

## ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ АНІЗОТРОПІЇ ВАПНЯКА-ЧЕРЕПАШНИКА ОДЕСЬКОГО РЕГІОНУ

Петишко А.О., студ. гр. ПЦБ-625мн

Науковий керівник – Новський О.В., к.т.н., доц. (кафедра Основ та фундаментів, Одеська державна академія будівництва та архітектури)

**Вступ.** Вапняк-черепашник є органогенною породою, що має анізотропні властивості. Міцність на стиск залежить від напрямку зусиль. Встановлено, що значення граничного навантаження, прикладеного вертикально до шаруватості, менше, ніж у горизонтальному напрямку (вздовж шаруватості). Цим можна пояснити різні значення показників деформативних та міцнісних властивостей у вертикальному та горизонтальному напрямках.

У нормативній літературі за критерій оцінки анізотропних властивостей скельних і напівскельних порід прийнятий коефіцієнт анізотропії  $k_a$ , значення якого визначають ставленням показника межі міцності на одновісне стиснення в горизонтальному напрямку  $R_c$ , до його значення при вертикальному векторі докладання навантаження  $R_c$ . Також встановлено [1, 2], що подібне співвідношення між іншими показниками механічних властивостей вапняку-черепашнику (структурна міцність, опір зрізу) відрізняються від коефіцієнта анізотропії за значеннями межі міцності на одновісне стиснення, тому, в розрахунках, де використовується ці показники, необхідно використовувати відповідні коефіцієнти анізотропії.

**Актуальність.** Слід зазначити, що досить повних відомостей про зміну міцнісних та деформаційних властивостей вапняків, з урахуванням анізотропії, на сьогоднішній день замало. Метою цих досліджень є подальше вивчення механічних властивостей вапняку-черепашнику Одеського регіону при дії навантаження впоперек, вздовж і під кутом  $45^\circ$  до шаруватості.

**1. Коефіцієнт анізотропії при визначення структурної міцності.** Як відомо, межа міцності на одновісний стиск не відображає фактичного значення опору руйнуванню та подальшого ущільнення вапняку в масиві. Від тисків, що передаються фундаментом на основу, у ґрунтовій товщі виникають напруження на ділянках поверхні частинок скелета в точках їх контактів. Вектори напружень спрямовані хаотично. Від суми їх проекцій на вертикальну вісь «Z» виникає напруження, що викликає ущільнення  $\sigma_z$ . Від суми їх проекцій на вісь «X» або «Y» виникає напруження, що викликає бічні тиски  $\sigma_y$  чи  $\sigma_x$ . При виникненні горизонтального тиску при роздавлюванні кубика відсутня опір уздовж його бічних граней, що знижує значення  $R_c$  при руйнуванні на відміну структурної міцності  $p_{str}$  в масиві.

Визначення  $p_{str}$  в лабораторних умовах проведено в приладі (рис. 1), в якому бічне тиск ґрунту під штампом врівноважується структурною міцністю породи, перешкоджаючи руйнуванню його в сторони.

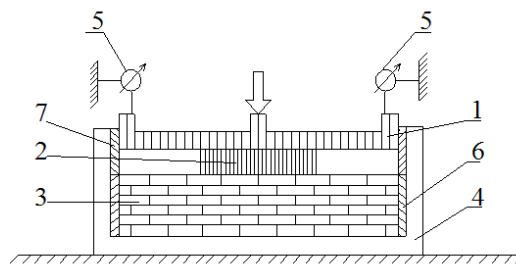


Рис. 1. Зовнішній вигляд та схема приладу для визначення структурної міцності:  
1 – напрямне кільце; 2 – штамп; 3 – зразок ґрунту; 4 – корпус; 5 – індикатор годинного типу;  
6 – нижнє кільце; 7 – верхнє кільце

Під структурною міцністю вапняку-черепашника розуміють тиск, який врівноважується міцністю черепашок та кристалічних зв'язків на їх контактах. При високих тисках руйнація супроводжується ущільненням породи. Для визначення  $p_{str}$  була застосована методика визначення цього показника з використанням удосконаленого в ОДАБА приладу з визначення структурної міцності для твердих глин і напівскельних порід. Цей прилад дозволяє встановити  $p_{str}$  в умовах відсутності навколо об'єму стисненого зразка жорстких стінок кільця. Схема та зовнішній вигляд приладу наведено на рис. 1.

Оскільки відкладення вапняку-черепашника мають анізотропні властивості, значення структурної міцності визначали як у вертикальному (нормальному до шаруватості) так і в горизонтальному (вздовж шаруватості) напрямках.

Основною відмінністю нового приладу є те, що робочий штамп має менший діаметр, ніж зразок ґрунту. Навантаження на штамп передається центральним штоком за допомогою важеля із співвідношенням плеч 1:10. Зразок вапняку-черепашнику фіксується у металевому кільці діаметром 86 мм та висотою 25 мм, яке встановлюється на лабораторний стіл.

Вертикальне навантаження передається штампом площею 15 см<sup>2</sup>, який встановлюється у центрі зразка на попередньо вирівняну і відшліфовану поверхню.

Переміщення штампу визначали двома індикаторами годинного типу з ціною розподілу 0,01 мм, які фіксували за допомогою консолей та спирали на рухомий штамп. Важіль завантажували сталевими гирями вагою 1,5 та 3 кг, що відповідало тиску по підшві штампі 0,1 та 0,2 МПа.

У табл. 1 наведено результати визначення  $p_{str}$  упоперек і вздовж шаруватості на зразках однієї партії без дотримання їх синхронізації, тому коефіцієнт анізотропії визначений за середніми значеннями, отриманими у випробуваннях.

Таблиця 1. – Результати визначення  $p_{str}$  поперек і вздовж шаруватості у вапняках черепашниках у повітряно-сухому стані

Серія	Кількість випробувань	Значення показника структурної міцності, МПа.		Коефіцієнт анізотропії, $k_{a, pstr}$
		Поперек шаруватості, $p_{str}$ .	Вздовж шаруватості, $p_{str, a}$	
6	1	2,48		
7	3	1,72		
8	2	1,62		
9	4	0,95		
10	4		2,87	
11	4		2,46	
12	4		3,29	
13	4		2,29	
14	3	1,93		
15	4	2,20		
16	4	3,01		
17	4	2,65		
18	3	3,16		
19	4	1,95		
20	4	2,10		
Середнє	52	2,16	2,73	<b>1,26</b>

Таким чином, за результатами проведених досліджень, структурна міцність упоперек шаруватості менша, ніж уздовж шаруватості. При цьому коефіцієнт анізотропії  $k_{a, pstr}$  склав 1,26.

**2. Коефіцієнт анізотропії при визначенні опору зрізу вздовж бічної поверхні буронабивних паль.** Однією з характеристик міцності вапняку-черепашника є опір зрізу по

бічній поверхні буронабивних паль. Стінки свердловин буронабивних паль мають високу ніздрюватість. Цементне молоко при бетонуванні палі проникає у великі порожнечі пір, утворюючи шорстку поверхню сполучення між стовбуром палі та навколишньою породою. Опір зрізу визначається не тертям, а міцністю вапняку, що знаходиться за межами поверхні стовбура палі, просоченого затверділим цементним розчином. Отже, руйнація при зриві відбувається по вапняку.

У свердловинах, пройдених поперек шаруватості, ніздрюватість стінок вище, ніж у свердловинах уздовж шаруватості. Граничне значення опору зсуву визначено за результатами сорока випробувань вапняку модельними палями в поперечному та поздовжньому напрямках по відношенню до шаруватості.

Дослідження вапняку-черепашника палями малого діаметра в лабораторних умовах виконані з дотриманням основних вимог ДСТУ Б В.2.1-1-95 «ґрунти, методи польових випробувань палями». Випробування проведені з метою визначення опору зсуву по бічній поверхні моделей буронабивних паль. З цією метою їх виготовлення проводилося із збереженням нижче підшви порожнини, що дозволило забезпечити передачу навантаження на вапняк-черепашник по контакту бічної поверхні стовбура з внутрішньою поверхнею свердловини. Моделі дослідних паль виготовлені в монолітах з «пилного» вапняку-черепашника. У кожному моноліті підготовлено по 2-4 дослідні моделі набивних паль за технологією, показаною на рис. 2. Свердловину діаметром 21 мм пробурювали на всю висоту зразка. Нижню частину на потрібну висоту засипали піском, після чого свердловина заповнювалася цементним розчином. Армування ствола виконували стрижнем зі сталевого дроту  $\varnothing 3$  мм, а верхній торець посилювали обрізком труби  $\varnothing 1/2$  дюйма на висоту 5 см. Після досягнення проектної міцності порожнину нижче підшви ствола звільнялася від піску.

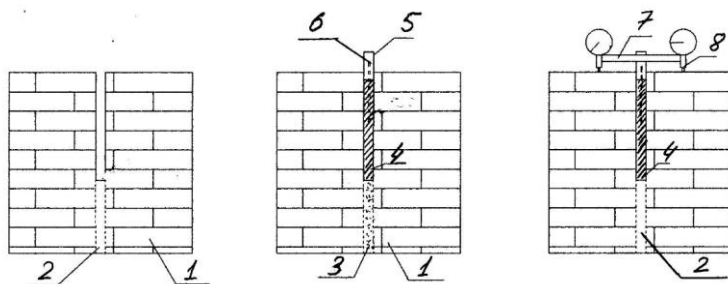


Рис. 2. Поетапне виконання роботи з влаштування модельної буронабивної палі:  
 1 – моноліт вапняку-черепашника; 2 – пробурений отвір діаметром 21 мм; 3 – нижня частина свердловини, що заповнювалася піском; 4 – цементний розчин буронабивної палі;  
 5 – оголовок (напівдюмова труба висотою 50 мм); 6 – арматурний стрижень  $\varnothing 3$  мм;  
 7 – реперна система; 8 – індикатори

Завантаження паль виконували ступенями 0,5 кН. Кожна ступінь навантаження витримувалася до умовної стабілізації переміщень, прийнятої 0,01 мм протягом останніх 10 хвилин спостережень. За максимальне приймали навантаження, при якому переміщення палі не згасали. Після «зриву» проводили повторні випробування паль з метою визначення опору зсуву вздовж бічної поверхні після руйнування структурних зв'язків.

Величину навантаження при кожному ступені визначали по динамометру, який встановлювали на оголовок палі з упором на верхню нерухому плиту. Зусилля динамометра визначали індикатором годинного типу з ціною розподілу 0,01 мм.

Вертикальні переміщення паль у процесі випробування заміряли двома індикаторами годинного типу з ціною розподілу 0,01 мм, які фіксували за допомогою затискної консолі (реперної системи) на металевому оголовку палі. За результатами вимірів було побудовано графіки залежності переміщення паль від навантаження.

Описана вище методика визначення опору зрізу на контакті бічної поверхні буронабивних палі та вапняку-черепашника була використана при випробуваннях вапняку-

черепашника палями поперек та вздовж до шаруватості, що дозволило встановити зміну цієї характеристики з урахуванням анізотропних властивостей.

Таким чином, за результатами проведених досліджень, опір зрізу поперек шаруватості більше, ніж уздовж шаруватості. При цьому коефіцієнт анізотропії  $k_{a,f}$  становив 0,86.

Таблиця 2. – Співвідношення показників опору зрізу вапняку-черепашника по бічній поверхні буронабивних паль вздовж і поперек шаруватості

Серія	Кількість випробувань	Значення показника опору зрізу, МПа.		Коефіцієнт анізотропії, $k_{a,f}$
		Поперек шаруватості, $f_c$	Вздовж шаруватості, $f_{c,a}$	
21	4	0,93	0,81	0,87
22	4	0,86	0,71	0,83
23	4	1,46	1,20	0,82
24	4	0,97	1,02	1,05
25	4	1,24	0,90	0,73
Середнє	20	1,09	0,93	<b>0,86</b>

**3. Коефіцієнт анізотропії при визначенні межі міцності на одновісний тиск.** Межу міцності вапняку-черепашника на одновісний стиск  $R_c$  визначали відповідно до ДСТУ Б 8.2.1-4-96. Її обчислювали як відношення прикладеної до зразка вертикального навантаження, при якій відбувається його руйнування, площі поперечного перерізу. Форму зразків було прийнято у вигляді куба з торцевими гранями рівними 70x70 мм. Горизонтальні торцеві поверхні зразків відшліфовані. Випробування виконані на силовій установці, яку використовували під час випробувань моделей буронабивних паль. Схема силовій установки наведено на рис. 3.

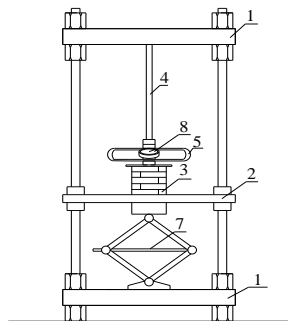


Рис. 3.1. Схема силовій установки для випробування вапняку-черепашника на одновісний стиск: 1 – нерухома пластина; 2 – рухома пластина; 3 – зразок вапняку-черепашника; 4 – сталевий циліндр; 5 – динамометр для вимірювання вертикального навантаження; 7 – домкрат; 8 – індикатори годинного типу

Узагальнені результати випробувань при додатку навантаження вертикально, горизонтально та під кутом 45% до шаруватості зразків природної вологості (по 10 серіям при кожному напрямку завантаження) наведено в табл. 3.

Таблиця 3. – Результати визначення межі міцності вапняку-черепашника на одновісний стиск

Стан зразка	Значення показників $R_c$ , МПа			Коефіцієнт анізотропії, $n_{a, R_c}$	
	Уздовж шаруватості	Поперек шаруватості	Під 45° до шаруватості	$R_{c, \parallel} / R_{c, \perp}$	$R_{c, 45} / R_{c, \perp}$
1	2	3	4	5	6
природна вологість	1,50	0,94	1,01	1,60	1,07

З наведених даних випливає, що коефіцієнт анізотропії вапняку-черепашника при визначенні межі міцності на одновісне стиснення істотно залежить від напрямку навантаження щодо напластування. Міцність породи вздовж шаруватості в 1,6 рази вище, ніж упоперек, а під кутом до шаруватості  $45^\circ$  відрізняється незначною мірою.

#### **Висновки:**

1) В результаті виконаних комплексних досліджень вапняку-черепашника в лабораторних та польових умовах встановлені показники його механічних характеристик: межі міцності на одновісне стиснення  $R_c$ ; структурної міцності  $p_{str}$ , а також опору зсуву по бічній поверхні буронабивних паль  $f_c$  у повітряно-сухому та водонасиченому стані, як вздовж, так і впоперек шаруватості.

2) Анізотропія вапняку-черепашника впливає з його механічні характеристики. За результатами лабораторних досліджень встановлено, що середні показники межі міцності на одновісне стиснення  $R_c$  уздовж шаруватості збільшилися на 89%, структурної міцності  $p_{str}$  зросли на 26%, а опору зсуву  $f_c$  уздовж бічної поверхні паль знизилися на 16%.

#### **Література:**

1. Новский А.В., Новский В.А., Тугаенко Ю.Ф. Известняк-ракушечник. Исследование и использование в качестве основания фундаментов. Астропринт: Одесса, 2014. 92 с.
2. Дюсембаев И.Н. Взаимодействие конструкций с анизотропным грунтовым основанием (статическое состояние). Алматы, 2002. 170 с.
3. Соколов Б.А. Анизотропия глинистых грунтов со слоистой текстурой и ориентированной микроструктурой. Грунтоведение и инженерная геология. М.: Издательство МГУ. 1977. С. 17-22.
4. Осипов Ю.Б., Вайтекунене А.И. Анизотропия механических свойств глинистых грунтов. Инженерная геология. 1979. №4. С. 106-112.
5. Oda M., Koishikawa I. Anisotropic fabric of sand. Proc. Of the IXth ICSMFE. Tokyo, 1977. Vol.1. pp. 235-238.
6. Lo K. Y., Miligan V. J. Shear strength properties of two stratified clays. Soil Mech. And Found. Div. Proc. ASCE. 1967. Vol.93. pp. 1-15.
7. Лехницкий С.Г. Теория упругости анизотропного тела. М.: Наука, 1977. 367 с.
8. А.В. Школа, А. Хайдер. Анизотропия прочностных свойств лессовых грунтов и расчет несущей способности оснований с ее учетом. В. кн: Лессовые просадочные грунты как основание зданий и сооружений. Кн.2 ч.2 .Барнаул, 1990. С. 212-217.
9. Тугаенко Ю.Ф. Процессы деформирования грунтов в основаниях фундаментов свай и свайных фундаментов. Одесса: «Астропринт. 2008. 216 с.
10. N.U. Kornienko, A.V. Novskiy, V. A. Novskiy, A.P. Tkalich, Y.F. Tugaenko Mechanical Properties of Semi-Rocks Soils and Methods of Their Determination. Proceedings of the 15th European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Part 1. Athens, 2011. p. 43-49.