиты оснований и фундаментов от влияния на сооружения этих негативных явлений.

### Исследование изменения температуры грунта в скважинах

Из-за климатических особенностей в России строительство ведется на сезонно про-

мерзающих грунтах, в том числе с глубоким сезонным промерзанием. Сезонное промерзание грунтов наблюдается на территории, занимающей всю площадь южных районов Дальнего Востока России. Глубина сезонного промерзания грунтов колеблется в широких пределах, порой достигая 3 м [4, 5].

В соответствии со строительными нормами и правилами при строительстве на пучинистых грунтах требуют заглублять фундаменты ниже глубины сезонного промерзания грунтов, т.к. промерзание основания во время строительства или эксплуатации может привести к недопустимым деформациям сооружения. При этом действие нормальных сил на подошву прекращается, а касательные силы пучения по боковым поверхностям фундамента значительно возрастают (в малоэтажных зданиях эти силы часто превосходят нагрузку, действующую на фундаменты, вследствие чего последние также подвергаются пучению – деформируются) [1, 2, 3, 4].

Заглубление фундаментов ниже глубины сезонного промерзания приводит к большому объему земляных и бетонных работ,

в конечном счете увеличивая стоимость фундаментов (до 50%) и долю фундаментов в суммарной стоимости здания. Особенно существенно этот факт сказывается на малоэтажных зданиях, в которых стоимость фундаментов распределяется на небольшое количество этажей, тем самым резко повышая стоимость 1 м<sup>2</sup> жилья по сравнению с многоэтажными зданиями.

В ходе развития малоэтажного строительства требование о глубоком заложении фундаментов в условиях сезонно промерзающих грунтов приобрело вид аксиомы, к сожалению не спасающей фундамент от действия сил морозного пучения. Для решения проблемы действия на тело фундамента касательных сил в разное время предлагалось и предлагается: усиленный армированный фундамент и само надземное строение, устройство противопучинистых подсыпок, обмазок и засыпок, прогрева боковой поверхности фундамента, засолением и замачиванием грунтов.

В последние годы развивается новое решение проблемы: за счет применения те-

плоизоляционных материалов частично или полностью исключить промерзание грунта под фундаментом. Стоит отметить, что в нашей стране накоплен достаточно большой положительный опыт по использованию теплоизоляции в качестве защиты в подземных сооружениях, в шоссе, дамбах, железных насыпей от действия сил морозного пучения [1, 2, 3, 4].

Для изучения температурных режимов (свайный фундамент) в октябре 2010 г. в г. Хабаровске был устроен опытный участок. На глубину 3 м установлены полипропиленовые трубы диаметром 50 мм. На уровне дневной поверхности вокруг одной из труб устроен утеплитель из экструдированного пенополистирола, толщ. 100 мм (рис. 1). Во избежание конвекции воздуха верхняя часть труб была закрыта пробкой. Измерения температуры выполнялись внутри трубы с помощью терморезисторов. Схема расположения точек измерения температуры грунта показана на рис. 1. Показания снимались с периодичностью один раз в месяц в течение всего периода наблюдений.

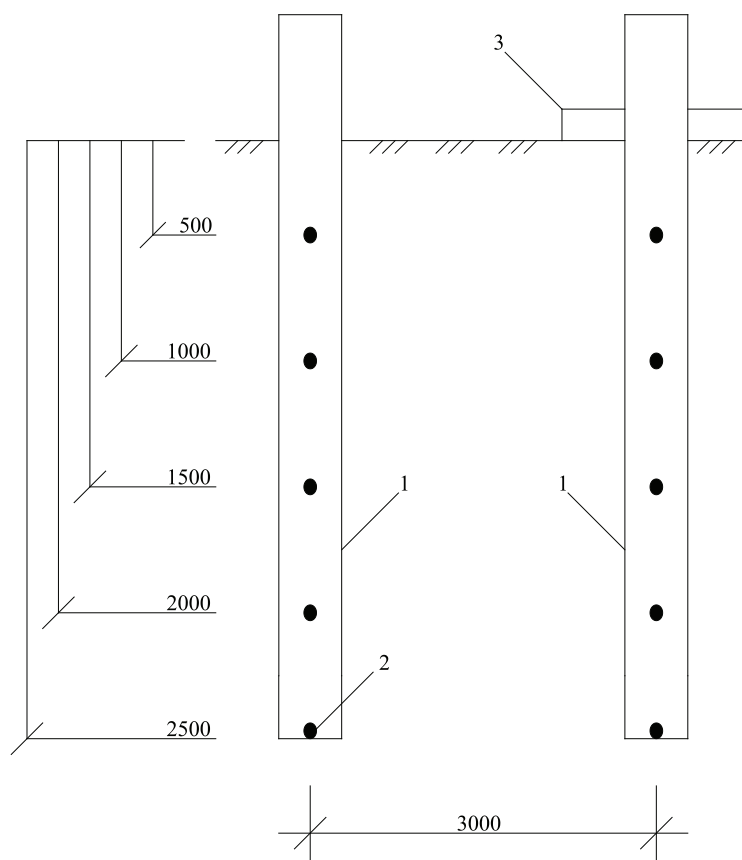


Рис. 1. Схема расположения точек измерения температуры грунта на опытном участке:  
1 – труба; 2 – точки замера; 3 – теплоизоляция из экструдированного пенополистирола

В 2010 г. октябрь охарактеризовался температурой наружного воздуха на  $0,9^{\circ}\text{C}$  выше нормативной, а ноябрь и последующие месяцы ниже нормативных: ноябрь – на  $2,2^{\circ}\text{C}$ , декабрь – на  $0,9^{\circ}\text{C}$ , январь – на  $3,3^{\circ}\text{C}$ , февраль – на  $1,2^{\circ}\text{C}$ , март – на  $1,2^{\circ}\text{C}$ , апрель – на  $2,5^{\circ}\text{C}$ , май – на  $0,1^{\circ}\text{C}$  (табл. 1).

Первичный снежный покров начал образовываться в ноябре, во второй декаде ноября имел мощность  $0,1\text{--}0,30\text{ м}$ . Во второй декаде декабря вследствие обильных осадков в районе экспериментального участка образовался устойчивый уплотненный снежный покров мощностью  $0,5\text{--}1\text{ м}$ .

Таблица 1

Среднемесячные значения температуры воздуха

| Год                                               | 2010    |        |         | 2011   |         |       |        |      |
|---------------------------------------------------|---------|--------|---------|--------|---------|-------|--------|------|
| Месяц                                             | Октябрь | Ноябрь | Декабрь | Январь | Февраль | Март  | Апрель | Май  |
| Температура наружного воздуха, $^{\circ}\text{C}$ | 5,5     | – 5,3  | – 18,5  | – 23,1 | – 14,2  | – 7,9 | – 2,8  | 12,3 |

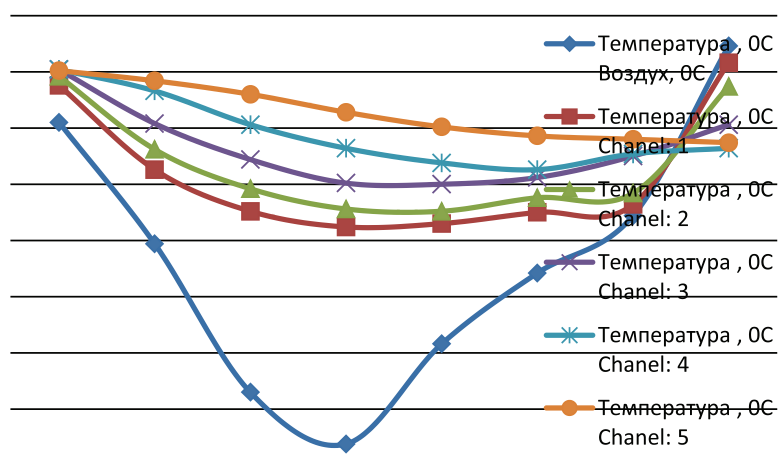


Рис. 2. График изменения температуры грунта в скважине без изоляции

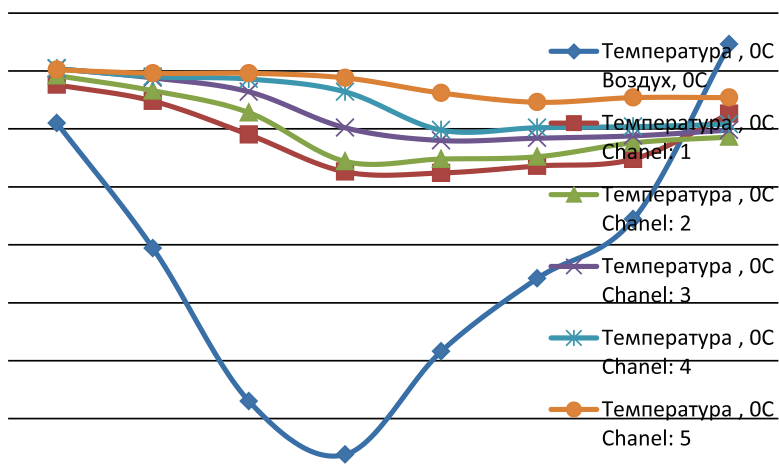


Рис. 3. График изменения температуры грунта в скважине под снежным покровом

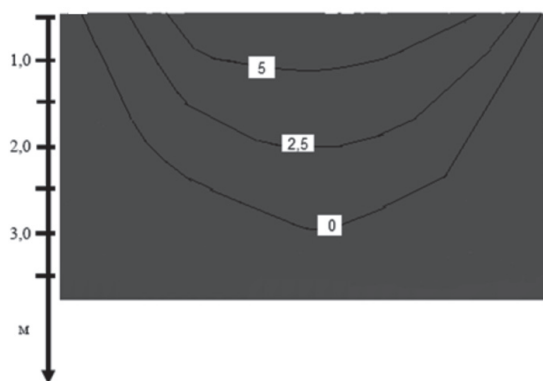


Рис. 4. Положение изолиний в грунте при оголенной поверхности в течение срока наблюдений по результатам численного моделирования в программе Termoground

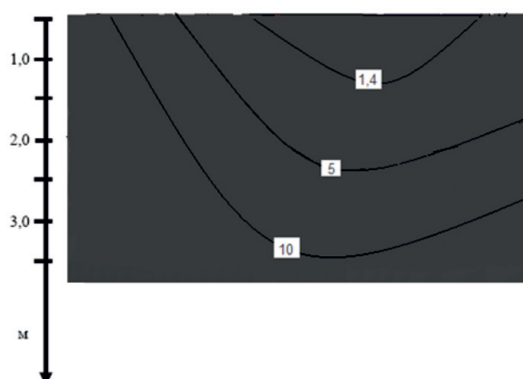


Рис. 5. Изолинии температур в грунте с утеплением поверхности экструдированным пенополистиролом в течение срока наблюдений по результатам численного моделирования в программе Termoground

Таблица 2

Температура воздуха и грунтов основания

| Месяц/глубина       | Июль | Август | Сентябрь | Октябрь | Ноябрь | Декабрь | Январь | Февраль | Март | Апрель | Май  | Июнь |
|---------------------|------|--------|----------|---------|--------|---------|--------|---------|------|--------|------|------|
| Температура воздуха | 19,8 | 13,3   | 4,4      | – 8     | – 18,5 | – 23,1  | – 14,2 | – 7,3   | 9,1  | 12,3   | 17,9 | 21,3 |
| – 0,15 (м)          | 21   | 16,2   | 8,7      | 1,3     | – 2,4  | – 3,8   | – 3,4  | – 1,5   | 2,5  | 10,8   | 17,4 | 21,2 |
| – 0,40 (м)          | 19,9 | 16,3   | 9,8      | 3,1     | – 0,4  | – 2,3   | – 2,4  | – 1,2   | 1,2  | 8,7    | 15,2 | 19,3 |
| – 0,80 (м)          | 17,7 | 15,7   | 11       | 5,4     | 2,2    | 0,1     | – 0,9  | – 0,6   | 0,2  | 5,3    | 11,9 | 16,1 |
| – 1,60 (м)          | 13,9 | 14     | 11,9     | 8,3     | 5,3    | 3,2     | 1,9    | 1,3     | 1,3  | 3,2    | 7,7  | 11,5 |
| – 3,20 (м)          | 9,2  | 10,5   | 10,7     | 9,6     | 8      | 6,4     | 5,1    | 4,3     | 3,7  | 3,7    | 5,1  | 7,2  |

На рис. 2 показаны графики изменения температуры грунта под оголенной поверхностью.

На рис. 3 показаны графики изменения температуры грунта в скважине с изоляцией из экструдированного пенополистирола.

Наблюдения показали, что при наступлении отрицательных температур в скважине с утеплителем сохранялись положительные температуры грунта. Температура грунта под утеплителем в течение всего периода действия отрицательных температур наружного воздуха не опускалась до отрицательных значений. В этом случае теплоизоляция защищает нижележащий грунт от промерзания, что говорит о целесообразности ее использования.

В ходе исследований было выявлено снижение скорости роста температур в верхних слоях грунта, с ростом температур наружного воздуха, в отличие от скважины без утеплителя, где кривая изменения температуры грунта на отметках 0,5 м и 1,0 м повторяет кривую температуры наружного воздуха. Это вызвано тем, что теплоизоляция,

расположенная в уровне дневной поверхности, препятствует проникновению в грунт тепла, при положительной температуре наружного воздуха, снижая скорость процесса его прогрева.

Для исследования процессов промерзания, морозного пучения и оттаивания были проведены теплофизические расчеты опытного основания с учетом фазовых превращений в спектре отрицательных температур для нестационарного теплового режима в трехмерном грунтовом пространстве методом конечных элементов по программе «Termoground», которая включена в программный комплекс «FEM models», разработанный геотехниками Санкт-Петербурга под руководством профессора В.М. Улицкого [1, 2, 3]. Составной частью «FEM-models» является программа «Termoground», которая позволяет исследовать с помощью численного моделирования в пространственной постановке процессы промерзания, морозного пучения и оттаивания в годичном цикле методом конечных элементов. Решение задачи численного моделирования процессов про-

мерзания, морозного пучения и оттаивания проводится в два этапа. Первоначально решается теплотехническая задача, в результате которой определяются температурные и влажностные поля на каждый период времени. Вторым этапом решается задача определения напряженно-деформационного состояния грунтов основания в процессе морозного пучения и оттаивания [1, 2, 3].

В основу математической модели теплофизических процессов в программе «Termoground» принята модель промерзающего, оттаивающего и мерзлого грунта, предложенная Н.А. Цытовичем и Я.А. Кроником, В.Ф. Киселевым [1, 2, 3].

Начальным условием задачи является заданное значение поля температуры в исследуемой области грунта в начальный момент времени. Граничные условия представляют собой среднемесячные значения температуры атмосферного воздуха в Хабаровске, данные метеослужбы (табл. 2), влажность грунта и теплофизические свойства грунтов основания [4, 5].

На рис. 4 показаны изолинии температуры грунта, полученные путем численного моделирования результатов полевых измерений без утепления.

На рис. 5 показаны изолинии температуры грунта, полученные путем численного моделирования результатов полевых измерений с утеплением экструдированным пенополистиролом.

### Выводы

Результаты измерений температуры грунтов по глубине промерзания и численного моделирования данного опытно-

го участка исследования в условиях г. Хабаровска показали, что утепление грунта с использованием экструдированного пенополистирола снижает глубину промерзания и температуру грунта до безопасных величин, исключающих процесс морозного пучения.

### Список литературы

1. Карлов В.Д. Основания и фундаменты на сезонно-промерзающих пучинистых грунтах / СПГАСУ. – Санкт-Петербург, 2007. – 362 с.
2. Кудрявцев С.А., Тюрин И.М. Теория и практика проектирования фундаментов зданий и сооружений в пучиноопасных грунтах Дальнего Востока: Учебное пособие. – Хабаровск: ДВГУПС, 1999. – 83 с.
3. Кудрявцев, С.А. Расчетно-теоретическое обоснование проектирования и строительства сооружений в условиях промерзающих пучинистых грунтов: дис. ... докт. техн. наук: 05.23.02. – СПб., 2004. – 344 с.
4. Невзоров А.Л. Фундаменты на сезоннопромерзающих грунтах. Учебное пособие. – М.: Изд. АСВ, 2000. – 152 с.
5. Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике. – М.: Недра, 1987. – 221 с.

### References

1. Karlov V.D. Osnovaniya i fundamenty na sezonno-promerzajushhih puchinistyh gruntah / SPGASU. Sankt-Peterburg, 2007. 362 p.
2. Kudrjavcev S.A., Tjurin I.M. Teorija i praktika projektirovanija fundamentov zdaniy i sooruzhenij v puchinoopasnyh gruntah Dalnego Vostoka: Uchebnoe posobie. Habarovsk: DVGUPS, 1999. 83 p.
3. Kudrjavcev, S.A. Raschetno-teoreticheskoe obosnovanie projektirovanija i stroitelstva sooruzhenij v uslovijah promerzajushhih puchinistyh gruntov: dis. ... dokt. tehn. nauk: 05.23.02. SPb., 2004. 344 p.
4. Nevzorov A.L. Fundamenty na sezonno-promerzajushhih gruntah. Uchebnoe posobie. M.: Izd. ASV, 2000. 152 p.
5. Fadeev A.B. Metod konechnyh jelementov v geomehanike. M.: Nedra, 1987. 221 p.