

УДК 624.131.524

## ОСОБЫЕ СВОЙСТВА ИЗВЕСТНЯКА-РАКУШЕЧНИКА ОДЕССКОГО РЕГИОНА

Новский А.В., Новский В.А.

Одесская государственная академия строительства и архитектуры, Одесса, Украина

*Анотація:* Описана методика і результати досліджень анізотропних властивостей вапняку-черепашнику при визначенні різних характеристик міцності в лабораторних умовах, а також здатність до розм'якшення при зволоженні.

*Анотация:* Описана методика и результаты исследований анизотропных свойств известняка-ракушечника при определении различных прочностных характеристик в лабораторных условиях, а также способность к размягчению при увлажнении.

*Abstract:* The method and results of research the anisotropic properties of shell limestone in the determination of different strength characteristics in the laboratory, as well as the ability to soften when wet.

*Ключевые слова:* известняк-ракушечник, анизотропия, слоистость, предел прочности, сопротивление срезу, структурная прочность, размягчаемость.

### ВВЕДЕНИЕ

Одним из актуальных вопросов строительства в одесском регионе является учет сейсмики на всех этапах проектирования, начиная с фундаментов. Разные грунты по разному реагируют на сейсмические нагрузки, что определяется их особыми свойствами и физико-механическими характеристиками. Широкое использование в последнее время известняка-ракушечника в качестве основания различных типов фундаментов ставит перед учеными и инженерами новые задачи по изучению их особых свойств, которые определяются слоистостью.

В настоящее время физико-механические свойства известняка-ракушечника одесского региона изучены недостаточно. Исследования показателей этих пород, как основания фундаментов, в полевых и лабораторных условиях ограничены [1, 2 и 3]. Известняк-ракушечник является органогенной породой, обладающей анизотропными свойствами и способностью размягчаться при увлажнении. Эта порода состоит из скелетных остатков моллюсков, сцементированных прочными связями на контактах. Установлено, что значение предельной нагрузки, приложенной вертикально к плоскости их накопления (поперек слоистости), отличается от значений при горизонтальном приложении нагрузки (вдоль слоистости).

В нормативной литературе за критерий оценки анизотропных свойств скальных и полускальных пород принят коэффициент анизотропии  $k_a$ , значение которого определяют отношением показателя предела прочности на одноосное сжатие в горизонтальном направлении  $R_{c,a}$  к его значению при вертикальном векторе приложения нагрузки  $R_c$ . Следует отметить, что подобное соотношение между другими показателями механических характеристик известняка-ракушечника (структурной прочностью, сопротивлением срезу по боковой поверхности буронабивных свай) существенно отличаются от коэффициента анизотропии по значениям предела прочности на одноосное сжатие. Поэтому, в расчетах, где используется структурная прочность и сопротивление срезу вдоль боковой поверхности буронабивных свай, нужно использовать соответствующие коэффициенты анизотропии.

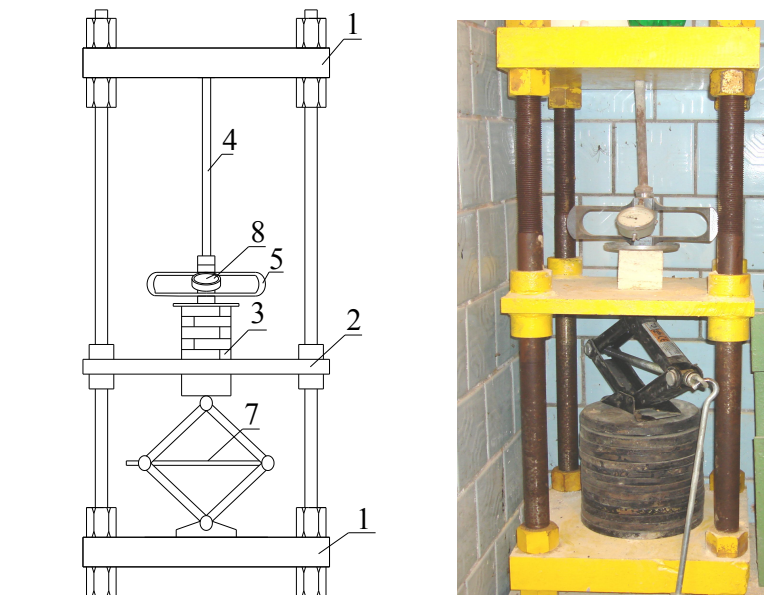
**Цель работы** – изучение особых свойств известняка-ракушечника при определении предела прочности на одноосное сжатие, структурной прочности и сопротивления срезу вдоль боковой поверхности буронабивных свай при действии нагрузок как поперек, так и вдоль слоистости, а также влияние водонасыщения на механические характеристики.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Предел прочности на одноосное сжатие  $R_c$  определяли в соответствии с действующим стандартом. Эта характеристика является отношением предельной нагрузки, при которой происходит разрушение образца, к площади его поперечного сечения.

В исследованиях форма образцов принималась в виде куба с размером граней, равным 70 мм. Схема и внешний вид силового

устройства для испытаний образцов известняка-ракушечника приведены на рис. 1, а результаты исследований в табл. 1.



*Рис. 1. Схема и внешний вид силовой установки для испытания на одноосное сжатие: 1 – неподвижная пластина; 2 - подвижная пластина; 3 - испытуемый образец; 4 - упорный стальной цилиндр; 5 – динамометр для измерения вертикальной нагрузки; 7 - домкрат; 8 - индикаторы часового типа.*

Исследования выполнены поперек и вдоль слоистости для образцов в воздушно-сухом и водонасыщенном состоянии. Коэффициент анизотропии при определении предела прочности на одноосное сжатие был определен по пяти сериям испытаний образцов известняка-ракушечника, основные результаты которых приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Соотношения показателей предела прочности на одноосное сжатие известняка-ракушечника вдоль и поперек слоистости**

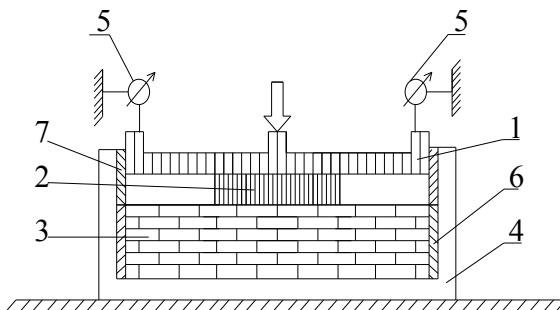
Серия	Количество испытаний	Значение показателя МПа.		Коэффициент анизотропии, $k_{a, R_c}$
		Поперек слоистости, $R_{c, \perp}$	Вдоль слоистости, $R_{c, \parallel}$	
1	10	0,84	1,28	1,52
2	10	0,50	1,32	2,64
3	10	0,98	2,12	2,16
4	10	0,52	1,13	2,17
5	10	0,89	1,27	1,43
Среднее	50	0,75	1,42	<b>1,89</b>

Таким образом, по результатам проведенных исследований, предел прочности на одноосное сжатие поперек слоистости меньше, чем вдоль слоистости. При этом коэффициент анизотропии составил 1,89.

Как известно, предел прочности на одноосное сжатие не отражает фактического значения сопротивления разрушению и последующей деформации известняка в массиве. От давлений, передаваемых фундаментом на основание, в грунтовой толще под его подошвой возникают напряжения на участках поверхности частиц скелета в точках их контактов. Векторы напряжений направлены хаотично. От суммы их проекций на вертикальную ось «Z» возникают напряжения, вызывающие уплотнения  $\sigma_z$ . От суммы их проекций на ось «X» или «Y» возникает напряжение, вызывающее боковые давления  $\sigma_y$  или  $\sigma_x$ . При возникновении горизонтального давления, которое приводит к разрушению кубика, отсутствует сопротивление вдоль его боковых граней, что снижает значение  $R_c$  при разрушении в отличие от структурной прочности  $p_{str}$  в массиве.

Определение  $p_{str}$  в лабораторных условиях проведены в приборе, в котором условный цилиндр породы ниже подошвы круглого штампа находится внутри образца. Боковое давление по поверхности этого цилиндра уравнивается структурной прочностью испытываемой породы, препятствуя разрушению его в стороны до достижения бокового давления, равного  $p_{str}$  в горизонтальном направлении.

Внешний вид и схема прибора для определения структурной прочности приведены на рис. 2



*Рис.2. Внешний вид и схема прибора для определения структурной прочности: 1 - направляющее кольцо; 2 - штамп; 3 - образец грунта; 4 - корпус; 5 - индикатор часового типа; 6 - нижнее кольцо; 7 - верхнее кольцо*

В табл. 2 приведены результаты определения  $p_{stg}$  поперек и вдоль слоистости на образцах одной партии без соблюдения их синхронизации, поэтому, коэффициент анизотропии определен по средним значениям, полученным в испытаниях.

Таблица 2

**Результаты определения  $p_{str}$  поперек и вдоль слоистости в известняке-ракушечнике в воздушно-сухом состоянии**

Серия	Количество испытаний	Значение показателя МПа.		Коэффициент анизотропии, $k_a, p_{str}$
		Поперек слоистости, $p_{str, \perp}$	Вдоль слоистости, $p_{str, \parallel}$	
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		
Среднее	52	2,16	2,73	<b>1,26</b>

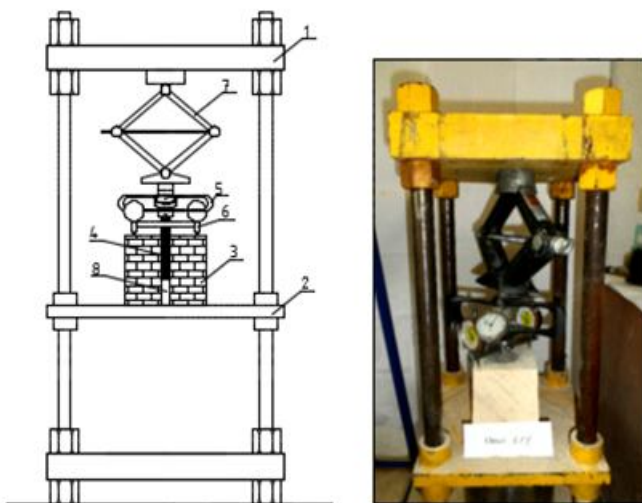
Таким образом, по результатам проведенных исследований, структурная прочность поперек слоистости меньше, чем вдоль слоистости. При этом коэффициент анизотропии составил 1,26.

Одной из прочностных характеристик известняка-ракушечника является сопротивление сдвигу по боковой поверхности буронабивных свай. Эту характеристику определяли испытанием моделями буронабивных свай, которые изготавливали с сохранением полости ниже подошвы, что позволило обеспечить передачу нагрузки по внешней поверхности зацементированного известняка (известково-цементного слоя) вокруг ствола свай. Нижнюю часть скважины, на необходимую высоту, заполняли песком, а верхнюю - цементным раствором.

Известняк-ракушечник обладает высокой пористостью (до 60%). Значительное количество пор большого размера. Стенки скважин

буронабивных свай обладают высокой ноздреватостью. Цементное молоко при бетонировании сваи проникает в крупные пустоты пор, образуя шероховатую поверхность сопряжения между стволом сваи и окружающей породой. Сопротивление сдвигу определяется не трением, а прочностью известняка, находящегося за пределами поверхности ствола сваи, пропитанного затвердевшим цементным раствором. Следовательно, разрушение при «срыве» происходит по известняку.

В скважинах, пройденных поперек слоистости, ноздреватость стенок выше, чем в скважинах вдоль слоистости. Предельное значение сопротивления сдвигу определено по результатам сорока испытаний известняка модельными сваями в поперечном и продольном направлениях по отношению к слоистости. Схема и внешний вид силового устройства для испытаний моделей свай приведены на рис. 3. а результаты исследований в табл. 3.



*Рис. 3. Схема и внешний вид силового устройства для испытания известняка-ракушечника модельными бутонабивных свай:*

*1, 2 – неподвижные плиты; 3 – образец известняка ракушечника; 4 – модель бутонабивной сваи; 5 – динамометр; 6 – индикаторы часового типа; 7 - домкрат; 8 – полость под пятой сваи*

Таблица .3

**Соотношения показателей сопротивления сдвигу известняка-ракушечника по боковой поверхности буронабивных свай вдоль и поперек слоистости**

Серия	Количество испытаний	Значение показателя МПа.		Коэффициент анизотропии, $k_{a,f}$
		Поперек слоистости, $f_c$	Вдоль слоистости, $f_{c,a}$	
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
Среднее	20	1,09	0,93	<b>0,86</b>

Таким образом, по результатам проведенных исследований сопротивление сдвигу поперек слоистости больше, чем вдоль слоистости. При этом коэффициент анизотропии составил 0,86.

Одним из особых свойств известняка-ракушечника является размягчаемость при увлажнении. Водонасыщение вызывает снижение показателей прочностных свойств грунтов. Оно оценивается коэффициентом размягчаемости, определяемому отношением пределов прочности в водонасыщенном и воздушно-сухом состояниях. Согласно нормативным документам породы по этому показателю делятся на размягчаемые и не размягчаемые. К не размягчаемым относятся породы со значением  $k_{sof} \geq 0,75$ , а к размягчаемым - при  $k_{sof} < 0,75$ .

Значения коэффициента размягчаемости, полученные по соотношению предела прочности на одноосное сжатие, отличаются от значений при определении структурной прочности и сопротивления сдвигу вдоль боковой поверхности буронабивных свай. Испытания по определению коэффициентов размягчаемости по значению структурной прочности и сопротивления сдвигу выполнены при приложении вертикальной нагрузки только поперек слоистости.

Средневзвешенные значения коэффициента размягчаемости, полученные по результатам определения предела прочности образцов в воздушно-сухом состоянии  $R_c$  и после водонасыщения  $R_{c,sat}$  по 23 испытаниям в каждом состоянии приведены в табл. 4.



**Соотношение показателей предела прочности одноосному сжатию  
в воздушно-сухом и водонасыщенном состоянии**

Таблица 4

Серия	Количество испытаний	Значение показателя МПа.		Коэффициент размягчаемости, $k_{sof}$
		В сухом состоянии, $R_c$	После водонасыщения, $R_{c,sat}$	
26	4+4	0,95	0,76	0,80
27	4+4	0,97	0,65	0,67
28	3+3	0,83	0,48	0,58
29	4+4	0,44	0,44	1,00
30	4+4	0,42	0,25	0,60
31	4+4	0,41	0,42	1,02
Среднее	23+23	0,67	0,50	<b>0,75</b>

Таким образом, «пилыный» известняк-ракушечник по результатам испытаний на одноосное сжатие можно отнести к не размягчаемым. Среднее значение этого показателя по 46 опытам равно 0,75.

Ниже приведены результаты 32 испытаний по определению показателей структурной прочности разных образцов известняка-ракушечника по 16 для каждого состояния по влажности. Основные результаты приведены в таблице 5.

Таблица 5

**Соотношение показателей структурной прочности известняка-ракушечника в водонасыщенном и воздушно-сухом состоянии**

Серия	Количество испытаний	Значение показателя МПа.		Коэффициент размягчаемости, $k_{sof}$
		В сухом состоянии, $R_{str}$	После водонасыщения, $R_{str,sat}$	
32	2+2	0,98	0,92	0,94
33	3+3	1,66	0,95	0,57
34	2+2	2,27	1,17	0,54
35	3+3	1,02	0,89	0,87
36	3+3	1,95	1,13	0,58
37	3+3	1,81	1,02	0,56
Среднее	16+16	1,61	1,01	<b>0,63</b>

Таким образом, известняк-ракушечник по результатам 32 испытаний по определению структурной прочности можно отнести к размягчаемым, так как среднее значение этого показателя равно 0,63. Полученные результаты свидетельствуют о незначительных отклонениях коэффициента размягчаемости для разных образцов от средневзвешенного.

Как отмечалось выше, сдвиг вдоль боковой поверхности буронабивных свай в известняке-ракушечнике, происходит не по поверхности ствола, а на расстоянии от него, равном проникновению цементного молока в породу. В проведенных испытаниях моделей свай это расстояние изменялось от 2 до 3 мм, в среднем – 2,5 мм. Сдвиг определяли разрушением известняка в результате перемещения ствола после «срыва». Установлено что, известняк-ракушечник по результатам 48 испытаний по определению сопротивления сдвигу вдоль боковой поверхности буронабивных свай можно отнести к не размягчаемому, так как среднее значение этого показателя равно 0,90.

Таблица .6

**Соотношение показателей сопротивления сдвигу известняка-ракушечника вдоль боковой поверхности буронабивных свай в водонасыщенном и воздушно-сухом состоянии**

Серия	Количество испытаний	Значение показателя МПа.		Коэффициент размягчаемости, $k_{sof}$
		В сухом состоянии, $f_c$	После водонасыщения, $f_{c,sat}$	
38	4+4	1,03	1,24	1,20
39	4+4	1,23	1,19	0,97
40	4+4	1,72	1,35	0,78
41	4+4	0,65	0,59	0,91
42	4+4	0,65	0,49	0,75
43	4+4	0,87	0,68	0,56
Среднее	24+24	1,02	0,92	<b>0,90</b>

Таким образом, по результатам 48 испытаний по определению сопротивления сдвигу вдоль боковой поверхности буронабивных свай исследуемый известняк можно отнести к не размягчаемому, так как среднее значение этого показателя равно 0,90.

Экспериментально установлено, что на значение коэффициента размягчаемости оказывает влияние условия деформирования породы под влиянием внешней нагрузки, см. табл. 7.

Таблица. 7

**Значения коэффициентов размягчаемости при определении разных характеристик известняка-ракушечника**

Показатели механических характеристик	Предельное значение показателей, МПа при испытаниях		Коэффициент размягчаемости $k_{sof}$
	В воздушно-сухом состоянии	После водонасыщения	
$R_c$	0,67	0,5	0,75
$p_{str}$	1,61	1,01	0,63
$f_c$	1,02	0,92	0,90

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Новский В.А. Исследование прочностных и деформативных свойств известняка-ракушечника в лабораторных условиях /В. А. Новский// Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури.- Одесса, 2008. - Вип. 29, ч. 2. - С. 289-295.
1. Novskiy V.A. The study of strength and deformation properties of limestone-rakushchnika and laboratory /V.A. Novskiy// News Bulletin of the Odessa State Academy of Construction and Architecture. - Odessa, 2008. - Vip. 29 hours. 2. - P. 289-295.
2. Новский А.В. Известняк-ракушечник. Исследование и использование в качестве основания фундаментов /Новский А.В., Новский В.А., Тугаенко Ю.Ф./ Астропринт. Одесса, 2014. 92 с.
2. Novskiy A.V. Shell limestone. The exploration and use as a base foundation /Novskiy A.V., Novskiy V.A., Tugaenko Y.F. /Astroprint. Odessa, 2014. 92 p.
3. N.U. Kornienko Mechanical Properties of Semi-Rocks Soils and Methods of Their Determination /N. U. Kornienko, A. V. Novskiy, A. P. Tklich, Y. F. Tugaenko /Proceedings of the 15<sup>th</sup> European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering / Part 1. Athens, 2011. P. 43-49.