

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ИЗВЕСТНЯКА-РАКУШЕЧНИКА

Новский А.В., к.т.н., проф., Новский В.А., к.т.н.,
Ткалич А.П., к.т.н., доц., Тугаенко Ю.Ф., д.т.н., проф.

Одесская государственная академия строительства и архитектуры
г. Одесса

В настоящее время физико-механические свойства известняка-ракушечника и подобных им грунтов (мелов и других полускальных пород) изучены недостаточно. Исследования по их определению в полевых и лабораторных условиях единичны. Эти биохимические породы с давних времен использовали в качестве стенового строительного материала. Разработка выполнялась как открытым способом, так и подземным, в результате чего в зоне добычи оставались пустоты. Для оценки строительных свойств известняка изучались его физические характеристики. Пределы осредненных показателей этих характеристик приведены в табл. 1

Таблица 1

Осредненные показатели некоторых характеристик известняка-ракушечника Одесского региона.

| Предел прочности R_c , МПа | Объемный вес γ , кН/м ³ | Пористость n , % | Коэффициент размягчаемости |
|---------------------------------|--|-----------------------|----------------------------|
| 0,6 – 2,5 | 12,7– 16,0 | 59 – 43 | 0,77 – 0,58 |

Согласно стандарту, действующему на Украине, породы с жесткими структурными связями оцениваются 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.

Структурной прочностью p_{str} исследуемой полускальной породы является предельная величина сопротивления, при котором 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 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 лотке с прозрачной стенкой.

Ниже приведены результаты комплексных исследований показателей сопротивления известняка-ракушечника Одесского региона в основании штампов и вдоль поверхности буронабивных свай как в полевых, так и лабораторных условиях. В полевых условиях оценка показателей механических свойств известняка осуществлена по результатам испытаний штампами в скважинах на разных горизонтах. Эти исследования проведены на площадке строительства комплекса зданий повышенной этажности по ул. Генуэзской, 1 в г. Одессе. Показатели сжимаемости определены по результатам испытаний штампов площадью 700 см^2 в скважинах диаметром 30 см на четырех горизонтах. На каждой отметке проведено по 3-4 испытания, которые выполнены по методике циклически возрастающей нагрузки, позволившей определить значения структурной прочности и модуля деформации. На рис. 1 приведен инженерно-геологический разрез опытной площадки и схема расположения одного из штампов. Отметка подошвы штампа находилась в интервале глубин, в пределах которого были определены значения сопротивления трению по боковой поверхности буронабивных свай. Среднее значение структурной прочности на отметке 13 м получено равным $1,88 \text{ МПа}$ [1, 2].

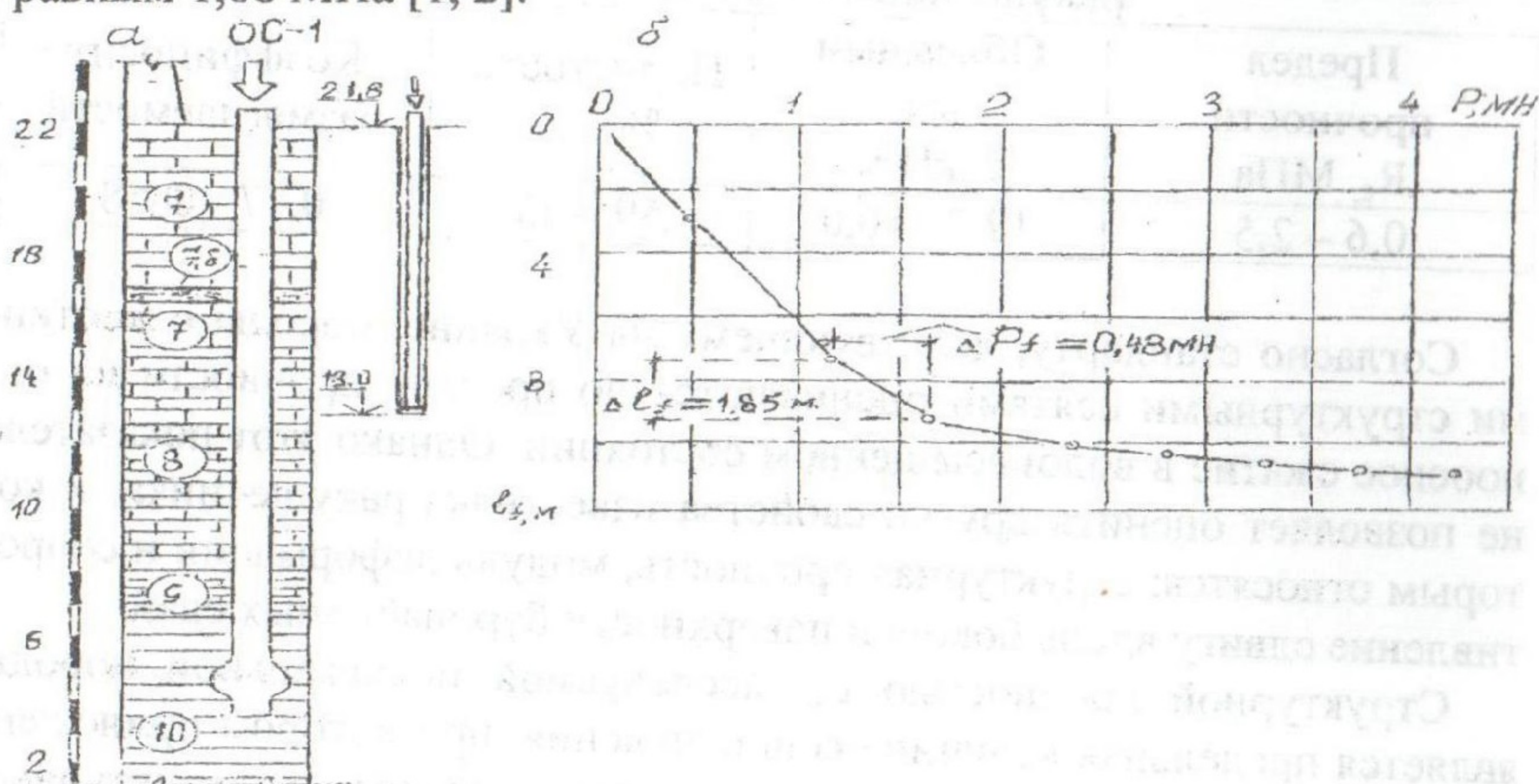


Рис 1. Результаты исследований известняка-ракушечника в полевых условиях: а - инженерно-геологическая колонка с привязкой пяты буронабивной сваи и опытного штампа; б - график зависимости длины сжатого участка ствола сваи от нагрузки.

Исследования известняка-ракушечника буронабивными сваями выполнены на той же опытной площадке. Сущность совместной работы буронабивных свай в полускальных породах, к которым относится известняк-ракушечник, заключается в следующем. Нарастание сопротивления грунта по боковой поверхности свай происходит последовательно. Приращению каждой ступени нагрузки соответствует приращение участка длины ствола, вдоль боковой поверхности которого уравниваются приложенные усилия.

Предельные усилия сдвига вдоль всей боковой поверхности сваи сохраняют неподвижным ее нижний торец, при этом внешняя нагрузка вызывает упругое сжатие ствола, величина которого уменьшается до нуля на отметке подошвы сваи. Нагрузка, превышающая предельное значение сил сдвига, вызывает деформацию грунтов ниже конца сваи, следствием чего является перемещение всей сваи относительно окружающего грунта. После начала перемещения ствола к упругой составляющей его деформации добавляется упругая составляющая деформации грунта, залегающего ниже его подошвы.

Упругая составляющая деформации сваи и грунта в ее основании определена с использованием методики циклически возрастающей нагрузки. Каждая ступень нагрузки является самостоятельным циклом, состоящим из приложения нагрузки, ее выдерживания до стабилизации деформации и снятия. Таким образом, для каждой ступени определяется полное значение деформации, ее остаточная и упругая составляющие.

По результатам испытаний известняка-ракушечника одной из буронабивных свай определено трение по боковой поверхности на отдельных участках длины ствола. На рис. 1, б приведены результаты этих испытаний, где представлен график зависимости длины сжатого участка сваи от приложенной к ней нагрузки. Для определения трения по боковой поверхности сваи принят интервал длиной 1,75 м в пределах отметок 14,60 и 12,75 м. В пределах этой длины приращение нагрузки составило 0,48 МН. Основные результаты испытаний приведены в табл. 1.

Полученные значения структурной прочности и сопротивления сдвигу вдоль боковой поверхности буронабивных свай близко совпадают с результатами лабораторных исследований, которые проведены на образцах известняка-ракушечника различной прочности. Для определения структурной прочности был переоборудован компрессионный прибор, в котором нагрузка на образец площадью 60 см^2 передавалась штампом площадью 15 см^2 . Испытания выполнены по методике циклически возрастающей нагрузки [3]. Каждая ступень представляла са-

мостоятельный 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.

Таблица 1
Результаты испытаний известняка - ракушечника опытным штампом и буронабивной сваей

| Структурная прочность | | Сопротивление сдвигу f_c | | | | | |
|-----------------------|-----------------|----------------------------|------------------|-----------------|-------------------------------|-------------------|--|
| Отметка, м | P_{str} , МПа | Интервал глубин, м | Δl_f , м | Диаметр сваи, м | ΔA_f , м ² | ΔP_f , кН | $\Delta f_c = \frac{\Delta P_f}{\Delta A_f}$, МПа |
| 13,0 | 1,88 | 14,6-12,7 | 1,85 | 0,8 | 4,64 | 480 | 1,03 |

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, превышающих ее. Давление, соответствующее точке пересечения ветвей определяет значение структурной прочности (см. рис. 2).

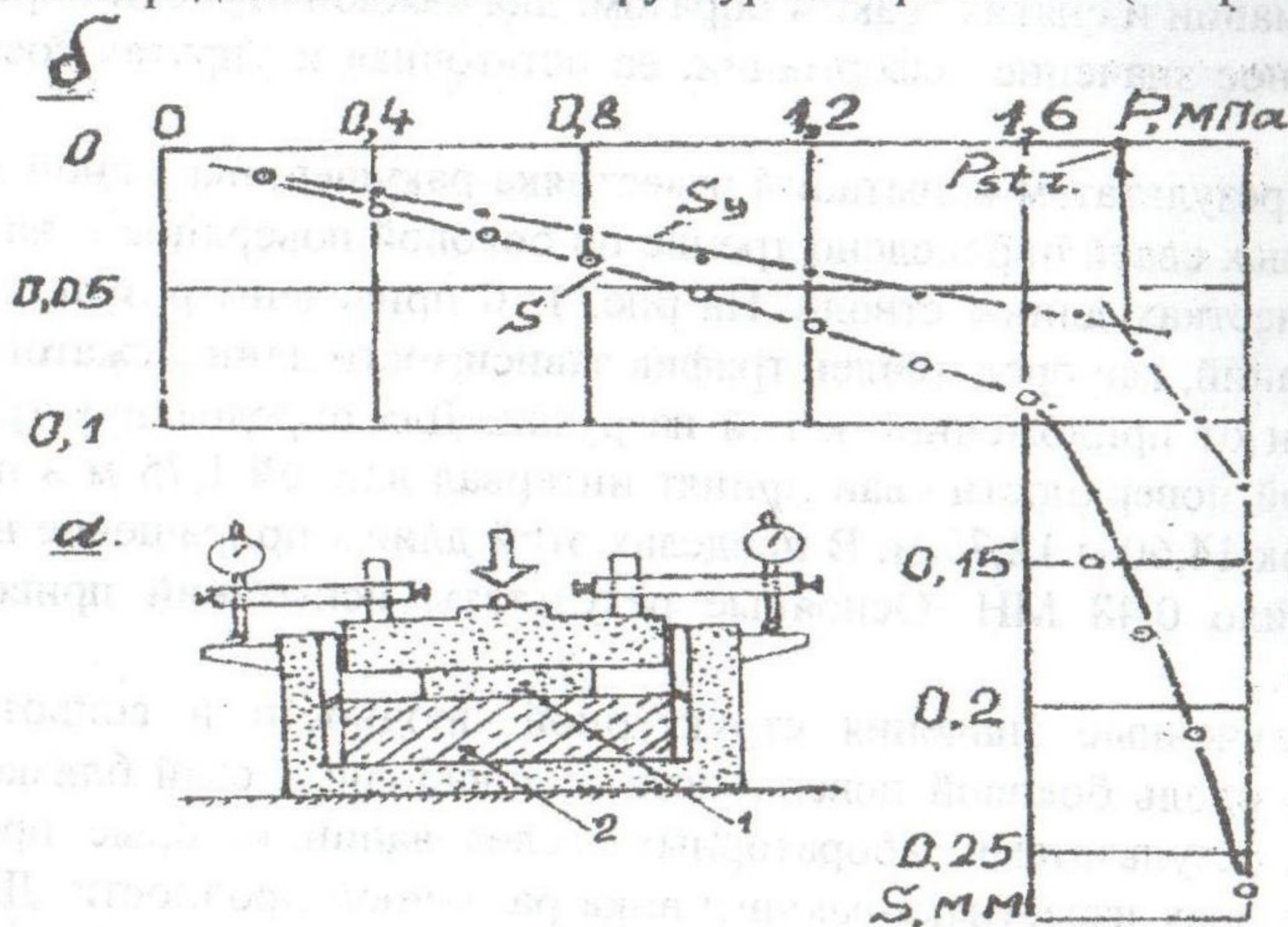


Рис.2. Результаты испытания образца известняка-ракушечника в лабораторных условиях. а) Схема испытания: 1 - дополнительный штамп; 2 - образец. б) График зависимости осадки штампа и ее упругой составляющей от давления

Исследованиями установлена взаимозависимость между показателями прочностных свойств: R_c , p_{str} и f_c . С повышением прочности известняка на одноосное сжатие увеличивается значение структурной прочности, причем соотношение этих показателей уменьшается с увеличением прочности породы. Средние значения показателей R_c , p_{str} и f_c по результатам 55 испытаний образцов с разной прочностью на одноосное сжатие, а также их соотношение приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты лабораторных определений предела прочности на одноосное сжатие, структурной прочности и сопротивления сдвигу вдоль боковой поверхности буронабивных свай

| Интервал значений R_c , МПа | Средние значения, МПа | | p_{str}/R_c | f_c | f_c/R_c |
|-------------------------------|-----------------------|-----------|---------------|-------|-----------|
| | R_c | p_{str} | | | |
| 0,5-1,0 | 0,89 | 1,60 | 1,80 | 0,92 | 1,03 |
| 1,0-1,3 | 1,19 | 2,11 | 1,77 | 1,12 | 0,94 |
| >2,0 | 2,19 | 2,48 | 1,13 | 1,23 | 0,56 |

В лабораторных условиях сопротивление сдвигу вдоль боковой поверхности буронабивных свай f_c определяли на моделях. Модельные сваи бетонировали таким образом, чтобы ниже их подошвы оставалась полость, и приложенная нагрузка передавалась только боковой поверхностью. В выполненных исследованиях разрушение известняка произошло при перемещениях 0,2-0,4 мм по поверхности, расположенной от стенок скважины на расстоянии проникания цементного раствора при бетонировании свай. При повторном загрузении свай после «срыва» сопротивление вдоль боковой поверхности снизилось на 35 - 40%. Это означает, что сопротивление сдвигу после разрушения структурных связей трансформируется в сопротивление трению по разрушенной поверхности. Эту установленную опытами особенность работы буронабивных свай в известняке следует учитывать при определении их несущей способности.

По результатам комплексных лабораторных исследований построены графики зависимости сопротивления сдвигу вдоль боковой поверхности буронабивных свай и структурной прочности от предела прочности на одноосное сжатие для образцов разной прочности, которые приведены на рис. 3.

Таким образом, определив стандартную характеристику известняка-ракушечника - предел прочности на одноосное сжатие можно по гра-

фикам, построенным по результатам изложенных исследований, определить необходимые для расчета фундаментов и буронабивных свай значения структурной прочности и сопротивления сдвигу вдоль боковой поверхности, не выполняя дополнительных испытаний в лабораторных или полевых условиях.

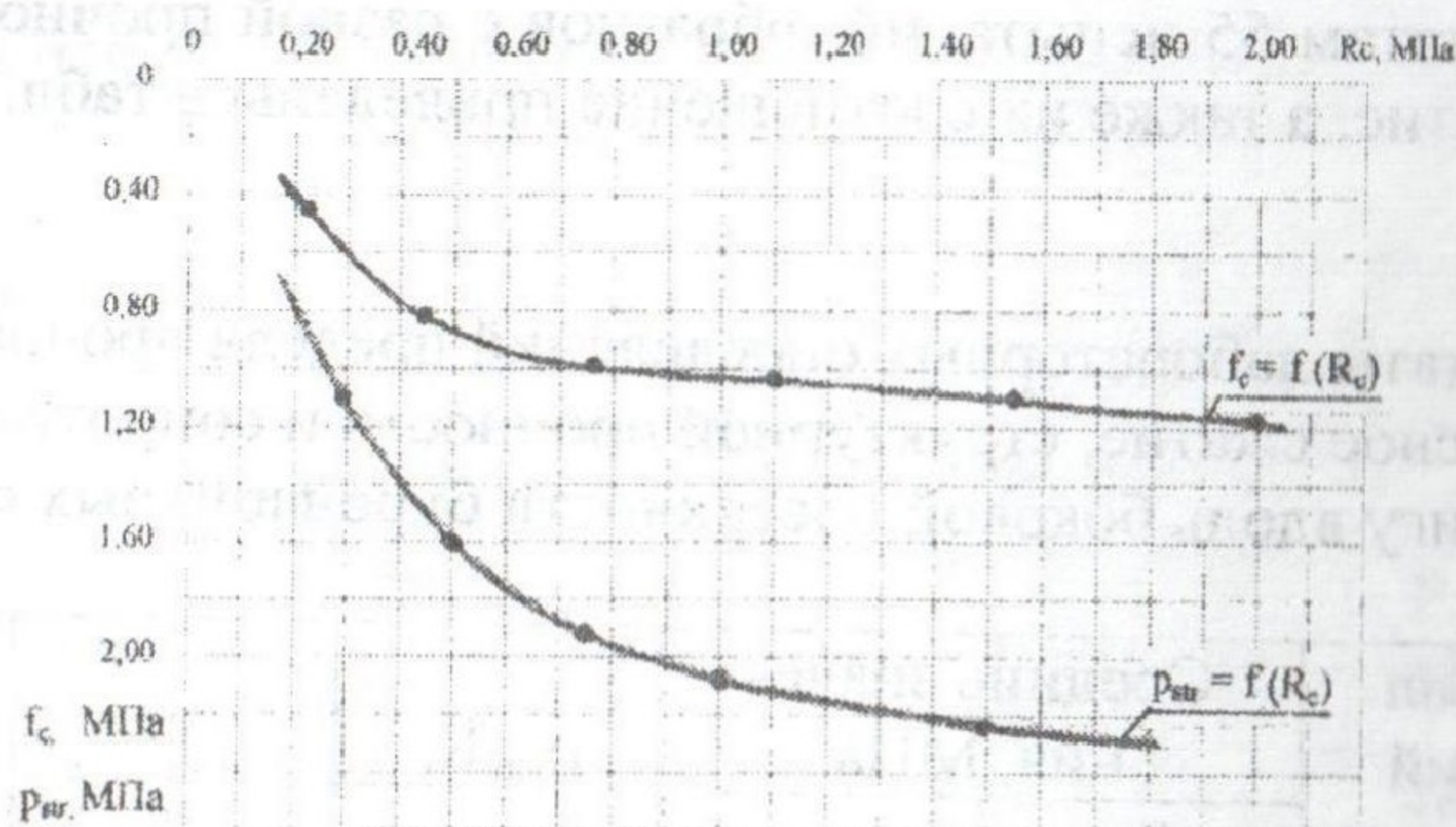


Рис. 3. Совмещенный график зависимости структурной прочности и сопротивления сдвигу вдоль боковой поверхности свай от предела прочности на одноосное сжатие

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

Выводы

1. В результате выполненных комплексных исследований известняка-ракушечника в полевых и лабораторных условиях установлены показатели его механических характеристик: предела прочности на одноосное сжатие R_c , структурной прочности P_{str} и сопротивление сдвигу вдоль боковой поверхности буронабивных свай f_c .
2. Структурную прочность известняка-ракушечника целесообразно определять в лабораторных условиях, применяя новую методику испытаний в условиях отсутствия вокруг сжимаемого объема образца жестких стенок кольца.
3. Использование методики испытаний циклически возрастающей нагрузкой позволило установить поэтапное включение буронабивных свай в работу, а также сопротивление сдвигу вдоль боковой поверхности по мере возрастания нагрузки.
4. Получены региональные значения показателей механических характеристик известняка, позволяющие определять несущую способ-

ность буронабивных свай в полускальных грунтах на сжимающие и выдергивающие нагрузки.

Summary

The results of the determination of the mechanical properties of limestone in the field and laboratory were analyzed. The technology determines the structural strength and resistance changes along the side of the bored piles.

Литература

1. Тугаенко Ю.Ф. Процессы деформирования грунтов в основаниях фундаментов свай и свайных фундаментов. - Одесса: «Астропринт». 2008, 216 с.
2. Тугаенко Ю.Ф., Ткалич А.П., Новский В.А. Напряженно деформированное состояние буронабивных свай и их основания, сложенного пористыми известняками. Проблемы механики грунтов и фундаментостроения в сложных грунтовых условиях. Труды международной научно – технической конференции, посвященной 50 – летию БашНИИСтроя. Том 1. Свайные фундаменты. Уфа. 2006, с. 137 - 141.
3. Новский В.А. Исследование прочностных и деформативных свойств известняка-ракушечника в лабораторных условиях. Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. Випуск 29. Одеса: ОДАБА. 2008, с. 289-295.