

УДК 539.3

## **ЧИСЕЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ФРАГМЕНТУ ГРУНТОВОГО СКЛЕПІННЯ В РАМКАХ ВИКОНАННЯ КОМПЛЕКСУ РОБІТ З ПІДСИЛЕННЯ ПІДЗЕМНОЇ ЦЕРКВИ РІЗДВА ХРИСТОВА СВЯТО-УСПЕНСЬКОЇ КИЄВО- ПЕЧЕРСЬКОЇ ЛАВРИ**

**М.О. Вабішевич<sup>1</sup>**  
канд. техн. наук

*<sup>1</sup>Київський національний університет будівництва і архітектури  
Повітрофлотський просп., 31, м. Київ. 03680*

На прикладі скінченноелементного розрахунку моделі ґрунтового склепіння, підсиленого композитним арматурним каркасом, досліджено особливості зміни напружено-деформованого стану конструкції з неоднорідними фізико-механічними властивостями.

### **Вступ**

Одним із актуальних напрямків сучасного будівництва є розробка та впровадження нових способів підсилення будівельних конструкцій, що перебувають в непридатному до нормальної експлуатації або аварійному технічному стані. Одним із найбільш характерних пошкоджень конструкцій, особливо цегляних та залізобетонних, є силові та деформаційні тріщини.

Традиційні методи підсилення конструкцій з пошкодженнями типу тріщин передбачають влаштування додаткового армування елементів сталевими стрижнями. Однак в умовах агресивного впливу навколишнього середовища застосування сталевих конструкцій в якості елементів підсилення є досить трудомістким, оскільки вимагає проведення додаткових антикорозійних заходів. Тому все частіше при підсиленні конструкцій, що експлуатуються в агресивних умовах, використовують композитні матеріали, такі як: вуглецеве волокно, базальтова та скло полімерна арматура тощо. Зазначені матеріали, у порівнянні зі сталевими, мають підвищену корозійну стійкість, довговічність та значно меншу густину.

**Чисельне дослідження напружено-деформованого стану фрагменту ґрунтового склепіння.**

Одним із об'єктів, при підсиленні якого були використані елементи із композитних матеріалів, є церква Різдва Христова Свято-Успенської Києво-Печерської Лаври.

Об'єкт підсилення зведений у Дальніх печерах в період між 1058 і 1062 рр. Конструктивно об'єм церкви Різдва Христова складається із арокних різнопрогонних склепінь (з максимальною висотою близько 2,5м),

що обпираються на масивні ґрунтові стіни та цегляну колону. В стінах церкви виконано п'ять арокних проходів шириною 550...1380мм та високою до 2м. Вся конструктивна частина церкви знаходиться в шарі супісків. Глибина від поверхні землі складає близько 6 м.

За результатами технічного обстеження об'єкту, виконаного ВЦБК КНУБА, виявлені численні дефекти та пошкодження (рис. 1):

- глибокі тріщини в районі арокного проходу у вітарі церкви;
- зсув в місці спряження цегляного підтримуючого стовпа із арокним склепінням;
- окремі тріщини в арокних проходах та склепіннях церкви;
- втрата загальної стійкості елементами іконостасу;
- похилі тріщини до 2 см в вертикальних елементах (стінах) церкви.

Для визначення впливу на несучу здатність ґрунтового склепіння наявності армування внутрішньої поверхні базальтовою сіткою, виконаний порівняльний аналіз результатів розрахунків двох скінчено елементних моделей: при наявності та відсутності шару армування (рис. 2, 3).

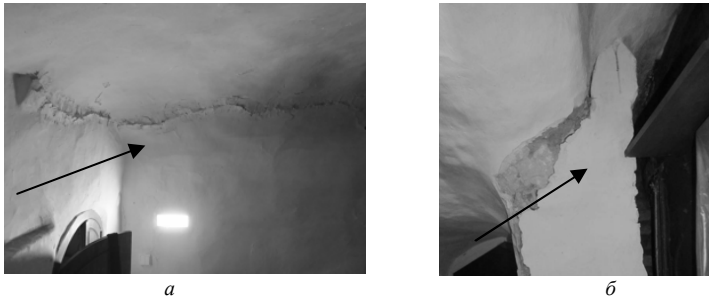


Рис. 1. Деформування несучих елементів Церкви Різдва Христова

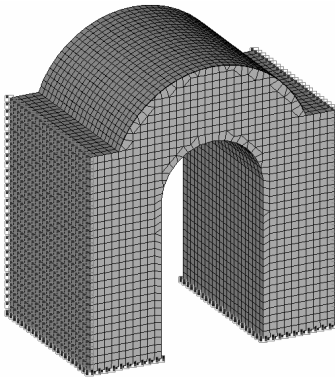


Рис. 2

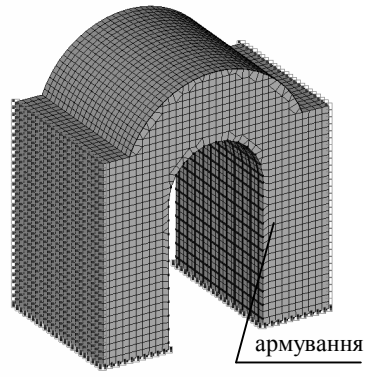


Рис. 3

Аналіз розрахункових моделей виконаний в програмному комплексі «Ліра», скінченноелементна база якого дозволяє моделювати ґрунтові масиви.

Апроксимація ґрунтового масиву виконана з використанням просторових 8-вузлових скінчених елементів, призначених для апроксимації ґрунтової основи, з фізико-механічними параметрами, прийнятими за результатами інженерно-геологічних вишукувань. Арматурні стрижні апроксимовані стрижневими скінченими елементами діаметром 10 мм, фізико-механічні характеристики призначені у відповідності до ТУ [2].

Навантаження, що діють на ґрунтове склепіння :

- постійні – від власної ваги ґрунтового масиву та елементів підсилення;
- тимчасові – рівнорозподілене по зовнішній поверхні, інтенсивність якого прийнята за результатами випробувань:  $15,48 \text{ тс/м}^2$ . При цьому навантаженні з'являлися перші тріщини в неармованому склепінні.

Граничні кінематичні умови (закріплення) прийняті у відповідності до параметрів моделі, що випробовувалася: бічні грані закріплені від горизонтальних переміщень по осі «X»; опорні торці – жорстко защемлені. Основні параметри розрахункових моделей наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

## Характеристики розрахункових моделей

Параметри розрахункової моделі	Схема без армування	Схема з армуванням
Кількість вузлів	19426	19426
Кількість скінчених елементів	17199	18705

Для верифікації результатів розрахунку на початковому етапі використано розроблений програмний комплекс SAFEM.SOIL, що базується на використанні напіваналітичного методу скінчених елементів НМСЕ [1]. Скінченноелементна модель побудована на основі прямокутних призматичних СЕ. Для армованого шару приймали приведені до площини армування фізико-механічні характеристики матеріалу, які еквівалентні його роботі на згин та розтяг/стискання. Отримана добра збіжність результатів для ідентичних моделей.

Аналіз напружено-деформованого стану скінченноелементних моделей виконаний шляхом порівняння головних напружень та переміщень двох типів моделей за якісними (див. рис.4, 5) та кількісними (див. табл. 2.) показниками.

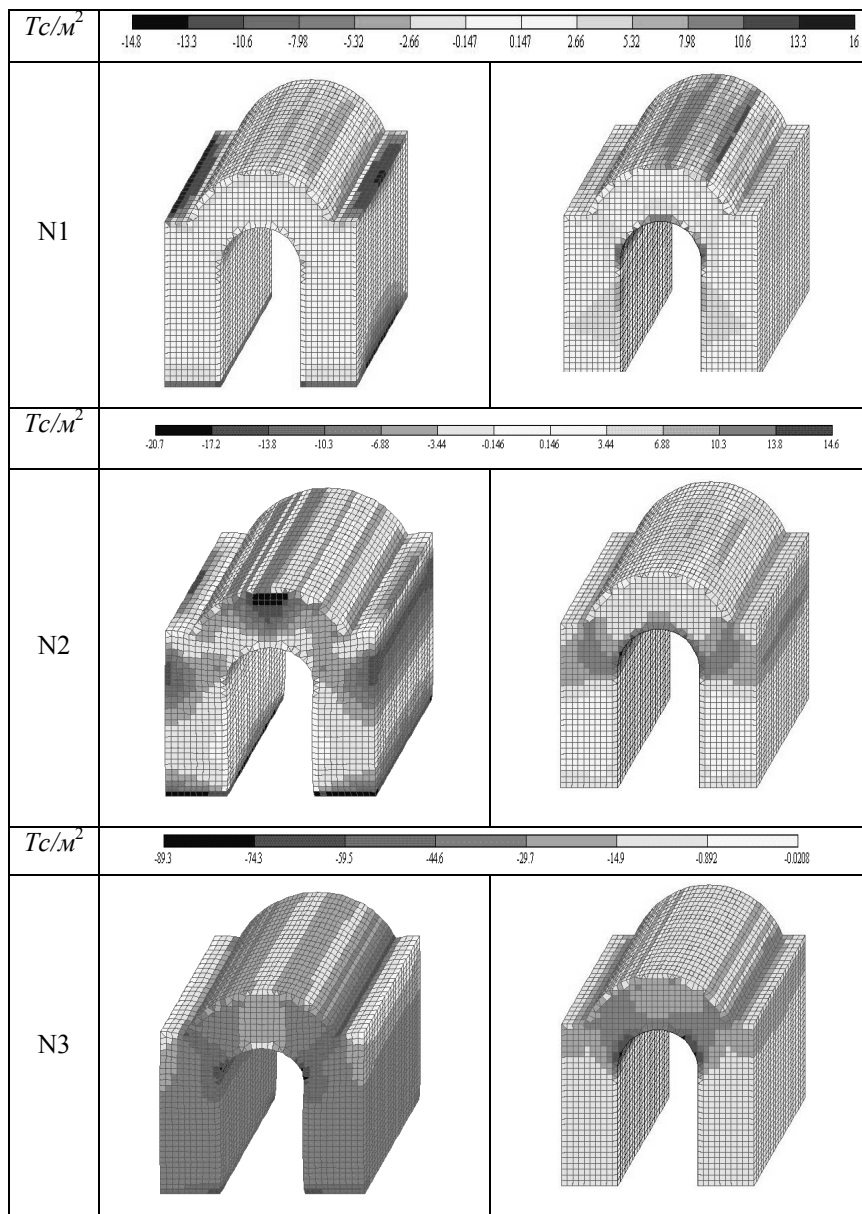


Рис. 4. Порівняння мозаїк головних напружень

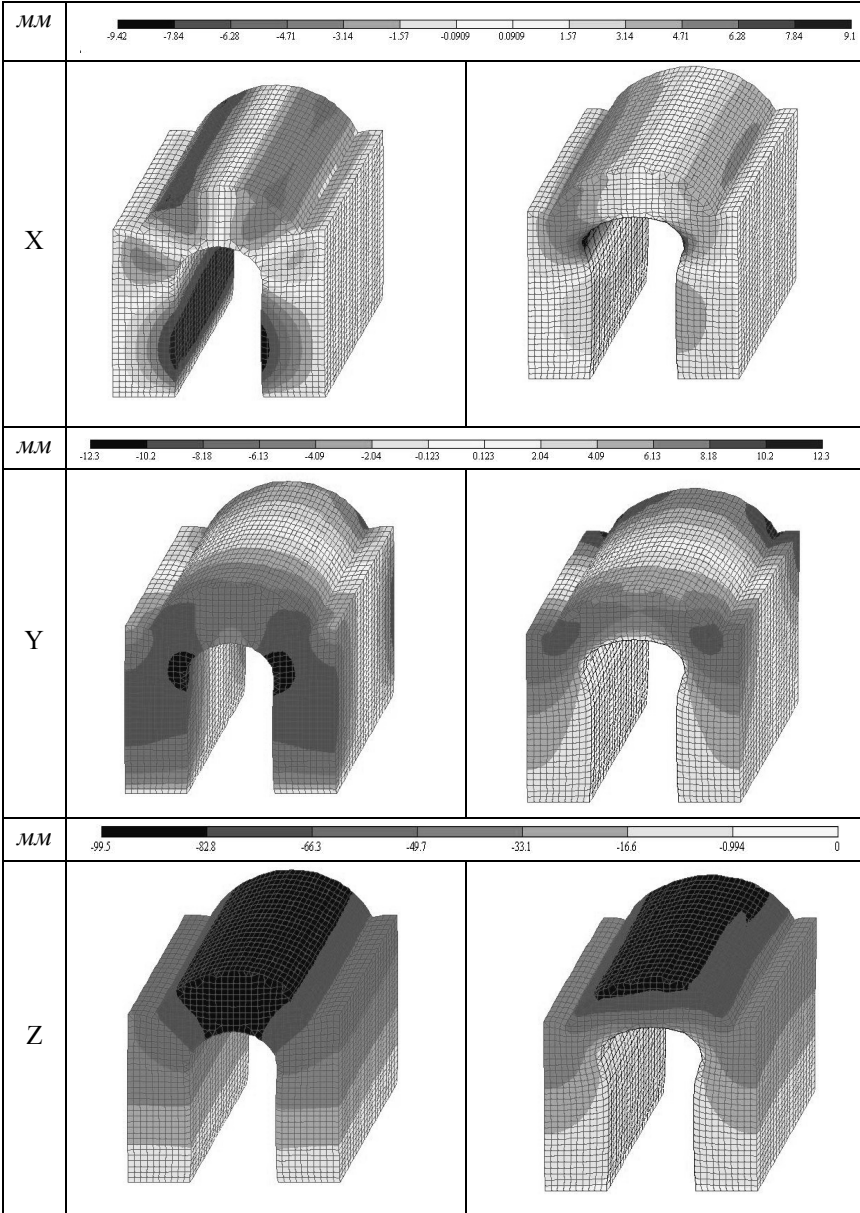


Рис.5. Порівняння мозаїк переміщень

Таблиця 2

## Порівняння результатів

Напрямок	Модель без армування		Модель з армуванням	
	Напруження, $тс/м^2$			
	Розтяг	Стиск	Розтяг	Стиск
$N1, м/м^2$	16	-14.8	15	-13.9
$N2, м/м^2$	14.6	-20.7	9.71	-25.5
$N3, м/м^2$		-89.3		-82.8
Переміщення				
$x, мм$	7.11	-7.35	9.1	-9.42
$y, мм$	12.3	-12.3	7.03	-5.66
$z, мм$		-99.5		-30.1

**Висновки**

Аналіз отриманих результатів (див. табл. 2) вказує на те, що при включенні в роботу конструкції шару армування максимальні значення нормальних напружень вздовж осей  $X$  та  $Z$  практично ідентичні, однак розподілення напружень істотно відрізняється. Так в ґрунтовому масиві без армування максимальні напруження виникають в опорних зонах стінок склепіння, а при наявності армувального шару - біля аркової частини.

Необхідно підкреслити, що на відміну від напружень по осям  $X$  та  $Z$ , значення напружень вздовж осі  $Y$  відрізняються якісно (за характером (розподілення) по тілу об'єкта), і кількісно – зусилля стиску при армуванні зростають, а розтягу відповідно зменшуються у порівнянні з моделлю без армування.

Окремо звернемо увагу на зміну величин переміщень по осі  $Z$ . Максимальні значення вказаного параметра при наявності підсилення менші майже втричі, у порівнянні з вихідною моделлю.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Баженов В.А.* Напіваналітичний метод скінченних елементів в задачах динаміки просторових тіл / [Баженов В.А., Гуляр О.І., Сахаров О.С., Солодей І.І.] – К., КНУБА, 2012. – 248с.
2. Технічні умови. Арматура неметалева композитна базальтова періодичного профілю: ТУ У В.2.7-25.2-34323267-001:2009 – [Чинні від 26-10-2009]. Мінрегіонбуд України 2009. (Технічні умови).

## REFERENCES

1. *Bazhenov V.A.* Napivanalitichnyy metod skinchennykh elementiv v zadachakh dynamiky prostorovykh til / [Bazhenov V.A., Guliar O.I., Sakharov O.S., Solodey I.I.] – К., KNUBA, 2012. – 248 s.
2. Tekhnichni umovy. Armatura nemetaleva kompozytna bazaltova periodychnogo profilu TU U V. 2.7-25.2-34323267-001:2009 – [Chynni vid 26-10-2009]. Minregionbud Ukrayiny 2009. (Tekhnichni umovy).

*Vabishchevych M.O.*

**NUMERICAL STUDY OF STRESS-STRAIN STATE OF A FRAGMENT OF A SOIL ARCH IN THE FRAMEWORK OF FULFILLMENT OF COMPLEX OF WORKS ON ENHANCEMENT OF THE SUBTERRANEAN CHURCH OF THE NATIVITY OF THE SVYATO-USPENSKOY KYIV-PECHERSK LAVRA**

The paper considers the investigation of the features of stress-strain state of the structure with heterogeneous physical and mechanical properties on the example of the finite element calculation model of soil arch, which is reinforced by composite reinforcing cage.

**Keywords:** physical and geometric nonlinearity, cracked, basalt rebar.

*Vabishchevych M.O.*

**ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ФРАГМЕНТА ГРУНТОВОГО СВОДА В РАМКАХ ВЫПОЛНЕНИЯ КОМПЛЕКСА РАБОТ ПО УСИЛЕНИЮ ПОДЗЕМНОЙ ЦЕРКВИ РОЖДЕСТВА ХРИСТОВА СВЯТО-УСПЕНСКОЙ КИЕВО-ПЕЧЕРСКОЙ ЛАВРЫ**

В данной работе на примере конечноэлементного расчета модели грунтового свода, усиленного композитным арматурным каркасом, приведены исследования особенности изменения напряженно-деформированного состояния конструкции с неоднородными физико-механическими свойствами.

**Ключевые слова:** физическая и геометрическая нелинейность, трещины, базальтовая арматура.

**Автор (вчена ступень, вчене звання, посада):** кандидат технічних наук, докторант кафедри будівельної механіки КНУБА **ВАБИЩЕВИЧ Максим Олегович**

**Адреса робоча:** 03680 Україна, м. Київ, Повітрофлотський проспект, 31, **ВАБИЩЕВИЧ Максим Олегович.**

**Адреса домашня:** 34100 Україна, Рівненська обл., м. Дубровиця, вул. Прирічкова, 7, **ВАБИЩЕВИЧ Максим Олегович.**

**Роб. тел.** +38 (044) 248-30-40;

**мобільний тел.:** +38(050) 928-40-70

**E-mail** – [vabix@ukr.net](mailto:vabix@ukr.net)