

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОСНОВАНИЙ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ

Моркляник Б.В.
Национальный университет «Львовская политехника»
г. Львов, Украина

Шаповал В.Г., Фартушный А.С.
Государственное Высшее учебное заведение «Национальный горный университет»
г. Днепропетровск, Украина

АННОТАЦИЯ: Встановлено та проаналізовано додаткові навантаження та впливи на ґрунтові основи та розташованих на них фундаментів, обумовлені функціонуванням розташованих в них колекторів ґрунтових теплових насосів.

АННОТАЦИЯ: Выявлены и проанализированы дополнительные воздействия и нагрузки на грунтовые основания и фундаменты, в которых расположены коллекторы грунтовых тепловых насосов.

ABSTRACT: Impact of additional load on the ground bases and foundations, which are reservoirs of groundwater heat pumps are identified and analyzed.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Грунтовый тепловой насос, грунт, циклическое замерзание-оттаивание грунта.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Тепловые насосы получили широкое распространение в экономически развитых странах (Германия, Австрия, Япония) и в странах с высокими требованиями к экологии производств (Швеция, Финляндия) [1,...,7].

Эта технология позволяет в 2,5...5 раз и более сократить потребление энергии для нужд отопления и кондиционирования. При этом из-за изменения теплового режима оснований и их циклического замерзания-оттаивания в ходе работы грунтовых тепловых насосов возникают новые, неучтенные в действующих в настоящее время на территории Украины нормативных документах нагрузки и воздействия.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ, В КОТОРЫХ ПОЛОЖЕНО НАЧАЛО РЕШЕНИЮ ДАННОЙ ПРОБЛЕМЫ

Проблеме использования грунтовых тепловых насосов посвящены работы [1 - 15]. При этом в них основное внимание уделено прогнозу в грунтовых основаниях тепловых полей и слабо освещена проблема расчета грунтовых оснований, фундаментов и их частей, в которых расположены коллекторы грунтовых тепловых насосов.

ВЫДЕЛЕНИЕ РАНЕЕ НЕ РЕШЕННЫХ ЧАСТЕЙ ОБЩЕЙ ПРОБЛЕМЫ, КОТОРЫМ ПОСВЯЩЕНА ДАННАЯ СТАТЬЯ

При работе грунтовых тепловых насосов в реверсном режиме происходит циклический нагрев и охлаждение грунтовых оснований. При этом если с точки зрения теплотехники процесс циклического замерзания и оттаивания грунтовых оснований несущественно сказывается на работе грунтовых тепловых насосов [16], то в данном случае происходит резкое ухудшение свойств грунта [17].

Цель работы - выявить обусловленные работой тепловых насосов неучтенные в нормативных документах воздействия на грунт и изложить основные положения методики расчета и проектирования оснований и фундаментов, в которых расположены коллекторы грунтовых тепловых насосов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

При работе грунтовых насосов в реверсном режиме происходит циклические нагрев и охлаждение грунта, а при неблагоприятном стечении обстоятельств - его циклическое замерзание - оттаивание. В последнем случае происходит резкое ухудшение свойств грунта [17]. Очерченный нами круг проблем, возникающих при работе грунтовых тепловых насосов, изложен в табл. 1.

Таблица 1

Дополнительные воздействия на основания и фундаменты, обусловленные устройством и эксплуатацией коллекторов грунтовых тепловых насосов

Дополнительное воздействие	Причина
Подъем основания	Температурные деформации при нагревании грунта
Опускание основания	Температурные деформации при охлаждении грунта
Морозное пучение	Объемные деформации при замерзании грунта
Морозная усадка	Объемные деформации при оттаивании грунта
Снижение несущей способности основания по грунту	Циклическое замерзание - оттаивание слагающего основание грунта
Снижение несущей способности свайных фундаментов из висячих свай по грунту	Циклическое замерзание - оттаивание прилегающего к свае грунта
Снижение прочности и трещиностойкости материала фундаментов и их частей, в которых расположены полимерные теплообменники	Различие в значениях коэффициентов линейного температурного расширения бетона и полимерного материала, из которого изготовлены теплообменники
Изменение режима миграции подземных вод при их замерзании и оттаивании. Барражный эффект	Уменьшение коэффициента фильтрации из-за частичного и (или) полного замерзания грунта
Деформационные трещины в зданиях, сооружениях и их частях	Неравномерные деформации основания
Просадочные деформации, химическая суффозия	Утечки из расположенных в грунтовых основаниях коллекторов грунтовых тепловых насосов

Ниже изложены основные положения методики расчета оснований грунтовых насосов, позволяющие учитывать изложенные в пп. 1,...,9 таблицы 1 не учтенные в Украинских нормативных документах нагрузки и воздействия.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА НАПРЯЖЕННО - ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ (НДС) И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОСНОВАНИЙ ГРУНТОВЫХ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ

1. Расчет НДС оснований следует выполнять по первой и второй группам предельных состояний. При этом необходимо рассматривать самый невыгоднейший случай
2. Расчету НДС оснований и фундаментов обязательно должен предшествовать расчет обусловленных работой тепловых насосов температурных полей, а также выявление зон замерзания и оттаивания
3. Помимо нагрузок и воздействий, оговоренных в ДБН В.1.2-2:2006, необходимо учитывать нагрузки, обусловленные замерзанием и оттаиванием основания, а также дополнительные усилия, обусловленные различием в коэффициентах линейного температурного расширения бетона и полимерного материала, из которого выполнены коллекторы тепловых насосов. Эти нагрузки следует рассматривать **переменные длительные**.
4. В ходе расчетов по первой группе предельных состояний необходимо добиться выполнения условия

$$F \leq F_u, \quad (1)$$

где F - действующая на основание или фундамент нагрузка, а F_u - ее предельное значение

- 4.1. В качестве расчетных следует принимать расчетные характеристики грунта, определенные на интервале вероятности $\alpha = 0,95$
- 4.2. определение прочностных характеристик грунта необходимо производить с учетом их снижения при оттаивании грунта
- 4.3. При определении несущей способности висячих свай F_d следует учитывать существенное снижение их несущей способности по боковой поверхности при замерзании - оттаивании грунта. Для этой цели следует использовать формулу

$$F_d = k_d \cdot F_d^{\text{дбн}}, \quad (2)$$

где $F_d^{\text{дбн}}$ - несущая способность свай, установленная согласно рекомендаций ДБН [18], а k_d - экспериментальный коэффициент снижения несущей способности свай.

5. В ходе расчетов по второй группе предельных состояний необходимо добиться выполнения условия

$$S \leq S_u, \quad (3)$$

где S - действующая на основание или фундамент нагрузка, а S_u - ее предельное значение, которое следует принимать в соответствии с рекомендациями ДБН В.2.1-10-2009.

5.1. Следует различать осадки, обусловленные силовыми воздействиями S_c , морозным пучением грунта (подъем) S_n и осадки, обусловленные оттаиванием грунта (опускание) S_o

5.2. В качестве расчетной следует принимать наибольшую из осадок

$$S = S_c + S_n \text{ или } S = S_c + S_o \quad (4)$$

5.3. Осадку S_c следует определять по методике ДБН. При этом в качестве расчетных следует принимать деформационные характеристики, установленные для грунта в естественном состоянии

5.4. Осадку S_o следует определять по формуле

$$S_o = \sum_{i=1}^n \varepsilon_{o,i} \cdot h_i \cdot k_{o,i} - k_{o,i-1} \quad (5)$$

где $\varepsilon_{o,i}$ - относительная деформация i - того слоя толщиной h_i при оттаивании, а $k_{o,i}$ - коэффициент условий работы.

Если экспериментальные данные отсутствуют, то допускается принимать $\varepsilon_{o,i} = 0,03$.

5.5. Осадку S_n следует определять по формуле

$$S_n = \sum_{i=1}^n \varepsilon_{n,i} \cdot h_i \cdot k_{n,i} - k_{n,i-1} \quad (6)$$

где $\varepsilon_{n,i}$ - относительная деформация i - того слоя толщиной h_i при замерзании грунта, а $k_{n,i}$ - коэффициент условий работы.

Если экспериментальные данные отсутствуют, то допускается принимать $\varepsilon_{n,i} = 0,03$.

5.6. Если фундамент расположен вне зоны замерзания - оттаивания основания, для определения его дополнительных деформаций следует использовать метод угловых точек.

6. В случае замерзания основания следует учитывать снижение коэффициента фильтрации, в результате чего возможен подъем уровня подземных вод и дополнительное обводнение основания

7. В случае размещения коллекторов тепловых насосов внутри железобетонных фундаментов и их элементов, для восприятия дополнительных усилий, обусловленных различием коэффициентов температурного расширения, необходима установка дополнительных арматурных каркасов

8. Допускается выполнять совместный расчет напряженно - деформированного состояния системы "основание, в котором размещен коллектор теплового насоса - фундамент - надфундаментное строение".

Для этого целесообразно использовать стандартные программные комплексы, такие как "Ли́ра", "Скад", "Космос" и им подобные.

ЛИТЕРАТУРА

1. Популярная механика. - №8 (70). - М., 2008. - С. 78 - 81.
2. Пономарев А.Б. Энергетические фундаменты / Пономарев А.Б., Атаманов А.А. //Строительная наука и техника.- 2008. -№4. - С. 57-61.
3. Brandl H. Energy foundation and other thermo–active ground structures / Brandl H. // Geotechnique 56. – 2006. - №2. – P. 81-122.
4. Brandl H. Energy piles and diaphragm walls for heat transfer from and into the ground / Brandl H. // Proceeding of the 3-th international Geotechnical Seminar on Deep Foundations on Bored and Auger Piles. Ghent. Technical University, Vienna, Austria, 1998. – P. 38-60.
5. Популярная механика, №7 (45). - М., 2006. - С. 28-30.
6. Популярная механика, №5 (67). - М., 2008. - С. 89-91.
7. Черная К.В. Использование конструкций фундаментов глубокого заложения при извлечении геотермальной энергии / Черная К.В. // Світ геотехніки. - №1, 2006. - С. 27 - 31.
8. Шаповал В.Г. Закономерности изменения во времени температуры на дневной поверхности грунтовых оснований / Шаповал В.Г., Моркляник Б.В. // зб. наук. праць (галузеве машинобудування, будівництво).– Полтава: ПолтНТУ, 2007.– №28.–С. 298-302.
9. Шаповал В.Г. Основания и фундаменты тепловых насосов / Шаповал В.Г., Моркляник Б.В. - Львов: Сполом, 2009. – 64 с.
10. Шаповал В.Г. Тепловые насосы, энергетические основания и фундаменты (часть 1) / Шаповал В.Г., Моркляник Б. В. // Світ геотехніки. - №1.- 2009.–С. 27-29.
11. Шаповал В.Г. Тепловые насосы, энергетические основания и фундаменты (часть 2) / Шаповал В.Г., Моркляник Б. В. // Світ геотехніки. - №2.- 2009.–С. 28-29.
12. Шаповал В.Г., Тепловые насосы, энергетические основания и фундаменты (часть 3) / Шаповал В.Г., Моркляник Б. В. // Світ геотехніки. - №3. 2009.–С. 24-26.
13. Шаповал В.Г. Тепловые насосы, энергетические основания и фундаменты (часть 4) / Шаповал В.Г., Моркляник Б.В. // Світ геотехніки. - №4. 2009.–С. 32-33.
14. Температурні поля в ґрунтових основах теплових насосів : монографія. - Дніпропетровськ: Пороги, 2011.- 123 с.
15. Захаров А.В. Анализ взаимодействия энергоэффективных конструкций фундаментов с грунтовым массивом: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук. – Волгоград, 2012. - 20 с.
16. Геотермические тепловые насосы для отопления и приготовления горячей расходной воды. Тетрадь проектанта.– Киев: Junkers, 2009. - 103 с.
17. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах: СНиП 2.02.04-88.
18. Основи та фундаменти споруд: ДБН В.2.1-10-89.

Статья поступила в редакцию 18.03.2013 г.