

*А.В. Новский, к.т.н., профессор
В.А. Новский, к.т.н., ст. преподаватель*

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ БУРОНАБИВНЫХ СВАЙ НА ВЫДЕРГИВАНИЕ В ИЗВЕСТНЯКЕ-РАКУШЕЧНИКЕ С УЧЕТОМ АНИЗОТРОПИИ

Изложена методика и результаты определения сопротивления срезу вдоль боковой поверхности буронабивных свай поперек и вдоль слоистости известняка-ракушечника, а также рекомендации по расчету свай на выдергивающие нагрузки.

Ключевые слова: буронабивная свая, несущая способность, выдергивание, известняк-ракушечник.

*О.В. Новський, к.т.н., професор
В.О. Новський, к.т.н., ст. викладач*

Одеська державна академія будівництва та архітектури

ВИЗНАЧЕННЯ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ БУРОНАБИВНИХ ПАЛЬ НА ВИСМИКУВАННЯ У ВАПНЯКУ-ЧЕРЕПАШНИКУ З УРАХУВАННЯМ АНІЗОТРОПІЇ

Викладено методику і результати визначення опору зрізу вздовж бічної поверхні буронабивних палей поперек і вздовж шаруватості вапняку-черепашинику, а також рекомендації щодо розрахунку палей на висмикування навантаження.

Ключові слова: буронабивна палея, несуча здатність, висмикування, вапняк-черепашиник.

*A.V.Novsky, professor, V.A.Novsky, p. teacher
Odessa State Academy of Construction and Architecture*

DETERMINATION OF CARRYING CAPACITY BORED PILE PULL- OUT IN THE SHELL LIMESTONE SINCE THE ANISOTROPY

The technique and the results of the resistance shear along the side of the bored piles across and along bedding shell limestone, as well as recommendations on the calculation of piles to pull out a load.

Keywords: in-situ pile, carrying capacity, pull-out, shell limestone.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными практическими задачами. Сваи являются одними из надежных конструкций фундаментов, которые применяются в различных грунтовых условиях, в том числе сложных, где они наиболее целесообразны и экономически обоснованы. Многими отечественными и зарубежными учеными выполнены обширные экспериментальные и теоретические исследования свай различных конструкций. Совершенствуются методы изучения напряженно-деформированного состояния этих фундаментов и окружающего грунта, что позволяет уточнить методы расчета несущей способности свай разных конструкций [1].

Строительные свойства известняка-ракушечника практически не изучены. В материалах изысканий для этих пород приводятся сведения о пределе прочности на одноосное сжатие. Параметры, определяющие сопротивление сжатию и сдвигу по боковой поверхности буронабивных свай, отсутствуют. Нет сведений об изменении прочностных и деформативных свойств известняков с учетом анизотропии, что необходимо при проектировании анкерных конструкций для восприятия горизонтальных и наклонных усилий.

Анализ последних источников исследований и публикаций. Несмотря на значительный объем исследований, многие вопросы, касающиеся совместной работы свай с основанием, остаются малоизученными. Существующие методы оценки несущей способности свай, в том числе буронабивных, не учитывают всего спектра факторов, влияющих на ее значение. Малоизученными остаются вопросы работы буронабивных свай в грунтовых условиях, характерных для отдельных регионов. К таким условиям относится геологическое строение одесского региона, который характеризуется наличием известняков, залегающих на глубинах 4 – 23 м от дневной поверхности.

Определение нерешенных ранее частей общей проблемы, которым посвящена статья. В нормативных документах отсутствуют данные о сопротивлении сдвигу вдоль боковой поверхности буронабивных свай и расчетному сопротивлению под их пятой, если основанием является известняк. Имеющиеся отдельные данные о поведении известняка-ракушечника при нагрузке свидетельствуют о том, что он не является скальным основанием. Поэтому использование методов расчета свай в этой породе как свай-стоек не отвечает реальным процессам деформирования среды. В связи с чем, изучение вопросов, связанных с исследованием параметров, определяющих несущую способность буронабивных свай в известняке-ракушечнике, является актуальной проблемой.

Широкое использование известняка-ракушечника в качестве основания фундаментов зданий и сооружений возможно при условии внедрения в практику проектирования и строительства результатов новых исследований, путем создания базы региональных показателей механических характеристик этих пород и корректировки существующих методов расчета.

Постановка задачи. Для решения имеющейся проблемы были определены следующие задачи:

- провести комплексные экспериментальные исследования параметров сопротивления известняка-ракушечника нагрузкам от буронабивных свай, как в лабораторных, так и в натурных условиях;
- исследовать особенности процесса, определяющего совместную деформацию буронабивных свай и известняка-ракушечника, на базе чего установить характер распределения сопротивления нагрузкам по боковой поверхности;
- изучить влияние анизотропии и водонасыщения известняка-ракушечника на его механические характеристики;
- предложить региональные коэффициенты условий работы буронабивных свай в известняке-ракушечнике с целью корректировки метода расчета несущей способности на выдергивание.

Изложение основного материала исследований. На основании исследований, выполненных в ОГАСА [2, 3], установлены особенности совместной работы буронабивных свай с известняком-ракушечником, а также значения сопротивления сдвигу вдоль боковой поверхности f как поперек, так и вдоль слоистости. Осредненные значения этого показателя по пяти сериям из 20 опытов приведены в табл. 1. Исследования в лабораторных условиях сваями малого диаметра выполнены с соблюдением требований ДСТУ [4]. Основные положения принятой методики исследований приведены в работе [2].

Из приведенных данных следует, что сопротивление сдвигу поперек слоистости больше, чем вдоль слоистости, коэффициент анизотропии равен 0,86. Установлено, что в процессе изготовления сваи цементный раствор проникает в поры и пустоты известняка-ракушечника за пределы поверхности стенок скважины, образуя вокруг ствола цементно-известковую прослойку.

Сопротивление по боковой поверхности определяется прочностью породы ненарушенной структуры на срез по внешней поверхности образовавшейся прослойки.

«Срыв» на элементарном участке длины сваи является следствием разрушения в его пределах известняка-ракушечника по цилиндрической поверхности, диаметр которой превышает диаметр скважины. Зона «срыва» распространяется к подошве сваи по мере перемещения ее ствола, в том числе и в результате упругого сжатия. Данные 28 серий лабораторных испытаний буронабивных свай (154 шт.) длиной 160 мм и диаметром 21 мм приведены в табл. 2.

Таблица 1 – 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	0,86

Таблица 2 – Значения сопротивления сдвигу по боковой поверхности буронабивных свай «пыльных» известняков разной прочности

Предел прочности на одноосное сжатие R_c , МПа	Предельные значения сопротивление сдвигу f_c поперек слоистости, МПа
$R_c < 0,3$	0,3
$0,3 \leq R_c < 0,5$	0,5
$0,5 \leq R_c < 1,0$	0,7
$1,0 \leq R_c < 2,0$	0,9

При повторном нагружении сваи после «срыва» сопротивление определяется силами трения вдоль поверхности разрушения, что установлено испытаниями известняка-ракушечника в лабораторных условиях модельными сваями, которые по длине можно считать элементарным участком натурной сваи. Результаты этих исследований приведены на графике (рис. 1) и в таблице 1.

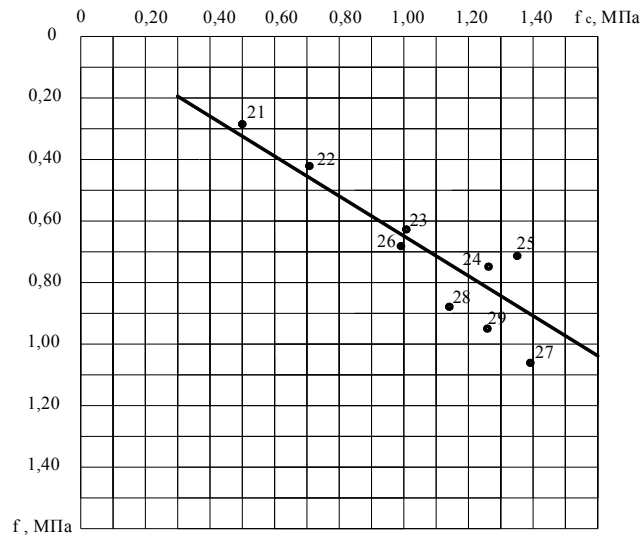


Рисунок 1 – Зависимость сопротивления трению по разрушенной поверхности от предельного сопротивления по боковой поверхности

Экспериментально установлено, что при перемещениях порядка 0,3 мм сопротивление трению f снижается до 40 % по сравнению со значением предельного сопротивления сдвигу f_c . Поэтому при определении несущей способности буронабивной сваи, частично или полностью заглубленной в слой «пильного» известняка-ракушечника, необходимо учитывать трансформацию сопротивления по боковой поверхности, принимая его с учетом коэффициента снижения в результате перемещения ствола сваи (табл. 3).

Таблица 3 – Соотношение показателей предельного сопротивления сдвигу известняка-ракушечника вдоль боковой поверхности буронабивных свай до и после разрушении структурных связей

№ серии	№№ испытаний	Сопротивление сдвигу до «срыва» f_c , МПа		Сопротивление сдвигу после «срыва» f , МПа		Коэффициент снижения сопротивления сдвигу γ_{ef}
		Ед.	Ср.	Ед.	Ср.	
21	21.1	0,59	0,50	0,34	0,29	0,58
	21.2	0,42		0,25		
22	22.1	0,59	0,71	0,25	0,42	0,59
	22.2	0,84		0,59		
23	23.1	1,09	1,09	0,71	0,69	0,63
	23.2	1,09		0,67		
24	24.1	1,26	1,26	0,84	0,75	0,60
	24.2	1,26		0,67		
25	25.1	1,35	1,35	0,67	0,71	0,53
	25.2	1,35		0,76		
26	26.1	1,18	0,97	0,84	0,68	0,70
	26.2	0,76		0,51		
27	27.1	1,26	1,39	0,93	1,06	0,76
	27.2	1,52		1,18		
28	28.1.1	1,52	1,14	1,26	0,88	0,77
	28.1.2	0,76		0,50		
	28.2.1	1,14	1,26	0,88	0,95	0,75
	28.2.2	1,39		1,01		
	28.3.1	1,14	1,01	0,50	0,63	0,62
28.3.2	0,88	0,76				
Среднее			1,07		0,71	0,65

Выводы. Выполненные исследования позволили дать рекомендации по определению несущей способности буронабивных свай в известняке-ракушечнике при действии вертикальной вдавливающей и выдергивающей нагрузок и осуществить внедрение результатов в практику строительства.

В основу расчета на выдергивающую нагрузку положена формула ДБН В.2.1-10-09. Основи і фундаменти будівель та споруд. Зміна №1 [1] 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.

$$F_{du} = \gamma_c k_{a,f} u \sum \gamma_{cf} f_{c,i} h_i, \quad (1)$$

где γ_c – коэффициент условий работы свай, принимаемый в соответствии с требованиями табл. Н.4.1 [1];

$k_{a,f}$ – коэффициент анизотропии, используемый в пределах известняка-ракушечника и принимаемый $k_{a,f} = 1$ при нормальном расположении свай 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 свай, м;

γ_{cf} – коэффициент условий работы грунта вдоль боковой поверхности свай в пределах известняка-ракушечника $\gamma_{cf} = 0,65$, в остальных случаях γ_{cf} принимается по табл. Н.2.3 [1];

$f_{c,i}$ – предельное сопротивление сдвигу i -го слоя грунта вдоль боковой поверхности ствола свай в пределах известняка-ракушечника принимается по таблице 2, в остальных случаях $f_{c,i} = f_i$ – расчетному сопротивлению i -го слоя грунта на боковой поверхности ствола свай, кПа, принимаемому по табл. Н.2.2 [1].

Литература

1. ДБН В.2.1-10-09. Основи і фундаменти будівель та споруд. Зміна №1. – К., 2011. – 51 с.
2. Новский, В.А. Исследование прочностных и деформативных свойств известняка-ракушечника в лабораторных условиях / В.А. Новский // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Вип. №29, ч. 2. – Одеса, 2008. – С. 289 – 295.
3. Тугаенко, Ю.Ф. Исследование свай анкером при реконструкции подпорной стенки на Приморском бульваре в г. Одессе / Ю.Ф. Тугаенко, В.А. Новский // Будівельні конструкції: міжвідомчий науково-технічний збірник. Механіка ґрунтів та фундаментобудування. – Вип. 71. Кн. 1. – К.: НДІБК, 2008. – С. 334 – 339.
4. ДСТУ Б.В.2.1-27:2010 (ГОСТ 5686-94). Палі. Визначення несучої здатності за результатами польових випробувань. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 11 с.

Надійшла до редакції 24.09.2012

© А.В. Новский, В.А. Новский