

**КОРНИЕНКО Н.В.**

Киевский национальный университет строительства и архитектуры,  
г. Киев

**НОВСКИЙ А.В., НОВСКИЙ В.А., ТКАЛИЧ А.П., ТУГАЕНКО Ю.Ф.**

Одесская государственная академия строительства и архитектуры,  
г. Одесса

УДК 620.17

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

*Ключевые слова: известняк, полускальная порода, предел прочности на одноосное сжатие, структурная прочность, сопротивление сдвигу, буронабивная свая, полевые испытания, лабораторные исследования.*

*У південно-західній частині України розташоване Чорноморське плато, основний фонд якого становлять напівскелі, представлені вапняком. У державних стандартах немає методів, що дозволяють визначити їхні механічні властивості. Стаття представляє методологію й результати лабораторних і польових випробувань.*

*В юго-западной части Украины расположено Черноморское плато, основной фонд которого составляют полускалы, представленные известняком. В государственных стандартах нет методов, позволяющих определить их механические свойства. Статья представляет методологию и результаты лабораторных и полевых испытаний.*

*In the south-western part of Ukraine Black Sea plateau as a base foundation breeds used semi-rock soils presented pontiani limestone. In the state standards are no methods for determining their mechanical characteristics needed for the design of foundations and piles. The article presents the methodology and results of laboratory and field studies of these characteristics.*

Инженерно-геологическое строение юго-западной части Причерноморского плато Украины характеризуется залеганием известняка-ракушечника на разной глубине от дневной поверхности. 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 свойства и предел прочности на одноосное сжатие. Геологами [1,2] были изучены эти характеристики на расстоянии 30 км. от современной береговой линии Черного моря. Толщи известняка-ракушечника представлены типичными морскими отложениями, которые претерпели значительные изменения в процессе диагенеза, в результате чего сформировались три горизонта с разными характеристиками. Пределы осредненных показателей этих характеристик приведены в табл. 1

В связи со строительством зданий повышенной этажности и усилением фундаментов при реконструкции возникла необходимость использования известняков в качестве основания фундаментов и несущего слоя для

Таблица. 1

Предел прочности $R_c$ , МПа	Объемный вес $\gamma$ , кН/м <sup>3</sup>	Пористость $n$ , %	Коэффициент размягчаемости
0,6 – 2,5	12,7– 16,0	59 – 43	0,77 – 0,58



бурунабивних свай. Однако, механические свойства этих пород исследованы недостаточно. Расчет бурунабивных свай выполняют как свай-стоек. При этом расчетная несущая способность может в несколько раз отличаться от фактической. Дело в том, что известняки юго-западной части Украины не является скальной породой. Это полускальная порода, которая по механическим свойствам идентична дисперсным грунтам. Поэтому изучение этих свойств является актуальной задачей.

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 бурунабивных 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 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 лотке с прозрачной стенкой.

Лабораторные испытания проведены на образцах известняка-ракушечника различной прочности. Для проведения исследований был переоборудован компрессионный прибор, в котором нагрузка на образец площадью 60 см<sup>2</sup> передавалась штампом площадью 15 см<sup>2</sup>. Испытания

выполнены по методике циклически возрастающей нагрузки [3]. 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, превышающих структурной прочности. Давление, соответствующее точке пересечения ветвей определяет значение структурной прочности (см. рис. 1).

Исследованиями установлено, что с повышением прочности известняка на одноосное сжатие увеличивается значение структурной прочности, причем соотношение этих показателей уменьшается с увеличением прочности породы. Средние значения показателей  $R_c$  и  $p_{str}$  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 и структурной прочности известняков.

Интервал значений $R_c$ , МПа	Средние значения, МПа		$p_{str}/R_c$
	$R_c$	$p_{str}$	
0,5-1,0	0,89	1,60	1,80
1,0-1,3	1,19	2,11	1,77
>2,0	2,19	2,48	1,13

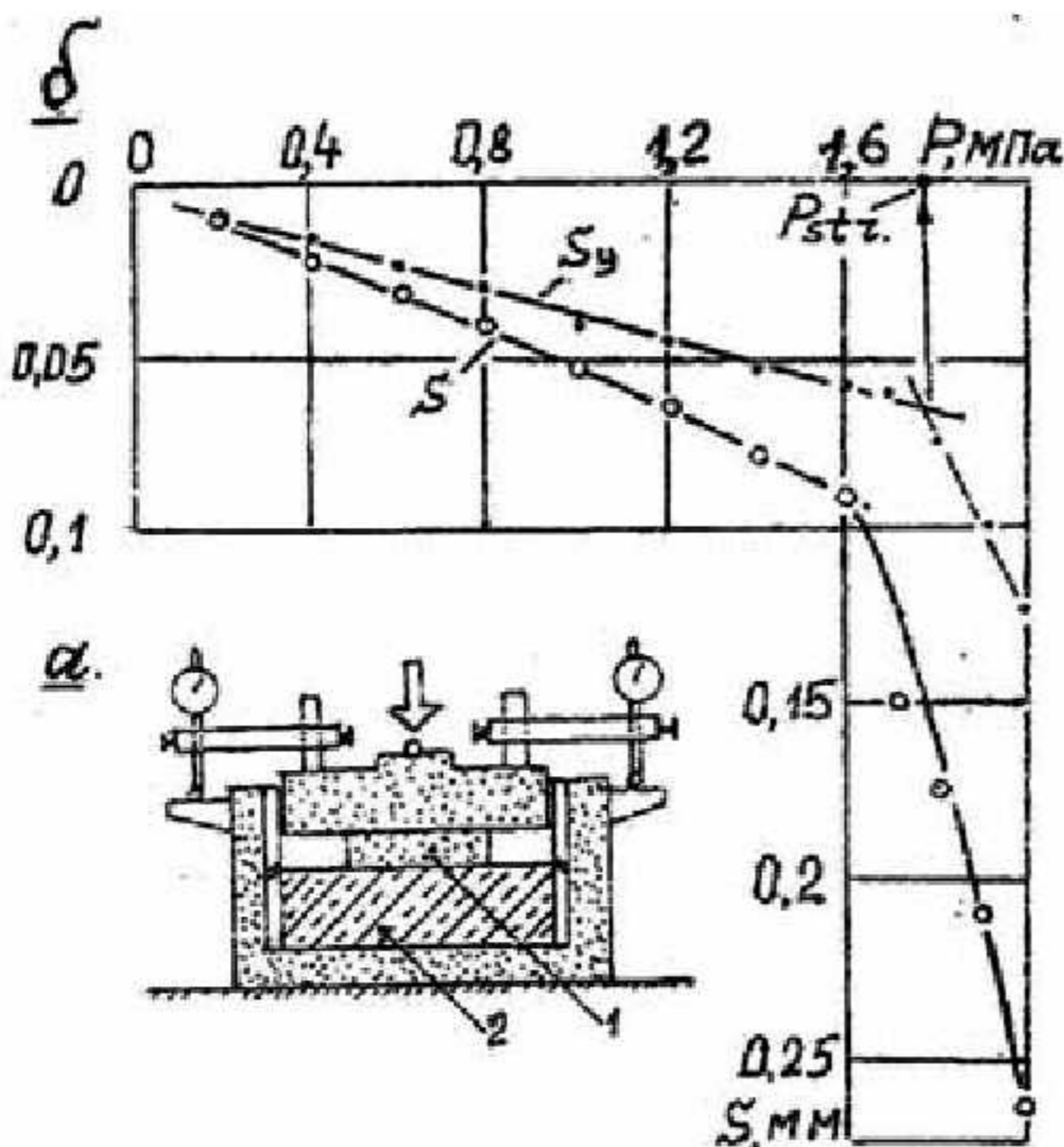


Рис. 1 Результаты испытания образца известняка-ракушечника в лабораторных условиях. а) Схема испытания: 1 - дополнительный штамп; 2 - образец. б) График зависимости осадки штампа и ее упругой составляющей от давления

В полевых условиях оценка показателей прочностных и деформативных свойств известняка выполнена по результатам испытаний штампами в скважинах на разных горизонтах. Исследования проведены штампами диаметром 300 мм в буровых скважинах на четырех горизонтах [4, 5]. Примыкание подошвы штампа к поверхности забоя выполнено по специальной технологии, включающей зачистку забоя и выравнивание его цементным раствором толщиной 7 - 10 см. Нагрузку на стойку штампа прикладывали ступенями. Значения структурной прочности и модуля деформации, полученные по результатам полевых испытаний на одном из объектов приведены в табл. 3

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

Контрольные испытание натуральных буруинькционных свай-анкеров на выдергивание выполняли с использованием методики циклически возрастающей нагрузки. На рис. 2 приведены результаты испытания одного из анкеров диаметром 150 мм и длиной 8,0 м.

Особенностью этой методики является то, что после стабилизации деформаций от каждой ступени нагрузки производится разгрузка до нуля. Такой характер загрузки позволяет определить общие перемещения, а также их упругую и остаточную составляющие. В дальней-



Таблиця 3

Значения структурной прочности и модуля деформации известняков

Глубина ниже кровли известняка, м	P <sub>стр</sub> , МПа	E, МПа в интервале давлений P, МПа	
		1,1 - 1,5	1,5 - 2,5
1,10	1,15	4,0 - 1,7	-
3,0	1,35	-	20 - 9
0,8	1,88	-	24 - 6
3,6	1,38	-	30 - 9

шем эти данные позволили определить длину растянутого участка при каждой ступени загрузки, а также сопротивление по боковой поверхности отдельных участков сваи. Длина растянутого участка сваи для каждой ступени определена с использованием закона Гука по зависимости (1):

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

где:

E – модуль упругости арматурной стали, равный  $1,9 \cdot 10^5$  МПа;

S<sub>v,i</sub> – упругая составляющая измеренной деформации;

σ<sub>cp,i</sub> – среднее значение напряжения в арматурном-

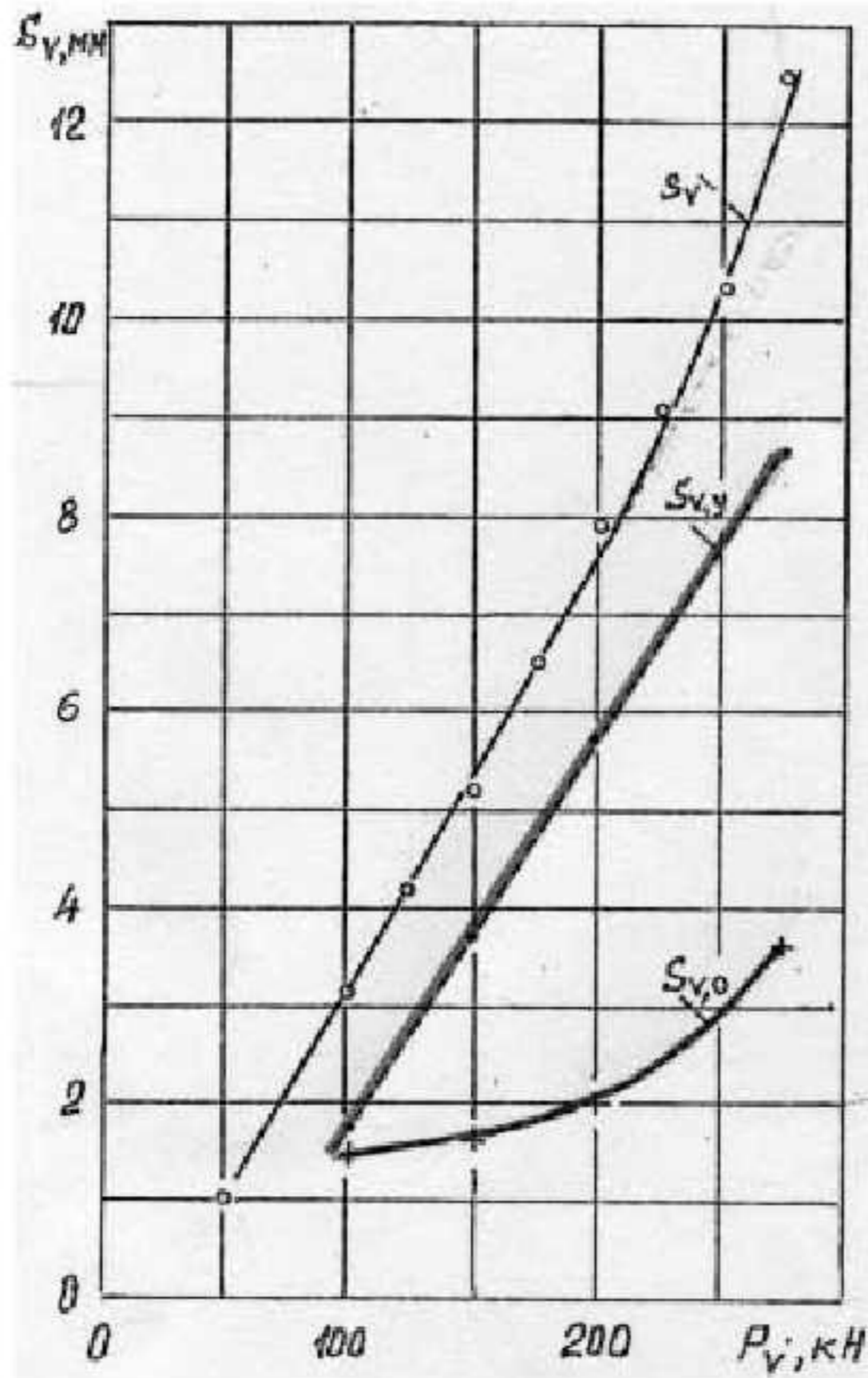


Рис.2 Графики зависимости общих, упругих и остаточных деформаций при испытании сваи-анкера на выдергивание

стержне в пределах длины деформированного фрагмента, определяемое из выражения (2):

$$\sigma_{cp,i} = 0,5 P_{v,i} / A_s \quad (2)$$

где:

P<sub>v,i</sub> – усилие, приложенное к анкеру;

A<sub>s</sub> – площадь поперечного сечения арматурного стержня;

0,5 – коэффициент, учитывающий треугольную форму эпюры напряжений, возникающих в арматурном стержне.

Сопротивление сдвигу вдоль боковой поверхности сваи в пределах любого фрагмента длины при каждой ступени нагрузки можно определить по зависимости (3):

$$\Delta f_i = \Delta P_i / \Delta l_v \cdot u \quad (3)$$

где:

Δf<sub>i</sub> – среднее значения сил трения по боковой поверхности для каждого фрагмента длины ствола;

ΔP<sub>i</sub> – величина нагрузки, воспринимаемая фрагментом длины ствола;

Δl<sub>v</sub> – длина данного фрагмента ствола сваи;

u – периметр сечения ствола сваи.

Из графика на рис. 3 видно, что максимальное сопротивление по боковой поверхности возникает на участке, расположенном в известняке-ракушечнике.

В лабораторных условиях сопротивление сдвигу вдоль боковой поверхности буронабивных свай f определяли на моделях. Модельные сваи бетонировали таким образом, 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 цементного раствора при бетонировании сваи. При повторном нагружении сваи 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 установленную

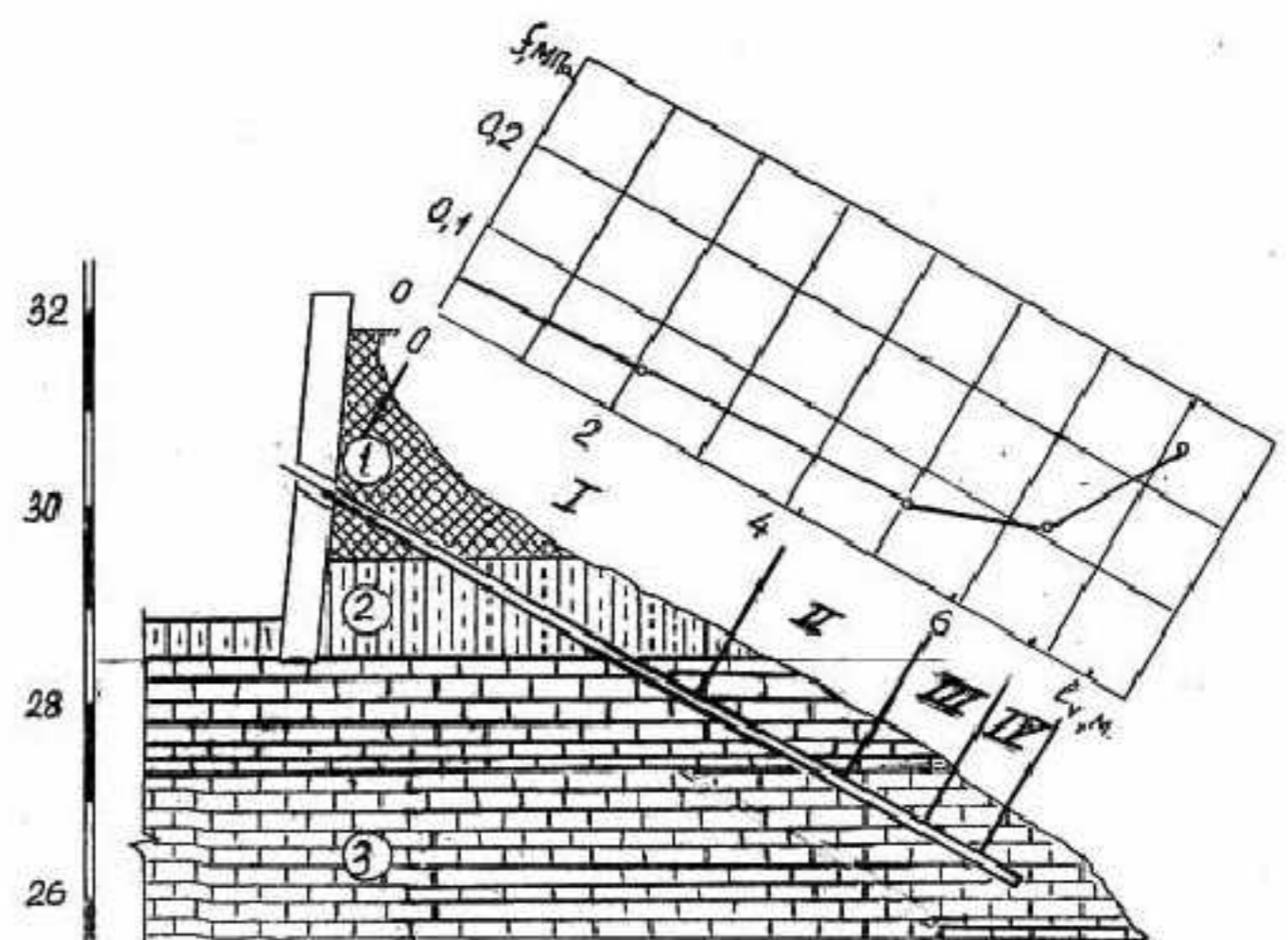


Рис.3 График изменения сил трения по боковой поверхности на разных фрагментах длины ствола сваи-анкера



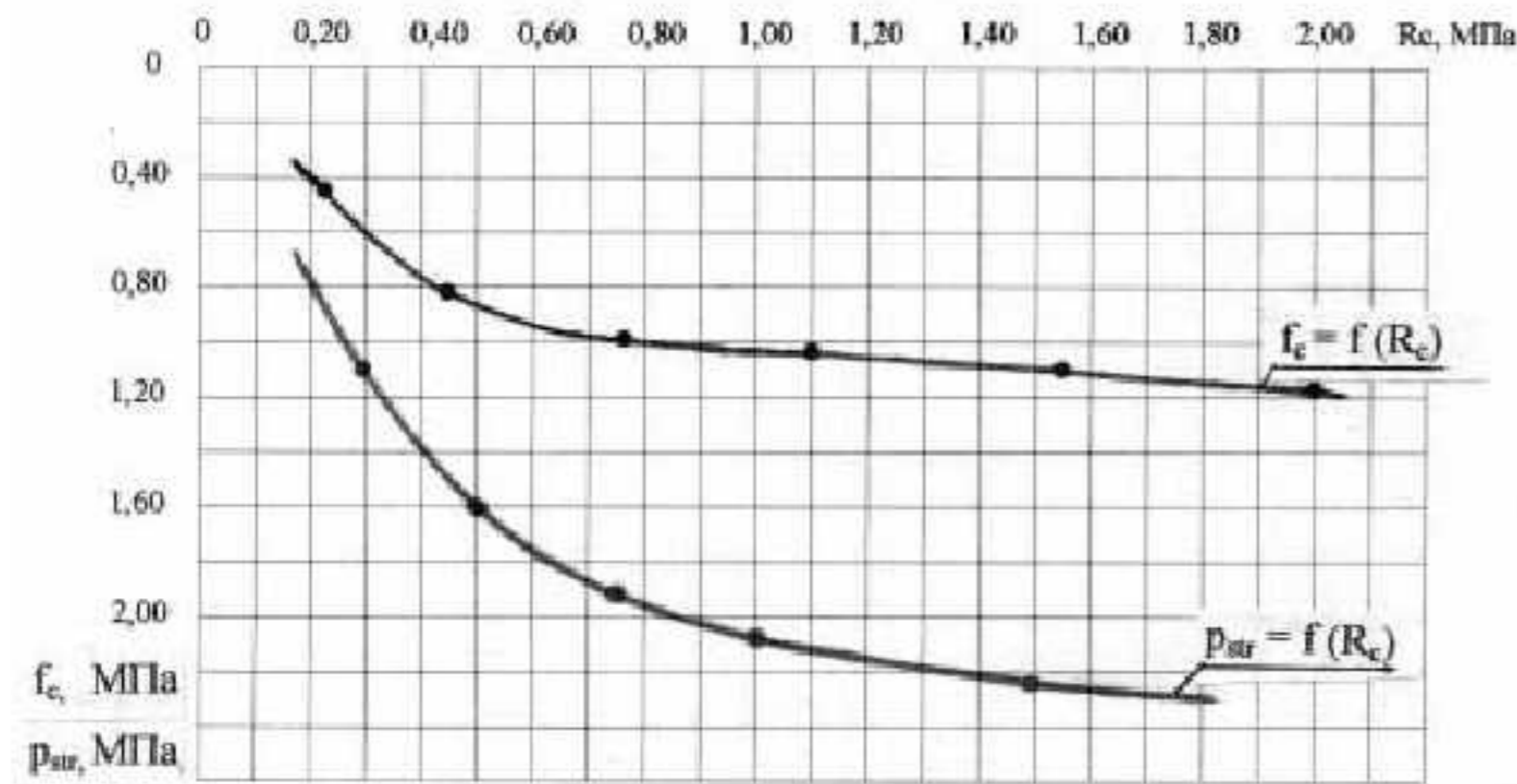


Рис. 4 Совмещенный график зависимости структурной прочности и сопротивления сдвигу вдоль боковой поверхности свай от предела прочности на одноосное сжатие

опытами особенность работы буронабивных свай в известняке следует учитывать при определении их несущей способности.

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, которые приведены на рис. 4.

Таким образом, определив стандартную характеристику известняка-ракушечника - предел прочности на одноосное сжатие можно по графикам, построенным по результатам изложенных исследований, определить необходимые для расчета фундаментов и буронабивных свай значение структурной прочности и сопротивления сдвигу вдоль боковой поверхности свай, не выполняя их испытаний в лабораторных или полевых условиях.

Результаты исследований внедрены при проектировании новых и усилении существующих фундаментов ряда 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. Определены значения и характер распределения сопротивления сдвигу вдоль боковой поверхности буронабивных свай в полевых и лабораторных условиях. Установлено явление трансформации предельного сопротивления сдвигу известняка с ненарушенной структурой в сопротивление трению по мере разрушения структурных связей вдоль ствола буронабивной сваи при ее перемещении, в том числе и упругом сжатии.
3. Для определения структурной прочности применена новая методика испытаний в условиях отсутствия вокруг сжимаемого объема образца жестких стенок кольца.
4. Использование методики испытаний циклически возрастающей нагрузкой позволило установить поэтапное включение буронабивных свай и анкеров в работу, а также сопротивление сдвигу вдоль боковой поверхности по мере возрастания нагрузки.
5. Получены региональные значения показателей механических характеристик известняка, позволяющие определять несущую способность буронабивных свай в полускальных грунтах на сжимающие и выдергивающие нагрузки.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. О.О. Якубець. Про пилчасті вапняки Північно-Західного узбережжя Чорного моря. Міжвідомчий республіканський науковий збірник: Геологія узбережжя і дна Чорного та Азовського морів у межах УРСР. Випуск 6. Видавництво Київського університету. 1972, с. 87-93.
2. Л.И. Колесников, Ю.Ф. Тугаенко, Р.М. Кодрянова, В.М. Карпюк, В.А. Ильичев, П.А. Коновалов. Экспериментальное исследование несущей способности буронабивных свай в основании здания Одесского театра оперы и балета. Основания, фундаменты и механика грунтов. № 5. 2000, с. 23 - 29.
3. В.А. Новский. 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.
4. Ю.Ф. Тугаенко, А.П. Ткалич, В.А. Новский. Напряженно деформированное состояние буронабивных свай и их основания, сложенного понтическими 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.
5. Ю.Ф. Тугаенко. Процессы деформирования грунтов в основаниях фундаментов свай и свайных фундаментов. - Одесса: «Астропринт». 2008, 216 с.