

МАНГУШЕВ Р.А., ОШУРКОВ Н.В.

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет  
г. Санкт-Петербург, Россия

УДК 624.131

## **ВЛИЯНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА ИЗМЕНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ҐРУНТОВ ПРИ УСТРОЙСТВЕ КОТЛОВАНА БОЛЬШОГО ОБЪЕМА**

*Ключевые слова: котлован, характеристики ґрунта, статическое зондирование, численные расчеты*

*Розглянута методика та результати дослідження зміни характеристик ґрунтового масиву під впливом упорядкування підземної частини будівлі. Наводяться чисельні оцінки зміни деформаційних та міцнісних характеристик ґрунтів в котловані та зовні котловану, в основі будівель оточуючої забудови.*

*Рассмотрены методика и результаты исследования изменений характеристик ґрунтового массива под влиянием устройства подземной части здания. Приводятся численные оценки изменения деформационных и прочностных характеристик ґрунтов в котловане и вне котлована, в основании зданий окружающей застройки.*

*The methods and test results of the characteristics of soil under the underground part of the building are considered. The estimation of the change of deformation and strength characteristics of soil in the excavation pit and outside the pit in the base of the surrounding buildings are given.*

### **ВВЕДЕНИЕ**

Практика современного строительства подземных пространств большого объема в условиях плотной городской застройки требует учета влияния техногенных факторов на изменение характеристик ґрунтов в ходе строительства. Эти изменения касаются как ґрунтов в основании возводимого сооружения, так и в стороне от него - в зоне влияния строительства. Особую актуальность учет изменений характеристик ґрунтов приобретает при вскрытии котлована большого объема в сложных геотехнических условиях. Такая информация позволяет провести геотехнические расчеты для уточнения напряженно-деформированного состояния ґрунтов основания с целью прогноза осадок сооружения

и соседних зданий на наиболее ответственных стадиях разработки котлована. Техногенное воздействие на ґрунт основания может иметь как локальный, так и общий (территориальный) характер. Локальные изменения ґрунтов основания при выполнении работ по производству свай в ґрунте по различным технологиям рассмотрены нами ранее в работах [1, 2, 3].

В настоящей статье рассмотрены изменения характеристик ґрунтов при устройстве котлована размером 150 x 80 м глубиной 12,5 м в условиях плотной застройки и слабых ґрунтов Санкт-Петербурга [7].

### **ОСНОВНЫЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ПОДЗЕМНОЙ ЧАСТИ СООРУЖЕНИЯ И ЗДАНИЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ ЗАСТРОЙКИ**

#### **Ограждающие и распорные конструкции котлована**

Шпунтовое ограждение, выполненное из металлического шпунта AU Arcelor 18, погруженный вибрированием на глубину 21 м.

Ограждающая «стена в ґрунте», выполненная из секущихся ґрунтоцементных свай, изготовленных методом Jet-grouting, усиленных металлическими двутаврами № 40 и установленных с шагом 1,0 м. «Стена в ґрунте» с установленными двутаврами и шпунт поверху объединены железобетонной балкой шириной 2,3 м и высотой 1,15 м.

Горизонтальная ґрунтоцементная диафрагма, предусмотренная на глубине 11,5...14 м, изготовлена по технологии Jet-grouting. Проектная прочность материала диафрагмы на одноосное сжатие не менее 1,0 МПа, модуль деформации – не менее 400 МПа. Временные буронабивные сваи длиной 29 м, диаметром 600 мм, устроенные внутри котлована по сетке с шагом 6 x 6 м. Постоянные буровые сваи диаметром от 800 мм до 1200 мм, являющиеся постоянными конструк-



циями в составе плитного ростверка и устроенные ниже дна котлована. Распорные железобетонные плиты, возводимые на отметках -4,41 и -11,1 м (верх плит). Плита на отметке -4,41 имеет толщину 400 мм и опирается на временные сваи. Плита на отметке -11,1 имеет толщину 1200 мм и ее основанием служат постоянные буровые сваи.

Обвязочные балки на отметке -8,11 м и участки поперечных стен с целью обеспечения дополнительной жесткости ограждения котлована в этом уровне.

Окружающая застройка представляет собой 4...7-ми этажные жилые здания дореволюционной постройки с продольными и поперечными несущими стенами и ленточными фундаментами. Наиболее близко от котлована расположены 4-х и 5-ти этажные здания – на расстоянии 14 м.

Влияние работ, связанных с вибропогружением шпунта, устройством постоянных и временных свай, создания грунтоцементной горизонтальной и вертикальной диафрагмы могли привести к серьезным изменениям физико-механических и прочностных характеристик грунтов в котловане и за его пределами. По данным предпроектных изысканий 2005 г. инженерно-геологическое строение участка характеризуется следующим залеганием грунтов.

Насыпной слой (ИГЭ-1) мощностью от 1,5 до 3,4 м, представлен мелким строительным мусором, песками разной крупности и супесями пластичными.

Под насыпными грунтами залегают литориновые (озерно-морские) отложения, представленные песками пылеватыми (ИГЭ-2) мощностью от 2,4 до 4,5 м и суглинками пылеватыми (ИГЭ-3) мощностью от 1,2 до 2,0 м. Литориновые пески и суглинки обладают тиксотропными свойствами. Подстилающие их озерно-ледниковые отложения представлены суглинками пылеватыми, ленточными, текучими (ИГЭ-4). Мощность озерно-ледниковых отложений составляет от 3,4 до 8,3 м. Эти грунты также как и литориновые осадки относятся к тиксотропным грунтам.

Ледниковые отложения представлены супесями пылеватыми с линзами песка (ИГЭ-5) мощностью от 0,7 до 4,9 м, суглинками легкими пылеватыми с линзами и прослоями песка разной крупности тугопластичными (ИГЭ-6) мощностью от 1,7 до 9,3 м, суглинками легкими пылеватыми зеленовато-серыми с линзами, прослоями песка и щебнем песчаника, полутвердой консистенции (ИГЭ-7) мощностью от 0,9 до 6,1 м.

Ледниковые отложения залегают на коренных отложениях вендского комплекса верхнекотлинской подсвиты, представленных голубовато-серыми, зеленовато-серыми и голубовато-зелеными пылеватыми глинами, кровля которых вскрыта на глубине 22,4...28,0 м.

Кровля коренных глин до глубины 27,2...32,7 м затронута ледниковой дислокацией, для них характерны включения редкого гравия (ИГЭ-8). Ниже залегают глины пылеватые твердые плитчатые (ИГЭ-9). Вскрытая мощность коренных глин составляет 2,4...10,8 м.

#### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ГРУНТОВОГО МАССИВА

Оценка влияния устройства подземного пространства на характеристики грунтов была выполнена путем сравнительного анализа результатов статического зондирования, полученных в 2005 и 2009 г. В 2005 г. статическое зондирование было выполнено ООО «Изыскатель» в ходе предпроектных изысканий\*. Зондирование осуществлялось зондом СРТ шведской фирмы Geotech AB, соответствующим типу II российской классификации [7].

В 2009 г. статическое зондирование выполнялось



Рис. 1 Статическое зондирование грунтов на площадке № 1



Рис. 2 Погружение зонда на площадке № 3

Научным и производственно-консалтинговым центром геотехнологий Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета по программе научно-технического сопровождения строительства. Зондирование проводилось в период после завершения устройства свай, ограждения котлована и разработки котлована на 2/3 его глубины, то есть до осуществления наиболее ответственного этапа работ – вскрытия нижней части котлована.

С учетом интенсивной разработки котлована по методу «Top-Down» и крайней стесненности на строительной площадке исследования были проведены с применением современного многоканального зонда СРТ-U фирмы «Geotech AB» PROBE No. 3531. По ГОСТ 19912 [7] зонд соответствует типу II. Погружение зонда производилось шведской малогабаритной самоходной геотехнической установкой RIG 204D фирмы Geotech AB (рис. 1 и 2).

Для проведения опробования грунтов методом статического зондирования были выбраны 4 площадки – одна в котловане и три за его пределами. На каждой из них выполнено от 6 до 14 пунктов статического зондирования, размещенных на расстоянии не более 1 м друг от друга (рис. 3).

Размещение пунктов зондирования на каждой площадке принято линейным вдоль ограждения котлована с тем, чтобы в сечениях, удаленных от ограждения на различные расстояния, зафиксировать средние характеристики грунтов.

Основными параметрами, использованными для определения физико-механических характеристик, служили



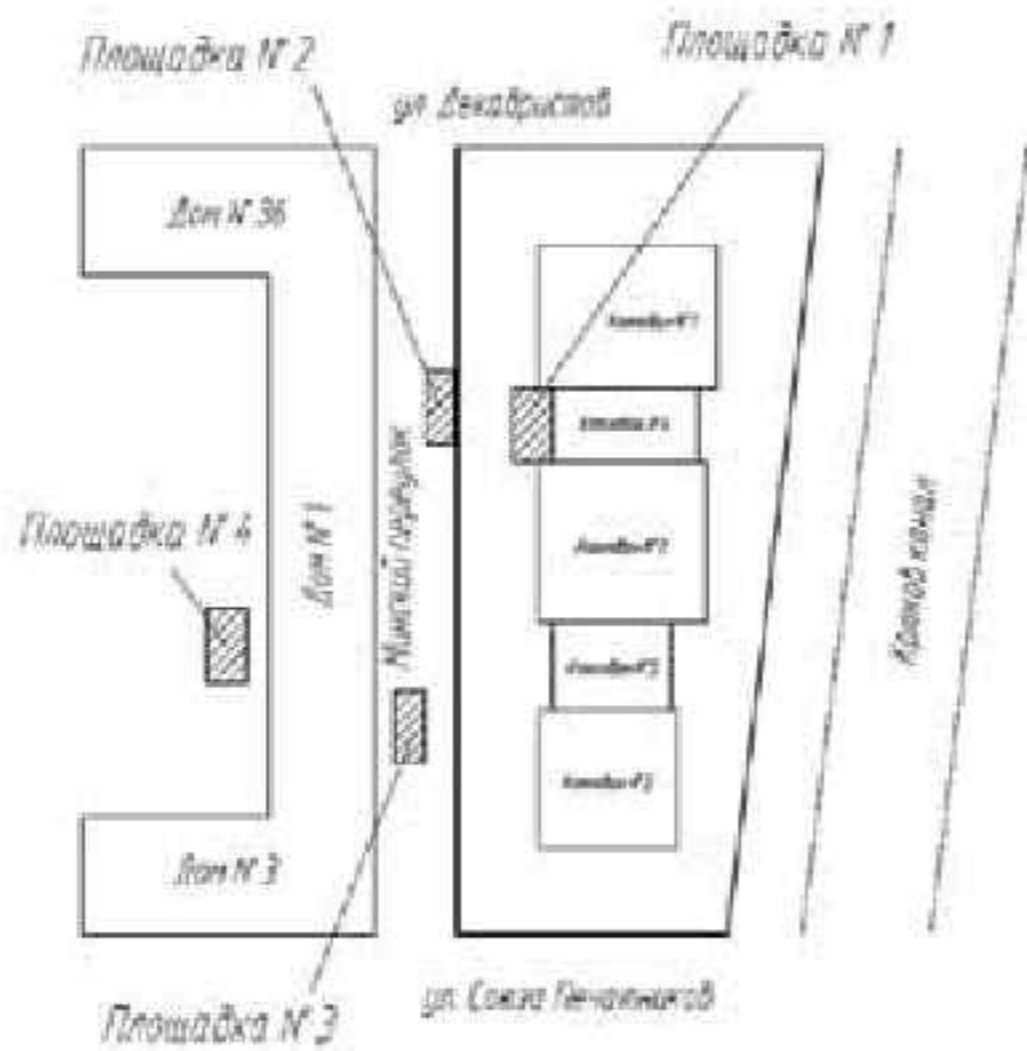


Рис. 3 Схема размещения площадок статического зондирования

сопротивление грунта внедрению конуса  $q_c$  и трение по боковой поверхности  $f_s$ . Дополнительными параметрами состояния и свойств грунтов служили поровое давление  $u$ , температура  $t$ , угол наклона зонда  $T$  по отношению к вертикали. Эти параметры использовались для оценки условий зондирования, неоднородности и изменчивости характеристик грунта. Учитывая возможность измерения состава и вида грунта под влиянием техногенного воздействия, для каждого инженерно-геологического элемента был выполнен контроль неизменности вида грунта по Р.К. Robertson et al. [4] с использованием  $q_c$  и параметра  $R_f = (f_s/q_c) \cdot 100\%$ . Оценка показателей физико-механических характеристик грунтов производилась с использованием таблиц и номограмм СП 11-105 [5] и ТСН 50-302 [6].

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК ҐРУНТОВОГО МАССИВА**

Использование числовых файлов регистрируемых параметров в точках зондирования, сопоставление их с материалами предыдущих статических зондирований 2005 г. и статистическая обработка совокупности данных позволили построить графики изменений средних значений изучаемых параметров для каждой площадки исследования.

Так на площадке №1, расположенной в зоне котлована на глубине 4 м, выполнено 14 пунктов зондирования. Грунты этой площадки более всего подвергались интенсивному воздействию строительства при вибропогружении шпунта, при устройстве постоянных и временных буровых свай, выполненных под обсадной трубой шнеком по технологиям SOB и DDS. Кроме того в этой зоне производилось устройство горизонтальной и вертикальной грунтоцементной диафрагмы в грунте по технологии jet grouting.

Для этой площадки на рис. 4 приведены изменения по глубине параметров  $q_c$  и  $f_s$ . Кровля горизонтальной грунтоцементной диафрагмы зафиксирована на глубине 7,7 м.

На площадке №2, расположенной на расстоянии 2,6м от котлована, выполнено 10 пунктов зондирования. Зондирование осуществлялось на расстоянии 0,3 м от боковой поверхности железобетонной обвязочной балки наружного ограждения котлована. Грунты на этой площадке подвергались воздействию строительства при вибропогружении шпунта и при устройстве вертикальной стены в грунте, выполненной по технологии jet grouting. Кроме этого грунты находятся под влиянием нагрузок от близ расположенного дома.

На площадке №3, расположенной на расстоянии 5,6 м

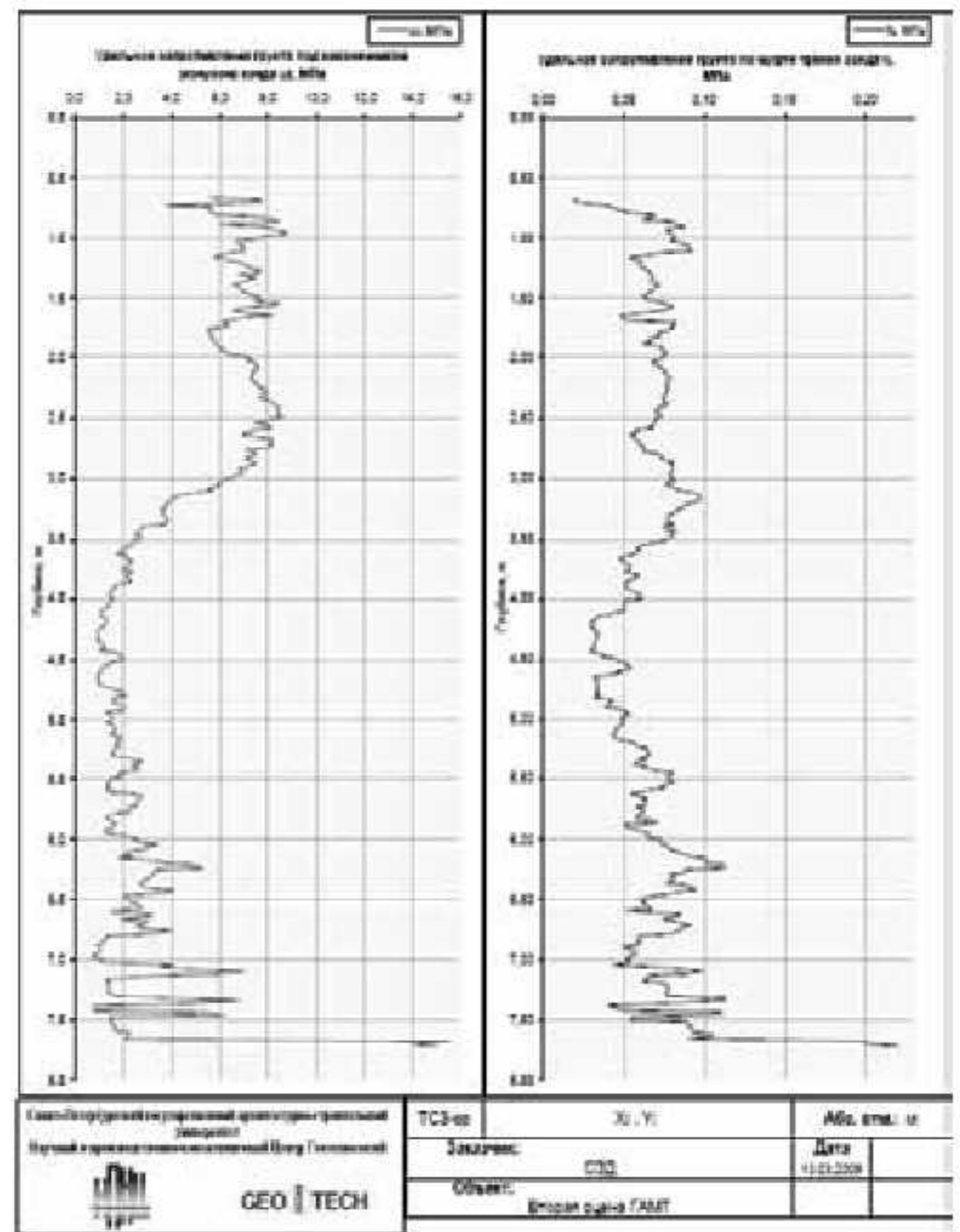


Рис. 4 Графики средних значений  $q_c$  и  $f_s$

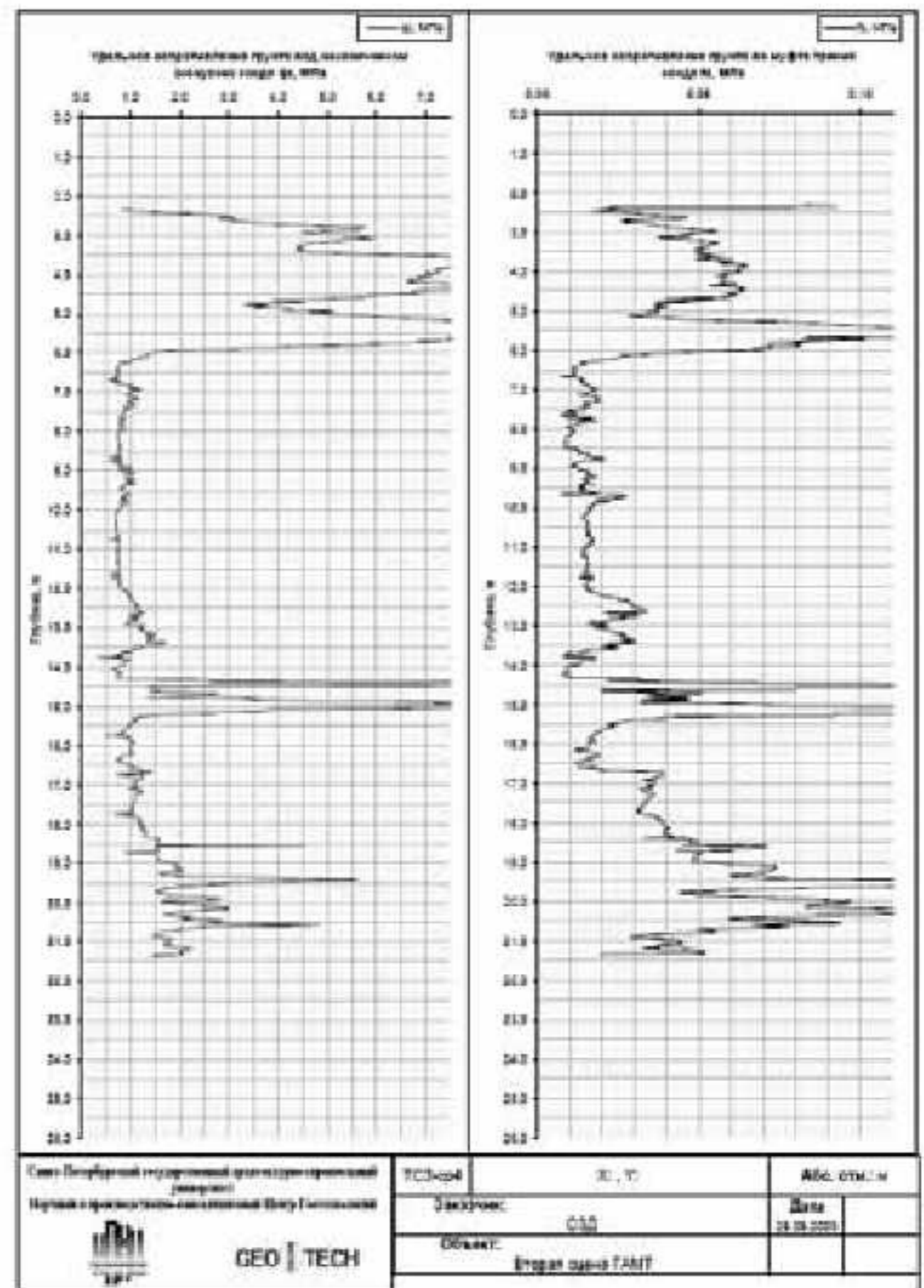


Рис. 5 Графики средних значений  $q_c$  и  $f_s$



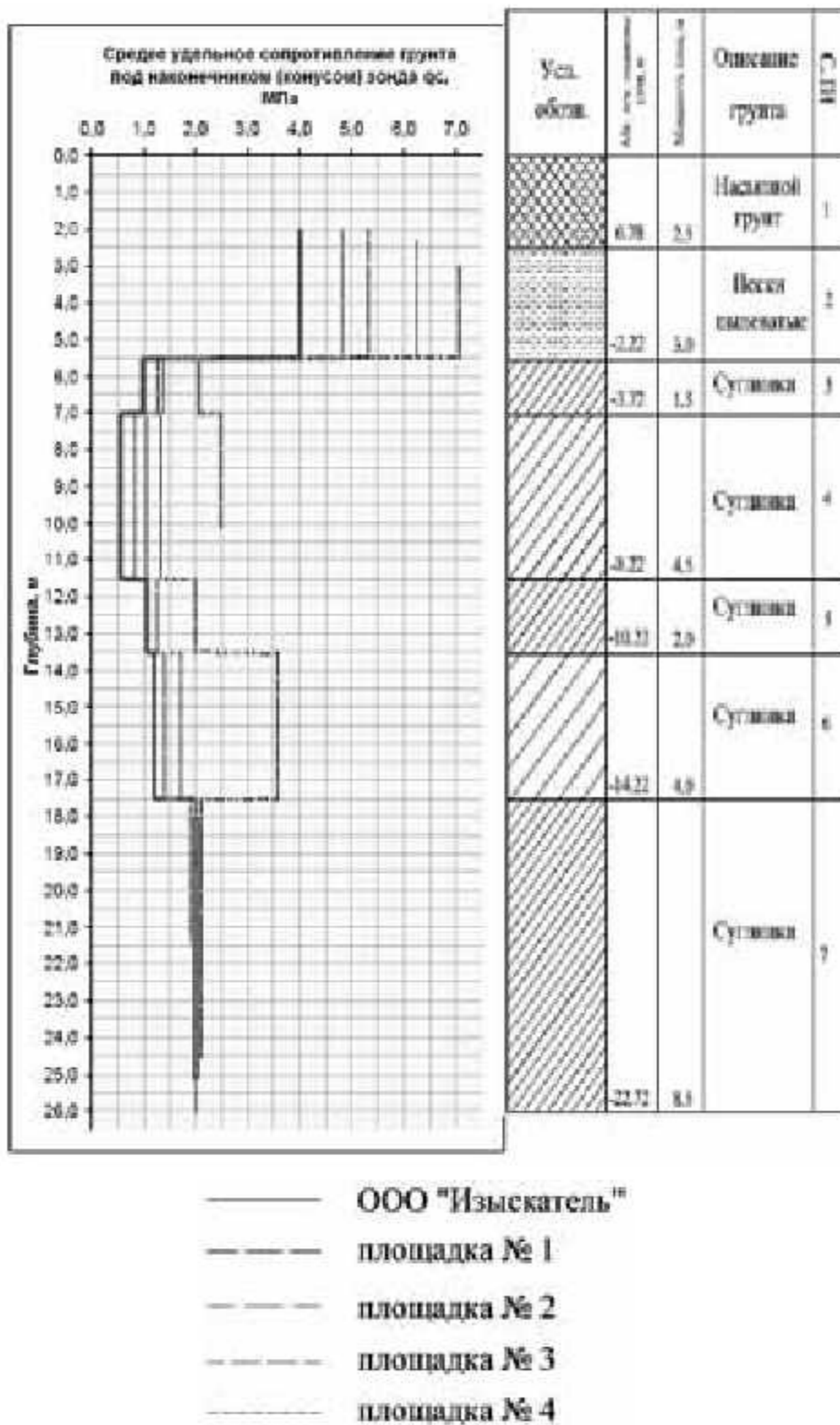


Рис. 6 Графики средних значений  $q_c$  на площадках №№ 1-4 в 2009 г., совмещенные с графиками этих же параметров в 2005 г.

от котлована, выполнено 8 пунктов зондирования, расположенных на расстоянии 3,3 м от наружной грани железобетонной обвязочной балки наружного ограждения котлована.

На наиболее удаленной от строительства площадке № 4, расположенной во дворе жилого дома на расстоянии 25 м от котлована, выполнено 6 пунктов зондирования.

Средние значения параметров  $q_c$  и  $f_s$  на глубине 2,3-21,4 м этой площадки приводятся на рис. 5.

Для сопоставительного анализа изменения грунтового массива под воздействием строительства по данным статического зондирования для каждого инженерно-геологического элемента (ИГЭ) были получены средние значения контролируемых параметров  $q_c$ ,  $f_s$  и  $R_f$ .

Графики, отображающие средние значения этих параметров для каждого ИГЭ, представлены на рис. 6 в сопоставлении с инженерно-геологической колонкой.

Средние значения параметров  $q_c$  и  $f_s$  в 2005 г. были получены по данным зондирования в 8-ми пунктах, расположенных вдоль Минского переулка между площадками №№ 1, 2 и 3.

Анализ приведенных данных показал, что наибольшему воздействию от техногенных воздействий при строительстве подверглись грунты верхней части разреза – ИГЭ-2, 3 и 4, залегающие в котловане. Из сравнения графиков следует, что сопротивление грунтов статическому зондированию на площадке № 1 под воздействием строительства увеличилось

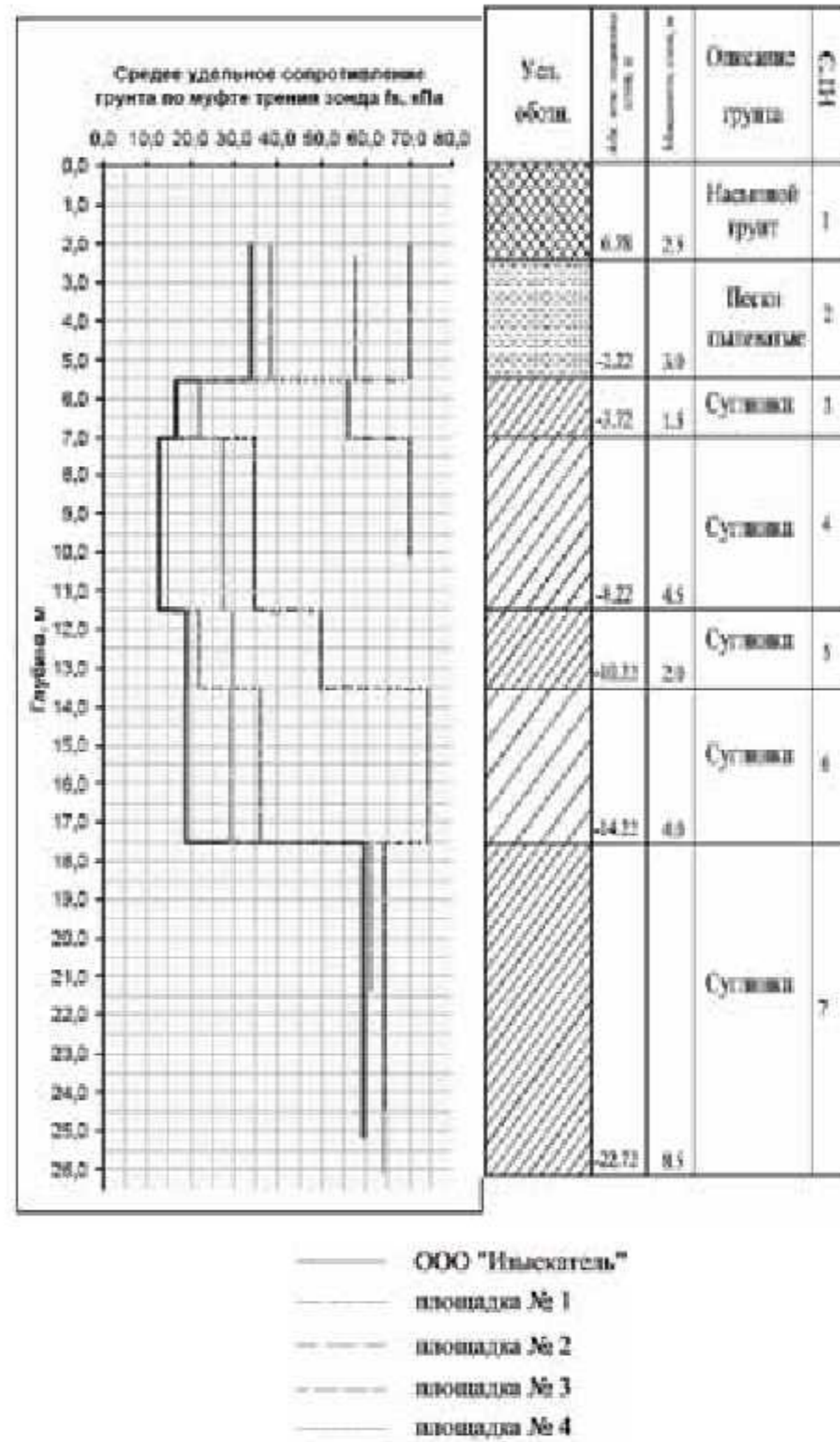


Рис. 7 Графики средних значений  $f_s$  на площадках №№ 1-4 в 2009 г., совмещенные с графиками этих же параметров в 2005 г.

более чем в 2 раза.

За пределами котлована на расстоянии 0,3 м от железобетонной обвязочной балки наиболее значительное увеличение сопротивления грунта  $q_c$ ,  $f_s$  отмечено в суглинках ИГЭ-5 и 6.

На расстоянии 3,3 м от ограждения котлована сопротивление грунта зондированию увеличилось не более чем на 50% по сравнению с сопротивлением грунта до начала строительства.

Отмеченные изменения характеристик грунтового массива в сторону увеличения отчетливо наблюдаются только до глубины 17,5 м в ИГЭ 2...6.

Увеличение значений прочностных и деформационных характеристик грунтов, отмеченное при повторном зондировании, может быть объяснено как уплотнением грунтов ИГЭ 2...6 от техногенного воздействия при изготовлении большого количества свай, восстановлением структурных связей, а также частичным упрочнением грунтов в процессе изготовления цементно-грунтовых диафрагм методом jet grouting. Ниже, в ледниковых суглинках ИГЭ-7, изменение сопротивления грунтов зондированию проявляется незначительно.

Проверка возможного изменения вида грунта была произведена для ИГЭ-2...7 по средним значениям параметров  $q_c$  и  $R_f$ . Результаты проверки свидетельствуют об отсутствии изменения вида грунтов под влиянием строительства. Этот вывод позволил в дальнейших расчетных схемах исполь-



Таблица. 1  
Уточнение значения модуля деформации E, МПа по результатам статического зондирования

№№ ИГЭ	E, МПа			
	2005 г.	Номера площадок		
		№ 1	№ 2	№ 3
2	12,0	21,0	16,0	14,4
3	7,0	14,0	9,0	10,0
4	3,5	17,5	10,0	7,0
5	9,3	-	11,5	9,8
6	9,3	-	15,0	9,6
7	12,0	-	12,0	12,0

Таблица. 2  
Уточнение значения удельного сцепления c, кПа по результатам статического зондирования

№№ ИГЭ	c, кПа			
	2005 г.	Номера площадок		
		№ 1	№ 2	№ 3
2	-	-	-	-
3	20,0	30,0	23,0	23,0
4	17,0	29,0	23,2	20,5
5	25,0	-	34,0	27,0
6	25,0	-	43,0	30,0
7	35,0	-	35,0	36,0

Таблица. 3  
Уточнение значения угла внутреннего трения φ, град. по результатам статического зондирования

№№ ИГЭ	φ, град			
	2005 г.	Номера площадок		
		№ 1	№ 2	№ 3
2	29,0	31,4	30,2	29,8
3	15,4	15,7	15,5	15,5
4	9,8	10,0	10,0	9,9
5	25,0	-	25,0	25,0
6	25,0	-	25,5	25,0
7	26,0	-	25,0	25,5

зывать как ранее принятые инженерно-геологические элементы, так и новые, отличающиеся показателями физико-механических характеристик. На основании статистической обработки данных статического зондирования грунтов с использованием таблиц и номограмм нормативных документов [5, 6] получены уточненные значения модуля деформаций E, удельного сцепления c и угла внутреннего трения

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРИ**

1. Мангушев Р.А. Использование передвижной установки для целей реконструкции и строительства в стесненных условиях Санкт-Петербурга / Мангушев Р.А., Ошурков Н.В., Игошин А.В. // Сб. докл. межд. научно-практической конференции «Реконструкция Санкт-Петербурга – 2005». – Ч. 1. – СПб., 2005. – С. 214-218.
2. Исследование механических характеристик грунтов при устройстве буровых свай проходным шнеком / [Мангушев Р.А., Ошурков Н.В., Арутюнов И.С., Ершов А.В.] // Научно-практические и теоретические проблемы геотехники: сб. науч. тр. – СПб.: СПбГАСУ, 2007. – С. 91-104.
3. Мангушев Р.А. Геотехника Санкт-Петербурга / Мангушев Р.А., Осокин А.И. - М.-СПб.: АСВ, 2010. - 260 с.
4. Lunne T. Cone Penetration Testing in geotechnical practice / T. Lunne, P.K. Robertson and J.J. M. Powell // Sponpress, 2001. - 312 p.
5. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть 1. Общие правила производства работ: СП 11-105-97. - М.: ГОССТРОЙ России, 2001.
6. Проектирование фундаментов зданий и сооружений в Санкт-Петербурге: ТСН 50-302-2004. - М.: ГОССТРОЙ России, 2004.
7. Грунты. Метод полевых испытаний статическим зондированием: ГОСТ 19912-2001. - М., 2001.

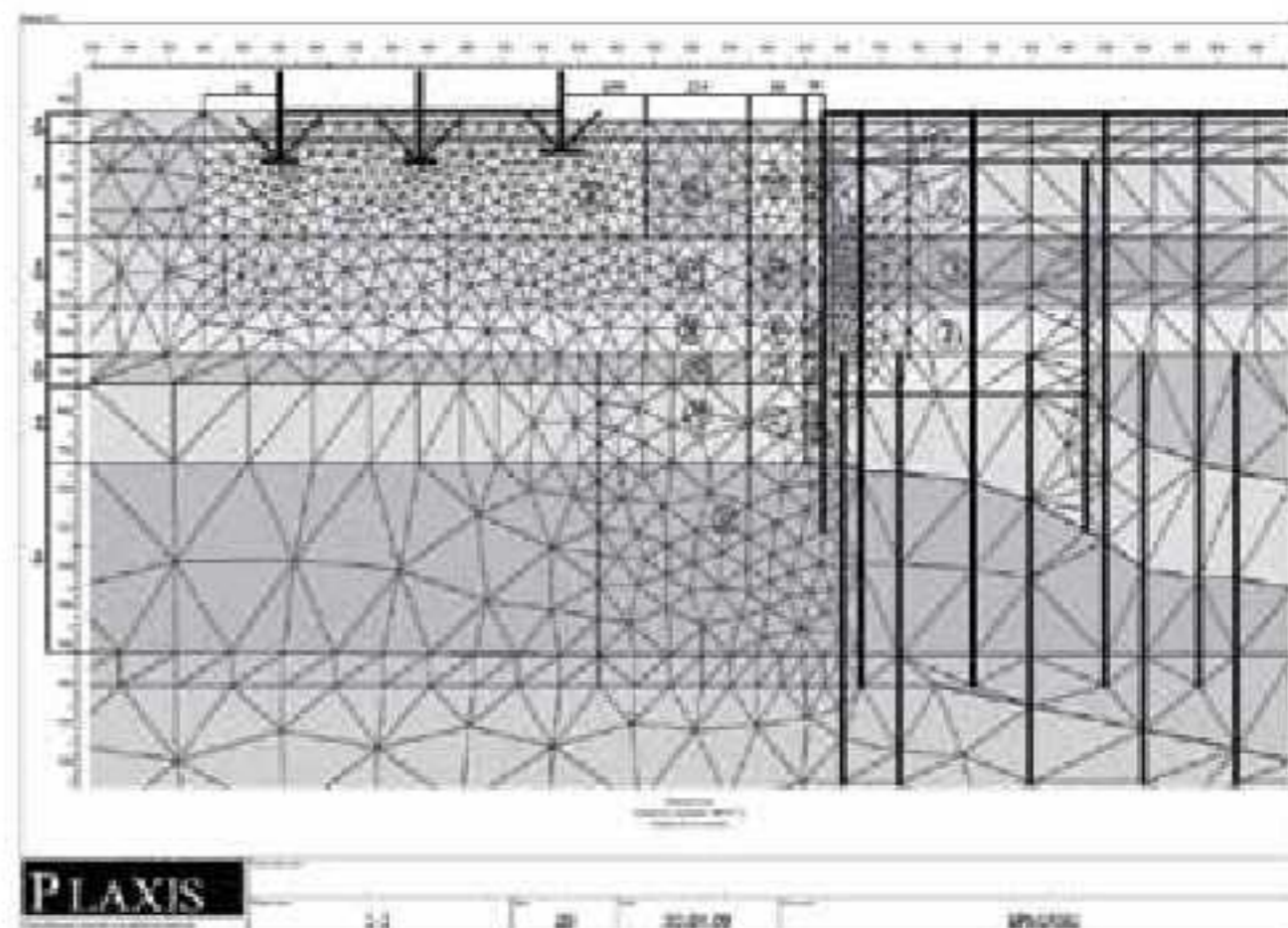


Рис. 8 Расчетная схема измененного грунтового основания

φ грунтов, залегающих на территории строительства (табл. 1, 2 и 3).

Значения измененных в результате техногенного воздействия характеристик грунтов по каждому из элементов и по каждой из рассмотренных зон были использованы для уточненного геотехнического прогноза напряженно-деформированного состояния грунтов основания котлована и окружающего грунтового массива при поэтапном возведении строящегося сооружения с оценкой влияния строительства на здания окружающей застройки. Расчеты выполнялись по конечноэлементной программе «PLAXIS» с использованием 24-х инженерно-геологических элементов (рис. 8).

**ВЫВОДЫ:**

1. Использование методов современного статического зондирования и анализ результатов позволили оперативно оценить изменение характеристик грунтов в котловане строящегося здания и около него от влияния техногенных воздействий.
2. Увеличение значений прочностных и деформационных характеристик грунтов, отмеченное при повторном зондировании, объясняется уплотнением грунтов ИГЭ 2...6 от техногенного воздействия при изготовлении большого количества буронабивных свай, восстановлением структурных связей, а также частичным упрочнением грунтов в процессе изготовления цементно-грунтовых диафрагм методом jet grouting.
3. Использование в расчетах методом конечных элементов по программе «PLAXIS» результатов измененных характеристик грунтов, позволили с большей достоверностью оценить напряженно-деформированное состояние грунтового массива и дать прогноз устойчивости и деформаций строящегося сооружения и соседних зданий.