

УДК 624.131.524.4:624.131.253

**МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
ПОЛУСКАЛЬНЫХ ПОРОД
И МЕТОДЫ ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ**

Новский А.В., Новский В.А., Тугаенко Ю.Ф., Вивчарук В.В.

*Одесская государственная академия строительства
и архитектуры г. Одесса, Украина*

Изложены методика и результаты лабораторных и полевых исследований механических характеристик известняка-ракушечника юго-западной части Причерноморского плато, который используют в качестве основания фундаментов и свай.

A method and results of laboratory and field researches of mechanical descriptions of limestone-shell rock of south-west part of the Prichernomorskogo plateau is expounded, which is used as foundation of foundations and piles.

Инженерно-геологическое строение юго-западной части Причерноморского плато Украины характеризуется залеганием известняка-ракушечника на разной глубине от дневной поверхности. В связи со строительством зданий повышенной этажности и усилением фундаментов существующих сооружений, возникает необходимость использования его в качестве основания фундаментов или несущего слоя для буронабивных свай. Однако, механические свойства этой породы исследованы недостаточно. В инженерно-геологических изысканиях их оценка выполняется по значению

предела прочности на одноосное сжатие, а расчет буронабивных свай, опирающихся на известняк-ракушечник, выполняют как свай-стоек, при этом расчетная несущая способность может в несколько раз отличаться от фактической. Дело в том, что известняк-ракушечник одесского региона не является скальной породой. Это полускальная порода, которая по деформативным свойствам во многом идентична дисперсным грунтам. В связи с этим изучение свойств известняка-ракушечника является актуальной задачей.

Комплексные исследования были начаты в 1997 г. при разработке проекта усиления фундаментов здания Одесского национального академического театра оперы и балета, а затем на строительстве группы высотных зданий и усилении фундаментов некоторых уникальных сооружений. Эти исследования проводились как на строительных площадках, так и в лабораторных условиях [1, 2, 3 и 4].

Как известно, породы с жесткими структурными связями оценивают по пределу прочности на одноосное сжатие в водонасыщенном состоянии. Однако, этот показатель не позволяет оценить другие свойства известняка-ракушечника, к которым относятся: структурная прочность, модуль деформации и сопротивление сдвигу вдоль боковой поверхности буронабивных свай.

Структурная прочность p_{str} известняка-ракушечника это предельная величина сопротивления, при которой приложенная нагрузка уравнивается прочностью ракушек и структурных связей на их контактах. При этом в основании фундаментов наблюдаются преимущественно упругие деформации, исчезающие после снятия нагрузки. Напряжения, превышающие структурную прочность, вызывают разрушение ракушек и их структурных связей, следствием чего является уплотнение породы. Остаточные деформации нарастают в пределах объема зоны необратимых деформаций, формирующейся в основании фундаментов, что было установлено опытами в приборе ОИСИ-4, рабочее кольцо которого состоит из двух частей. Образец грунта также состоит из двух частей, на поверхности одной из которых установлены фиксаторы деформаций. Внешний вид зоны деформации образца известняка-ракушечника представлен на рис.1.

В полевых условиях показатели прочностных и деформативных свойств известняка оценены по результатам испытаний штампами диаметром 300 мм в скважинах на разных горизонтах.



Рис. 1. Характер деформирования известняка-ракушечника под опытным штампом

Примыкание подошвы штампа к поверхности забоя выполняли по специальной технологии, включающей зачистку забоя и выравнивание его цементным раствором толщиной 7–10 см. Нагрузку на стойку штампа прикладывали ступенями. Часть опытов проведена с кратковременным замачиванием основания. Схемы установки штампов, методика проведения испытаний и их результаты показаны на рис. 1, а; б.

Особенностью деформативных свойств известняка-ракушечника является наличие двух характерных ветвей на графике зависимости осадки от нагрузки. Первая ветвь характеризуется деформациями, возникающими в результате упругого сжатия породы при давлениях, не превышающих структурную прочность (рис. 1, в). В этих условиях сжимаемость определяется модулем упругой деформации E_0 . Вторая ветвь отражает необратимые деформации, возникающие в результате разрушения структуры породы, следствием чего является ее уплотнение. Этот участок графика близок к прямолинейной зависимости. Сжимаемость породы в этом случае следует оценивать модулем деформации E .

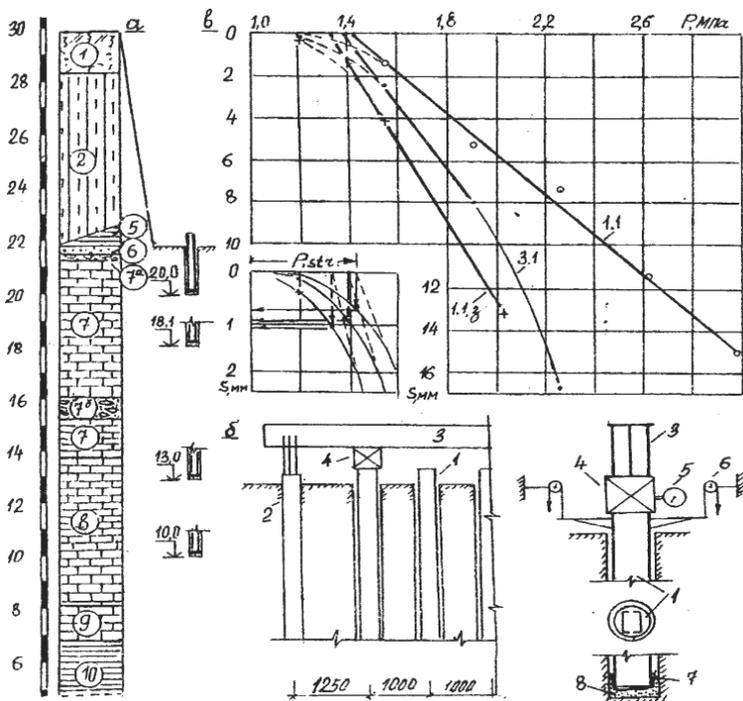


Рис. 2. Результаты исследований известняка-ракушечника опытными штампами:
 а – геологическая колонка со шкалой абсолютных отметок и высотным положением подошвы штампов; – схема испытаний;
 б – графики зависимости осадки от давления;
 1 – стойка-штамп; 2 – анкерные сваи; 3 – опорная балка; 4 – домкрат; 5 – манометр;
 6 – прогибомеры; 7 – полиэтиленовая пленка; 8 – цементный раствор

Пересечение второй ветви графика с осью давлений определяет значения структурной прочности. На рис.1, в приведены результаты трех испытаний, выполненных на абсолютной отметке 10,0 м.

Величине p_{str} , определенной в точке пересечения второй ветви зависимости осадки от нагрузки с осью P , соответствуют осадки, близкие 1 мм. Поэтому, при данной технологии подготовки основания и методике проведения исследований за критерий определения значения p_{str} , принята осадка, равная 1 мм. Средние значения структурной прочности и модуля деформации, полученные по результатам полевых исследований, приведены в табл. 1

Значения структурной прочности и модуля деформации

№ ИГЭ	Глубина ниже кровли ИГЭ, м	R _{str} , МПа	E, МПа в интервале давлений P, МПа	
			1,1–1,5	1,5–2,5
7	1,10	1,15	4,0–1,7	–
	3,0	1,35	–	20–9
8	0,8	1,88	–	24–6
	3,6	1,38	–	30–9

Лабораторные испытания проведены на образцах «пильного» известняка-ракушечника. Для проведения исследований был переоборудован компрессионный прибор, в котором нагрузка на образец площадью 60 см² передавалась штампом площадью 15 см². Испытания выполнены по методике циклически возрастающей нагрузки. Каждая ступень представляла самостоятельный цикл, состоящий из приложения нагрузки, ее выдерживания до стабилизации осадки и разгрузки. Примененная методика позволила измерить на каждой ступени величину общей осадки, ее остаточную и упругую составляющие.

График зависимости упругой составляющей осадки от давления состоит из двух ветвей. Первая – отражает нарастание упругих деформаций при давлениях меньше структурной прочности, а вторая – при давлениях больше структурной прочности. Давление, соответствующее точке пересечения ветвей определяет значение структурной прочности (рис. 3).

Сопротивление известняка-ракушечника сдвигу вдоль боковой поверхности буронабивных свай определяли в лабораторных условиях на моделях свай, а также при испытании свай-анкеров в полевых условиях.

Модельные сваи бетонировали так, чтобы ниже их подошвы оставалась полость, и приложенная нагрузка передавалась боковой поверхностью. В выполненных исследованиях разрушение известняка произошло при перемещениях ствола 0,2–0,4 мм по поверхности, расположенной от стенок скважины на расстоянии проникания цементно-

го раствора при бетонировании свай. При повторном нагружении свай после «срыва» сопротивление вдоль боковой поверхности уменьшается на 35–40 %. Это означает, что сопротивление сдвигу после разрушения структурных связей трансформируется в сопротивление трению по разрушенной поверхности. Эту особенность работы буронабивных свай в известняке-ракушечнике следует учитывать при определении их несущей способности.

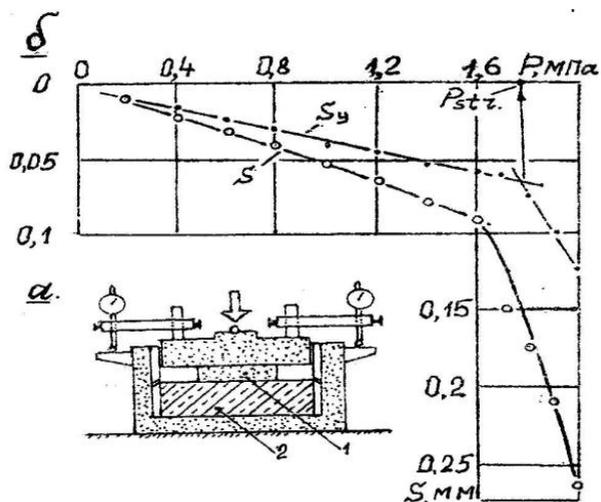


Рис. 3. Результаты испытания образца «пильного» известняка-ракушечника в лабораторных условиях:

- a* – схема испытания; *б* – график зависимости осадки штампа и ее упругой составляющей от давления;
1 – дополнительный штамп; *2* – образец

Контрольные испытания натуральных буронабивных свай-анкеров выдергивающей нагрузкой выполняли с использованием методики циклически возрастающей нагрузки. Особенностью этой методики является то, что после каждой ступени нагрузки она снимается до нуля. Такой характер нагружения позволяет определить общие перемещения, а также упругую и остаточную составляющие. В дальнейшем эти данные позволили определить длину растянутого участка при каждой ступени нагружения, а также сопротивление известняка-ракушечника по боковой поверхности свай.

На рис. 4 приведены результаты испытания сваи-анкера на выдергивание.

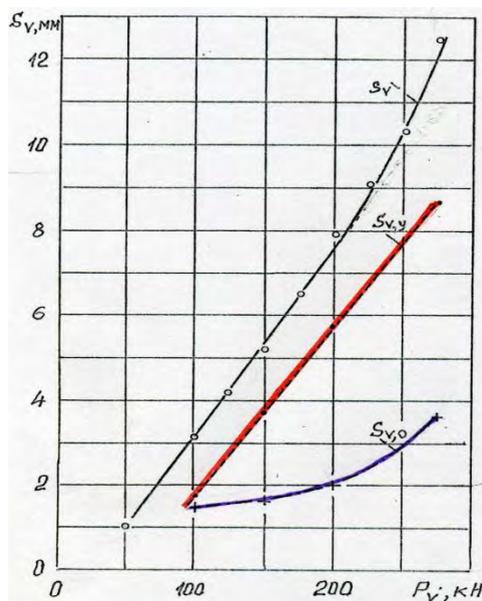


Рис. 4. Графики зависимости общих, упругих и остаточных деформаций при испытании сваи-анкера на выдергивание

Длина растянутого участка сваи для каждой ступени нагрузки определена с использованием закона Гука по зависимости (1):

$$l_i = E \times S_{y_i} / \delta_{cp, i} \quad (1)$$

где: E – модуль упругости арматурной стали, равный $1,9 \cdot 10^5$ МПа; $S_{v,y,i}$ – упругая составляющая измеренной деформации; $\delta_{cp, i}$ – среднее значение напряжения в арматурном стержне в пределах длины деформированного фрагмента, $\delta_{cp, i} = 0,5 P_{v,i} / A_s$ где: A_s – площадь поперечного сечения арматурного стержня, а коэффициент 0,5 учитывает треугольную форму эпюры напряжений.

Сопротивление сдвигу вдоль боковой поверхности сваи в пределах любого фрагмента длины можно определить по формуле:

$$\Delta f_i = \Delta P_i / \Delta l_v u \quad (2)$$

где Δf_i – приращение сил трения по боковой поверхности для каждой ступени нагрузки; ΔP_i – приращение нагрузки; $\Delta \ell_v$ – приращение фрагмента длины сваи; u – периметр сечения ствола сваи.

Из графика на рис. 4 видно, что максимальное сопротивление по боковой поверхности возникает в известняке-ракушечнике.

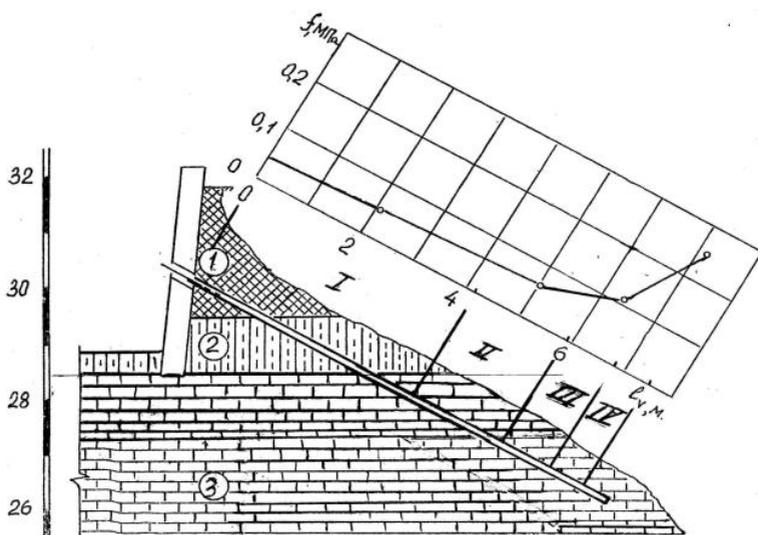


Рис. 4. График изменения сил трения по боковой поверхности на разных фрагментах длины сваи-анкера

По результатам комплексных исследований построены графики зависимости сопротивления сдвигу вдоль боковой поверхности буронабивных свай и структурной прочности от предела прочности на одноосное сжатие для образцов разной прочности (рис. 5).

Таким образом, зная стандартную характеристику известняка-ракушечника (предел прочности на одноосное сжатие) можно определить необходимые для расчета фундаментов и буронабивных свай значение структурной прочности и сопротивления сдвигу.

Результаты исследований внедрены при проектировании новых и усилении существующих фундаментов ряда зданий и сооружений в г. Одессе.

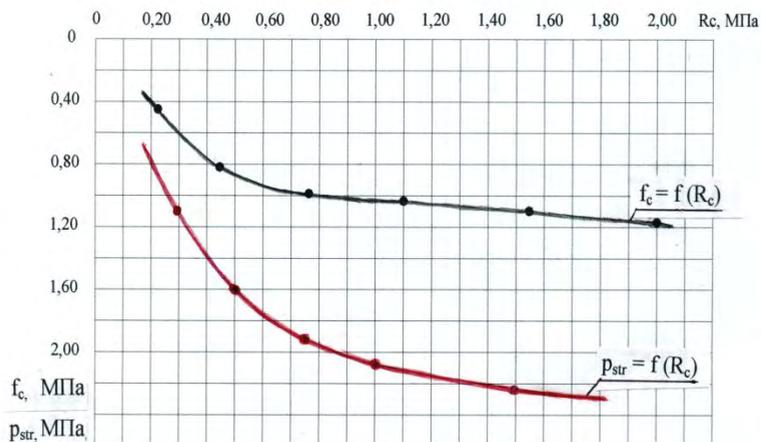


Рис. 5. Совмещенный график зависимости структурной прочности и сопротивления сдвигу вдоль боковой поверхности свай от предела прочности на одноосное сжатие

Литература

1. Колесников, Л.И. Экспериментальное исследование несущей способности буроинъекционных свай в основании здания Одесского театра оперы и балета / Л.И. Колесников, Ю.Ф. Тугаенко и др. // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2000. – № 5. – С. 23– 29.
2. Новский, В.А. Исследование прочностных и деформативных свойств известняка-ракушечника в лабораторных условиях / В.А. Новский // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. Випуск 29. – Одеса : ОДАБА. – 2008. – С. 289–295.
3. Тугаенко, Ю.Ф., Напряженно деформированное состояние буронабивных свай и их основания, сложенного понтическими известняками / Ю.Ф. Тугаенко, А.П. Ткалич, В.А. Новский // Проблемы механики грунтов и фундаментостроения в сложных грунтовых условиях: Труды международной научно – техн. Конфер., посвященной 50 – летию БашНИИстроя. Том 1. Свайные фундаменты. – Уфа, 2006. – С. 137 – 141.
4. Тугаенко Ю.Ф. 2008. Процессы деформирования грунтов в основаниях фундаментов свай и свайных фундаментов / Ю.Ф. Тугаенко // Одесса: «Астропринт». – 216 с.