

УДК624.131.524.4

**К РАСЧЕТУ БУРОНАБИВНЫХ СВАЙ В ИЗВЕСТНЯКЕ-РАКУШЕЧНИКЕ**

**Новский В.А.**, к.т.н.

*Одесская государственная академия строительства и архитектуры*  
novskiv@mail.ru

**Аннотация.** Приведены графические зависимости показателей механических характеристик известняков Одесского региона от предела прочности на одноосное сжатие. Раскрыто явление трансформации предельного сопротивления сдвигу в сопротивление трению по мере разрушения структурных связей вдоль ствола сваи при ее перемещении. Изложена методика определения несущей способности буронабивных свай на вертикальные вдавливающие и выдергивающие нагрузки с учетом экспериментальных исследований.

**Ключевые слова:** известняк-ракушечник, предел прочности на одноосное сжатие, структурная прочность, несущая способность, буронабивная свая.

**ДО РОЗРАХУНКУ БУРОНАБИВНИХ ПАЛІ У ВАПНЯКУ-ЧЕРЕПАШНИКУ**

**Новський В.О.**, к.т.н.

*Одеська державна академія будівництва і архітектури*  
novskiv@mail.ru

**Анотація.** Наведено графічні залежності показників механічних характеристик вапняків Одеського регіону від границі міцності на одноосний тиск. Розкрито явище трансформації граничного опору зрізу в опір тертю в міру руйнування структурних зв'язків, уздовж стовбура палі при її переміщенні. Викладена методика визначення несучої здатності буронабивних палей на вертикальні вдавлюючі і висмикувальні навантаження з урахуванням експериментальних досліджень.

**Ключові слова:** вапняк-черепашник, границя міцності на одноосний тиск, структурна міцність, несуча здатність, буронабивна паля.

**TO THE CALCULATION OF BOREDPILESIN THE LIMESTONE-SHELL ROCK**

**Novskiy V.A.**, Ph.D.,

*Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture*  
novskiv@mail.ru

**Abstract.** During the construction of high-rise buildings it is necessary to use limestone as the base of foundations and, above all, of the bored piles. Research has established that the limestone of the Odessa region are not rocks, because they have low values of tensile strength 0.3-0.5 MPa uniaxial compression. So bored piles do not work as a stand-piles and piles as a hanging. When designing the foundations of difficulties arise because the limestone-coquina studied enough and the geological surveys of the report presents a mechanical characteristic is the tensile strength in uniaxial compression, in which it is impossible to determine the resistance of the surface on the side and under the heel of the resistance.

Based on the completed field and laboratory tests of limestone-shell bored piles [1-3], performed at the Department of bases and foundations OGAS built correlations indicators of the strength properties of the shell limestone from the tensile strength of the uniaxial compression in

air-dry and water-saturated state. Charts make it possible at a well-known characteristic, identify all the other if necessary.

Calculation of bored piles in the vertical compression and pulling loads in limestone recommended using formulas to calculate these piles in clay soils, in which introduced the experimental factors that determine the specific characteristics of this breed, due to the anisotropy and the transformation of the fracture resistance of structural relations "after the collapse of" resistance to friction .

**Keywords:** shell limestone, the tensile strength in uniaxial compression, structural strength, bearing capacity, pressure pile.

**Введение.** В настоящее время при строительстве зданий повышенной этажности в г. Одессе, где кровля известняка-ракушечника находится близко к дневной поверхности, используют фундаменты из буронабивных свай, которые заглубляют в эту породу. При проектировании таких фундаментов возникают трудности, поскольку известняк-ракушечник Одесского региона не является скальной породой, а в нормативных документах отсутствуют данные для определения их несущей способности, как висячих свай. Результаты статических испытаний значительно выше значений аналитических расчетов свай – стоек, поскольку среднее значение предела прочности на одноосное сжатие известняка низкой прочности составляет обычно  $f_{ck.cube} = 0,3 \dots 0,5$  МПа.

**Цели и задачи.** Основными задачами исследований является определение механических характеристик известняка-ракушечника для определения несущей способности буронабивных свай, заглубленных в эту породу. Решить проблему позволяют новые подходы к определению несущей способности свай с использованием реальных характеристик местных известняков и проведение статических испытаний натуральных образцов свай.

**Объект и методы исследований.** Объектом исследований является известняк-ракушечник Одесского региона. Для решения поставленных задач применены экспериментальные и расчетные методы, которые включали стандартные и разработанные с участием автора методы по определению механических характеристик известняка-ракушечника в лабораторных условиях, а также методы определения несущей способности буронабивных свай в глинистых и песчаных грунтах.

**Результаты исследований.** На основании выполненных полевых и лабораторных испытаний известняка-ракушечника буронабивными сваями [1-3] предложена методика определения их несущей способности, которая дает результаты наиболее близкие результатам натуральных исследований.

На рис. 1 представлены корреляционные зависимости показателей прочностных свойств известняка-ракушечника от предела прочности на одноосное сжатие образцов в воздушно-сухом и водонасыщенном состоянии по результатам лабораторных определений. Графики дают возможность при одной известной характеристике, при необходимости, определить все остальные.

Достаточная достоверность графиков проверена результатами натуральных исследований, выполненных на участках строительства многоэтажных зданий по ул. Генуэзской, 1; Польской, 10; Б. Арнаутской, 23 и др. в г. Одессе.

Экспериментальными исследованиями также установлено, что при загрузке буронабивных свай, расположенных в известняке-ракушечнике, вдоль боковой поверхности ствола возникают два вида сопротивления: сопротивление разрушению структурных связей, которое после «срыва» трансформируется в сопротивление трению. Сопротивление разрушению происходит при напряжениях, превышающих структурную прочность при сдвиге  $f_{str}$ , которая является предельным значением прочности при сдвиге. Сопротивление трению  $f$  возникает по поверхности, образовавшейся после «срыва». Это явление необходимо учитывать при определении несущей способности буронабивных свай.

По данным лабораторных исследований, проведенным ранее «срыв» происходит при перемещении ствола сваи равном в среднем 0,3 мм. Средневзвешенное значение

коэффициента снижения сопротивления сдвигу вдоль ствола по исследованиям, (результаты которых приведены в табл. 1), составляет 0,69, при расположении свай поперек слоистости.

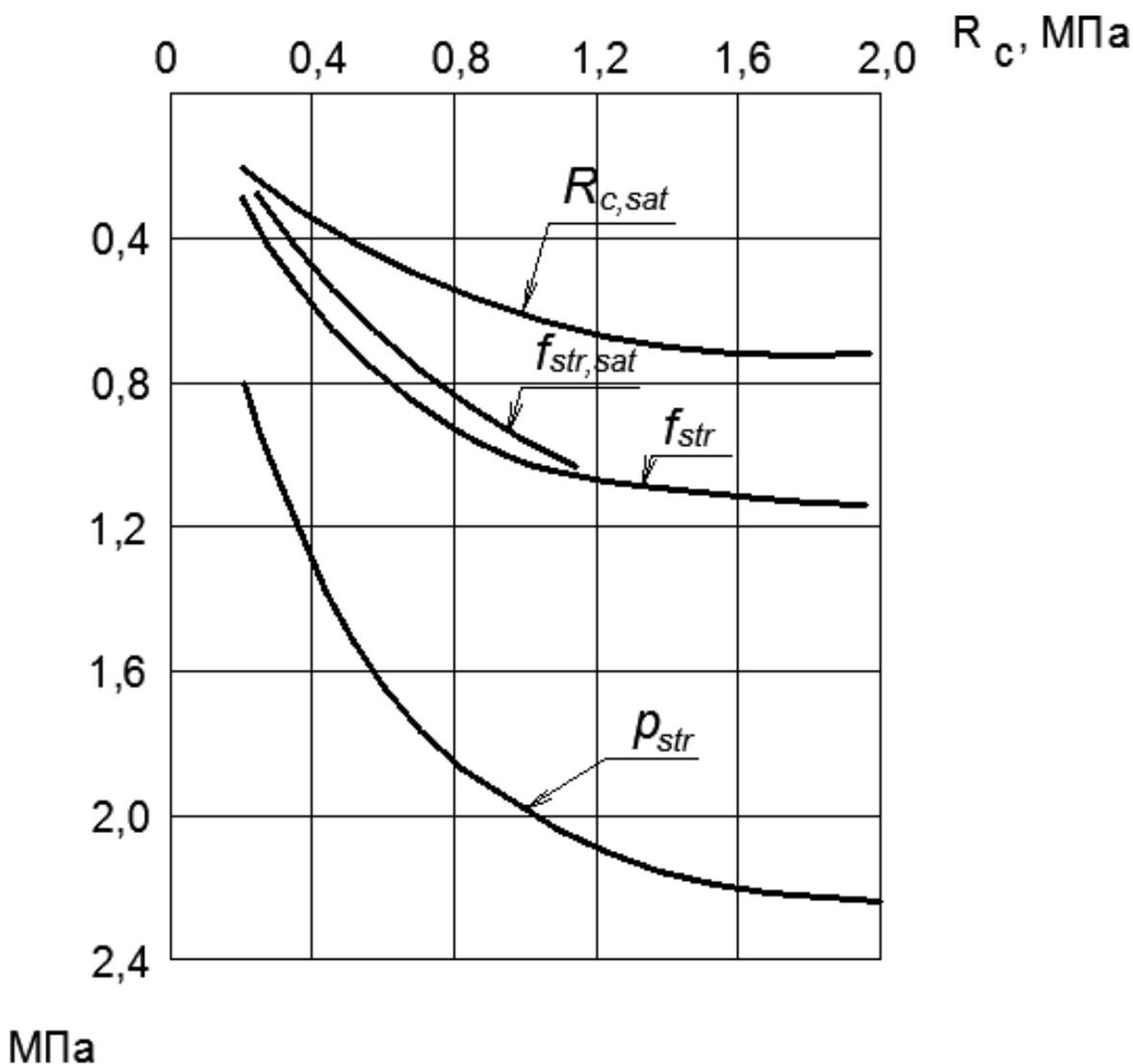


Рис.1. Корреляционные зависимости предельных значений параметров прочностных свойств пыльного известняка-ракушечника от предельной прочности на одноосное сжатие

Ниже приведены рекомендации по расчету буронабивных свай, частично либо полностью заглубленных в слой известняка-ракушечника. В основу расчета на вертикальную вдавливающую нагрузку положена формула Н.3.1 [4]. В эту формулу введены характеристики, определяющие особенности работы буронабивных свай в известняке-ракушечнике:

$$F_d = \gamma_c (\gamma_{cR} RA + u \sum \gamma_{cf} f_{c,i} h_i), \quad (1)$$

где:  $\gamma_c$  – коэффициент условий работы свай; в случае опирания свай на пылевато-глинистые грунты со степенью влажности  $S_r < 0,9$  и на лессовые грунты  $\gamma_c = 0,8$ , в остальных случаях  $\gamma_c = 1,0$ ;

$\gamma_{cR}$  – коэффициент условий работы грунта под нижним концом свай;  $\gamma_{cR} = 1$ ;

$R$  – расчетное сопротивление грунта под нижним концом свай, при опирании на известняк-ракушечник равное его структурной прочности  $p_{str}$  и принимаемое по графику рис. 1, в остальных случаях – по Н.2.1 [4], кПа;

$A$  – площадь опирания сваи, м<sup>2</sup>;

$u$  – периметр поперечного сечения ствола сваи, м;

$\gamma_{cf}$  – коэффициент условий работы грунта вдоль боковой поверхности сваи в пределах известняка-ракушечника, принимаемый  $\gamma_{cf} = 0,65$ , в остальных случаях – по табл. Н.3.1 [4];

$f_{c,i}$  – предельное сопротивление сдвигу  $i$ -го слоя грунта вдоль боковой поверхности ствола сваи в пределах известняка-ракушечника  $f_{c,i} = f_{str}$  и принимается по графику рис. 1, в остальных случаях  $f_{c,i} = f_i$  – расчетному сопротивлению  $i$ -го слоя грунта на боковой поверхности сваи, кПа, принимаемому по табл. Н.2.2 [4];

$h_i$  – толщина  $i$ -го слоя грунта, соприкасающегося с боковой поверхностью сваи, м.

На вертикальные, наклонные и горизонтальные выдергивающие нагрузки рассчитываются анкерные сваи. Несущую способность анкерных свай определяют силы сдвига вдоль ее боковой поверхности. Если свая расположена наклонно либо параллельно слоистости, ее несущую способность необходимо определять с учетом анизотропных свойств известняка-ракушечника.

В основу расчета на выдергивающую нагрузку положена формула Н.2.3 [4] для определения несущей способности буронабивных свай в песчаных и глинистых грунтах, в которую введены коэффициенты, учитывающие особенности работы буронабивных свай в известняке-ракушечнике и его анизотропные свойства:

$$F_{du} = \gamma_c k_{a,f} u \sum \gamma_{cf} f_{c,i} h_i, \quad (2)$$

где:  $\gamma_c$  – коэффициент условий работы сваи, принимаемый в соответствии с требованиями табл. Н.4.1 [4];

$k_{a,f}$  – коэффициент анизотропии, используемый в пределах известняка-ракушечника и принимаемый  $k_{a,f} = 1$  при нормальном расположении сваи к слоистости и  $k_{a,f} = 0,86$  при касательном; при промежуточном угле наклона  $k_{a,f}$  определяется по интерполяции;

$u$  – периметр поперечного сечения ствола сваи, м;

$\gamma_{cf}$  – коэффициент условий работы грунта вдоль боковой поверхности сваи в пределах известняка-ракушечника  $\gamma_{cf} = 0,6$ , в остальных случаях  $\gamma_{cf}$  принимается по табл. Н.2.3 [4];

$f_{c,i}$  – то же, что в формуле (1).

Таблица 1 – Результаты исследования известняка-ракушечника моделями свай, расположенных поперек слоистости

№ серии	Количество испытаний	Сопротивление по боковой поверхности		Коэффициент снижения сопротивления по боковой поверхности сваи $\gamma_{cf}$
		до «срыва» $f_c$ , МПа	после «срыва» $f$ , МПа	
1	8	0,67	0,36	0,54
2	8	0,45	0,36	0,80
3	8	0,38	0,23	0,61
4	8	0,42	0,26	0,62
5	8	0,44	0,37	0,83
6	8	0,52	0,41	0,74
Среднее	<b>48</b>	<b>0,48</b>	<b>0,33</b>	<b>0,69</b>

Таблица 2 – Соотношения показателей сопротивления сдвигу известняка-ракушечника по боковой поверхности буронабивных свай вдоль и поперек слоистости

Серия	№№ опытов	Значение показателей, МПа				$k_{a,f}$
		Поперек слоистости, $f_c$		Вдоль слоистости, $f_{c,a}$		
		Ед.	Ср.	Ед.	Ср.	
1	1.1	0,76	0,93	0,76	0,81	0,87
	1.2	0,76		0,65		
	1.3	1,08		0,87		
	1.4	1,11		0,97		
2	2.1	0,75	0,86	0,78	0,71	0,82
	2.2	0,97		0,65		
	2.3	0,86		0,76		
	2.4	0,86		0,65		
3	3.1	1,30	1,46	1,08	1,11	0,76
	3.2	1,73		1,08		
	3.3	1,30		1,30		
	3.4	1,51		0,97		
4	4.1	0,86	0,97	1,08	1,11	1,14
	4.2	0,86		1,30		
	4.3	1,08		1,08		
	4.4	1,08		0,97		
5	5.1	1,08	1,24	0,66	0,90	0,73
	5.2	1,08		0,87		
	5.3	1,51		0,97		
	5.4	1,30		1,08		
Среднее по 5 сериям			1,09		0,93	<b>0,86</b>

**Выводы.** Выполненные комплексные исследования позволили установить значения механических характеристик известняка-ракушечника одесского региона, соотношение между ними, а также разработать рекомендации по определению несущей способности буронабивных свай при действии вертикальной вдавливающей и выдергивающей нагрузок. Результаты исследований внедрены в практику проектирования и строительства.

### Литература

1. Новский В.А. Результаты исследования известняка-ракушечника буронабивными сваями в лабораторных условиях / В. А. Новский // Мосты и тоннели: теория исследования, практика: тезисы докладов. – Днепропетровск, 2007. – С.114-115.
2. Kornienko N.U. Mechanical Properties of Semi-Rocks Soils and Methods of Their Determination / N.U. Kornienko, A.V. Novskiy, A.P. Tkalich, Y.F. Tugaenko // Proceedings of the 15th European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. – Part 1. Athens, 2011. – p. 43-49.
3. Новский А.В. Известняк-ракушечник. Исследование и использование в качестве основания фундаментов / А.В. Новский, В.А. Новский, Ю.Ф. Тугаенко / Астропринт.: Одесса, 2014. – С.92.
4. ДБН В.2.1-10-2009. Основи та фундаменти споруд. Зміна №1 Мінрегіонбуд України, 2011. – 54 с.