



НИИОСП

ИМ. Н.М. ГЕРСЕВАНОВА



**НИЦ** строительство

научно-исследовательский центр

# УЧЕТ РАБОТЫ СВАЙ ПО БОКОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ В СКАЛЬНЫХ ГРУНТАХ

**Шарафутдинов Рафаэль Фаритович**

Ведущий научный сотрудник НИИОСП им. Н.М. Герсевичева – АО НИЦ Строительство, к.т.н.

[linegeo@mail.ru](mailto:linegeo@mail.ru), +7-903-518-7310



- 01 Требования действующих норм по расчету свай, заделанных в скальные грунты

---

- 02 Полевые методы определения сопротивления свай по боковой поверхности и пяте

---

- 03 Несущая способность свай в скальных грунтах при строительстве высотных зданий в Москве

---

- 04 Несущая способность свай в скальных грунтах Екатеринбурга

---

- 05 Международный опыт определения несущей способности свай в скальных грунтах

---

- 06 Сопротивление свай по нижнему концу

---

- 07 Определение деформационных характеристик скальных грунтов по результатам испытаний свай

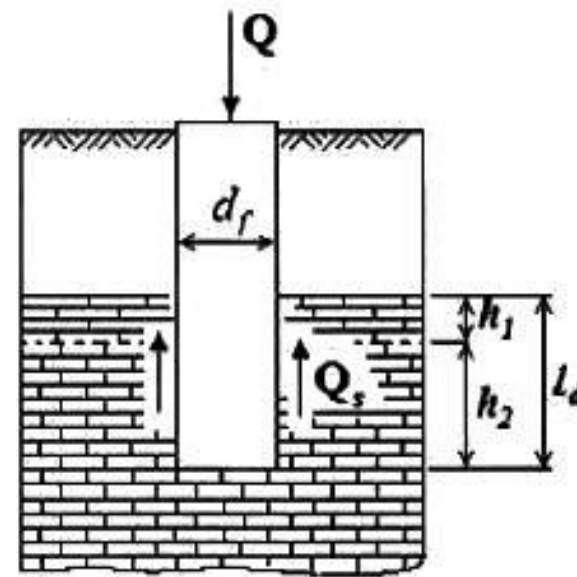
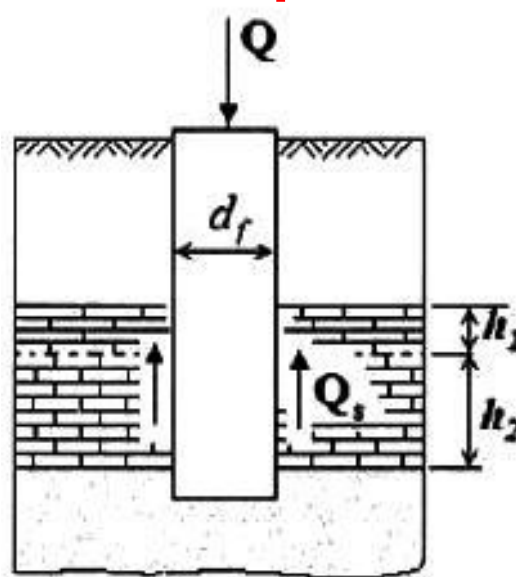
## Свай-стойки

$$R = K_S \frac{R_{c,n}}{\gamma_g} \left( 1 + 0,4 \frac{l_d}{d_f} \right)$$

Показатель качества породы RQD, %	Коэффициент снижения прочности $K_S$
90-100	1
75-90	$0,6 \leq K_S < 1$
50-75	$0,32 \leq K_S < 0,6$
25-50	$0,22 \leq K_S < 0,32$
0-25	0,22

## Сваи, взаимодействующие со скальными грунтами по боковой поверхности

$$R_{si} = 0,63 \sqrt{p_a R_c}$$



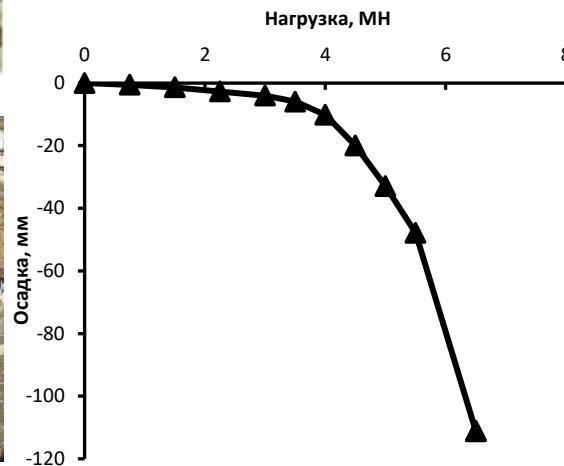


НИИОСП  
ИМ. Н.М. ГЕРСЕВАНОВА

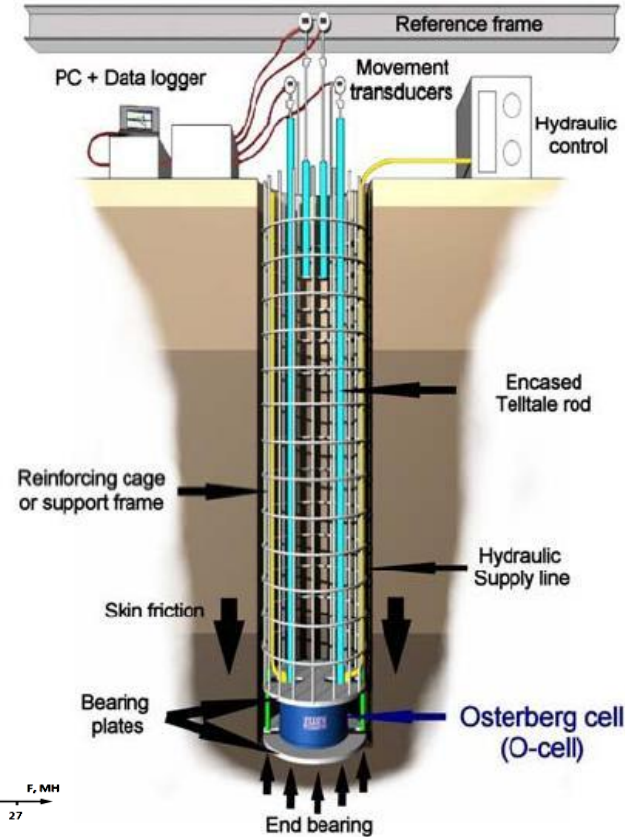
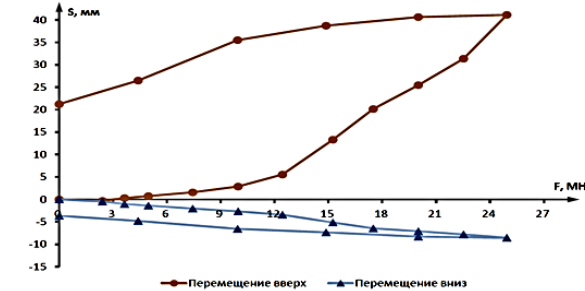
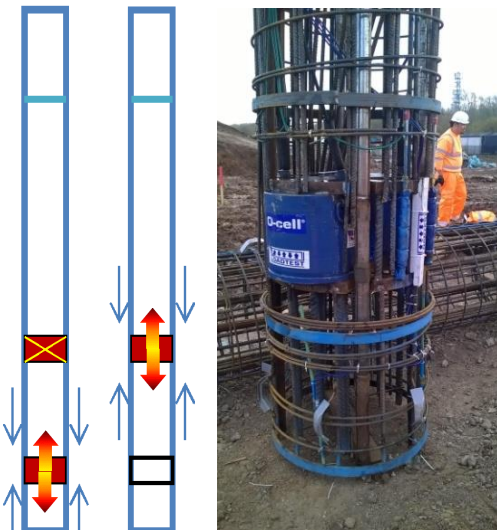
# Полевые методы определения сопротивления свай по боковой поверхности и пяте

## Методы испытаний грунтов сваями

### Традиционный



### Метод погружного домкрата







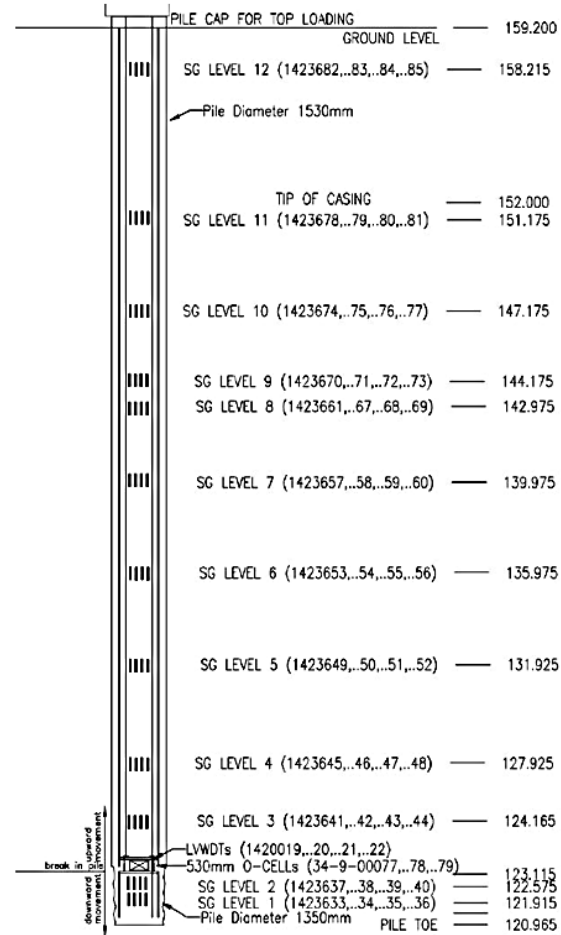
# Требования к опытным сваям

НИИОСП  
ИМ. Н.М. ГЕРСЕВАНОВА

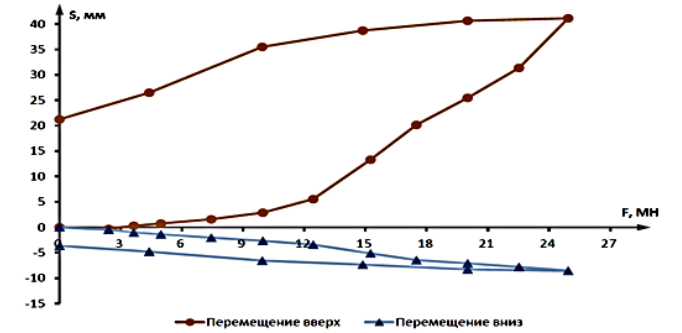
Тензосистема

Контроль  
сплошности  
тела сваи

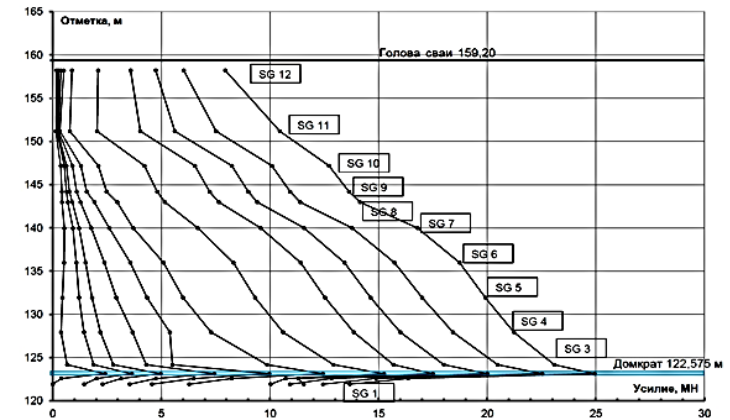
Определение фактических  
деформационных свойств бетона



Графики перемещения нижней и верхней пластин домкрата



Изменение усилий в теле сваи в процессе нагружения





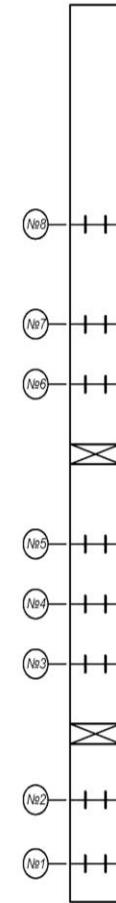
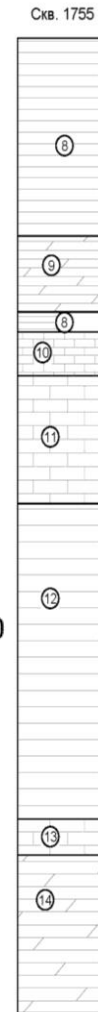
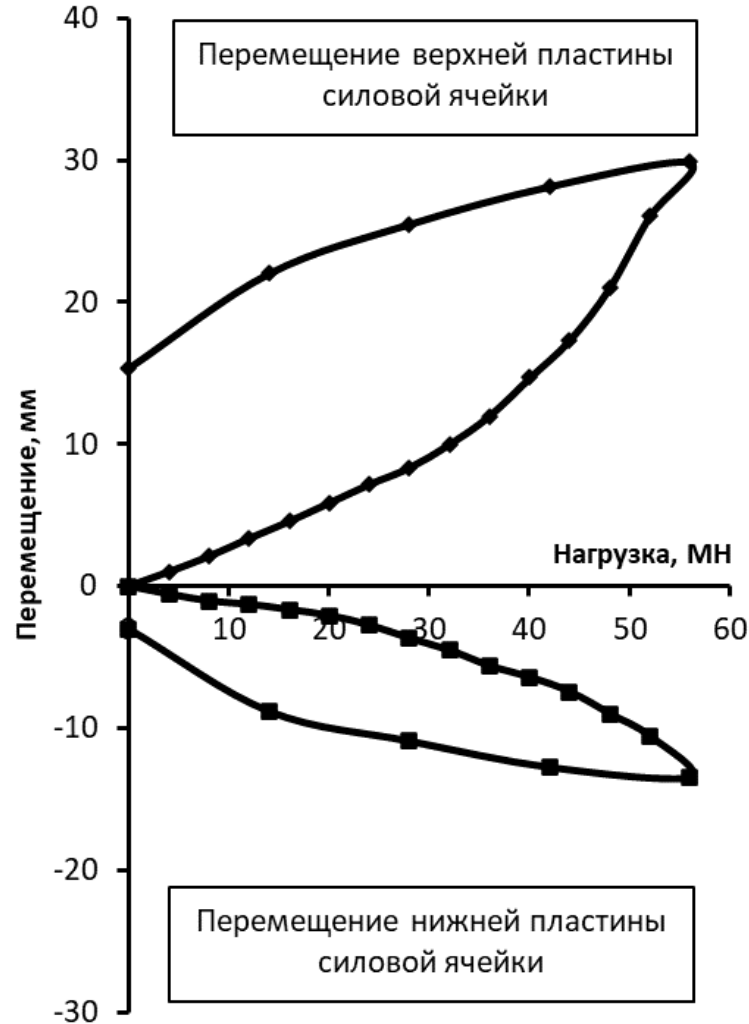
## **Несущая способность свай в скальных грунтах при строительстве зданий в Москве и Екатеринбурге**



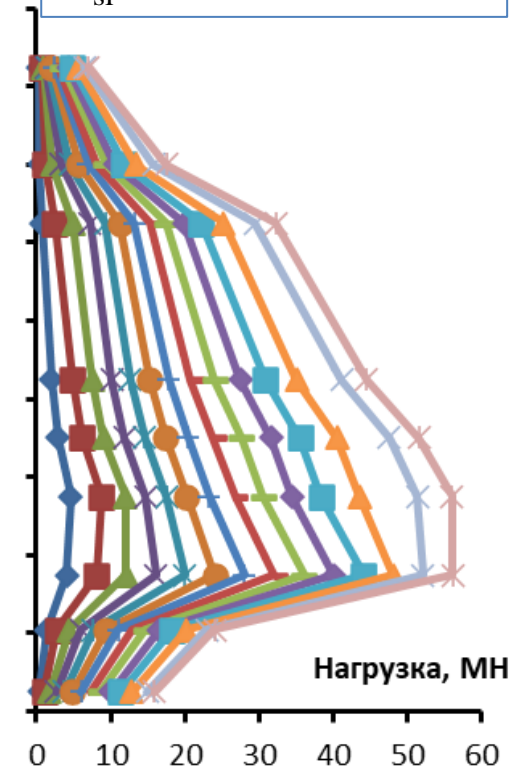
# Несущая способность свай в скальных грунтах при строительстве высотных зданий в Москве

НИИОСП  
ИМ. Н.М. ГЕРСЕВАНОВА

## Москва-СИТИ, уч. 17-18



Ø 1,5 м  
L = 22 м  
 $F_{max} = 5,1-5.6$  тыс. тс  
 $S_{max} = 9,0-45,0$  мм  
 $R_{si} = 80-280$  тс/м<sup>2</sup>





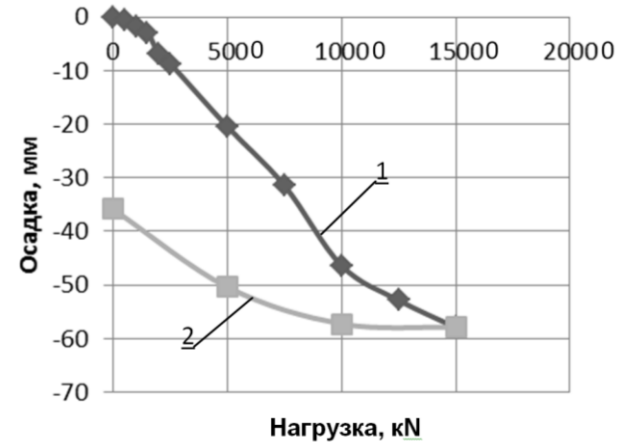
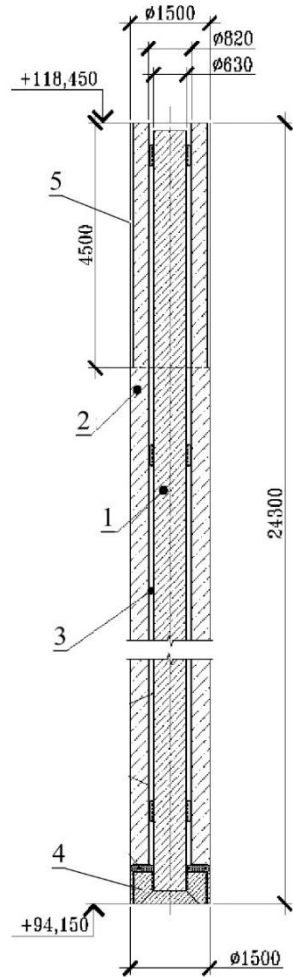


# Несущая способность свай в скальных грунтах при строительстве высотных зданий в Москве

НИИОСП  
ИМ. Н.М. ГЕРСЕВАНОВА

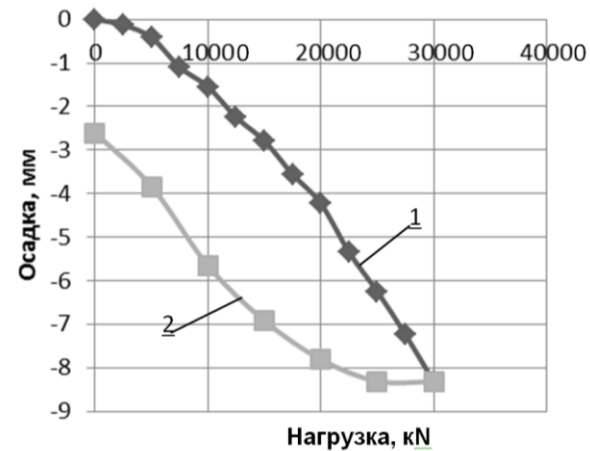
## Москва-СИТИ, уч. 16

### Испытания пята



$\varnothing 1,5 \text{ м}$   
 $L = 24,3 \text{ м}$   
 $F_{\text{max}} = 3-3.2 \text{ тыс. тс}$   
 $S_{\text{max}} = 7,2-8,3 \text{ мм}$   
 $R_{\text{si}} = 33-36 \text{ тс/м}^2$

### Испытания боковой пов-ти







# Несущая способность свай в скальных грунтах при строительстве

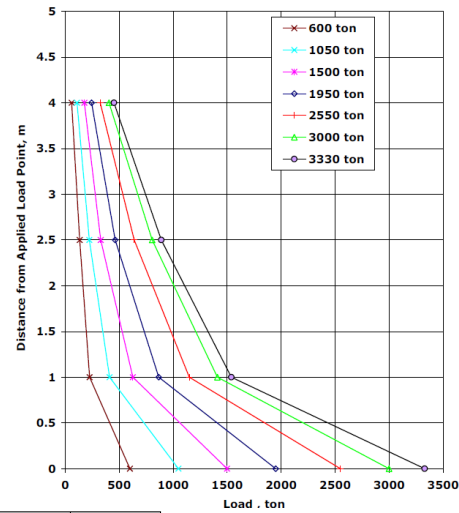
## высотных зданий в Москве

НИИ ОСП  
ИМ. Н.М. ГЕРСЕВАНОВА

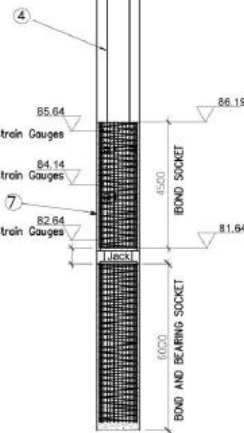
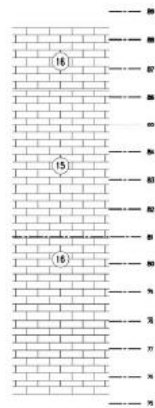
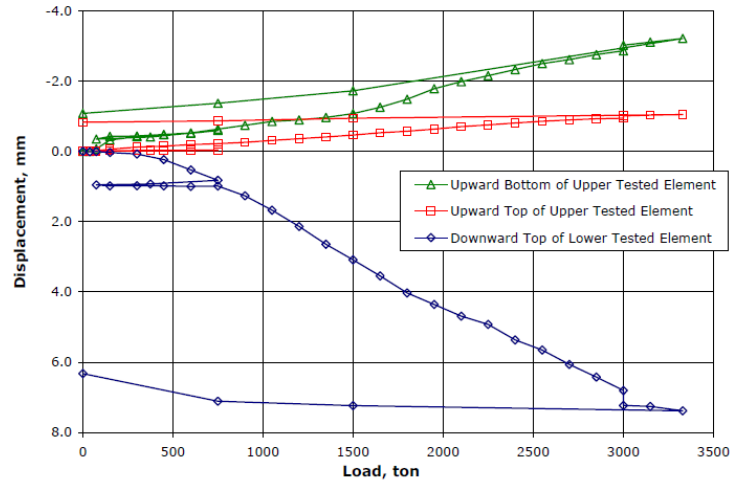
### Москва-СИТИ, уч. 12-13

#### Участок 12

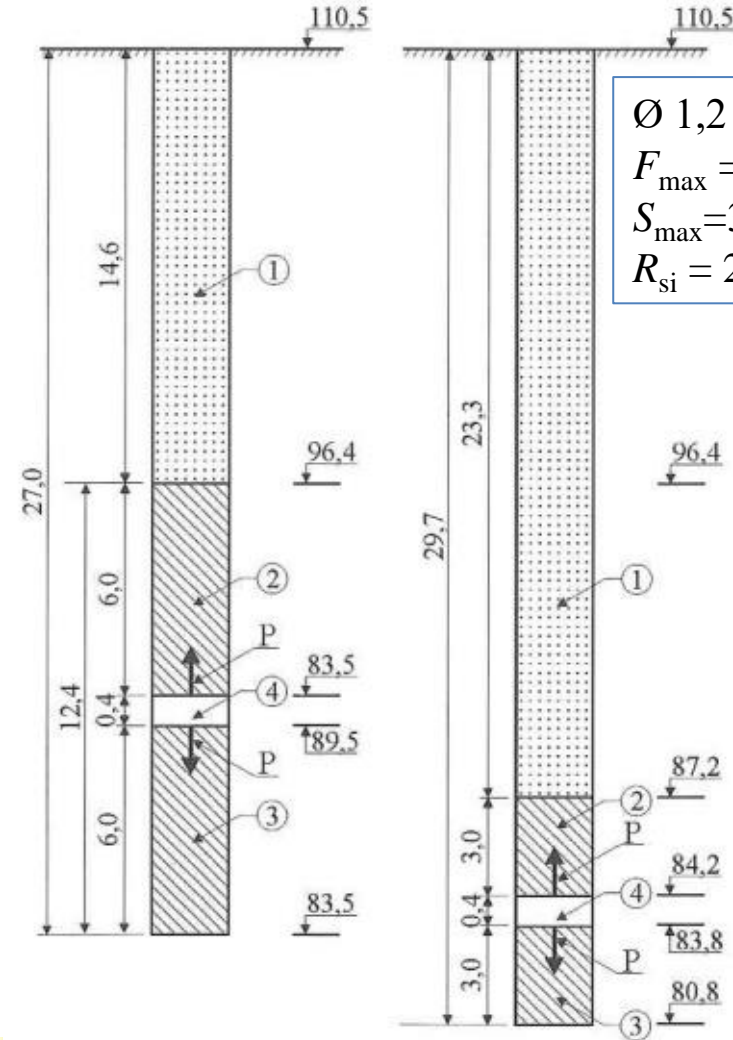
Upper Tested Element, Load Transfer  
Second Increment



$\varnothing 1,5 \text{ м}; L = 10,5 \text{ м}$   
 $F_{\text{max}} = 3,3 \text{ тыс. тс}$   
 $S_{\text{max}} = 3,2-7,5 \text{ мм}$   
 $R_{\text{si}} = 155-255 \text{ тс/м}^2$



#### Участок 13

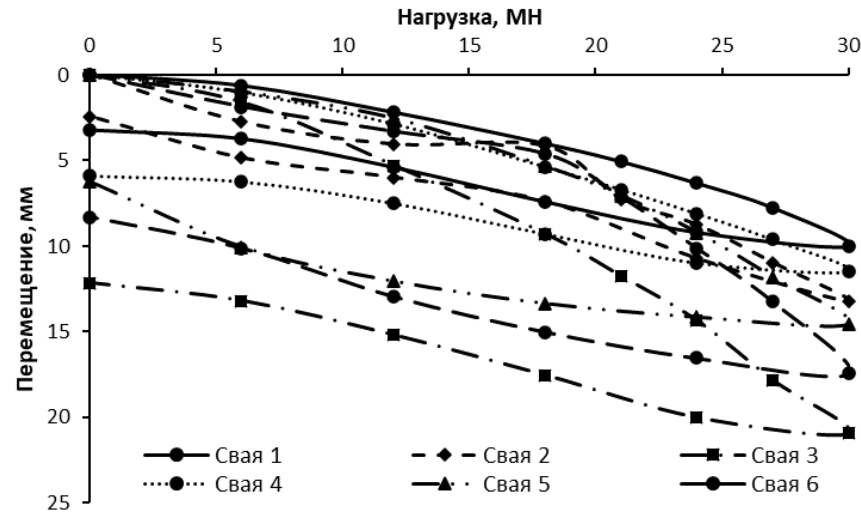


$\varnothing 1,2 \text{ м}; L = 27,0-29,7 \text{ м}$   
 $F_{\text{max}} = 2,5-3,3 \text{ тыс. тс}$   
 $S_{\text{max}} = 3,0-17 \text{ мм}$   
 $R_{\text{si}} = 200-220 \text{ тс/м}^2$

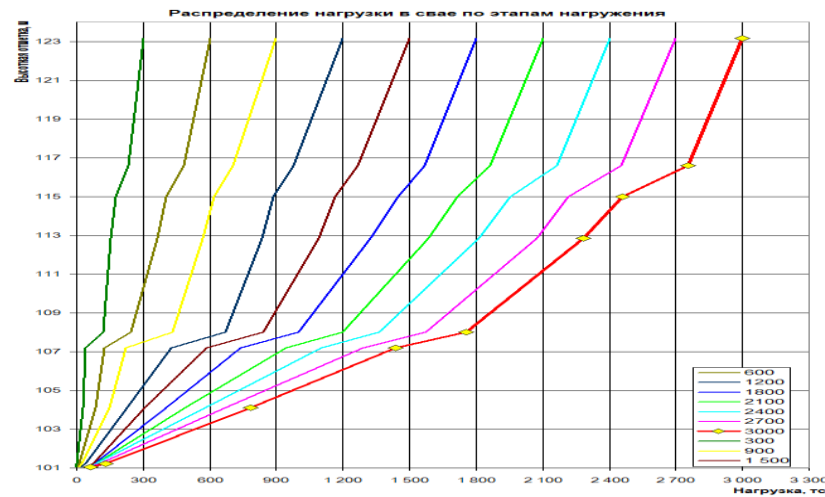


НИИОСП  
ИМ. Н.М. ГЕРСЕВАНОВА

# Несущая способность свай в скальных грунтах при строительстве высотных зданий в Москве Москва, Западный административный округ



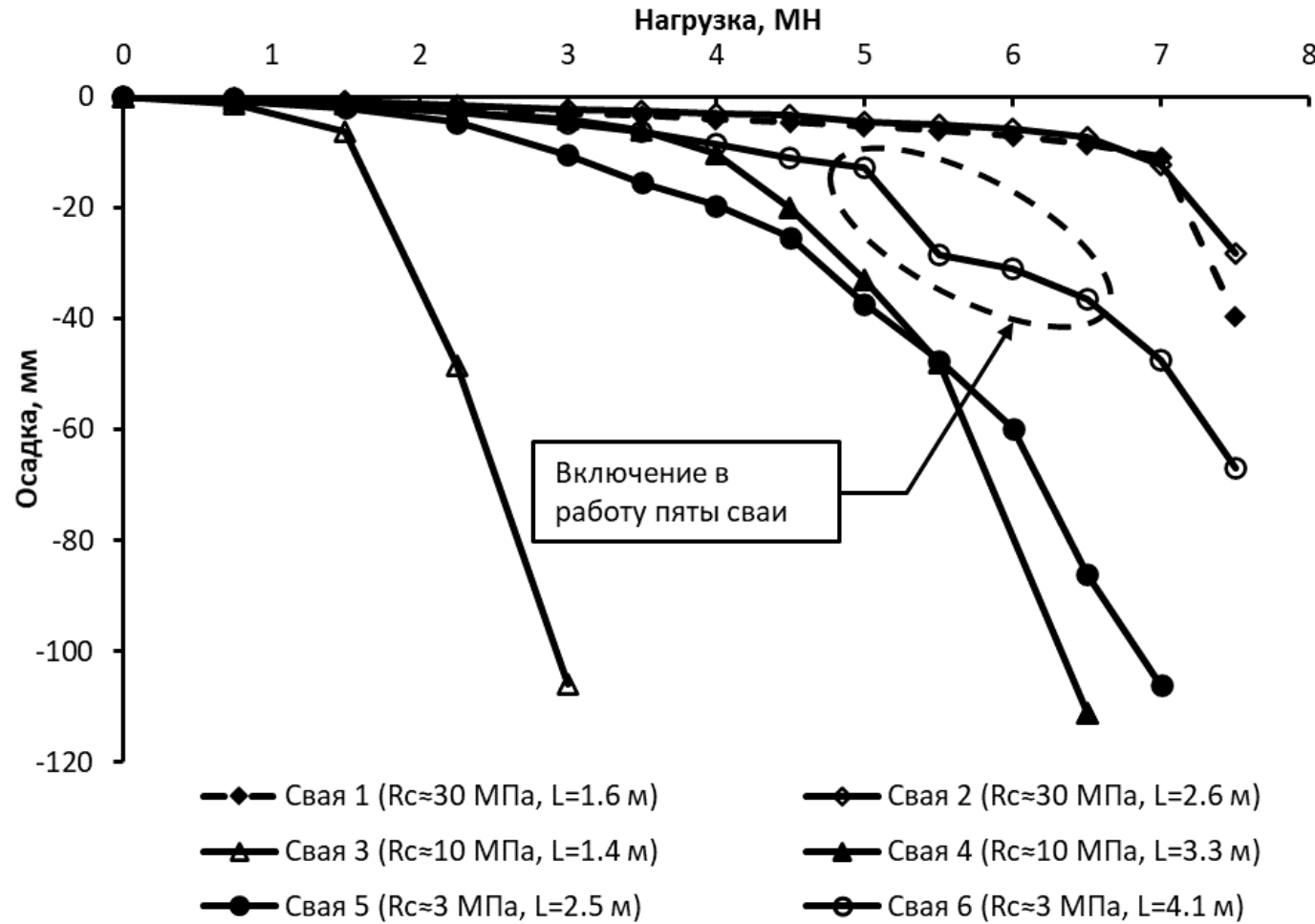
$\varnothing 1,5 \text{ м}; L = 20 \text{ м}$   
 $F_{\text{max}} = 3 \text{ тыс. тс}$   
 $S_{\text{max}} = 10-20 \text{ мм}$   
 $R_{\text{si}} = 96-175 \text{ тс/м}^2$





# Несущая способность свай в скальных грунтах Екатеринбурга

НИИОСП  
ИМ. Н.М. ГЕРСЕВАНОВА



$\varnothing 0,6 \text{ м}; L = 11-30 \text{ м}$   
 $F_{\max} = 750 \text{ тс}$   
 $S_{\max} = 11-111 \text{ мм}$   
 $R_{si} = 40-150 \text{ тс/м}^2$





## **Международный опыт определения несущей способности свай в скальных грунтах**

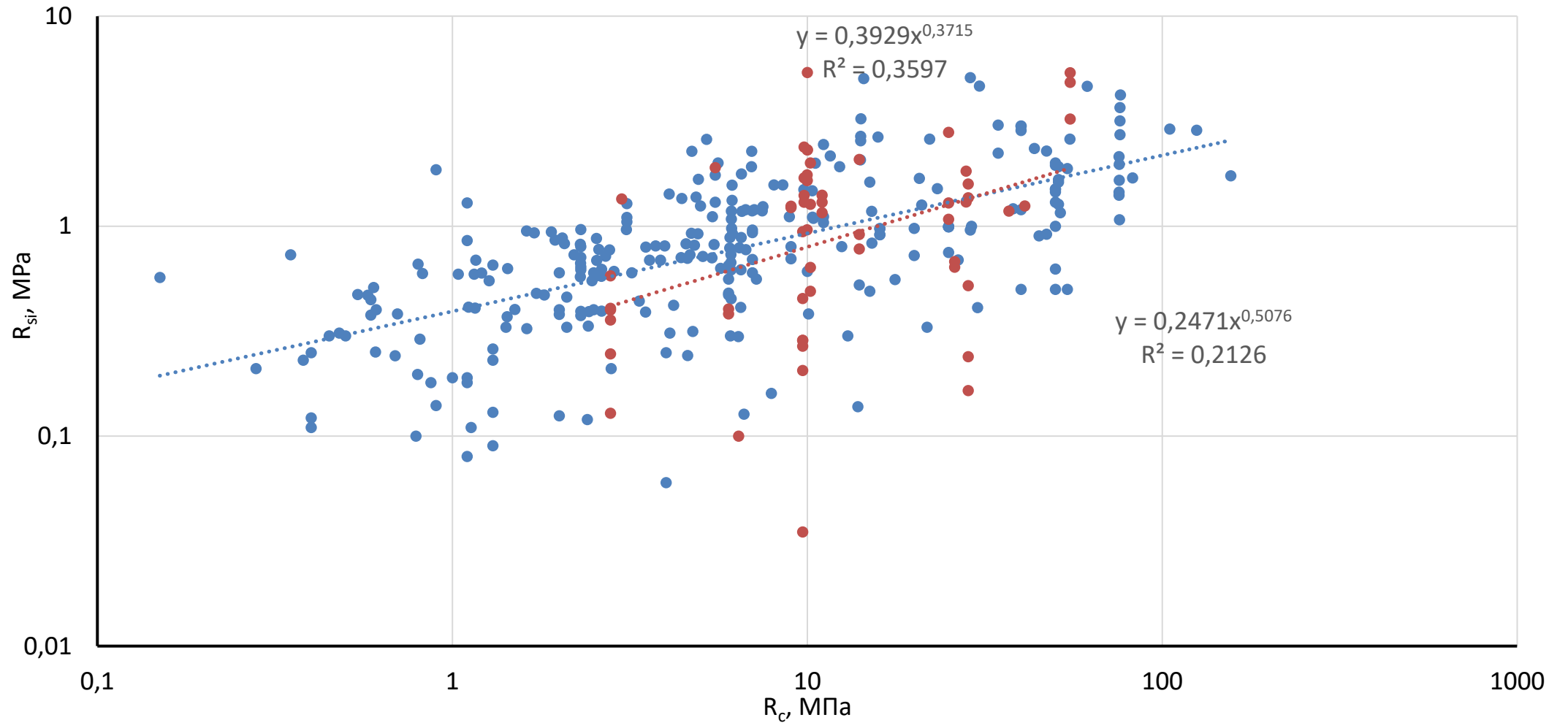


# Международный опыт определения несущей способности свай в скальных грунтах

Автор	Количество данных испытаний	Порода	d, м	R <sub>c</sub> , МПа	L, м	f <sub>s</sub> , МПа
Akguner and Kirkit, 2012)	4	Алевролиты	0.71-1.83	0.35-30.2	1.2-11.5	0.33-1.11
Carruba, 1997	1	Аргиллиты	0.508-11.23	0.6-40	1-8.5	0.33-3
Gunnink, 1998	3	Брекчия	1.2	0	1.1	0.36
Horvath, 1983	6	Гранит	1-1.2	1.1-125	0.8-3.6	0.06-2.865
Kulhawy and Phoon, 1993	101	Гранодиорит	1.32	6	2.1	0.48
Leung, 1996	8	Диабаз	0.615	0.4	12.2	0.122
Long, 2000	25	Известняк	0.15-1.68	0.15-54	0.2-6.1	0.25-3
Mackiewicz et al, 2008	3	Мергель	0.76-1.2	0.9-1.3	4-7.5	0.14-0.23
Mallard, Ballantyne, 1976	1	Песчаник	0.51-1.83	0.28-54.9	0.6-11	0.18-5.1
McVay et al, 1992	14	Песчаник, известняк				
Ng et al, 2001	57	мергель	0	0.8-76.2	0	0.13-5.05
Report Brown, 2010	25	Сланец	0.1-6.6	0.38-34.5	0.6-16	0.1-3.0
Rosenberg, 1976	8	Туфф	1.02-1.2	40-156	2-6	1.74-2.9
Thorburn, 1966	1	Филлит	1.65	1.7	6	0.93
Thorne, 1980	1	Шлак	0.9-1.145	1-2.4	2.1-10	0.12-0.19
Walter et al, 1997	3					
Wilson, 1976	1					
Общий итог	262					



# Международный опыт определения несущей способности свай в скальных грунтах





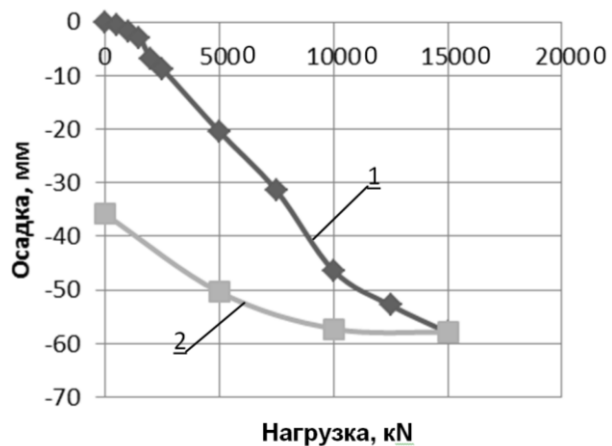


## Сопротивление свай по нижнему концу

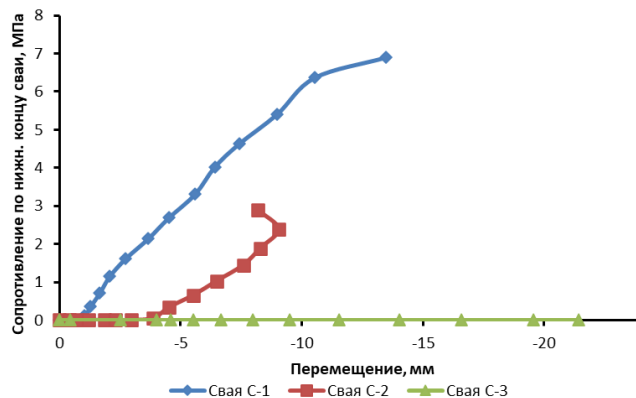


## Шлам в забое скважины для свай

### Москва-СИТИ, уч. 16



### Москва-СИТИ, уч. 17





## **Определение деформационных характеристик скальных грунтов по результатам испытаний свай**



## Трещиноватость

Происхождение

Степень раскрытия

Протяженность

Шероховатость

Заполнитель

Сводная геометрическая классификация трещиноватости для прикладных целей (Чернышев, 1983)

	Системная	Полигональная	Хаотическая
Непрерывная			
Прерывистая			
Разорванная			

Классификация скальных массивов по СП 23.13330.2018

Степень трещиноватости	Модуль трещиноватости $M_f$	Показатель качества породы $RQD$ , %	Коэффициент трещинной пустотности $K_{ТП}$ , %	Объем породных блоков, $dm^3$	Относительная деформируемость $E/E_B$ , %	Относительная скорость упругих волн $v_p/v_{p,B}$ , %	Ширина раскрытия трещин, мм	Размер ребра блока, м
Очень слабо-трещиноватые	< 1,5	> 90	< 0,1	Тысячи	> 70	> 60	Менее 0,5	Более 1,5
Слаботрещиноватые	1,5—5	75—90	0,1—0,5	Сотни	50—70	60—30	0,5—1	0,5—1,5
Среднетрещиноватые	5—10	50—75	0,5—2,0	Десятки	25—50	30—10	1—5	0,3—0,5
Сильнотрещиноватые	10—30	25—50	2,0—5,0	Единицы	10—25	10—3	5—10	0,1—0,3
Очень сильно-трещиноватые	> 30	0—25	> 5	Доли единиц	3—10	< 3	Более 10	Менее 0,1

Условные обозначения:

$M_f$  — число трещин на 1 м линии измерения нормально главной или главным системам трещин;

$RQD$  — отношение общей длины сохранных кусков керна длиной более 10 см к длине пробуренного интервала в скважине;

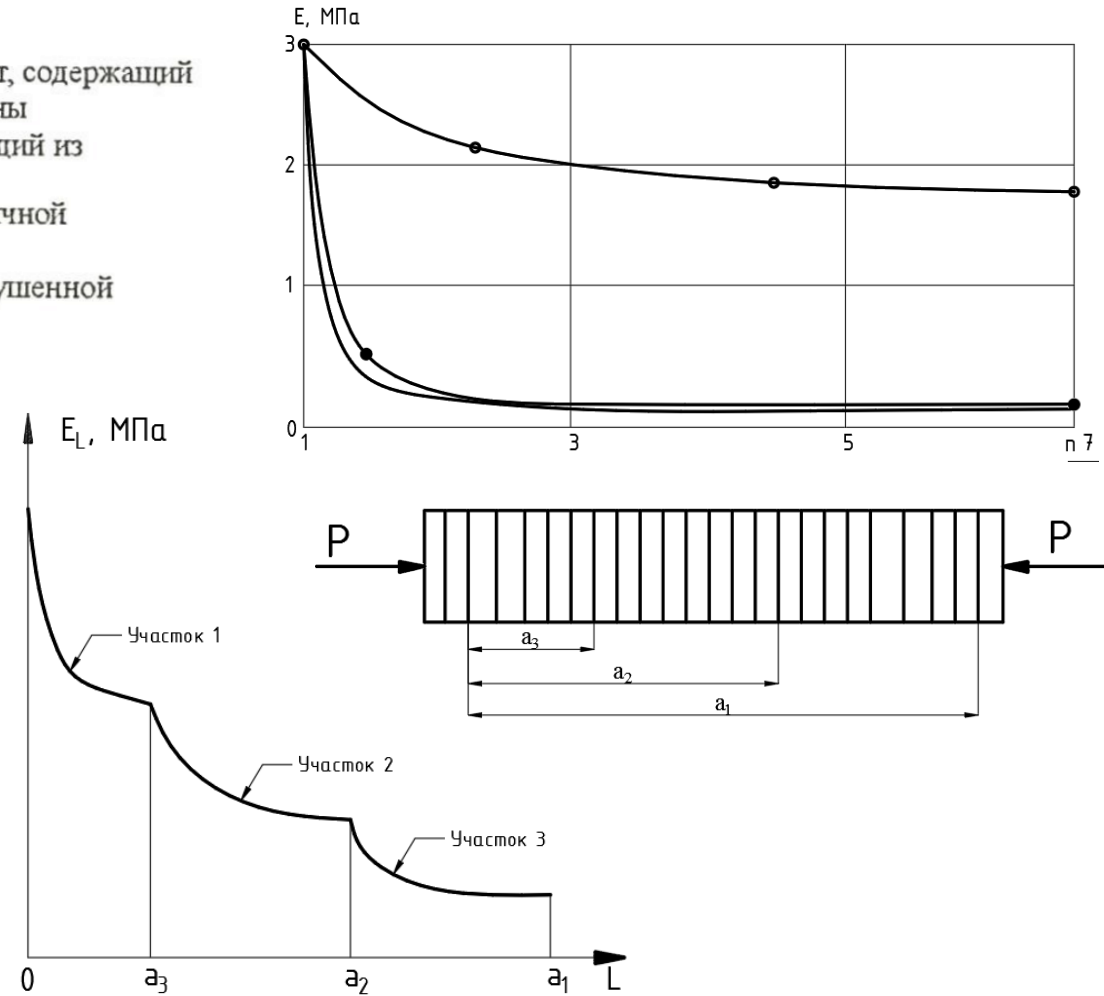
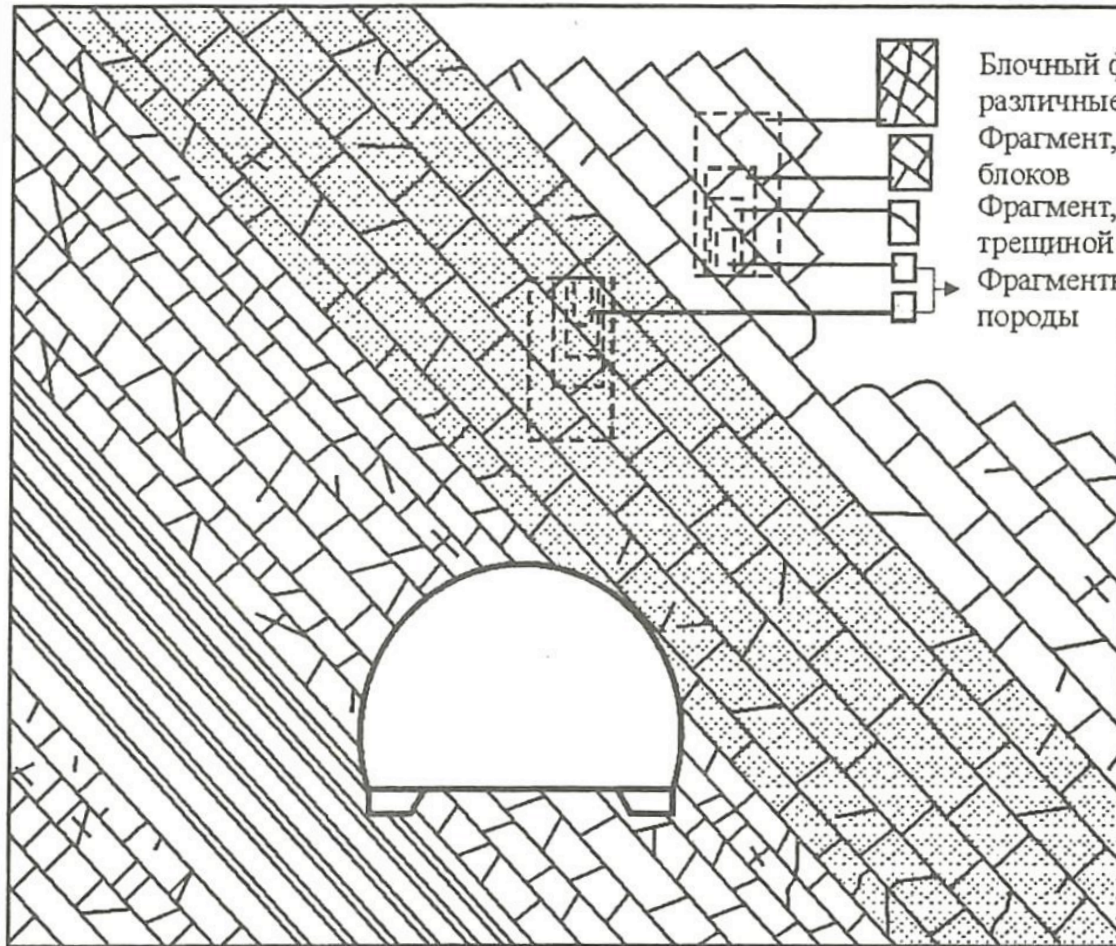
$K_{ТП}$  — отношение суммарной площади трещин к площади породы;

$E, v_{p,B}$  — то же в породном блоке (отдельности).

Примечание — Слаботрещиноватые и очень сильнотрещиноватые массивы рекомендуется характеризовать одним значением  $M_f$ , относящимся к любой системе трещин. Средне- и сильнотрещиноватые массивы могут характеризоваться несколькими значениями  $M_f$ , относящимися к различным главным системам трещин.



## Масштабный эффект



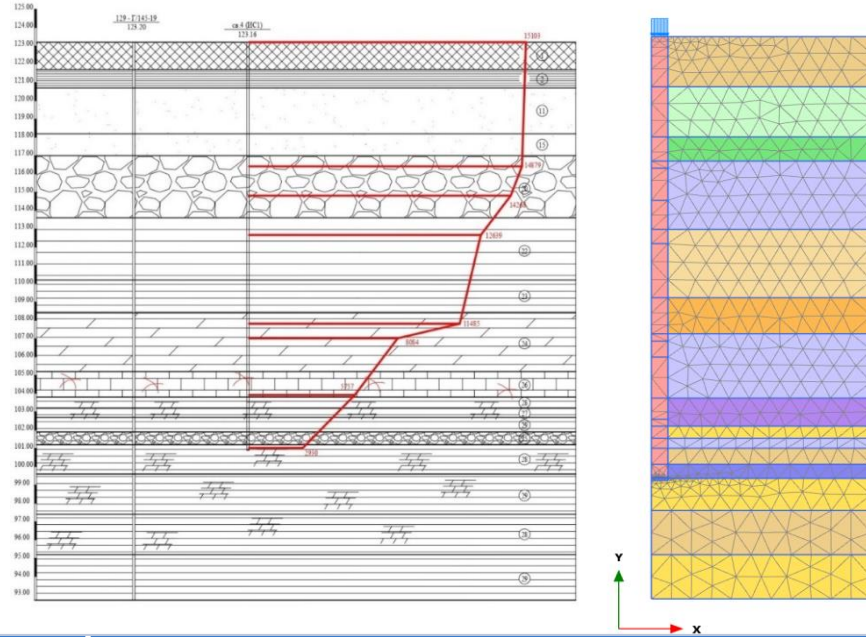


# Уточнение модуля деформации скального грунта по испытаниям свай

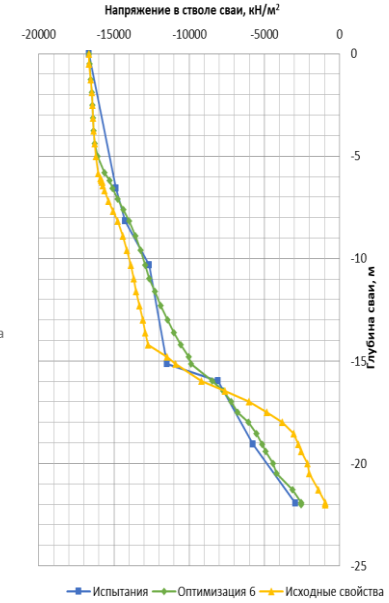
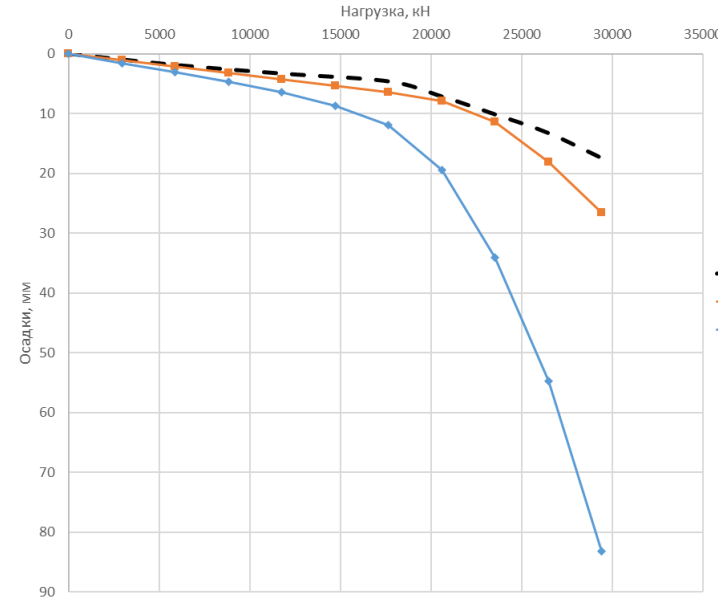
НИИОСП

ИМ. Н.М. ГЕРСЕВАНОВА

## Распределение нагрузки по всей длине сваи d=1,5 м



## Результаты испытания свай и расчетов (3 000 тс)



Генезис	H, м	Наименование ИГЭ	Исходные характеристики грунта до оптимизации			Полученные характеристики грунта после оптимизации		
			E, МПа	φ, °	c, кПа	E, МПа	φ, °	c, кПа
C3pr	3,4	Известняк разрушенный до щебня, дресвы и муки	119	44	200	300	44	200
C3nvr	3,2	Мергель (72 %) трещиноватый, с глинистым заполнителем (28 %) средней прочности	653	39	200	1306	39	350
C3rt	1,4	Известняк трещиноватый, малой прочности	603	39	200	1206	39	350
C3rt	0,5	Известняк трещиноватый, средней прочности	810	39	200	1620	39	200
C3rt	0,7	Известняк, разрушенный до щебня	258	44	200	516	44	200



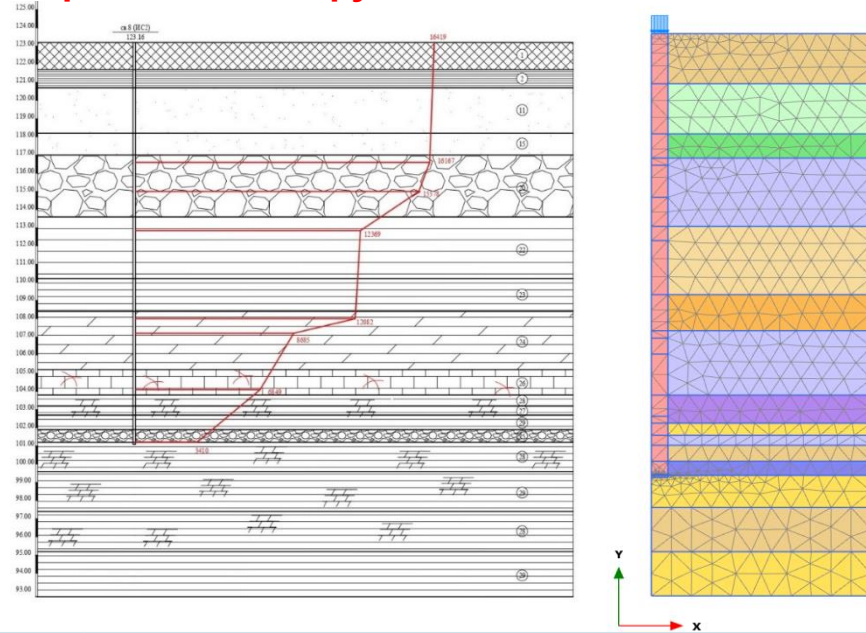


# Уточнение модуля деформации скального грунта по испытаниям свай

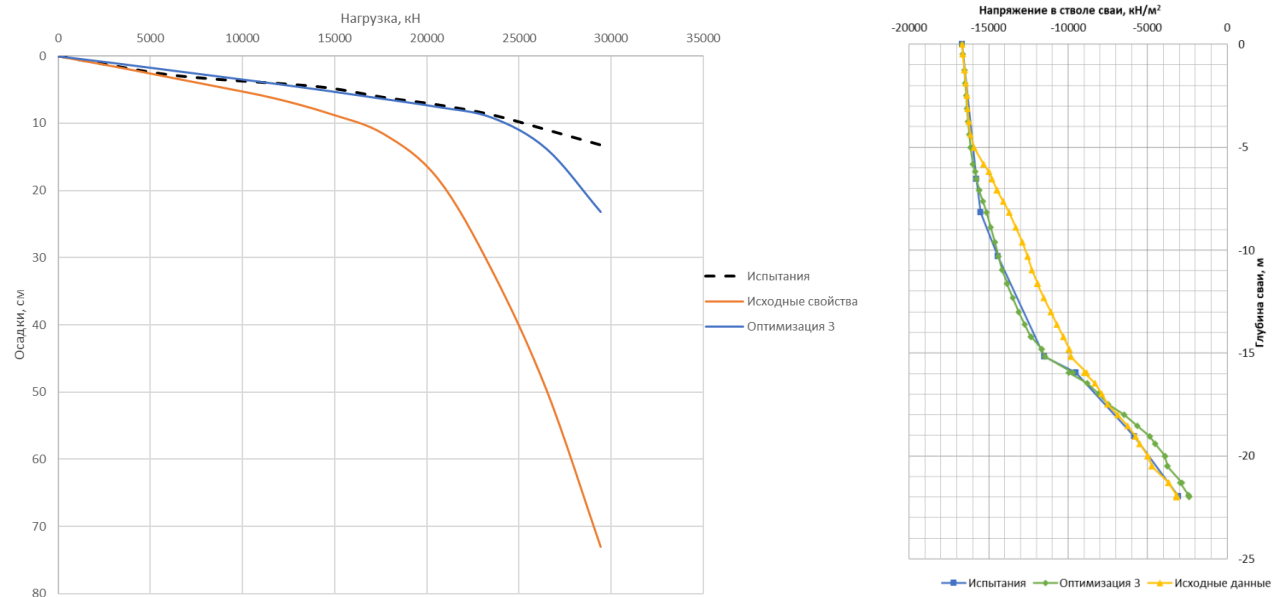
НИИОСП

ИМ. Н.М. ГЕРСЕВАНОВА

## Распределение нагрузки по всей длине сваи d=1,5 м



## Результаты испытания сваи и расчетов (3 000 тс)



Генезис	Н, м	Наименование ИГЭ	Исходные характеристики грунта до оптимизации			Полученные характеристики грунта после оптимизации		
			Е, МПа	φ, °	с, кПа	Е, МПа	φ, °	с, кПа
СЗрг	3,4	Известняк разрушенный до щебня, дресвы и муки	119	44	200	300	44	70
СЗнвр	3,2	Мергель (72 %) трещиноватый, с глинистым заполнителем (28 %) средней прочности	653	39	200	1306	39	500
СЗрт	1,4	Известняк трещиноватый, малой прочности	603	39	200	1000	39	500
СЗрт	0,5	Известняк трещиноватый, средней прочности	810	39	200	1620	39	200
СЗрт	0,7	Известняк, разрушенный до щебня	258	44	200	516	44	200



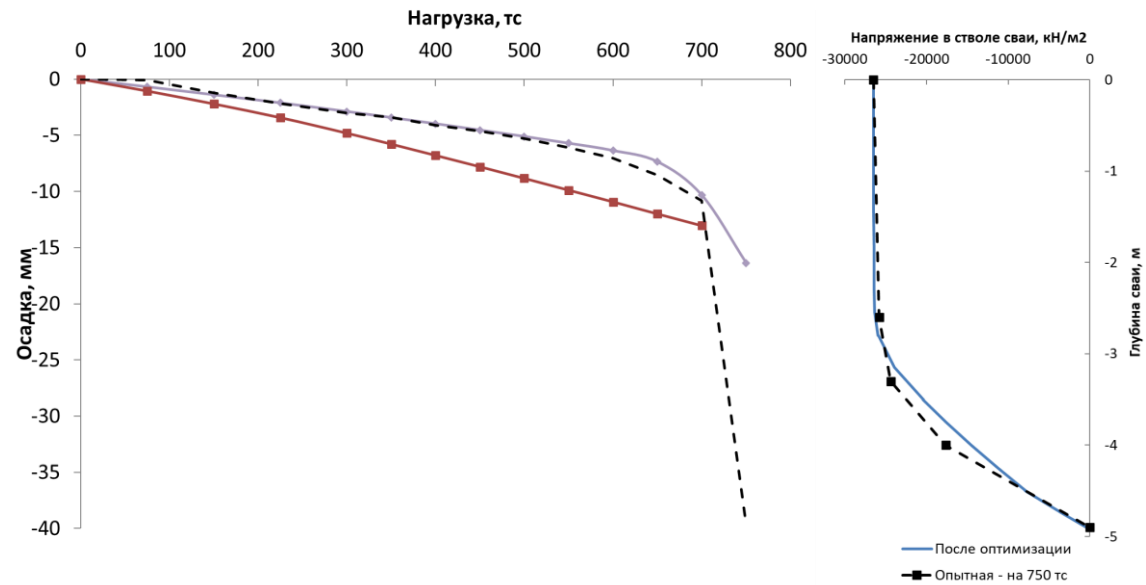


# Уточнение модуля деформации скального грунта по испытаниям свай

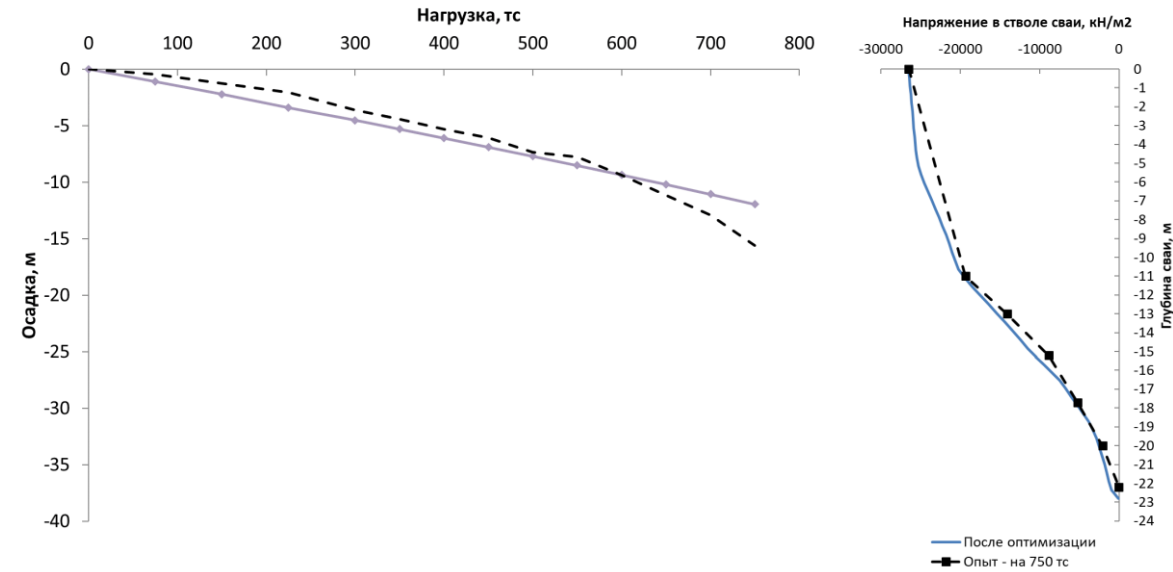
НИИОСП

ИМ. Н.М. ГЕРСЕВАНОВА

## Распределение нагрузки по всей длине сваи d=0,6 м



## Результаты испытания свай и расчетов (750 тс)



Наименование ИГЭ	Исходные характеристики грунта до оптимизации			Полученные характеристики грунта после оптимизации		
	E, МПа	φ, °	c, кПа	E, МПа	φ, °	c, кПа
Рассланцованные порфириты и сланцы пониженной прочности (Rc≈3 МПа)	144,6*	23,5	940**	340	23,4	204
Рассланцованные порфириты и сланцы малопрочные (Rc≈10 МПа)	360*	36,3	2860**	900	36,3	247,5
Рассланцованные порфириты и сланцы средней прочности (Rc≈30 МПа)	1094*	21	7200**	1641	21	950

\* — по эмпирической зависимости (Hoek E. & Diederichs M. S., 2006)

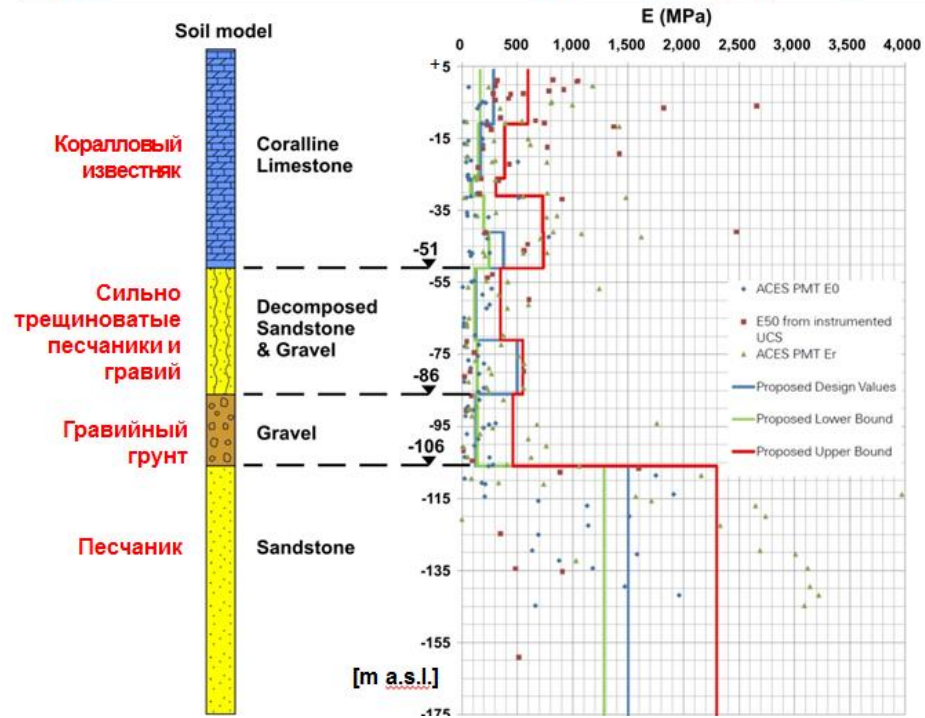
\*\* — по данным лабораторных испытаний



# Уточнение модуля деформации скального грунта по испытаниям свай Изыскания для строительства Джидда (Кингдом) Тауера высотой 1.007 м

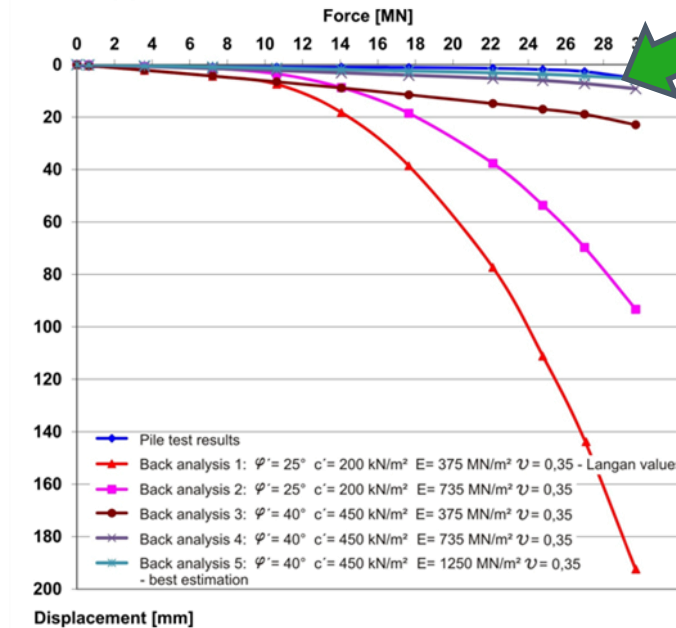
Prof. Dr.-Ing. Rolf Katzenbach • Managing Director of the Consulting Office Prof. Katzenbach

## Proposed values for Young's - Modulus E Предложенные значения модулей деформации

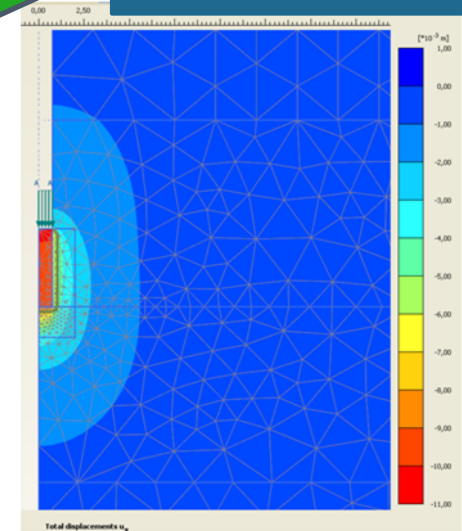


Prof. Dr.-Ing. Rolf Katzenbach • Managing Director of the Consulting Office Prof. Katzenbach  
**Back analysis of pile test T1 with FEM – stage 1+3**

## Решение обратной задачи испытание свай T1 КЭ-модель – этапы 1+3



Обратным расчетом  
E≈1250 МПа



Excerpt of FEM-mesh: lower pile segment and displacements in [mm]  
Фрагмент сетки КЭ-модели: нижний сегмент свай и деформации в мм

**Bearing capacity is higher than assumed**  
Несущая способность выше предполагаемой



**НИИОСП**  
ИМ. Н.М. ГЕРСЕВАНОВА

## **Шарафутдинов Рафаэль Фаритович, к.т.н.**

НИИОСП им. Н.М. Герсевича АО «НИЦ «Строительство»

**Адрес: 109428, Москва, Рязанский просп., д. 59**

**Тел.: +7 (499) 170-2731**

**E-mail: [linegeo@mail.ru](mailto:linegeo@mail.ru)**