

9. Khachiyani, E.E. and Ambarcumyan, V.A. (1981), *Dinamicheskie modeli sooruzheniy v teorii seysmostoykosti* [Dynamic models of buildings in the theory of seismic stability], Moscow, Russia.

10. Khlevnyuk, T.V. (2009), "Increase of reliability of estimation of seismic safety of buildings with different level of the technical state at technogenic explosions", Thesis abstract for Cand.Sc. (Engineering.), 05.15.03, National Technical University of Ukraine "KPI", Kiyv, Ukrain.

11. Boyko, V.V., Kuz'menko, A.A., Khlevnyuk, T.V. (2008), "Evaluation of seismic safety of buildings at explosive waves influence on them taking into account their spectral descriptions", *Transactions of National technical university of Ukraine "KPI", serya "Mountain business"*, no.16, pp. 3–13.

12. Rilko, M. A. (1977), "About motion in the resilient environment of hard rectangular body under the action of flat wave", *Mechanics of solid*, no. 1, pp. 158–164.

8. Nagorniy, V.P. and Denisyuk, I.I. (2010), *Spectry i ikh prilojenie k zadacham vzryvnogo dela* [Spektra and their application to the problems of explosive works], Kiev, Ukraine.

Стаття надійшла 14.11.2013.

УДК 624.15.001

ВПЛИВ КОЛЕКТОРІВ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ НА МІЦНІСНІ ТА НЕСУЧІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСНОВ І ФУНДАМЕНТІВ ПРИ ЗНАКОПЕРЕМІННИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Б. В. Моркляник

Національний університет «Львівська політехніка»
вул. Степана Бандери, 12, м. Львів, 79013, Україна.

А. С. Фартушний, В. Г. Шаповал

Державний ВНЗ «Національний гірничий університет»
просп. К. Маркса, 19, м. Дніпропетровськ, 49000, Україна.

E-mail: andrej_fartuschnij@i.ua, shap-ww@mail.ru

Представлені матеріали експериментальних досліджень процесу тріщиноутворення в конструкціях із композитного матеріалу (бетону з полімерною вставкою). Показано, що в діапазоні температур $-2...+40$ °C має місце інтенсивне тріщиноутворення. Зроблено висновок про те, що при проектуванні суміщених фундаментів теплових насосів, в яких розташовані пластикові теплообмінники, необхідно враховувати зумовлені відмінністю в коефіцієнтах теплового розширення додаткові напруження.

Ключові слова: тепловий насос, температурні деформації та напруження, тріщиноутворення, полімерна трубка, додаткові зусилля, коефіцієнт теплового розширення.

**ВЛИЯНИЕ КОЛЛЕКТОРОВ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ
НА ПРОЧНОСТНЫЕ И НЕСУЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСНОВАНИЙ
И ФУНДАМЕНТОВ ПРИ ЗНАКОПЕРЕМЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ**

Б. В. Моркляник

Национальный университет «Львовская политехника»
ул. Степана Бандеры, 12, г. Львов, 79013, Украина.

А. С. Фартушний, В. Г. Шаповал

Государственный ВУЗ «Национальный горный университет»
пр. К. Маркса, 19, г. Днепропетровск, 49000, Украина.
E-mail: andrej_fartuschnij@i.ua, shap-ww@mail.ru

Представлены материалы экспериментальных исследований процесса трещинообразования в конструкциях из композитного материала (бетона с полимерной вставкой). Показано, что в диапазоне температур $-2...+40$ °С имеет место интенсивное трещинообразование. Сделан вывод о том, что при проектировании совмещенных фундаментов тепловых насосов, в которых расположены пластиковые теплообменники, необходимо учитывать обусловленные различием в коэффициентах теплового расширения дополнительные напряжения.

Ключевые слова: тепловой насос, температурные деформации и напряжения, трещинообразование, полимерная трубка, дополнительные усилия, коэффициентах теплового расширения.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. В настоящее время в экономически развитых странах, таких как Германия, Австрия, Швеция, Япония идет бурное развитие технологии отопления и кондиционирования зданий и сооружений с использованием т.н. тепловых насосов [1–5].

Для специалистов в области геомеханики и фундаментостроения эта технология представляет интерес в том смысле, что выполненные, как правило, из полимерного материала теплообменники размещают либо в основаниях, либо в бетонных (или ж/б) цоколях зданий, либо в бетонных (или ж/б) фундаментах. При этом в зависимости от режима работы теплового насоса происходит либо нагрев, либо охлаждение основания.

В этой связи представляет интерес оценить, насколько будет сказываться на трещиностойкости бетонных элементов, в которых расположены полимерные элементы, различие в их свойствах.

В грунтовых основаниях при работе тепловых насосов возникают температурные поля [6, 7]. Поскольку коэффициент линейного расширения (КЛТР) полимеров больше КЛТР бетона на 0,5...2 десятичных порядка (табл. 1), а модули бщей деформации этих материалов отличаются в 1,...10 раз, в совмещенных фундаментах при подводе (отводе) из них тепла неизбежно будут возникать температурные напряжения и деформации.

Об актуальности данного направления геомеханики и фундаментостроения свидетельствует тот факт, что пленарный доклад на тему совмещения коллекторов тепловых насосов с основаниями и фундаментами на 14 дунайской европейской конференции, был доложен первым [6].

ПИТАННЯ ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ ВІДКРИТІЙ І ПІДЗЕМНІЙ РОЗРОБЦІ КОРИСНИХ КОПАЛИН

Таблиця 1 – Модулі початкової деформації і коефіцієнти лінійного розширення бетону і полімерних матеріалів

Наименование материала	КЛТР $\times 10^6$, $^{\circ}\text{C}^{-1}$	$E \times 10^{-3}$, МПа
Бетон	10	7,...,21
Полиамид (РА)	110	20...35
Поливинилхлорид (PVC)	50,4	24,...30
Полистирол (PS)	70	30,...,33
Полиэстер	123,5	13,...,45
Полиэтилен (PE)	200	5...10
Фенол - формальдегидная смола	135	80
Эпоксидная смола	55	21,...,55

Цель работы – определение влияния знакопеременных температур на трещинообразование бетонных элементов фундамента.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Необходимо выявить, каким образом и насколько температурные деформации и напряжения влияют на процесс образования в совмещенных конструкциях бетонных и железобетонных фундаментах тепловых насосов трещин.

Экспериментальные исследования выполнялись в такой последовательности.

1. Вначале при температуре окружающей среды $t^0 = 20^{\circ}\text{C}$ были изготовлены бетонные образцы из бетона на портландцементе. Размеры образцов составили 60x60x400 мм (рис. 1).



Рисунок 1 – Образцы из композитного материала (общий вид)

2. В каждом из них была помещена и закреплена трубка из полиэтилена диаметром 30 мм и толщиной стенки 1,5 мм (рис. 2).



Рисунок 2 – Расположение в бетонном образце полимерной трубки

3. После набора бетоном проектной прочности, соответствующей классу бетона В12,5 часть изготовленных таким образом образцов (см. п.п. 1, 2) нагревалась до температуры $+40^{\circ}\text{C}$. Таким образом моделировалась ситуация перегрева совмещенного фундамента при работе теплового насоса в режиме кондиционирования.

4. При этом часть изготовленных в соответствии с изложенной выше (см. п.п. 1, 2) методикой образцов из композитного материала охлаждалась до температуры -2°C . Таким образом моделировалась ситуация охлаждения совмещенного фундамента при работе теплового насоса в режиме отопления.

Всего было испытано 12 образцов (из них 6 штук подверглись нагреву, а 6 штук - охлаждению).

Бетонный образец являлся моделью фрагмента фундамента, а полимерная трубка, размещенная в образце, моделировала коллектор теплового насоса.

Было установлено, что при нагреве образцов на $+20^{\circ}\text{C}$ в испытанных образцах образовались сквозные трещины (рис. 3).

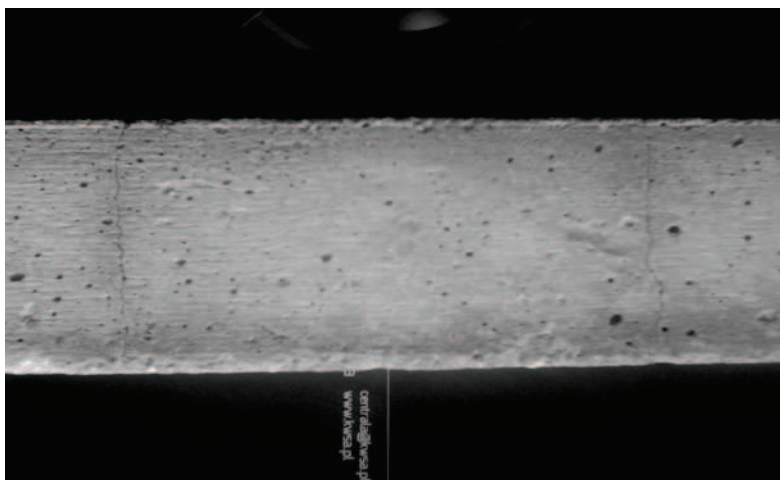


Рисунок 3 – Сквозные трещины в образце из композитного материала после его нагрева до температуры $+40^{\circ}\text{C}$ и охлаждения до температуры $+20^{\circ}\text{C}$

Аналогичная картина имела место при охлаждении образцов из композитного материала (рис. 4).

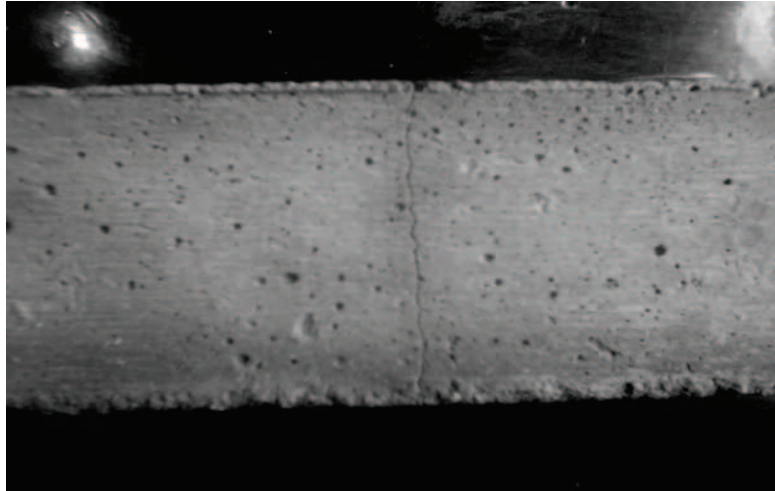


Рисунок 4 – Сквозные трещины в образце из композитного материала после его охлаждения до температуры $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ и нагрева до температуры $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$

Таким образом экспериментальным путем было доказано влияние температурных напряжений и деформаций на образование трещин в выполненных из композитного материала балочках.

Далее нами была сделана попытка теоретического моделирования выполненных нами исследований.

Для описания свойств полимерной трубки и бетонной части балочки была использована модель линейной упругой изотропной среды.

Расчет выполнялся с использованием программы "Ли́ра".

Принятая нами для моделирования напряженно – деформированного состояния балочек из композитного материала расчетная схема представлена на рис. 5.

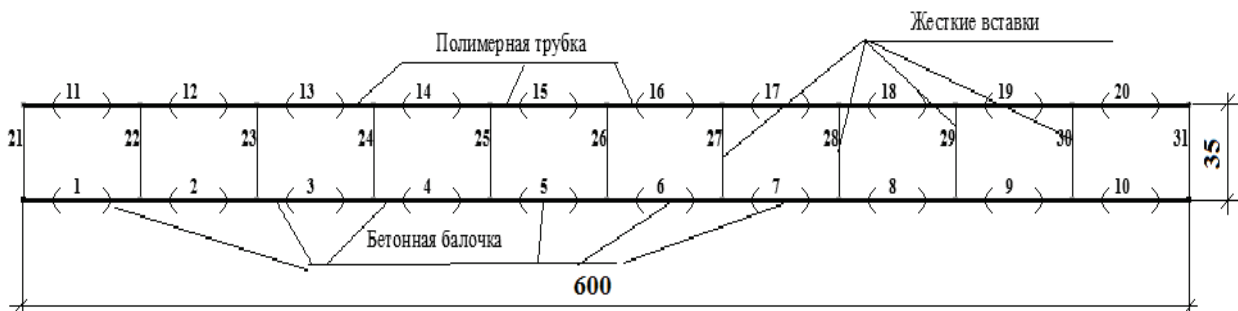
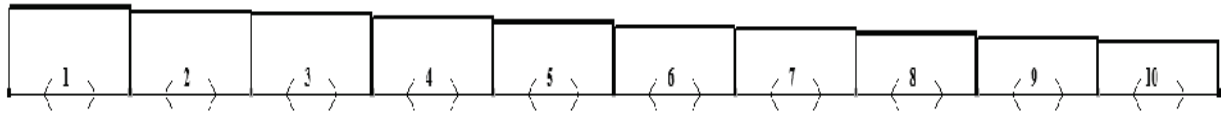


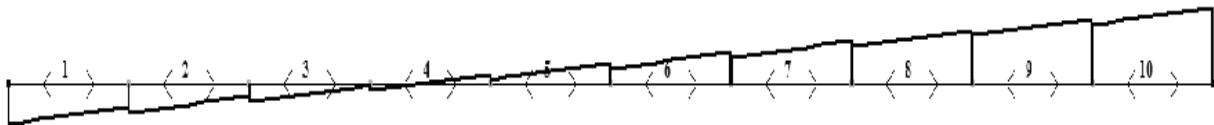
Рисунок 5 – К определению температурных напряжений в композитной конструкции (расчетная схема)

На рис. 6 и 7 представлены расчетные осевые силы и изгибающие моменты, действующие в композитных балочках, возникающие при их нагреве.



Максимальное усилие равно 0,55 т

Рисунок 6 – Нормальные усилия, возникшие в бетонной части балочки из композитного материала при ее нагреве на +20 °С



Минимальное усилие равно -0,011 т*м; максимальное усилие равно 0,006 т*м

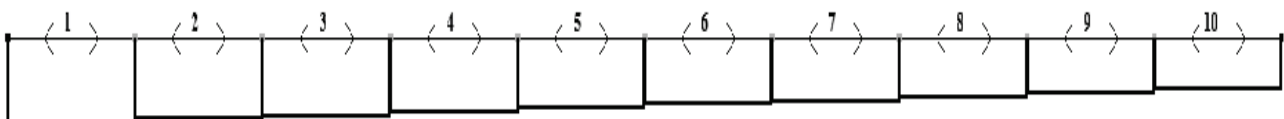
Рисунок 7 – Изгибающие моменты, возникшие в бетонной части балочки из композитного материала при ее нагреве на +20 °С

Рассчитанное по формулам сложного сопротивления материалов максимальное по модулю растягивающее напряжение в крайних волокнах бетонной части балочки $\sigma = 9,2 \text{ МПа} > R_{bt} = 1,0 \text{ МПа}$.

Анализ представленных на рисунках данных позволил нам сделать следующие выводы:

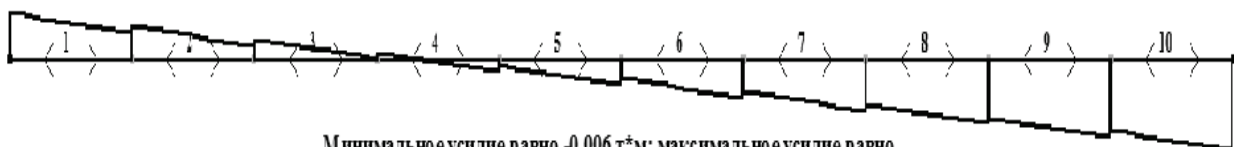
- при нагреве имеет место растяжение бетонной части композитной балочки;
- таким образом, в данном случае имеет место разрушение бетона и образование в нем трещин.

На рис. 8 и 9 представлены расчетные осевые силы и изгибающие моменты, действующие в композитных балочках, возникающие при их охлаждении.



Минимальное усилие равно -0,603 т

Рисунок 8 – Нормальные усилия, возникшие в бетонной части балочки из композитного материала при ее охлаждении на -22 °С



Минимальное усилие равно -0,006 т*м; максимальное усилие равно 0,012 т*м

Рисунок 9 – Нормальные усилия, возникшие в бетонной части балочки из композитного материала при ее охлаждении на -22 °С

Анализ представленных на рисунках данных позволил нам сделать такие выводы:

- при охлаждении имеет место сжатие бетонной части композитной балочки;
- рассчитанное по формулам сложного сопротивления материалов максимальное по модулю растягивающее напряжение в крайних волокнах бетонной части балочки $\sigma = 5,0 \text{ МПа} > R_{bt} = 1,0 \text{ МПа}$.

Таким образом, в данном случае также имеет место разрушение бетона и образование в нем трещин.

ВЫВОДЫ. Изложенные в настоящей статье материалы исследований, позволили нам сделать такие выводы.

1. Экспериментальным путем было установлено, что в бетонных конструкциях, в которых размещены элементы из полимерных материалов, при охлаждении и нагреве возникают дополнительные напряжения.

2. Аналогичный вывод был сделан и в ходе теоретических исследований.

На наш взгляд, эти выводы имеют практическую ценность в том смысле, что при расположении пластиковых коллекторов тепловых насосов в бетонных фундаментах и элементах зданий и сооружений следует учитывать дополнительные усилия, которые возникают при работе тепловых насосов.

Иными словами, при проектировании совмещенных фундаментов тепловых насосов необходимо учитывать дополнительные нагрузки и воздействия, которые не учтены в действующих в настоящее время нормативных документах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Brandl H. Energy foundation and other thermo- active ground structures // Geotechnique 56. –2006. – pp 81–122.
2. Brandl H. Energy piles and diaphragm walls for heat transfer form and into the ground // Procssding of the 3-h international Geotechnical Seminar on Deep Foundations on Bored and Auger Piles. Ghent. Technical University. – Vienna, Austria, 1998. – pp. 38–60.
3. Пономарев А.Б., Атаманов А.А. Энергетические фундаменты // Строительная наука и техника.– 2008. –№ 4, С. 57–61.
4. Черная К.В. Использование конструкций фундаментов глубокого заложения при извлечении геотермальной энергии // Світ геотехніки. –2006. – № 1. – С. 27–31.
5. Шаповал В.Г., Моркляник Б.В. Основания и фундаменты тепловых насосов. – Львов: Сполом, 2009. – 64 с.
6. Кривошеєв П.І. Звіт за результатами участі делегації України в 14 Дунайській європейській конференції з проблем механіки ґрунтів та геотехніки в м. Братіслава. – Київ, 2010. – С. 4.
7. Шаповал В.Г., Моркляник Б.В. Температурные поля в основаниях тепловых насосов: монография. – Дніпропетровск: Пороги, 2011. – 123 с.

**HEAT PUMP COLLECTORS INFLUENCE FOR STRENGTH
AND SUPPORTING CHARACTERISTICS OF BUILDINGS FOUNDATIONS
IN ALTERNATING-SIGN TEMPERATURE RANGES**

B. Morklaynik

National University "Lviv Polytechnic"

vul. S. Bandery, 12, Lviv, 79013, Ukraine.

A. Fartushniy, V. Shapoval

State Higher Education Institution "National Mining University"

pros. K. Marks, 19, Dnipropetrovsk, 49000, Ukraine.

E-mail: andrej_fartuschnij@i.ua, shap-ww@mail.ru

This work includes experimental research materials for the cracks formation process for composite material (concrete with a polymer insert). It is shown that in the temperature range of $-2...+40$ °C there is a intense cracks formation process. It is concluded that the extra tension, caused by difference in coefficients of thermal expansion, must be considered while designing of foundations combined with heat pump collectors in which there are plastic heat exchangers.

Key words: heat pump, thermal deformation and stress cracking, plastic tube, extra effort coefficients of thermal expansion.

REFERENCES

1. Brandl, H. (2006) "Energy foundation and other thermo- active ground structures", *Geotechnique*, no. 56, pp. 81-122, Austria.
2. Brandl, H. (1998) "Energy piles and diaphragm walls for heat transfer form and into the ground. Procceeding of the 3-h international Geotechnical Seminar on Deep Foundations on Bored and Auger Piles", pp. 38-60, Ghent. Technical University, Vienna, Austria.
3. Ponomarev, A.B., Atamanov, A.A. (2008), "Energy foundations", *Stroitel'naja nauka i tehnika*, no. 4, pp. 57-61.
4. Chernaja, K.V. (2006), "Using designs of deep foundations when extracting geothermal energy", *Svit geotekhniki*, no. 1, pp. 27-31.
5. Shapoval, V.G., Morkljanik, B.V. (2009), *Osnovanija i fundamenty teplovyh nasosov* [Bases and foundations of heat pumps], Spolom, Lviv, Ukraine.
6. Krivosheev, P.I. (2010), "Report on the participation of the delegation of Ukraine in the 14th Danube European Conference on Soil Mechanics and geotechnics in Bratislava", *Zvit za rezul'tatamy uchasti delegacii' Ukrai'ny v 14 dunajs'kij jevropejs'kij konferencii' z problem mehaniky gruntiv ta geotekhniky v m. Bratislava*, Kiev, p. 4.
7. Shapoval, V.G., Morkljanik B.V., (2011), *Temperaturnye polja v osnovanijah teplovyh nasosov*, [Temperature fields in the grounds of heat pumps], Porogi, Dnipropetrovsk, Ukraine.

Стаття надійшла 14.11.2013