



МИНСТРОЙ
РОССИИ



с 1927 ГОДА
95
ЛЕТ

НОСТРОЙ
НАЦИОНАЛЬНОЕ
ОБЪЕДИНЕНИЕ СТРОИТЕЛЕЙ

IFC
INTERNATIONAL
ASSOCIATION OF
FOUNDATION
CONTRACTORS
МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ
ФУНДАМЕНТОСТРОИТЕЛЕЙ

10 ЛЕТ
2012

Шулятьев О.А.

Взаимодействие свай с глинистым грунтом



I МЕЖДУНАРОДНЫЙ
СТРОИТЕЛЬНЫЙ
КОНГРЕСС

Москва - СИТИ

1998



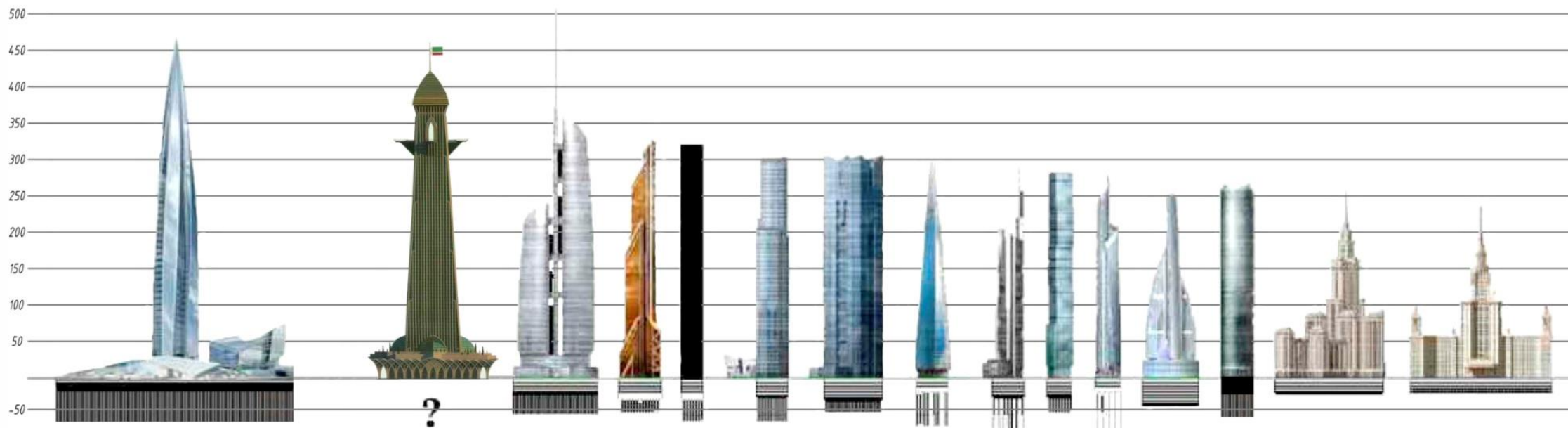
2008



Башня Лахта Центр высотой 462м (2018г.)



Лахта Центр – самое высокое здание в Европе



Башня Лахта - Центр, Санкт-Петербург, Россия. Строительство башни было начато в 2014г., общая высота 465м

Башня Ахмет-Тузэр, Грозный, Россия. Общая высота 420м

Башня "Федерация", Москва, Россия. Строительство башни было начато в 2004 г. Высота со шпилем 506 м, высота крыши 360,4 м. Количество этажей 93.

Mercury City Tower, Москва, Россия. Строительство башни было начато в 2004г., высота со шпилем 506м, высота крыши 360,4м. Количество этажей 93.

Многофункциональный комплекс на участке 16 ММДЦ "Москва-СИТИ", Москва Рф. Строительство башни было начато в 2004г., общая высота 327,3м, количество этажей 87

Башня "Сберазия", Москва Рф. Строительство башни было начато в 2004г., общая высота 309м, количество этажей 67

Комплекс административных зданий законодательной и исполнительной власти г. Москвы, Москва Рф. Строительство башни было начато в 2004г., общая высота 308,4м, количество этажей 67

"Shard London Bridge", Лондон, Великобритания. Строительство башни было начато в 2008г., общая высота 309,6м, количество этажей 71

"Commerz Bank Tower", Франкфурт на Майне, Германия. Строительство башни было начато в 1991г., высота со шпилем 300,1м, без шпиля 258,7 м, количество этажей 53

Башня "Москва", Москва Рф. Строительство башни было начато в 2003г., общая высота 241м, количество этажей 73

"Vishnorskiye Tower", Лондон, Великобритания. Строительство башни было начато в 2009г., общая высота 287,9м, количество этажей 63

Торговая башня "Istambul", Истанбул, Турция. Строительство башни было начато в 2002г., общая высота 270,1м, количество этажей 53

Телецентр "Башня на набережной", Москва Рф. Строительство башни было начато в 2004г., общая высота 268м, количество этажей 59

Комплекс "Триумф-Палас", Москва Рф. Строительство башни было завершено в 2006г., общая высота 264,5м, количество этажей 52

Высокое здание Государственного Университета, Москва Рф. Строительство башни было начато в 1949г. и завершено в 1953г., общая высота 24,0м, количество этажей 36

Рассматриваемые вопросы

- 1. Влияния способа устройства свай на сопротивление по боковой поверхности*
- 2. Работа свай по боковой поверхности и по нижнему концу*
- 3. Сопротивление грунта по боковой поверхности сваи*
- 4. Изменение НДС массива грунта в процессе устройства свай*
- 5. Взаимодействие свай с грунтом и между собой в свайном поле*
- 6. Результаты мониторинга*
- 7. Ползучесть грунта*



МИНСТРОЙ
РОССИИ



с 1927 ГОДА
95
ЛЕТ

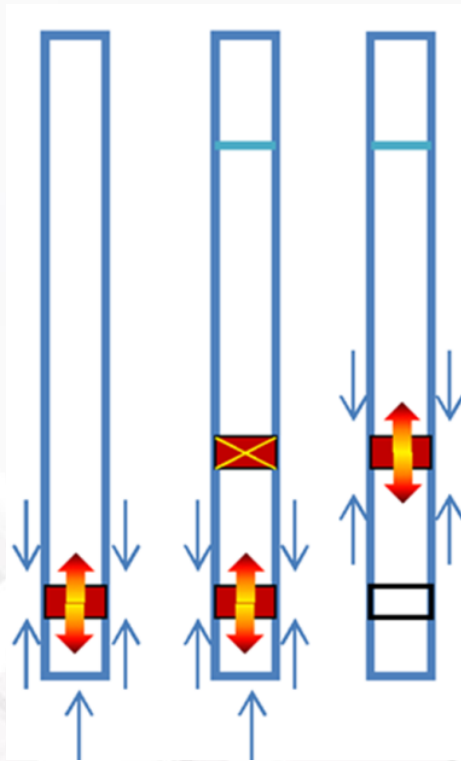
НОСТРОЙ
НАЦИОНАЛЬНОЕ
ОБЪЕДИНЕНИЕ СТРОИТЕЛЕЙ

IFAC
INTERNATIONAL
ASSOCIATION OF
FOUNDATION
CONTRACTORS
МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ
ФУНДАМЕНТОСТРОИТЕЛЕЙ

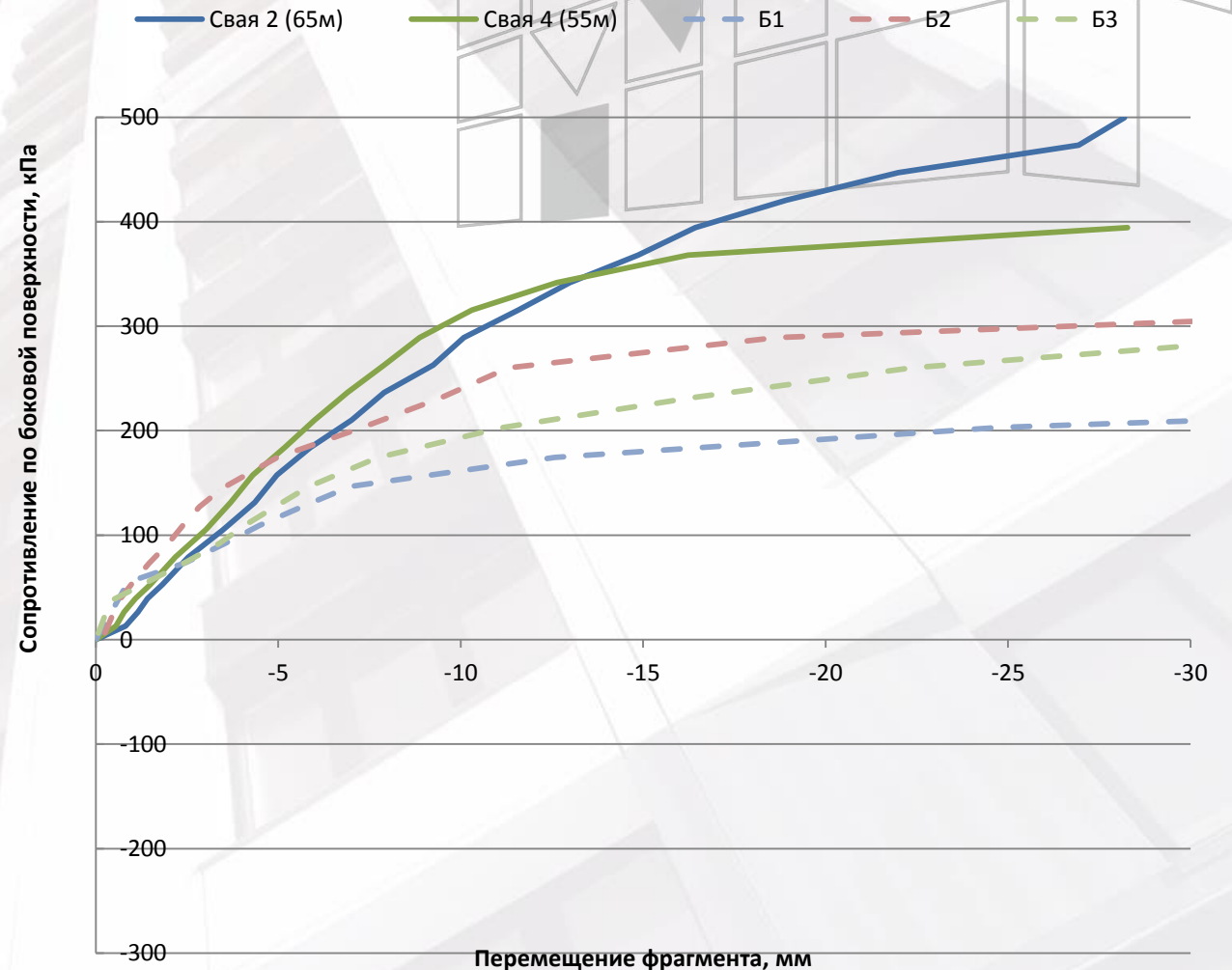
10 ЛЕТ
2012

1. Влияния способа устройства свай на сопротивление по боковой поверхности

Удельное сопротивление вендских глин по боковой поверхности средней части свай



Свая 2 и свая 4 на объекте МК «Лахта Центр» и баретты Б1, Б2 и Б3 на объекте ОДЦ «Охта Центр»





МИНСТРОЙ
РОССИИ



с 1927 ГОДА
95
ЛЕТ

НОСТРОЙ
НАЦИОНАЛЬНОЕ
ОБЪЕДИНЕНИЕ СТРОИТЕЛЕЙ

IFAC
INTERNATIONAL
ASSOCIATION OF
FOUNDATION
CONTRACTORS
МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ
ФУНДАМЕНТОСТРОИТЕЛЕЙ

10 ЛЕТ
2012

2. Работа свай по боковой поверхности и по пяте

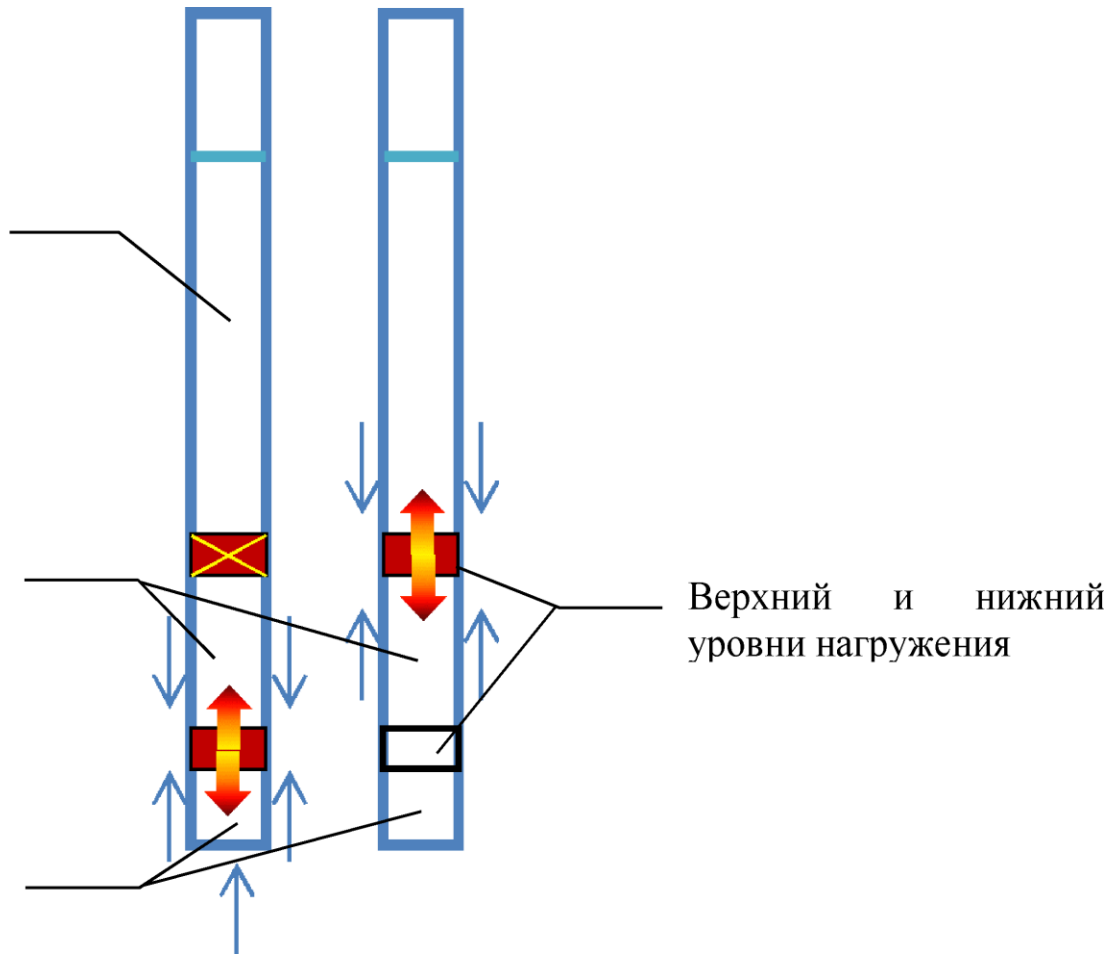
Оснащение сваи датчиками и домкратами

Этапы испытания

Верхняя часть сваи

Средняя часть сваи

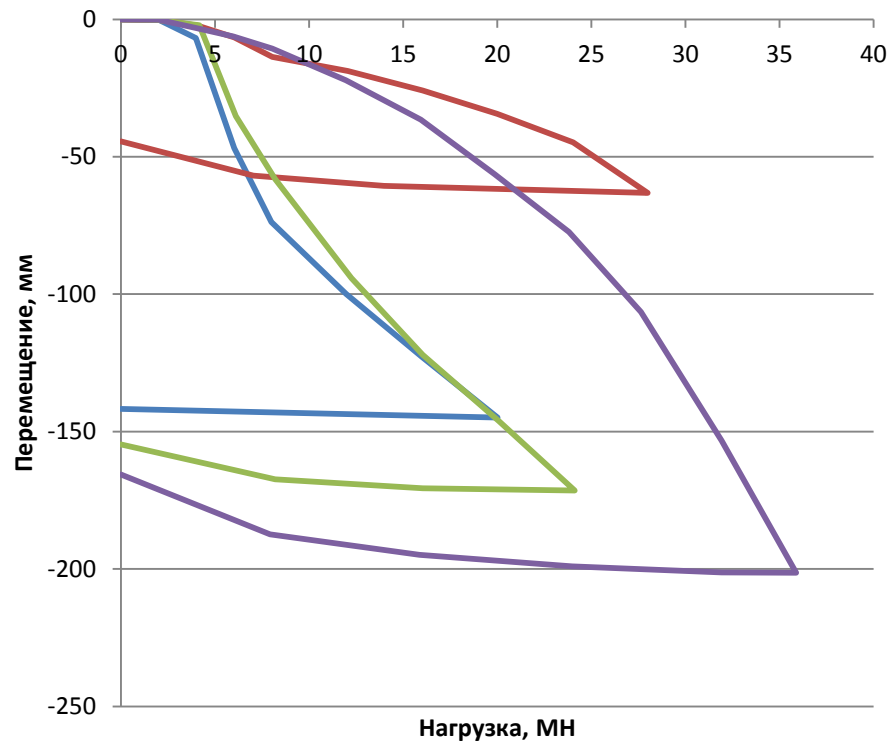
Нижняя часть сваи



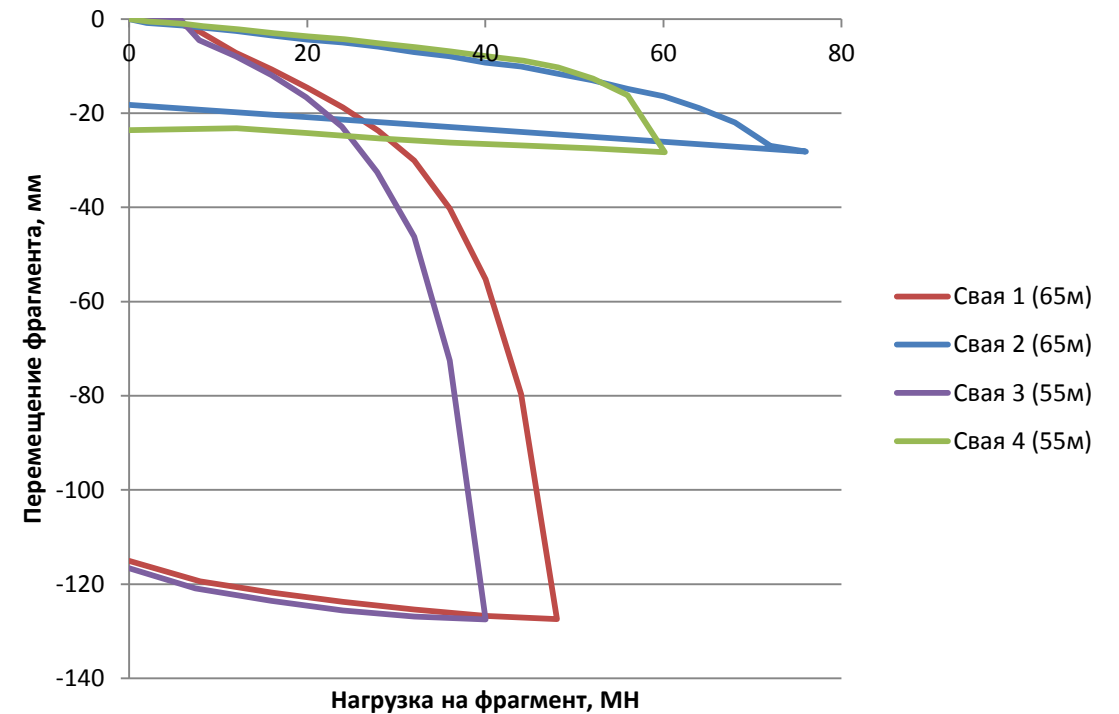
18,5 (6)	Супеси песчаные с гравием, галькой до 10%, с гнездами песка, пластичные (мягкопластичные) (E=18,3 МПа, IL=0,63)	-16,70
22,1 (6a)	Супеси песчаные с гравием, галькой до 15%, с гнездами песка мелкого, суглинка голубовато-серого, пластичные (тугопластичные) (E=24,5 МПа, IL=0,30)	-20,30
30,2 (7)	Глины пылеватые дислоцированные, с тонкими прослоями алевритового песка, твердые SG-7 (E=25,3 МПа, IL=0,37)	-28,40
		-36,4 SG-6
		-45,6 SG-5
		-54,4 O-Cell
		-59,4 SG-4
		-64,4 SG-3
		-69,4 SG-2
		-74,4 SG-1
		-79,9 O-Cell
80,2 (8)	Глины пылеватые тонко ритмичнослоистые, твердые, с частыми тонкими прослоями алевритового песка, ламинаритовыми пленками по плоскости напластования (E=6,36НН-153,89 МПа, IL=0,60)	-78,40
		-81,9

Работа свай по боковой поверхности и по пяте (Лахта Центр)

По пяте

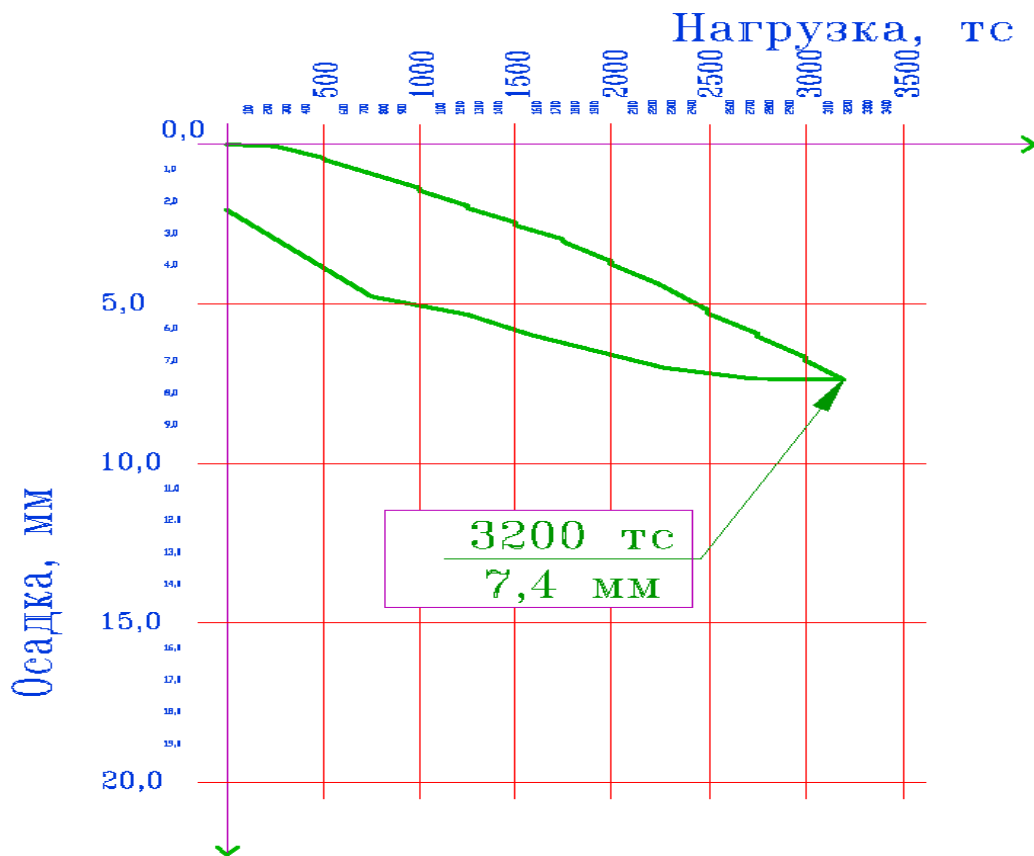


По боковой поверхности

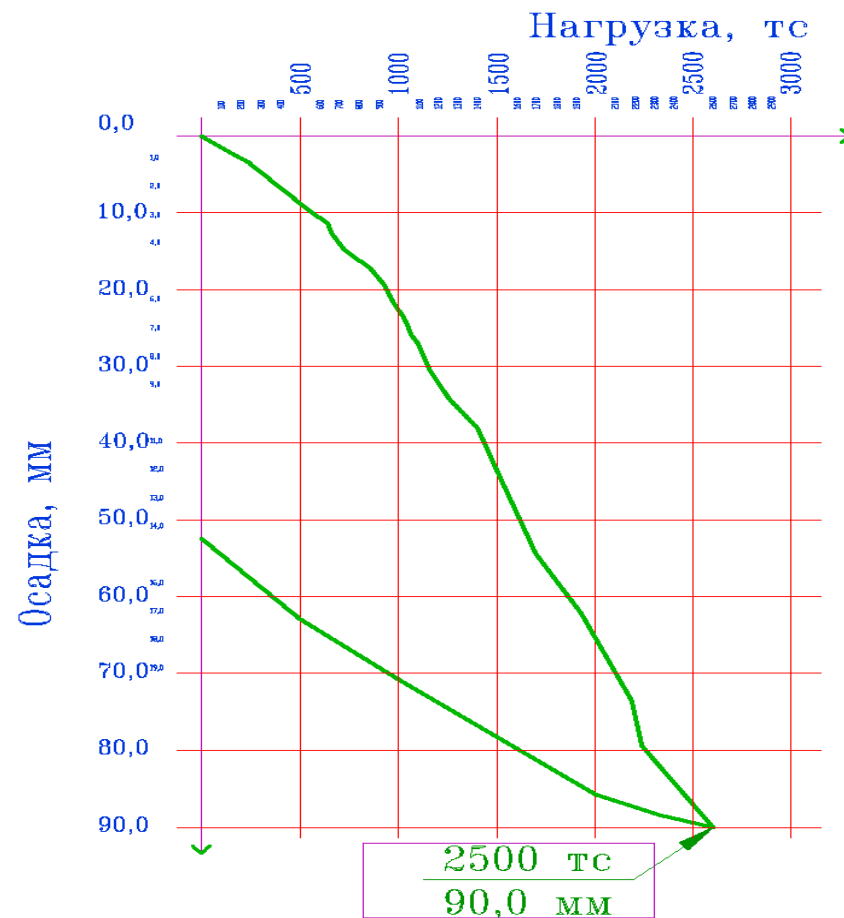


Работа свай по боковой поверхности и по пяте (Москва – СИТИ)

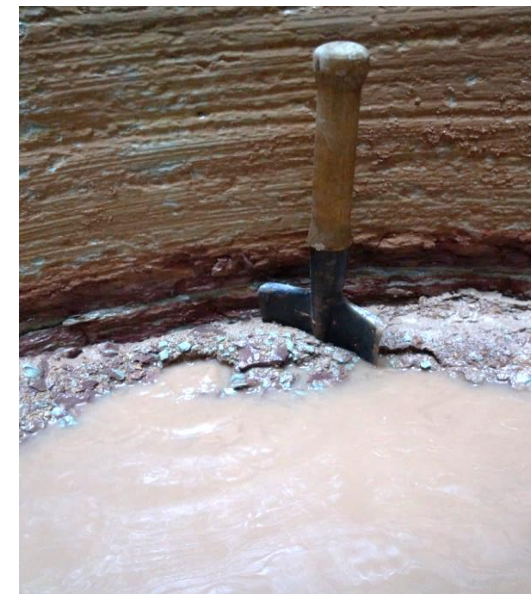
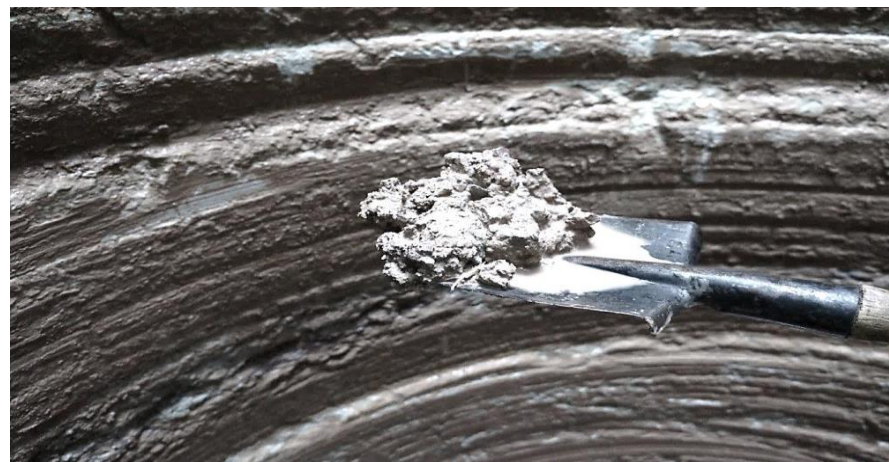
По боковой поверхности



По пяте



Отработка технологии по устройству буронабивных свай на 17-18 участках Москва-СИТИ





МИНСТРОЙ
РОССИИ



с 1927 ГОДА
95
ЛЕТ

НОСТРОЙ
НАЦИОНАЛЬНОЕ
ОБЪЕДИНЕНИЕ СТРОИТЕЛЕЙ

IFAC
INTERNATIONAL
ASSOCIATION OF
FOUNDATION
CONTRACTORS
МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ
ФУНДАМЕНТОСТРОИТЕЛЕЙ

10 ЛЕТ
2012

3. Сопротивление грунта по боковой поверхности сваи

Сравнение данных экспериментальных исследований с результатами расчетов

№ метода	Метод расчета	№ п/п	Вид грунта (объект)	Значения f_i , кПа*, при расчете по методу №						Экспериментальные значения, кПа
				1	2	3	4	5	6	
1	$f_i = \alpha S_u F_1 F_2$ (Polous, 2017)	1	Воскресенские глины (Москва-Сити)	-	76	56	108	150	230	900–1800
2	$f_i = K_s \sigma'_v \tan \varphi = \beta \sigma'_v \beta = \beta_{nc} (OCR)^{0.5} \beta_{nc} = (1 - \sin \varphi) \tan \varphi$ (Burland, Meyerhov, 1976)	2	Вендские глины (Охта Центр)	115	167	93	178	298	342	310
3	по таблице СП 24.13330	3	Вендские глины (Лахта Центр)	134	195	109	208	405	455	400–450
4	$f_i = (K_0 \sigma'_v \tan \varphi + c); K_0 = \tan(45^\circ - \varphi/2)$ (руководство, 1980)	4	Юрские глины (ВТБ Арена Парк)	-	43	56	76	93	108	104
5	$f_i = \sigma'_x \operatorname{tg} \varphi + c; \sigma'_x = K_{nc} \sigma_z. K_{nc} = (1 - \sin \varphi)$	5	Морена (Загорская ГАЭС)	17	66	47	71	67	83	80–85
6	$f_i = \sigma'_x \operatorname{tg} \varphi + c; \sigma'_x = K_{OCR} \sigma_z. K_{OCR} = (1 - \sin \varphi) \operatorname{OCR}^{\sin \varphi}.$									

Вывод: Сравнение результатов расчета с результатами испытаний показало, что наиболее близкие значения к экспериментальным данным для твердых глинистых грунтов получены при расчете по Кулону с учетом коэффициента переуплотнения грунта по методу 6 с учётом технологии выполнения работ.



МИНСТРОЙ
РОССИИ



с 1927 ГОДА
95
ЛЕТ

НОСТРОЙ
НАЦИОНАЛЬНОЕ
ОБЪЕДИНЕНИЕ СТРОИТЕЛЕЙ

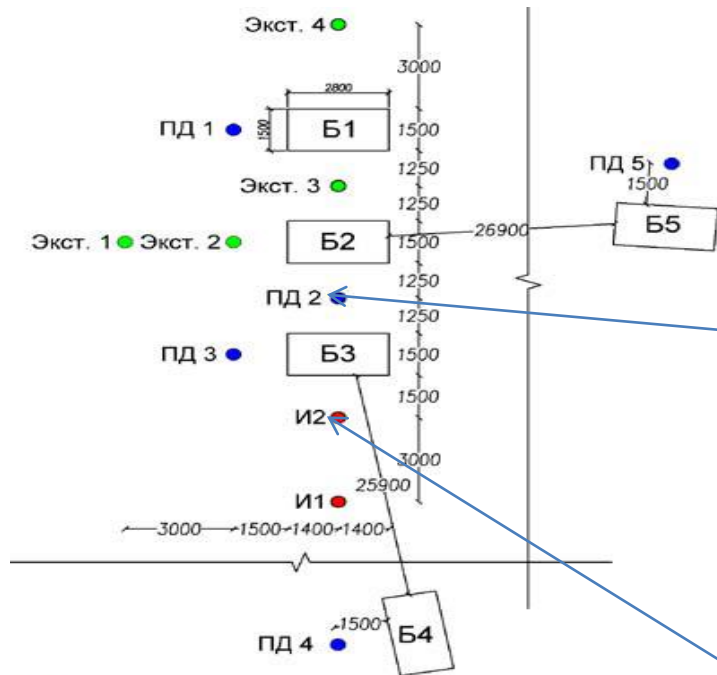
IFAC
INTERNATIONAL
ASSOCIATION OF
FOUNDATION
CONTRACTORS
МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ
ФУНДАМЕНТОСТРОИТЕЛЕЙ

10 ЛЕТ
2012

4. Изменение НДС массива грунта в процессе устройства свай

Исследование возможности применения стены в грунте в условиях Санкт - Петербурга

Изменение порового давления при устройстве баретты Б2.

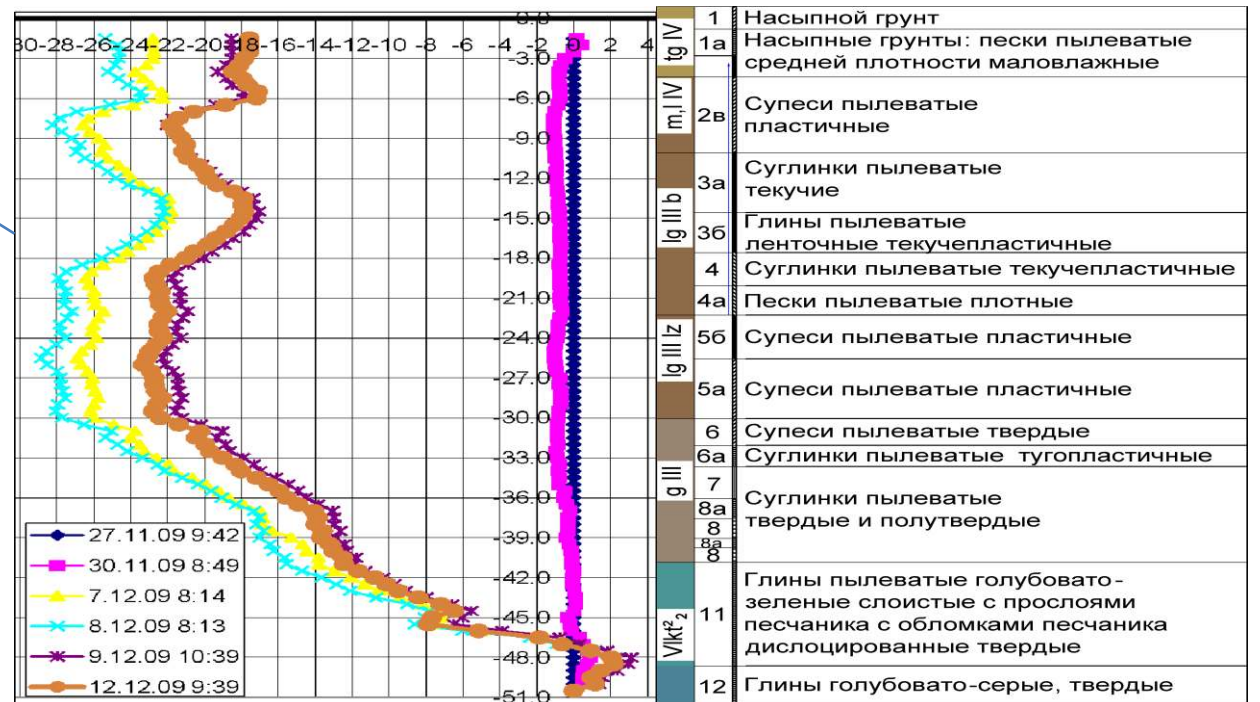


- Скважины для измерения порового давления
- Скважины оборудованные экстензометрами
- Скважины для инклинометрических измерений

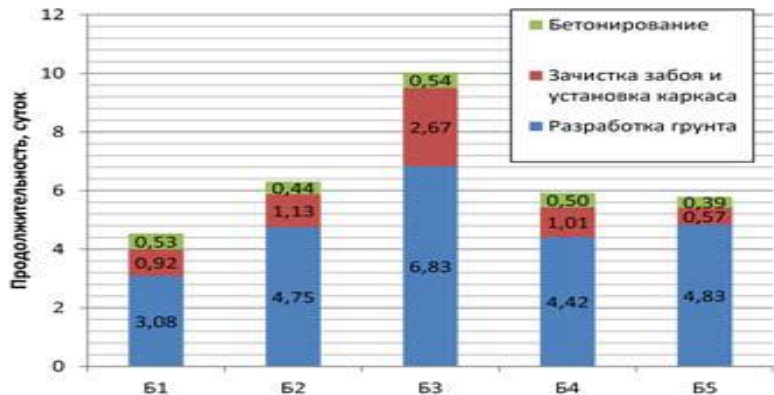
Б1...5 Опытные баретты №1...5

Глубина установки датчика ,м	Pw ₀ *, кПа	Разработка траншеи		Установка каркаса		Бетонирование	
		Pw**, кПа	Изменение, %	Pw, кПа	Изменение, %	Pw, кПа	Изменение, %
3	45	55	22.2	48	6.7	70	55.6
9	105	130	23.8	108	2.9	140	33.3
16	170	195	14.7	180	5.9	215	26.5
25	259	263	1.5	260	0.4	270	4.2

Горизонтальные перемещения грунта по глубине в скважине И2

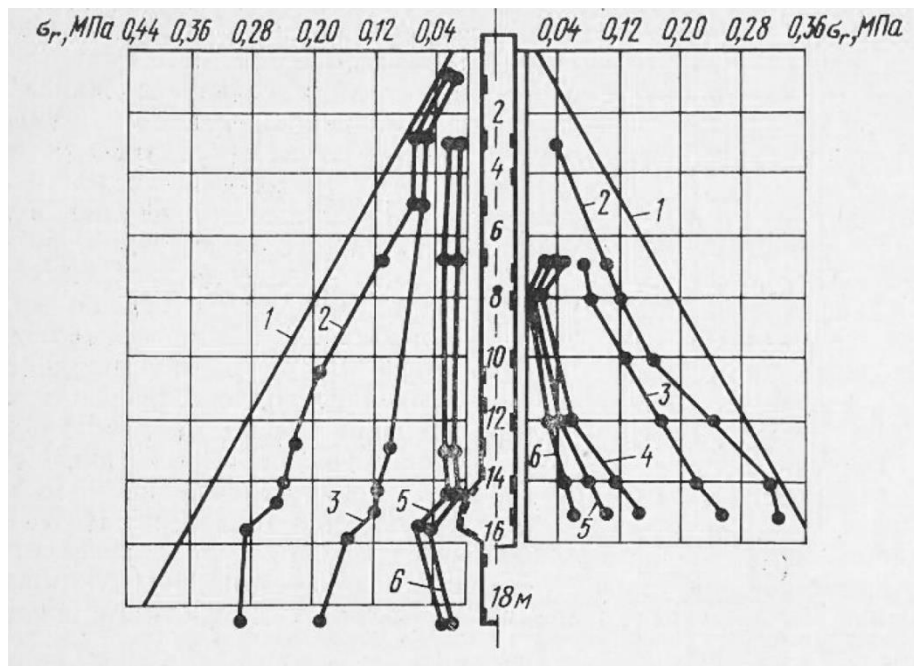


Распределение времени по процессам при устройстве баретт Б1...Б5



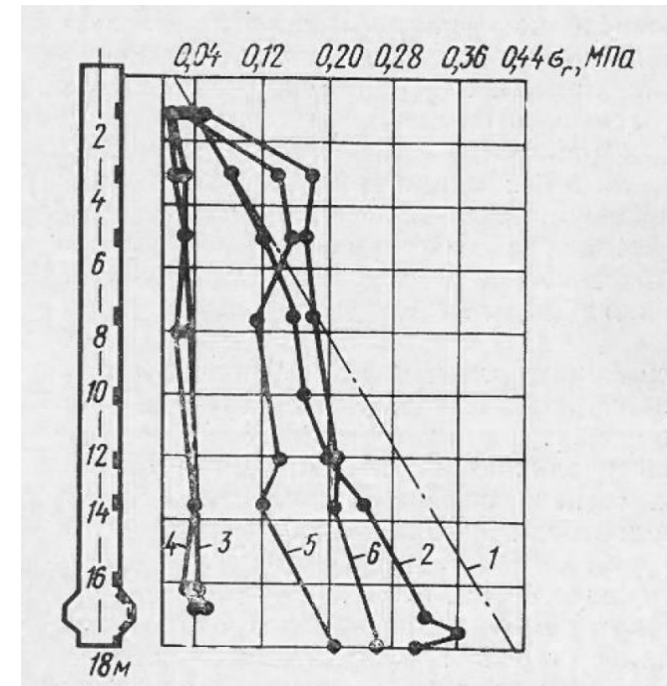
Изменение НДС массива грунта в результате устройства буронабивных свай

Эпюры радиальных давлений σ_r по длине свай №8 (а) и №3 (б) после бетонирования



: 1 — гидростатическое давление; 2 — после заполнения скважины бетоном; 3 — через 2,5 ч; 4 — через 12 ч; 5 — через 7 суток; 6 — через 28 суток

Эпюры радиальных давлений σ_r по длине сваи № 7 после бетонирования и при нагружении сваи:



1 — гидростатическое давление бетона; 2 — после заполнения скважины бетоном; 3 — через 7 суток; 4 — 28 суток; 5 — при нагрузке 6500 кН; 6 — при нагрузке 7500 кН

Изменение давления в процессе бетонирования

Изменения давления при бетонировании захватки стены в грунте №36 на опытном участке в Роттердаме *

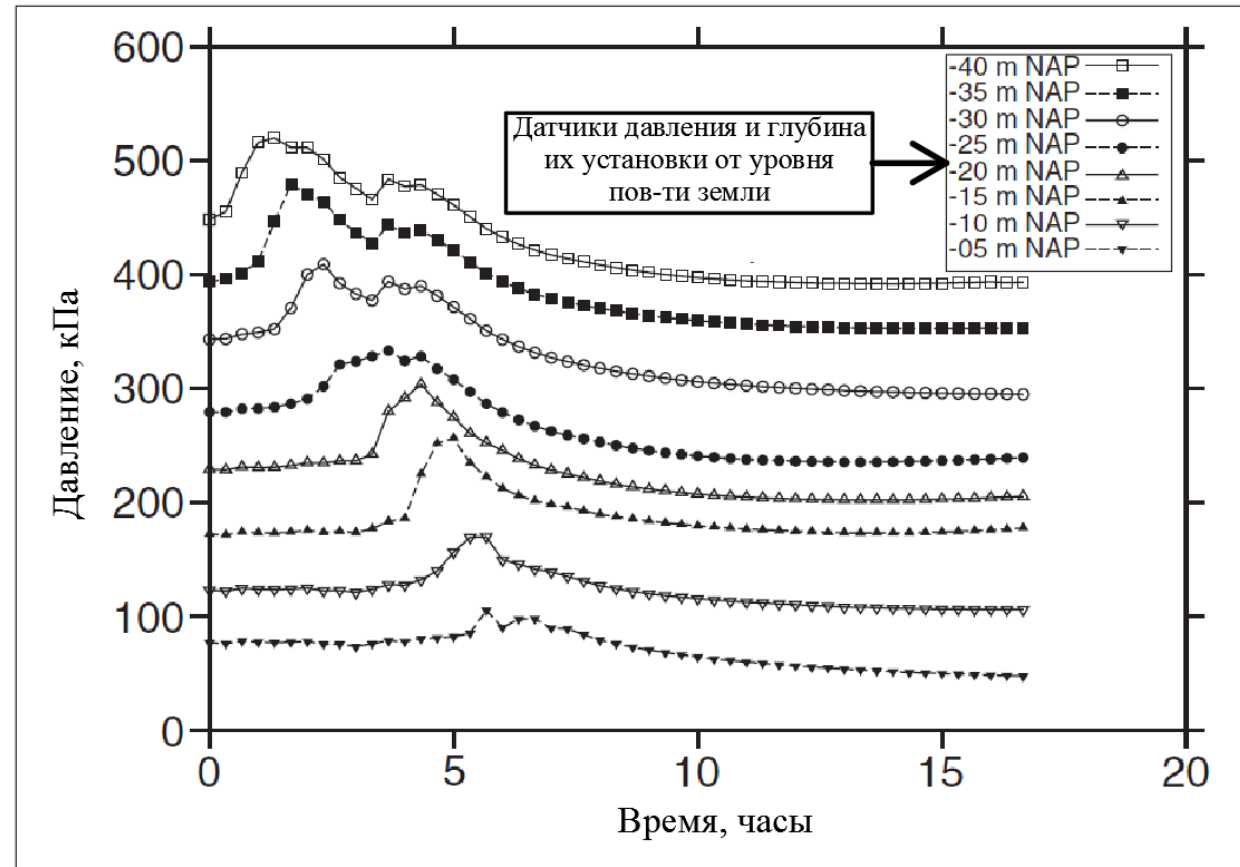
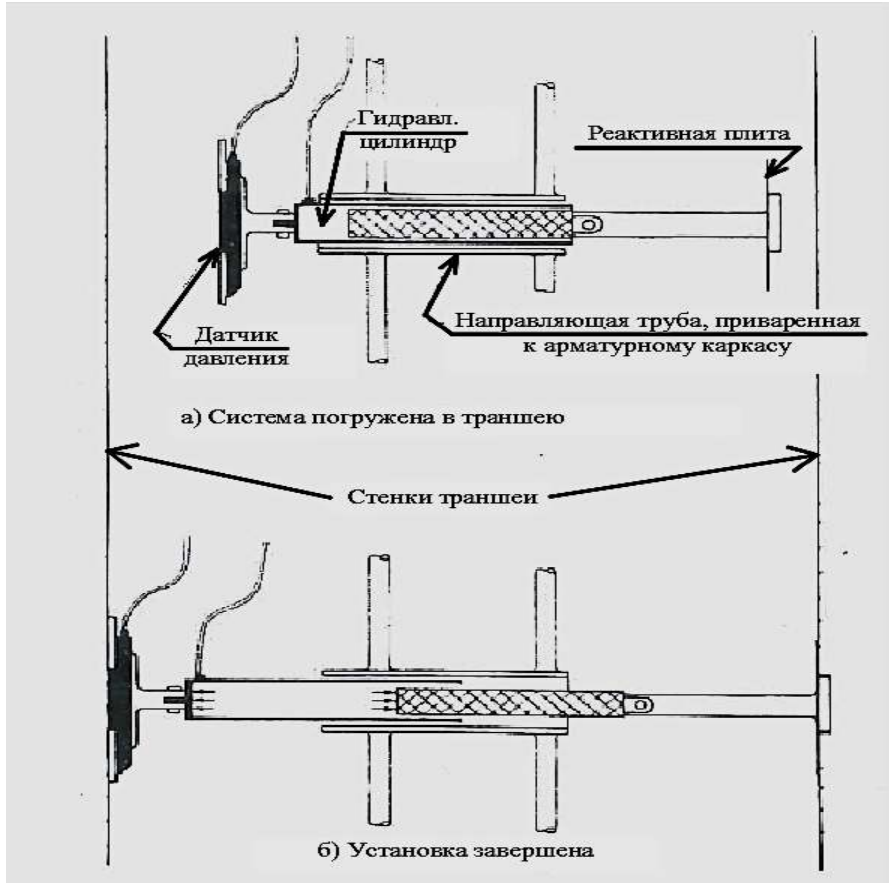
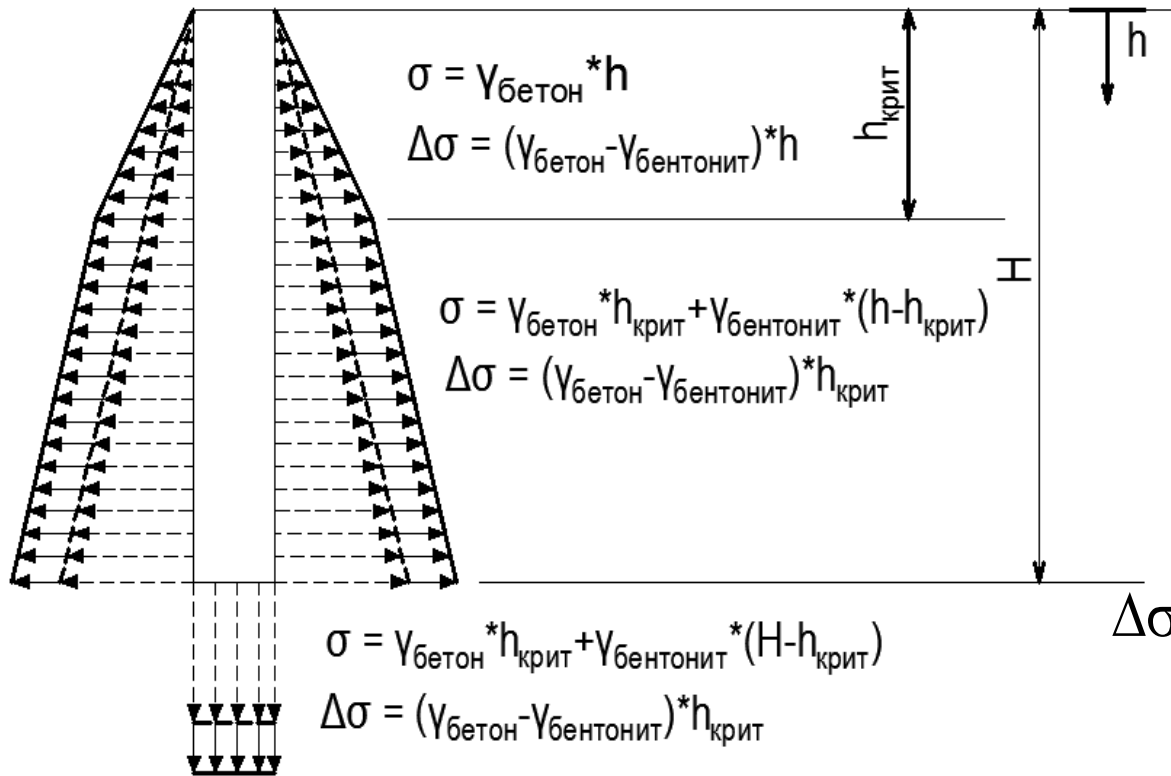


Схема установки датчиков, измеряющих давление свежего бетона на контакте грунт/бетон (опытная захватка стены в грунте в Осло)

*/ Lächler, A. A comparison between monitoring data and numerical calculation of a diaphragm wall construction in Rotterdam / A. Lächler, H.P. Neher, G. Gebeyhu // Proceedings of the international conference on numerical simulation of construction processes in geotechnical engineering for urban environment, Bochum, Germany. – 2006. – P. 83-96.

Давление бетона в процессе бетонирования*

WCS ▾



Условные обозначения:

- > гидростатическое давление
- > бентонитового раствора
- =====> дополнительное давление в процессе бетонирования ($\Delta\sigma$)

$$\Delta\sigma_{gb} = \begin{cases} \gamma_{\text{бетон}} \times h \text{ при } h \leq h_{\text{крит}} ; \\ \gamma_{\text{бентонит}} \times h + (\gamma_{\text{бетон}} - \gamma_{\text{бентонит}}) \times h_{\text{крит}} \text{ при } h > h_{\text{крит}} , \end{cases}$$

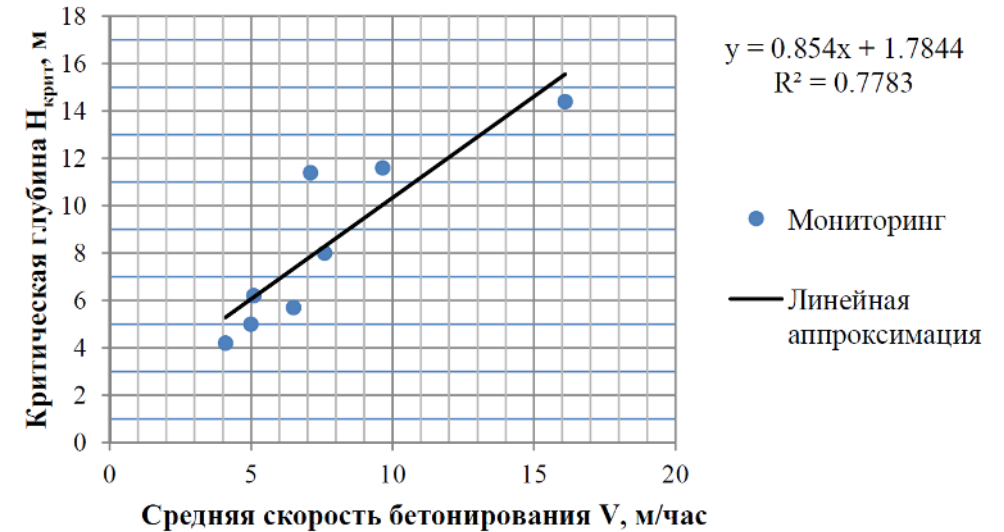
где $\Delta\sigma_{gb}$ — давление свежего бетона и бентонита на стенки траншеи; $\gamma_{\text{бетон}}$ — объемный вес бетонной смеси; $\gamma_{\text{бентонит}}$ — объемный вес бентонитового раствора; $h_{\text{крит}}$ — критическая глубина; h — глубина ниже уровня верха стены в грунте.

*/ Loreck C., Triantafyllidis T. Berücksichtigung des Frischbetondrucks bei der FE-Simulation der Schlitzandherstellung // Bautechnik. — 2007. — No 9. — S. 646–655.

Определение $h_{\text{крит}}$

Сводная таблица по опытным захваткам стены в грунте

№	Город, год	Глубина стены в грунте Н, м	Средняя скорость бетонирования V, м/час	Критическая глубина $H_{\text{крит}}$, м		$H_{\text{крит}}$ (мониторинг)/ Н
				Мониторинг	М.Л. Lings с соавторами [104] ($H_{\text{крит}}=H/3$)	
1	Осло, 1972	20	н/д	6	6,7	0,30
2	Севилья, 1977	34	н/д	10	11,3	0,29
3	Париж, 1979	20,4	9,65	11,6	6,8	0,57
4	Кембридж, 1994	17	5	5	5,7	0,29
5	Гамбург, 1994	25	5,1	6,2	8,3	0,25
6	Руан, 2002	16,5	4,1	4,2	5,5	0,25
7	Амстердам, 2002 (захватка № 3)	55	16,1	14,4	18,3	0,26
8	Амстердам, 2002 (захватка № 4)	30	7,1	11,4	10,0	0,38
9	Роттердам, 2005 (захватка №34)	41	7,6	8	13,7	0,20
10	Роттердам, 2005 (захватка №36)	41	6,5	5,7	13,7	0,14

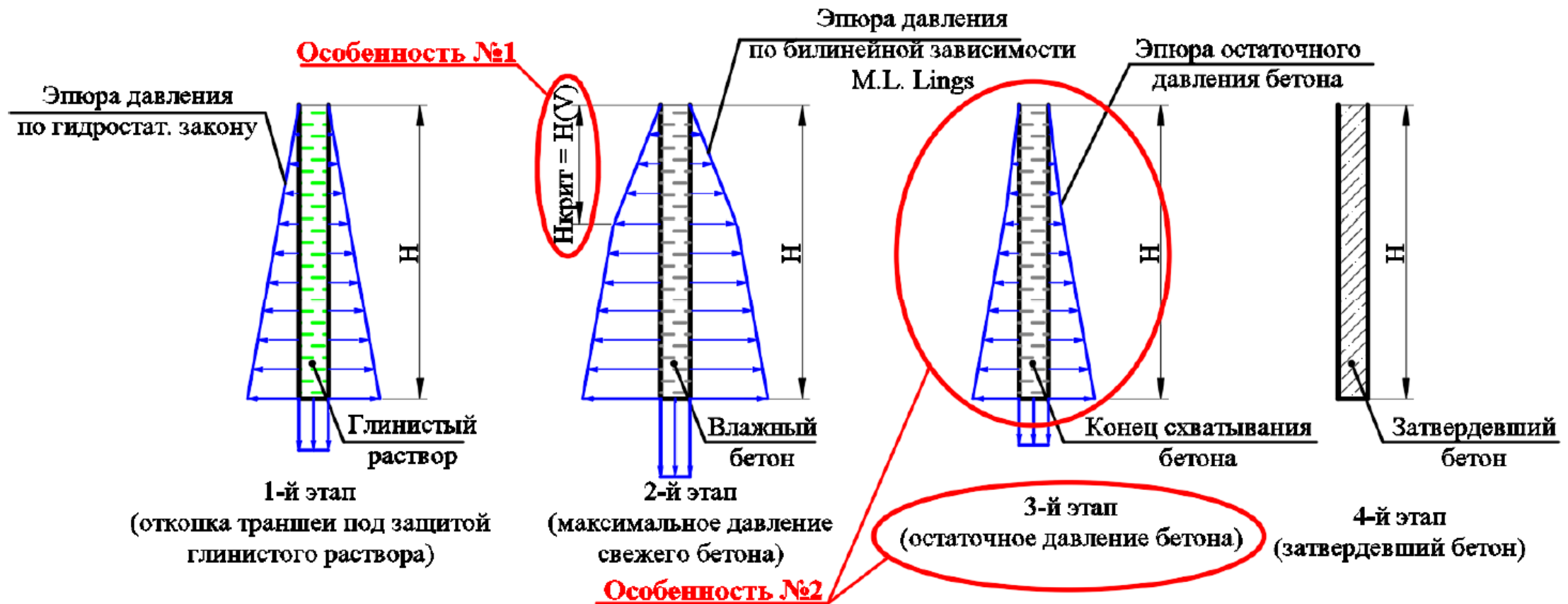


$$h_{\text{крит}}(V) = \alpha V + 1,78,$$

где α – эмпирический коэффициент, равный 0,85 ч;

V – средняя скорость бетонирования стены в грунте, м/час

Этапы изменения НДС в процессе бетонирования



Определение остаточного давления бетона

В общем случае значение дополнительных эффективных напряжений, возникающих в грунте на границе с бетоном буронабивной сваи на глубине z ($\Delta\sigma'_{gz}$), будет равно

$$\Delta\sigma'_{gz} = \sigma_{bz} - \sigma_w - \sigma'_{gz} , \quad (1)$$

где σ_w – давление в поровой воде; σ'_{gz} – эффективное горизонтальное напряжение от собственного веса грунта;

$$\sigma'_{gz} = K_0 \gamma' z \quad (2)$$

Для нормально уплотненного грунта может быть определен через коэффициент поперечной деформации v :

$$K_0 = v / (1 - v) \quad (3)$$

или по эмпирической формуле Jaky

$$K_0 = (1 - \sin[\varphi]) \quad (4)$$

Для случая переуплотненного грунта

$$K_0 = (1 - \sin[\varphi]) \cdot [\text{OCR}]^{\sin\varphi} \quad (5)$$

Зависимость горизонтального давления грунта от грунтовых условий после бетонирования

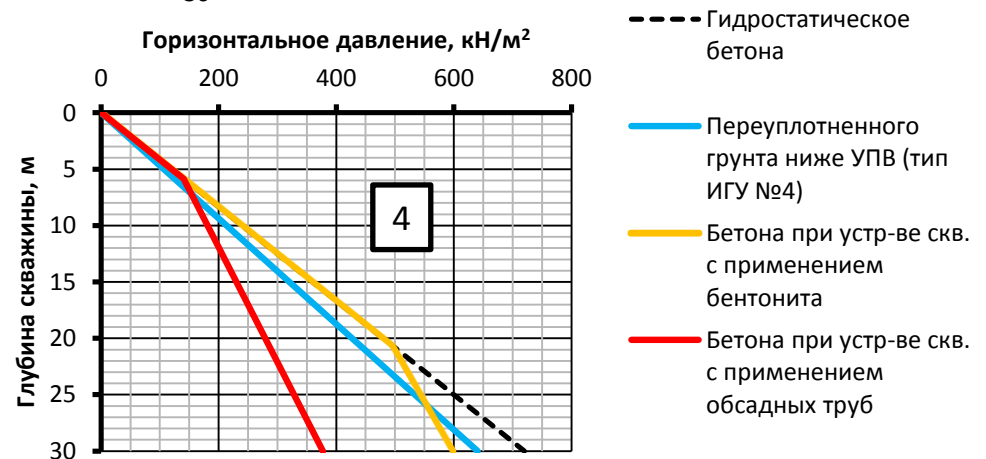
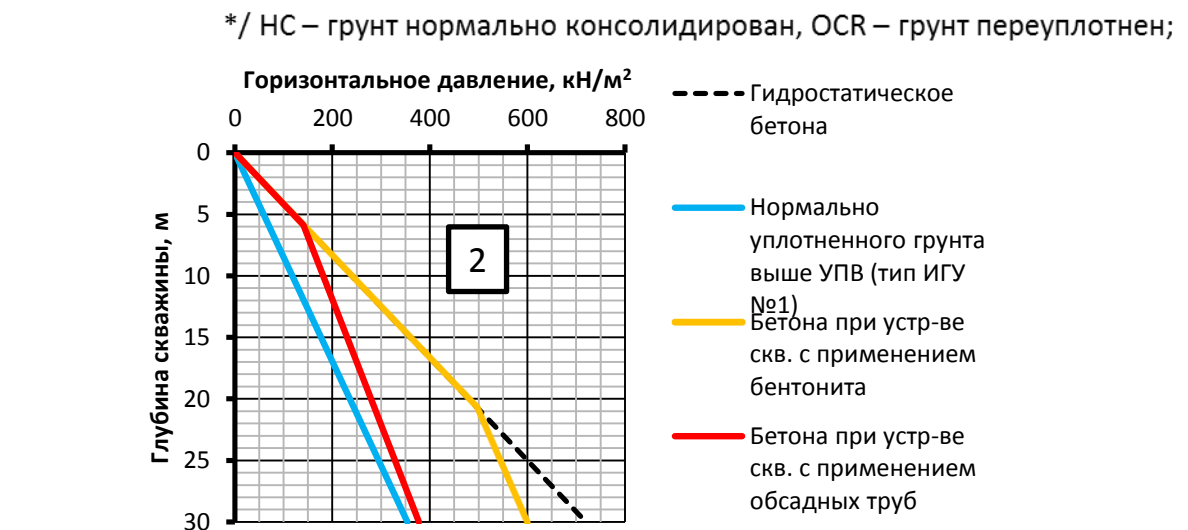
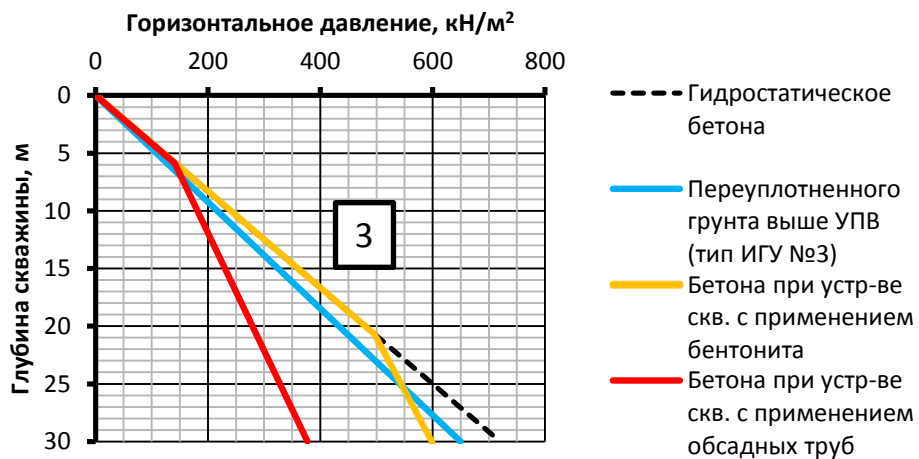
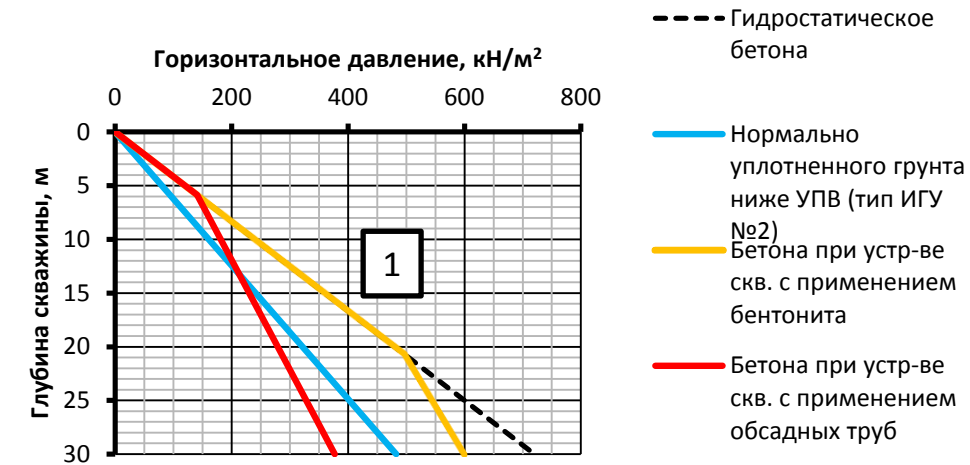


Таблица 1 – Тип грунтовых условий

Тип грунтовых условий (ИГУ)	Состояние грунта*	УПВ**
1	НК	-
2	НК	+
3	OCR	-
4	OCR	+

*/ НК – грунт нормально консолидирован, OCR – грунт переуплотнен;



МИНСТРОЙ
РОССИИ



с 1927 ГОДА
95
ЛЕТ

НОСТРОЙ
НАЦИОНАЛЬНОЕ
ОБЪЕДИНЕНИЕ СТРОИТЕЛЕЙ

IFAC
INTERNATIONAL
ASSOCIATION OF
FOUNDATION
CONTRACTORS
МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ
ФУНДАМЕНТОСТРОИТЕЛЕЙ

10 ЛЕТ
2012

5. Взаимодействие свай с грунтом и между собой в свайном поле

Исследование взаимовлияния баретт на объекте Охта Центр

План расположения баретт

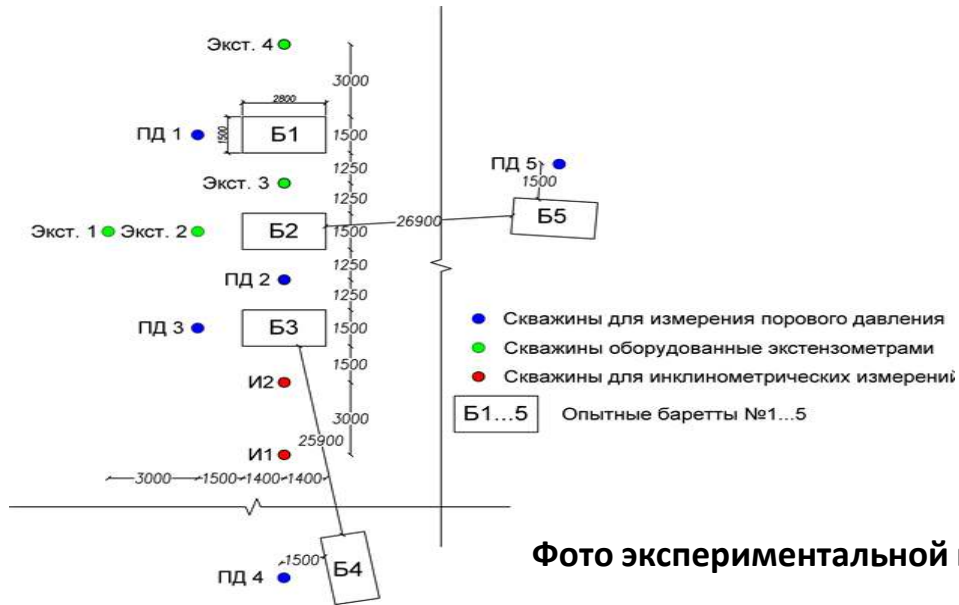


Фото экспериментальной площадки

Режим проведения испытаний

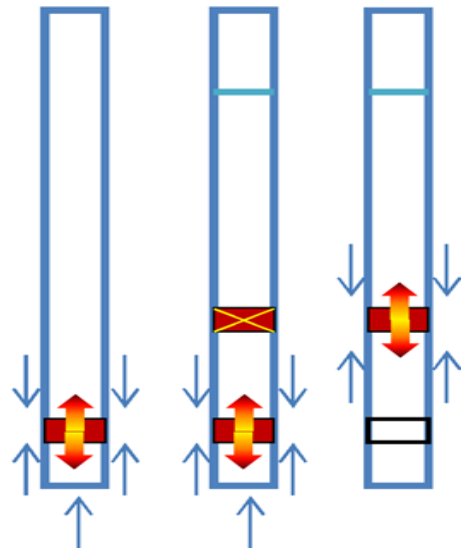
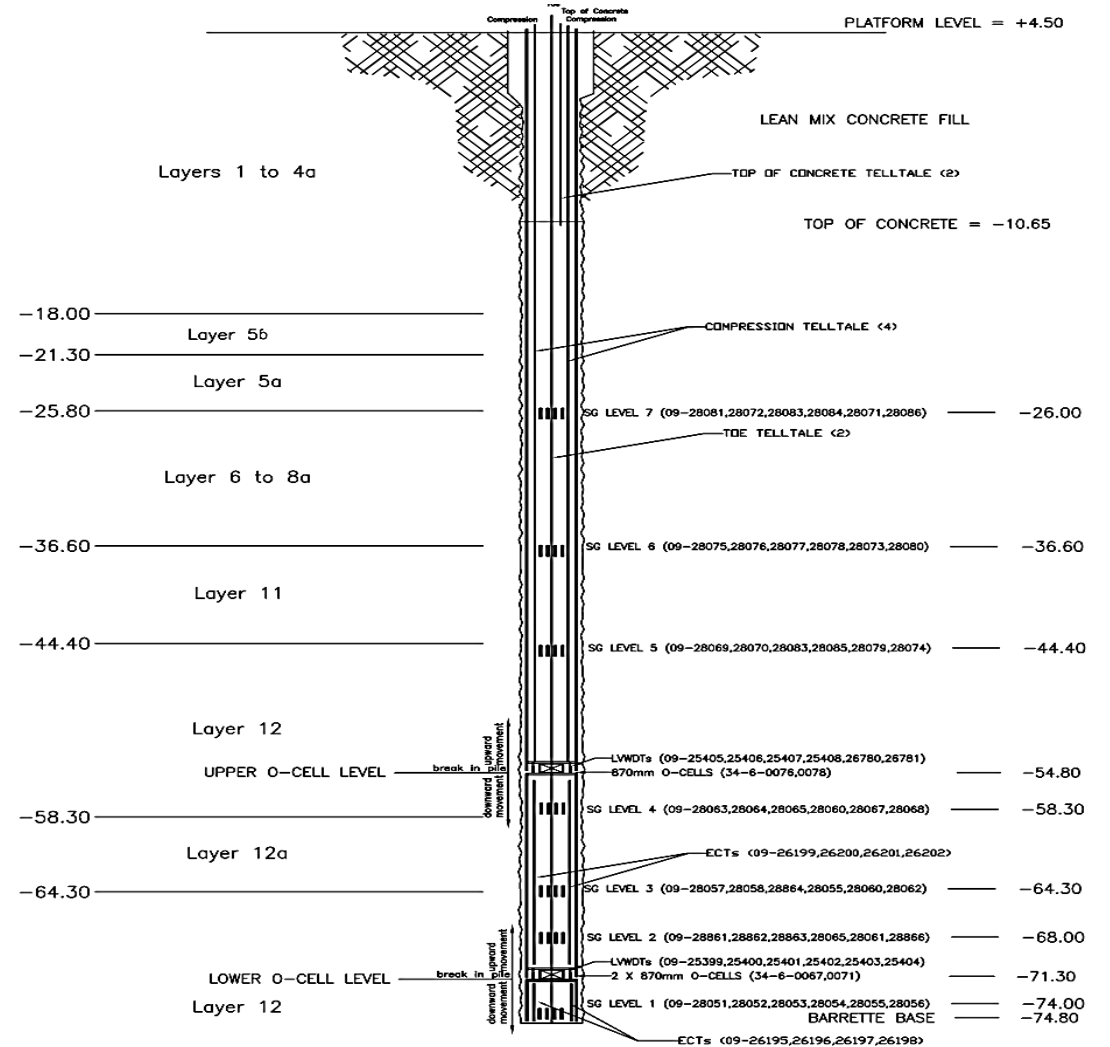


Схема размещения домкратов и датчиков в теле баретты



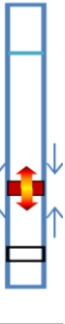
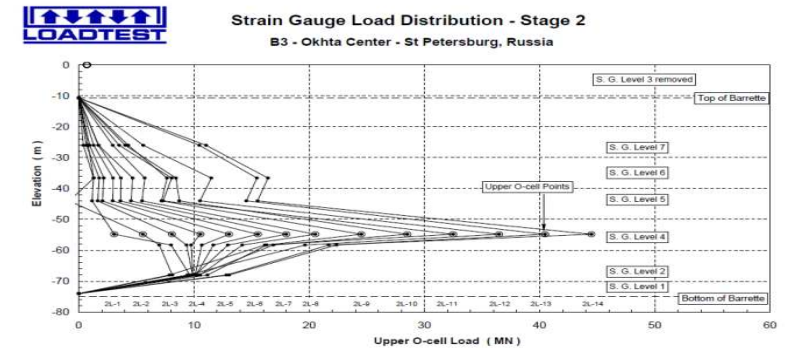
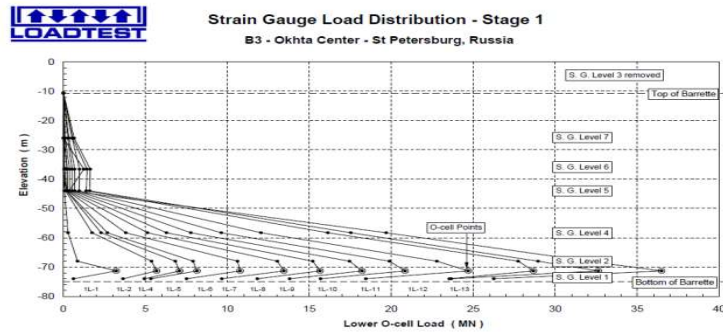
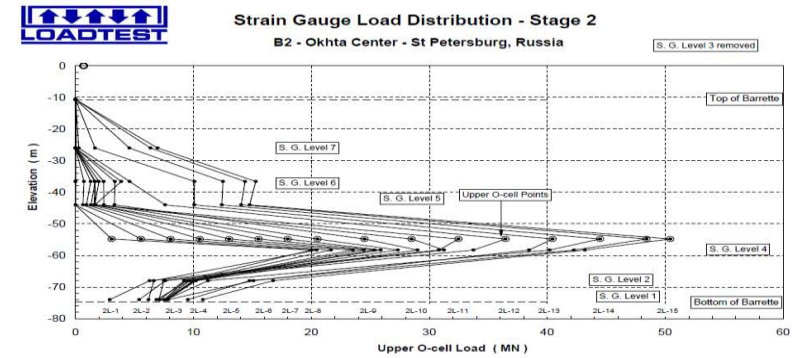
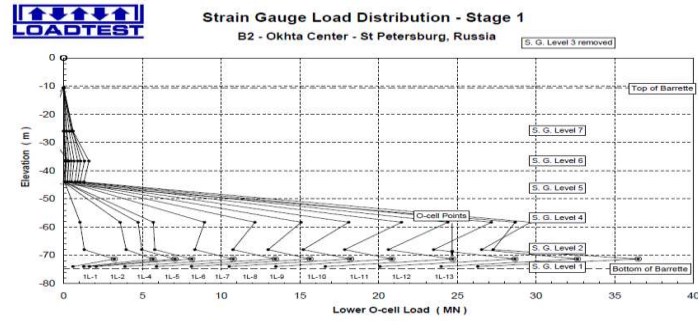
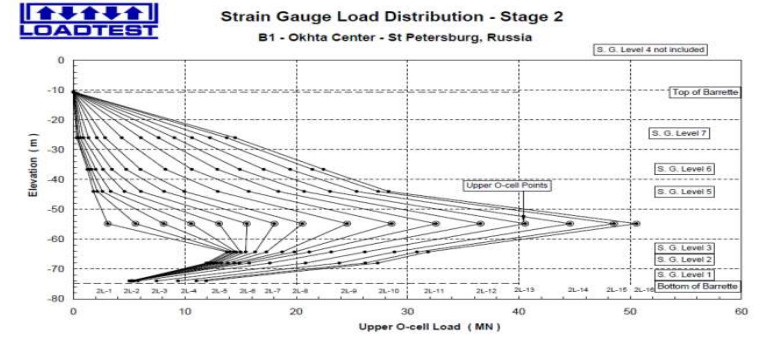
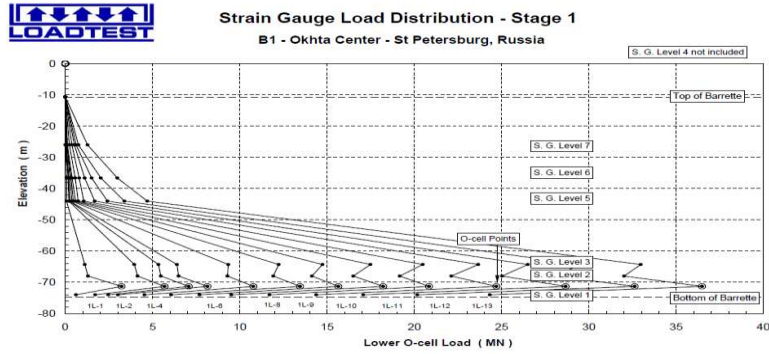
Конструкция опускных домкратов (4 – 7 12.09г.)



Испытание грунта бареттами 15.01.10

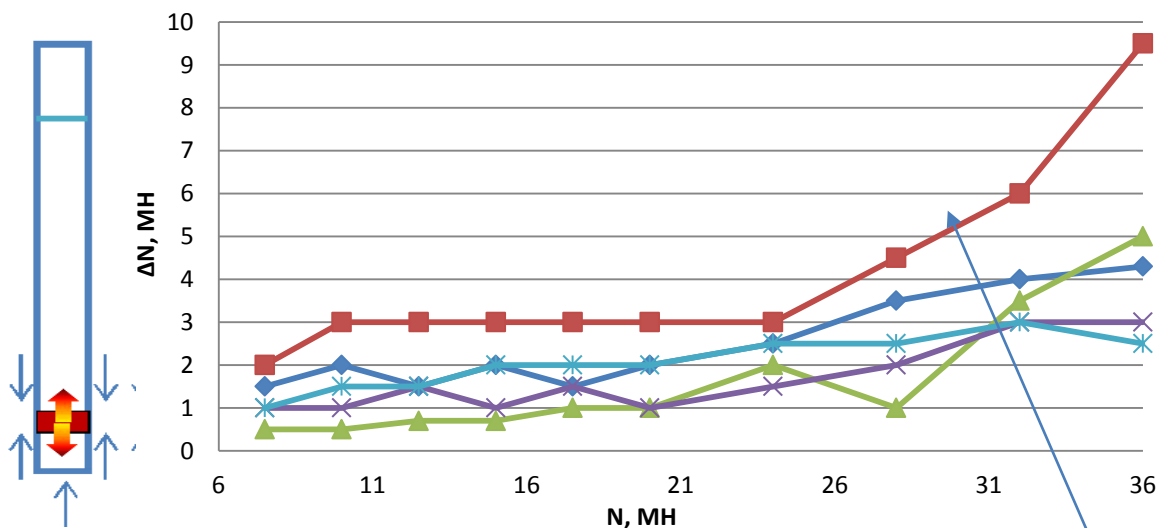


Распределение усилий в бареттах в процессе испытаний

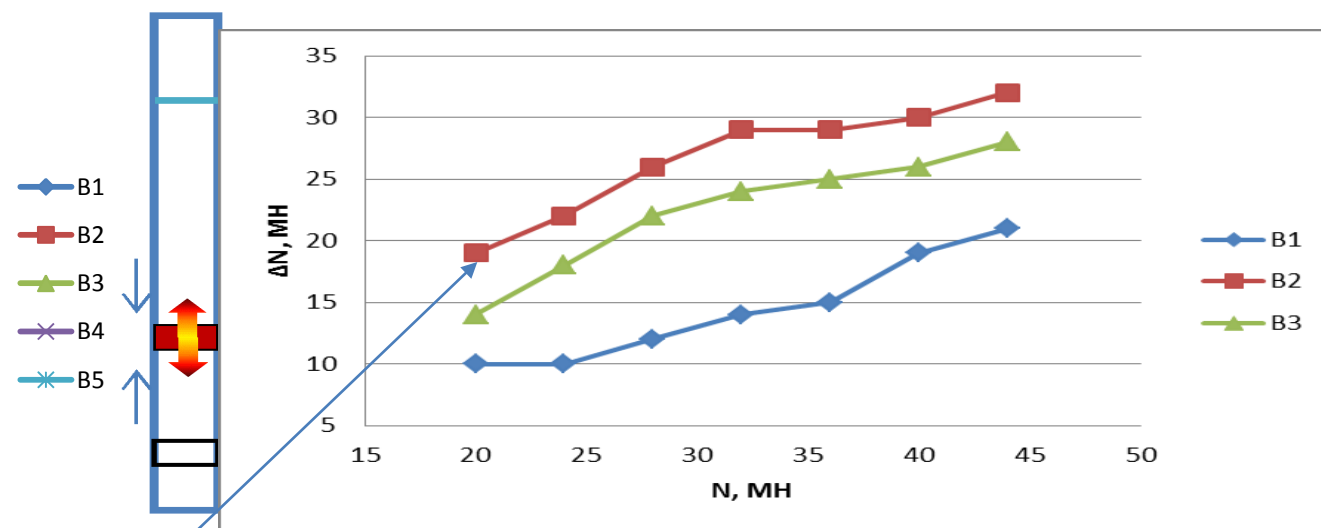


Результаты испытания баретт методом опускных домкратов

Изменение усилия в теле баретт ΔN в процессе 1-й стадии нагружения, зафиксированное между датчиком 2-го уровня и нижней ячейкой O-Cell



Изменение усилия в теле баретт ΔN в процессе 2-й стадии нагружения, зафиксированное между датчиками 5-го уровня и верхней ячейкой O-Cell



Баретта B2

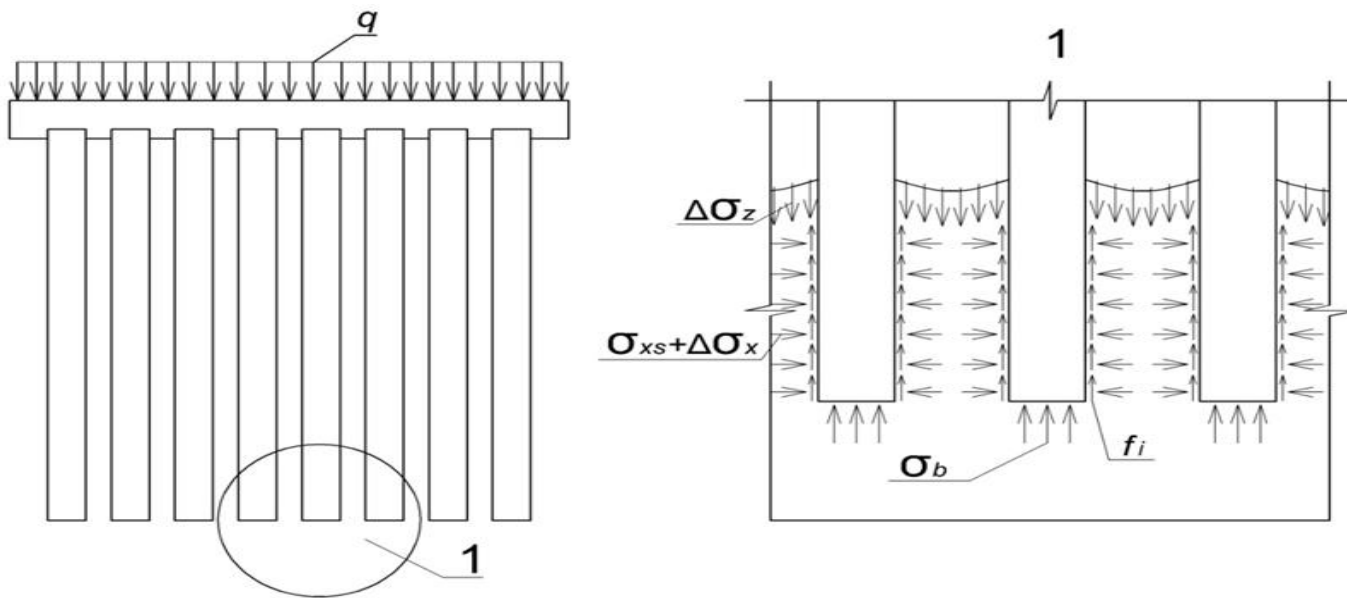
Центральная баретта в результате влияния крайних баретт обладает повышенной несущей способностью!

Изменение НДС окружающего массива грунта

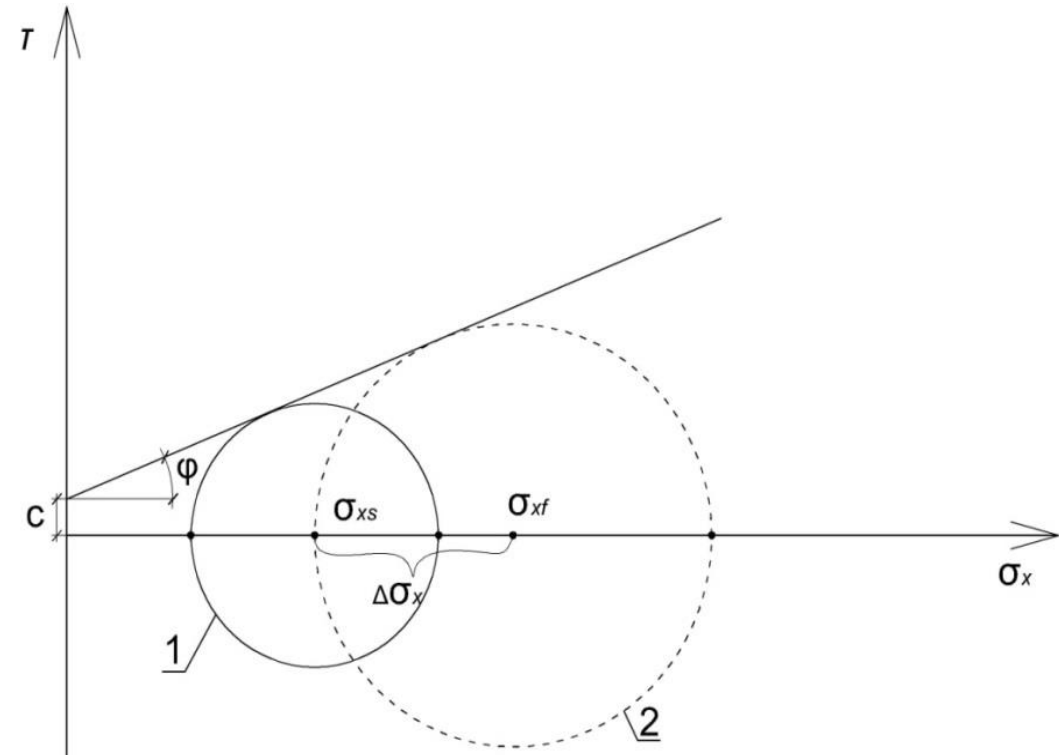
Механизм взаимодействия сваи с грунтом

Сравнение величин нормальных напряжений для одиночных свай 1 и свай в составе свайного поля 2

Распределение напряжений между сваями



$$f_i = (\sigma_{x,s} + \Delta \sigma_x) \operatorname{tg} \phi + c \quad (1)$$





МИНСТРОЙ
РОССИИ



с 1927 ГОДА
95
ЛЕТ

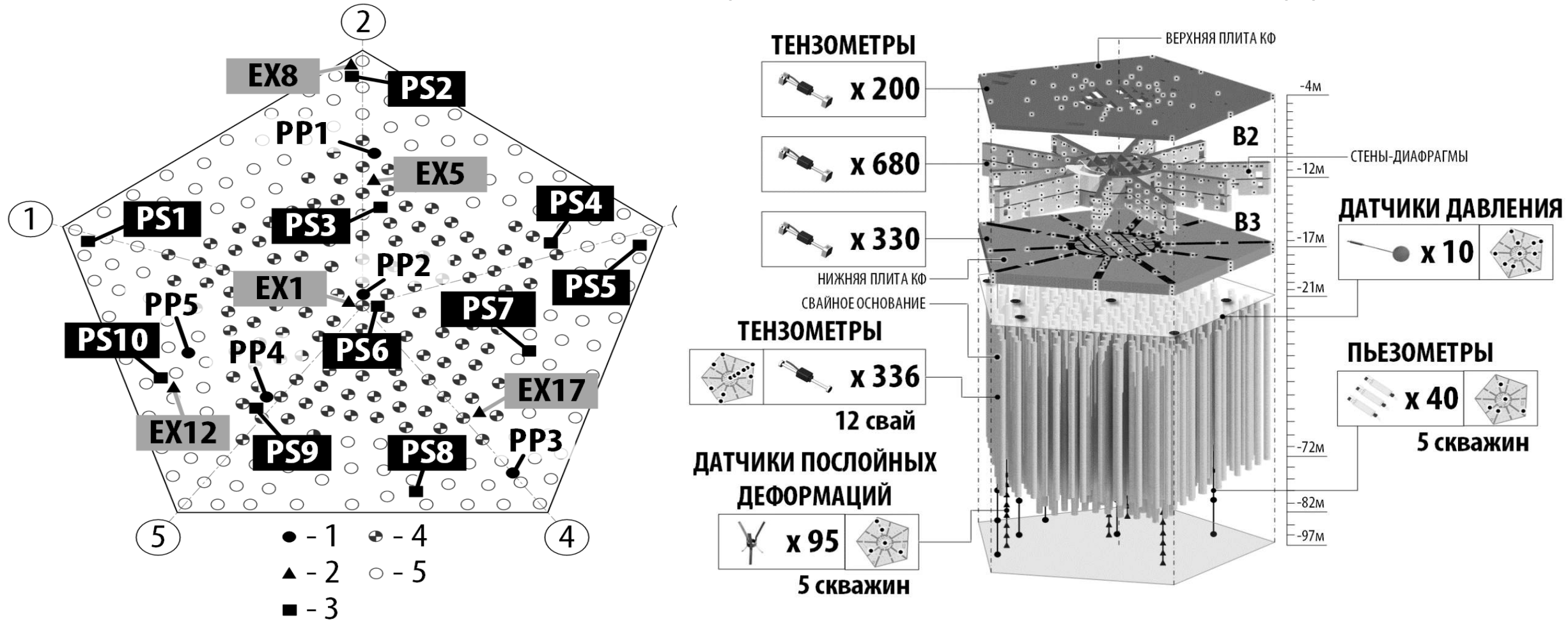
НОСТРОЙ
НАЦИОНАЛЬНОЕ
ОБЪЕДИНЕНИЕ СТРОИТЕЛЕЙ

IFAC
INTERNATIONAL
ASSOCIATION OF
FOUNDATION
CONTRACTORS
МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ
ФУНДАМЕНТОСТРОИТЕЛЕЙ

10 ЛЕТ 2012

6. Результаты мониторинга

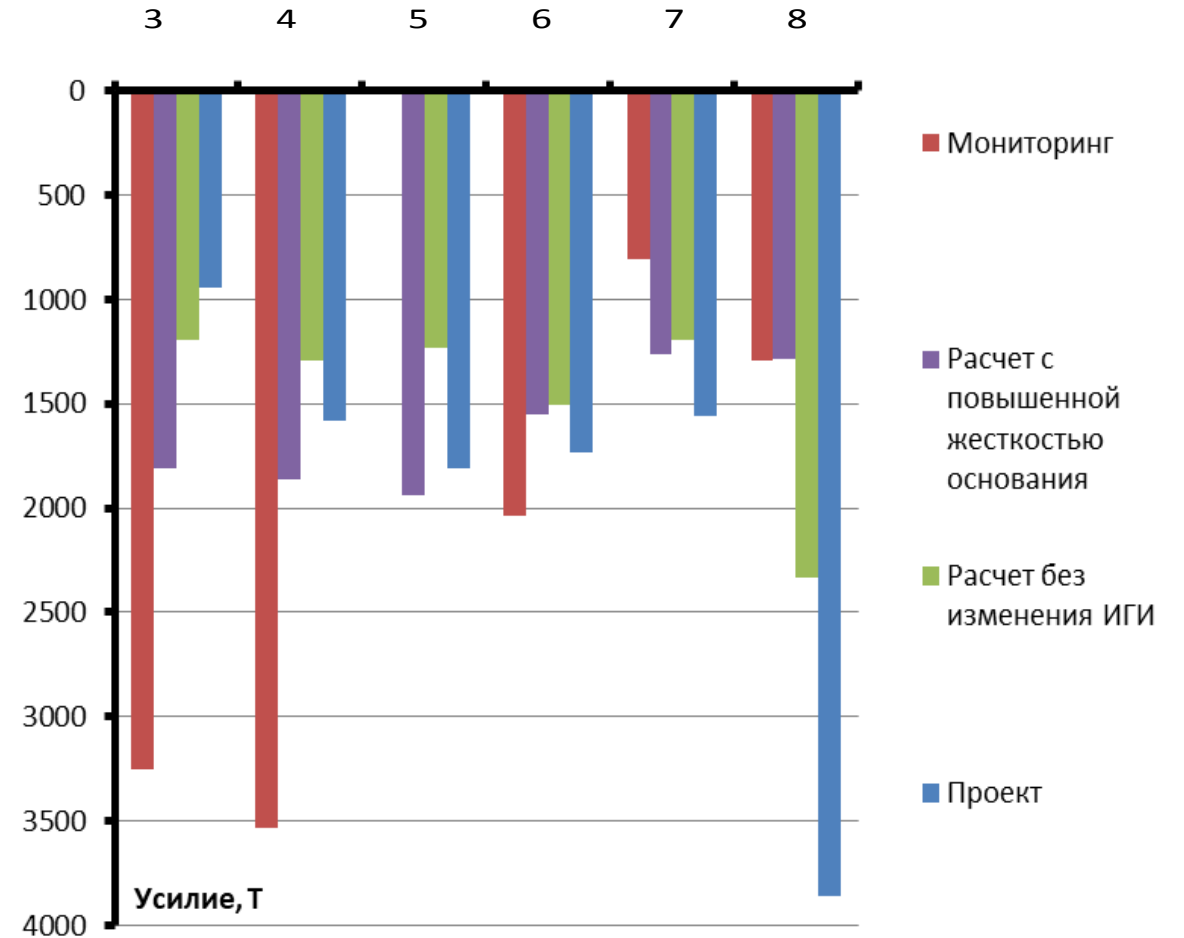
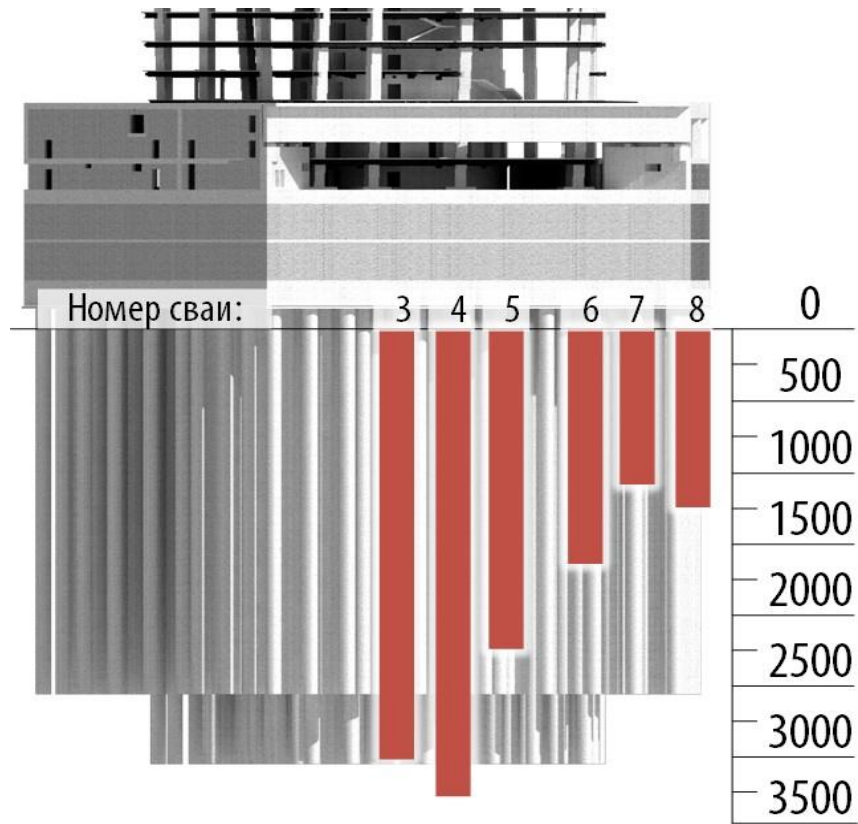
Общий состав системы мониторинга подземной части сооружения



Условные обозначения: 1 – скважины с датчиками порового давления (PP1..PP5); 2 – скважины с датчиками послойных деформаций (EX1...EX17); 3 – датчики контактного давления под подошвой фундамента (PS1..PS10); 4 – сваи длиной 65 м; 5 – сваи длиной 55 м.

2800 датчиков!

Схема распределения усилий в головах свай по результатам мониторинга и расчёта





МИНСТРОЙ
РОССИИ



с 1927 ГОДА
95
ЛЕТ

НОСТРОЙ
НАЦИОНАЛЬНОЕ
ОБЪЕДИНЕНИЕ СТРОИТЕЛЕЙ

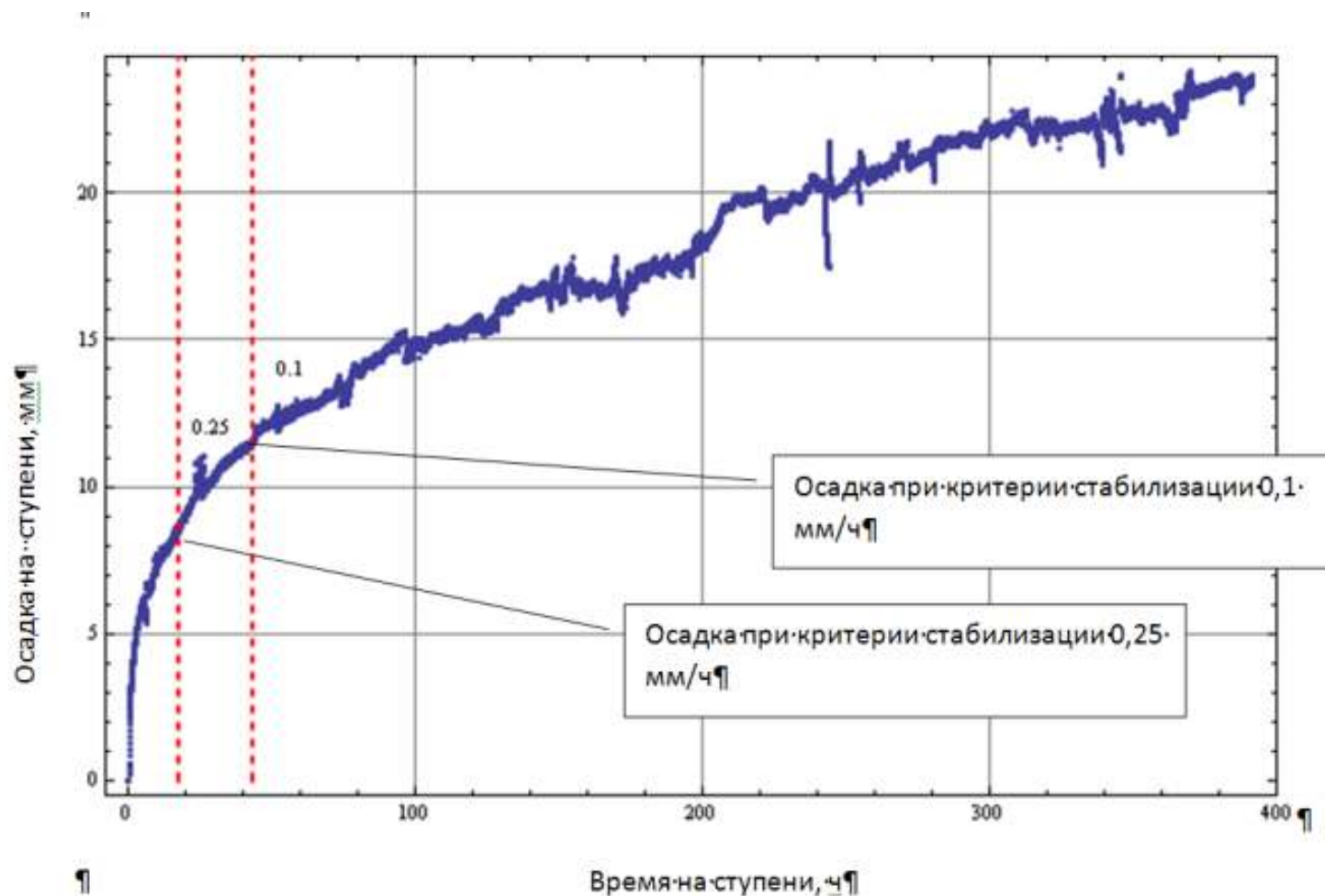
IFAC
INTERNATIONAL
ASSOCIATION OF
FOUNDATION
CONTRACTORS
МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ
ФУНДАМЕНТОСТРОИТЕЛЕЙ

10 ЛЕТ
2012

7. Ползучесть грунта

.

Развитие осадки во времени в процессе испытания нижнего конца баретты методом опускных домкратов (Лахта Центр)



Спасибо за внимание





I МЕЖДУНАРОДНЫЙ
СТРОИТЕЛЬНЫЙ
КОНГРЕСС

| Спасибо за внимание!