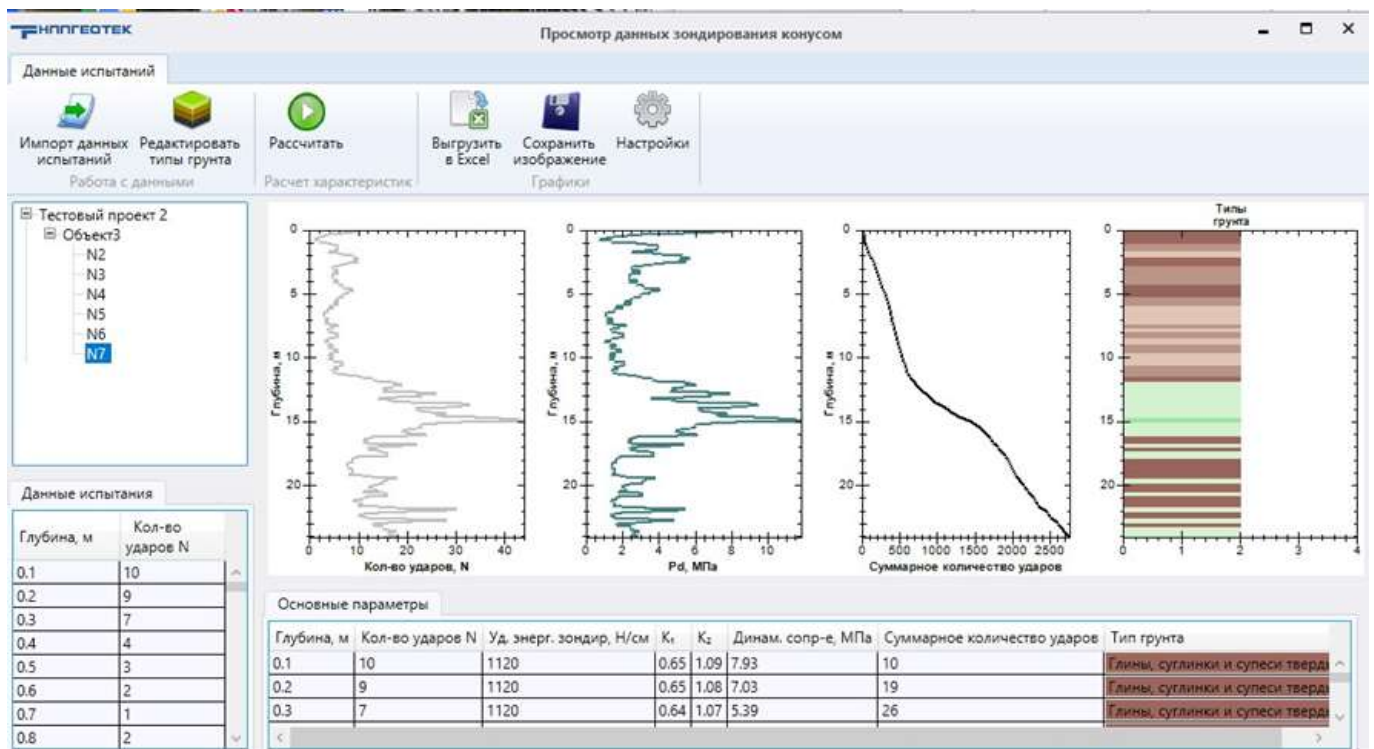


## Интерпретация результатов динамических испытаний коническим пенетрометром



В пятой части статьи о результатах разработки в ООО НПП «Геотек» комплексной технологии инженерно-геологических изысканий и проектирования оснований, представлены наработки по интерпретации результатов динамических испытаний коническим пенетрометром.

Как отмечают авторы, в отличие от стандартного динамического зондирования (SPT), когда в грунт погружается полый цилиндрический зонд, в рассматриваемом типе испытаний (DCPT – dynamic cone penetration test) зондирование выполняется конусом. Подобный тип динамических испытаний применяется как в России, так и за рубежом, но в большей степени в РФ. Основные требования к данному методу испытаний приведены в ГОСТ 19912–2012. В статье рассмотрена только интерпретация данных испытаний с целью определения характеристик грунтов. Дополнительную информацию авторы предлагают искать в работе [1].

Напомним, что предлагаемая авторами комплексная технология объединяет в единый производственный процесс инженерно-геологические изыскания и проектирование оснований сооружений. Результатом является сокращение сроков изысканий вследствие применения методов зондирования грунтов с автоматизированным контролем процесса испытаний и интерпретации данных испытаний. При этом результатом инженерно-геологических исследований является не только информация о свойствах грунтов, но и оценка их влияния на поведение проектируемого здания или сооружения.

Автором запланирована серия публикаций по данной теме, содержание которых приведено в файле в конце первой статьи серии.

Геннадий Григорьевич Болдырев приглашает всех читателей «ГеоИнфо» к широкому обсуждению рассматриваемого вопроса.

**Болдырев Геннадий Григорьевич**

Директор по научной работе и инновациям ООО НПП «Геотек», д.т.н., г. Пенза  
[g-boldyrev@geotek.ru](mailto:g-boldyrev@geotek.ru)

**Идрисов Илья Хамитович**

Генеральный директор ООО НПП «Геотек», к.т.н., г. Пенза  
[idrisov@npp-geotek.ru](mailto:idrisov@npp-geotek.ru)

В отличие от стандартного динамического зондирования (SPT), когда в грунт погружается полый цилиндрический зонд, в рассматриваемом типе испытаний (DCPT – dynamic cone penetration test) зондирование выполняется конусом. Подобный тип динамических испытаний применяется как в России, так и за рубежом, но в большей степени – в РФ. Основные требования к данному методу испытаний приведены в ГОСТ 19912–2012. Ниже мы рассмотрим только интерпретацию данных испытаний с целью определения характеристик грунтов. Дополнительную информацию можно найти в работе [1]. Следует отметить, что корреляционных уравнений для случая зондирования конусом значительно меньше, чем для SPT зондирования. В основном это объясняется более широким применением SPT в зарубежной практике, начиная с 20-х годов прошлого столетия.

Обычно в ходе испытаний определяется количество ударов  $N$ , которое необходимо для погружения конуса на глубину 150 мм. Для рыхлых песков и мягкопластичных глинистых грунтов глубина внедрения конуса может быть измерена от каждого удара.

В 1973 году Госстроем СССР были введены «Указания по зондированию грунтов для строительства (СН 448-72)», где было принято определять из результатов испытаний показатель, называемый условным динамическим сопротивлением грунта  $p_d$ , которое согласно ГОСТ 19912 определяют по формуле:

$$p_d = \frac{AK_1K_2n}{h}, \quad (1)$$

где  $A$  – удельная энергия зондирования;  $K_1$  – коэффициент учета потерь энергии при ударе молота по наковальне и на упругую деформацию штанг;  $K_2$  – коэффициент учета потерь энергии на трение штанг о грунт, определяемый в зависимости от усилия при повороте штанг;  $h$  – глубина погружения;  $n$  – число ударов молота в залоге.

В монографии Трофименкова и Воробкова (1981) приведена следующая таблица (табл. 1), позволяющая определять плотность сложения песков различной крупности и влажности в зависимости от значений условного динамического сопротивления.

В связи со сложностью отбора монолитов песчаных грунтов ненарушенной структуры, результаты испытаний методом динамического зондирования могут быть полезными для ориентировочного определения их угла внутреннего трения. Подобные значения были ранее приведены в СН 448-72 и представлены ниже в таблице 2.

Результаты испытаний методом динамического зондирования позволяют, используя корреляцию с результатами испытаний песчаных грунтов штампами, найти модуль деформации. Одно из подобных эмпирических выражений было получено институтом Фундаментпроект для плотных и средней плотности песков в следующем виде:

$$E = (350 \div 500) \lg N. \quad (2)$$

**Таблица 1.** Зависимость условного динамического сопротивления от плотности сложения песков

Пески	$p_d$ , МПа	Плотность сложения
Крупные и средней крупности независимо от влажности	< 0,35	Рыхлые
	0,35-1,25	Средней плотности
	> 1,25	Плотные
Мелкие маловлажные	< 0,30	Рыхлые
	0,30-1,10	Средней плотности
	> 1,10	Плотные
Пылеватые маловлажные и мелкие водонасыщенные	< 0,20	Рыхлые
	0,20-0,85	Средней плотности
	> 0,85	Плотные

**Таблица 2.** Значения угла внутреннего трения для песков различной крупности

$p_d$ , МПа	Нормативные значения угла внутреннего трения $\phi$ , град.		
	крупных и средней крупности	мелких	пылеватых
0,20	30	28	26
0,35	33	30	28
0,70	36	33	30
1,10	38	35	32
1,40	40	40	34
1,75	41	41	35

Для моренных грунтов в монографии Л.Г. Мариупольского (1989) приведены следующие зависимости, полученные также на основании сравнительных испытаний штампами и динамическим зондированием:

$$E = 3,13p_d + 6,84 \quad (3)$$

$$I_L = -0,45 \lg(p_d / p_d^o) + 0,4, \quad (4)$$

где  $p_d^o = 1$  МПа.

В этой же монографии приведена корреляционная зависимость между коэффициентом пористости  $e$  аллювиальных и флювиогляциальных песков, полученная путем сравнительных лабораторных и полевых испытаний:

$$e = 0,80 - 0,22 \lg(p_d / p_d^o). \quad (5)$$

Для флювиогляциальных и аллювиальных песков на основе сравнения результатов испытаний штампами площадью 2500 и 5000 см<sup>2</sup> с условным динамическим сопротивлением  $p_d$  получены, соответственно, следующие зависимости:

$$E = 2,99p_d + 9,96 \text{ и } E = 3,71p_d + 3,56. \quad (6)$$

## Определение физико-механических характеристик грунтов по результатам динамического зондирования по СП 47.13330-2012

СП 47.13330-2012 рекомендует использовать нижеприведенные таблицы для определения физико-механических характеристик грунтов по данным динамического зондирования конусом.

Т а б л и ц а И.6

Пески	Плотность сложения при $p_d$ , МПа		
	Плотные	Средней плотности	Рыхлые
Крупные и средней крупности, независимо от влажности	Свыше 9,8	2,7 – 9,8	Менее 2,7
Мелкие: малой и средней степени водонасыщения насыщенные водой	Свыше 8,6 Свыше 6,6	2,3 – 8,6 1,6 – 6,6	Менее 2,3 Менее 1,6
Пылеватые малой и средней степени водонасыщения	Свыше 6,6	1,6 – 6,6	Менее 1,6

Т а б л и ц а И.7

Пески	Характеристики свойств грунтов	Нормативные $E$ , МПа и $\varphi$ , градусов при $p$ , МПа									
		2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Все генетические типы, кроме аллювиальных и флювиогляциальных Крупные и средней крупности, независимо от влажности	$E$ , МПа	21	31	39	45	51	55	59	62	64	66
	$\varphi$ , град.	31	34	36	38	39	40	41	42	43	43
Мелкие, независимо от влажности	$E$ , МПа	15	23	30	34	39	42	45	48	51	53
	$\varphi$ , град.	29	32	33	35	36	37	38	39	40	41
Пылеватые (влажные и маловлажные)	$E$ , МПа	10	18	23	27	30	33	36	38	40	42
	$\varphi$ , град.	27	29	31	32	33	34	35	36	37	37
Аллювиальные и флювиогляциальные	$E$ , МПа	15	24	32	41	49	57	65	73	81	89

### Пример определения характеристик грунтов

Ниже приведен пример обработки данных динамического зондирования конусом по выработке номер 7. На рисунке 1 приведены профили данных испытаний (количество ударов на залог), расчет условного динамического сопротивления и тип грунта, определяемый количеством ударов.

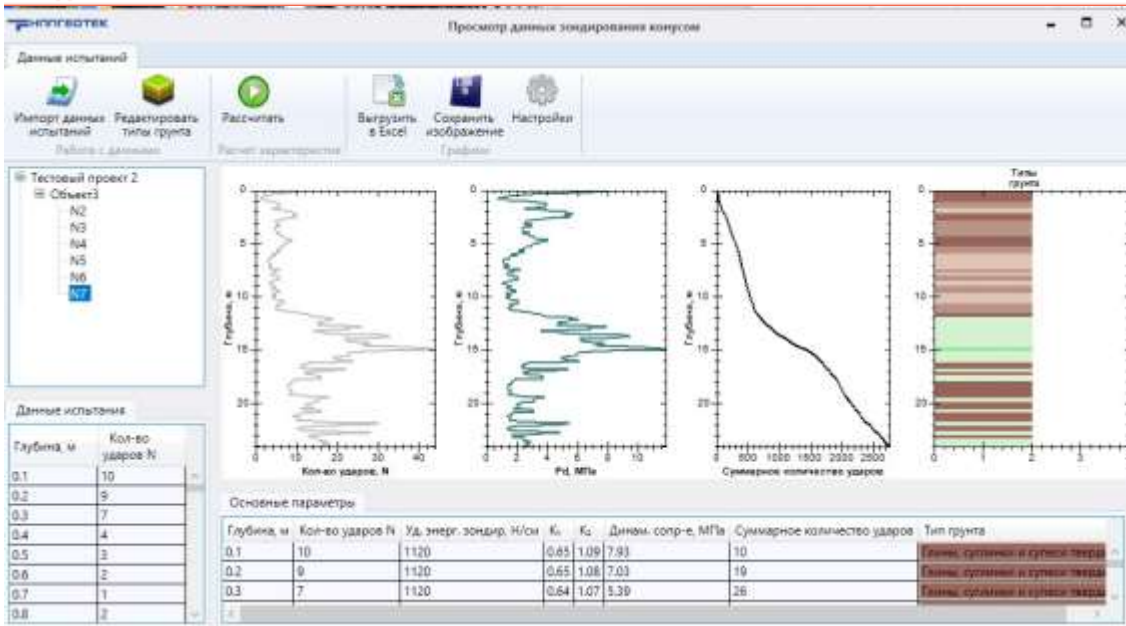


Рис. 1. Определение условного динамического сопротивления и типа грунта

ГОСТ 19912    ASTM D 1586

Сыпучие грунты    Связные грунты

**Модуль деформации**

- СП47.13330 Крупные и средние пески
- СП47.13330 Мелкие пески
- СП47.13330 Пылеватые пески
- СП47.13330 Аллювиальные и флювиогляциальные пески
- Мариупольский (1989) Пески флювиогляциальные
- Мариупольский (1989) Пески аллювиальные
- Региональное значение

**Плотность сложения песков**

- СП47.13330 Пески крупные и средней крупности
- СП47.13330 Мелкие пески
- СП47.13330 Мелкие пески насыщенные водой
- СП47.13330 Пылеватые пески
- Ворбоков Трофименков (1981) Крупные и средней крупности
- Ворбоков Трофименков (1981) Мелкие маловлажные
- Ворбоков Трофименков (1981) Пылеватые маловлажные

**Угол внутреннего трения**

- СП47.13330 Крупные и средние пески
- СП47.13330 Пылеватые пески
- СП47.13330 Мелкие пески
- Региональное значение

**Кoeffициент пористости**

- Региональное значение

**Удельный вес грунта**

Региональное значение     $\gamma_z =$

**Степень плотности**

Meyerhof (1957)

**Вероятность разжижения песков**

- Вероятность разжижения песков (ср.)
- Вероятность разжижения песков (мин.)

Рис. 2. Выбор корреляционного уравнения





Рис. 3. Определение модуля деформации

### Список литературы

1. Библиографические данные цитированных выше авторов приведены в монографии «Болдырев Г.Г. Руководство по интерпретации данных испытаний методами статического и динамического зондирования для геотехнического проектирования. Изд-во, ООО Прондо, М., 2017, 476 с.».