



НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ,
ПРОЕКТНО-ИЗЫСКАТЕЛЬСКИЙ
И КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ ОСНОВАНИЙ И ПОДЗЕМНЫХ
СООРУЖЕНИЙ

НИИОСП им. Н.М.ГЕРСЕВАНОВА



НИЦ строительство
научно-исследовательский центр

ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ГРУНТОВ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ

КОЛЫБИН Игорь Вячеславович

директор

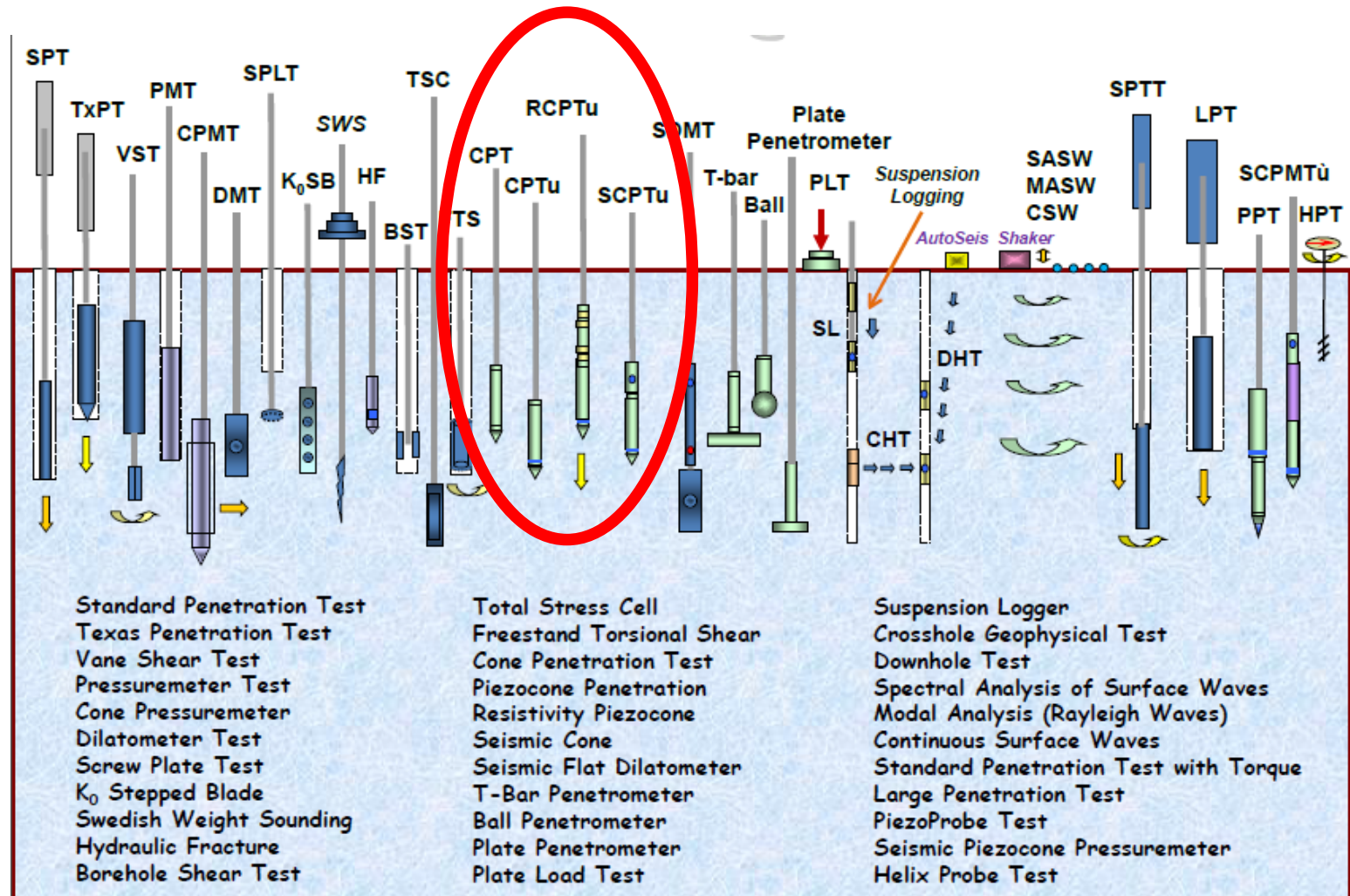
НИИОСП им Н.М. Герсевича - АО «НИЦ «Строительство»

ИСАЕВ Олег Николаевич

заведующий сектором геотехники линейных подземных сооружений

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

ПОЛЕВЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ГРУНТОВ (33)



Применимость и полезность полевых методов испытаний грунтов (Lunne T., Robertson P.K. and Powell J.J.,M.)

Метод испытания	Параметры грунта													Вид грунта						
	Вид грунта	Разрез	u	ϕ^*	s_u	I_D	M	c_v	k	G_0	σ_h	OCR	$\sigma-\epsilon$	Твердый скальный грунт	Рыхлый скальный грунт	Гравий, галечник	Песок	Суглинок, суглинок	Глина	Торф
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Динамическое зондир. (DPT)	C	B	-	C	C	C	-	-	-	C	-	C	-	-	C	B	A	B	B	B
Статическое зондир. механическим зондом (CPT)	B	A/B	-	C	C	B	C	-	-	C	C	C	-	-	C	C	A	A	A	A
Статическое зондир. электр. зондом (CPT)	B	A	-	C	B	A/B	C	-	-	B	B/C	B	-	-	C	C	A	A	A	A
Статическое зондир. электр. зондом (CPTU)	A	A	A	B	B	A/B	B	A/B	B	B	B/C	B	C	-	C	-	A	A	A	A
Статическое зондир. электр. зондом (SCPT/SCPTU)	A	A	A	B	A/B	A/B	B	A/B	B	A	B	B	B	-	C	-	A	A	A	A
Испытания плоским дилатометром (FDT)	B	A	C	B	B	C	B	-	-	B	B	B	C	C	C	-	A	A	A	A
Стандартные пенетрационные испытания (SPT)	A	B	-	C	C	B	-	-	-	C	-	C	-	-	C	B	A	A	A	A
Испыт. зондом для изм. электросоп. грунта (RP)	B	B	-	B	C	A	C	-	-	-	-	-	-	-	C	-	A	A	A	A
Испыт. прессиом. в пробур. скважине (PBP)	B	B	-	C	B	C	B	C	-	B	C	C	C	A	A	B	B	B	A	B
Испыт. самозабур. прессиометром (SBP)	B	B	A ¹	B	B	B	B	A ¹	B	A ²	A/B	B	A/B ²	-	B	-	B	B	A	B
Испыт. задавлив. прессиометром (FDP)	B	B	-	C	B	C	C	C	-	A ²	C	C	C	-	C	-	B	B	A	A
Испытания крыльчаткой (FVT)	B	C	-	-	A	-	-	-	-	-	-	B/C	B	-	-	-	-	-	A	B
Испытания плоским штампом (PLT)	C	-	-	C	B	B	B	C	C	A	C	B	B	B	A	B	B	A	A	A
Испытания винтовым штампом (SPT)	C	C	-	C	B	B	B	C	C	A	C	B	-	-	-	-	A	A	A	A
Испытания в скважине на проницаемость (BP)	C	-	A	-	-	-	-	B	A	-	-	-	-	A	A	A	A	A	A	B
Испытания на гидроразрыв (HF)	-	-	B	-	-	-	-	C	C	-	B	-	-	B	B	-	-	C	A	C
Сейсмические меж./скв./наз. исслед. (C/D/S S)	C	C	-	-	-	-	-	-	-	A	-	B	-	A	A	A	A	A	A	A

Применимость: «А» - высокая; «В» - умеренная; «С» - низкая; «-» - не применяется.

* - зависит от вида грунта; ¹ – только когда установлен датчик порового давления; ² – только когда установлен датчик перемещений.

Определяемые параметры грунта: u – статическое поровое давление, измеренное в полевых условиях; ϕ^* - эффективное значение угла внутреннего трения; s_u – недренарованная прочность грунта на срез; I_D - индекс плотности песков; M – одометрический модуль деформации нагружения; c_v - коэффициент консолидации грунта; k - коэффициент фильтрации; G_0 - модуль сдвига при малых деформациях; σ_h - горизонтальное напряжение в грунте; OCR - коэффициент переуплотнения; $\sigma-\epsilon$ – связь напряжений с деформациями.

УСТАНОВКИ НА БАЗЕ АВТОМОБИЛЯ



УСТАНОВКИ НА ГУСЕНИЧНОМ ХОДУ



УСТАНОВКИ ПЕРЕМЕЩАЮЩИЕСЯ ПО ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ



УСТАНОВКИ СРЕДНЕГО ТИПА

УСТАНОВКИ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ В АКВАТОРИЯХ

Roson



Gregg



Igeotest



Wison



Neptune



Seacalf



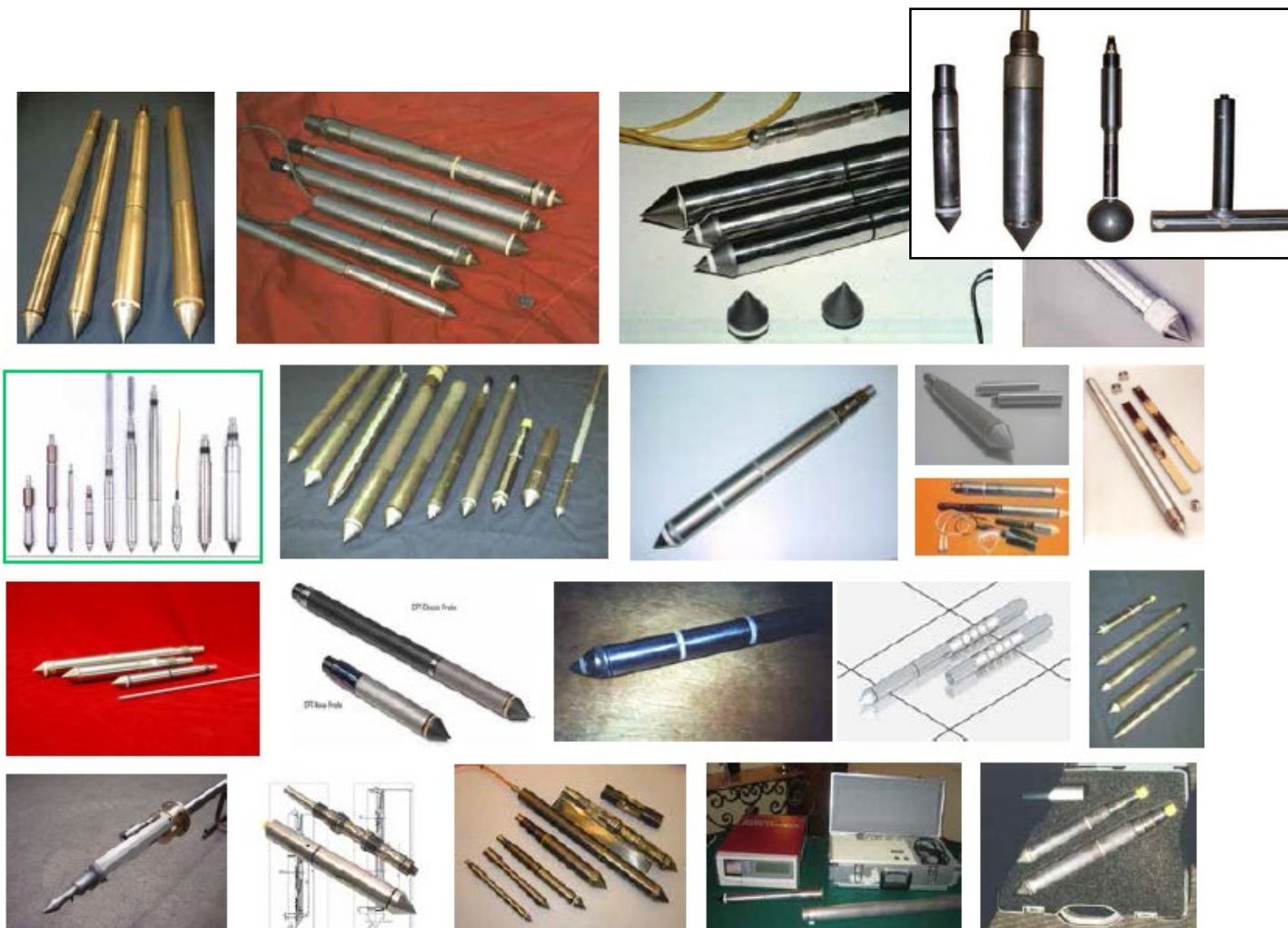
Roson



Sage Sidewinder



ЗОНДЫ ДЛЯ СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ГРУНТОВ

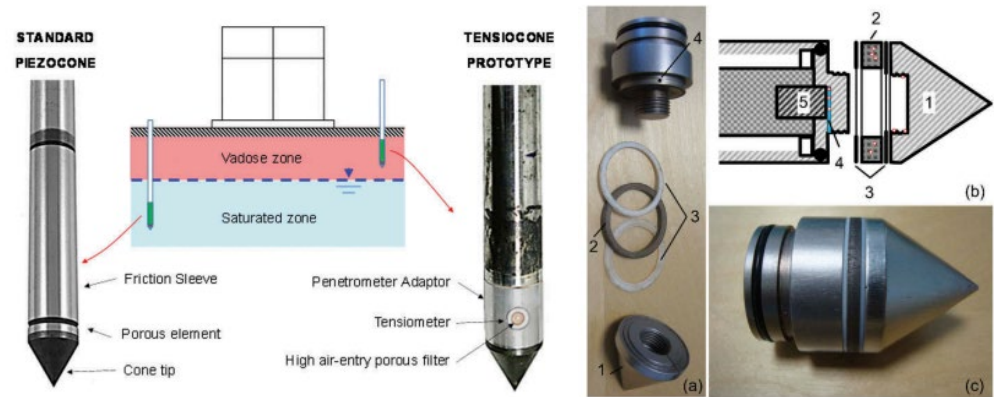
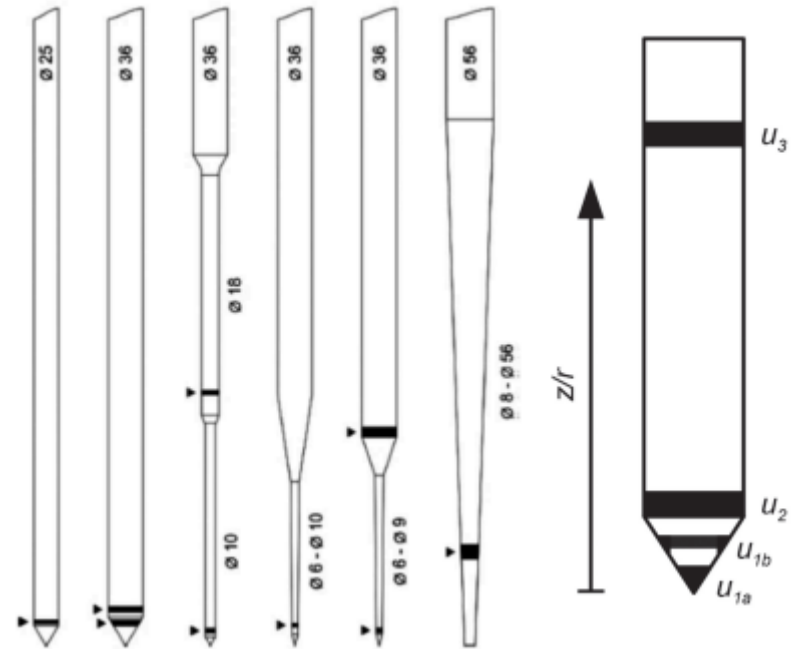
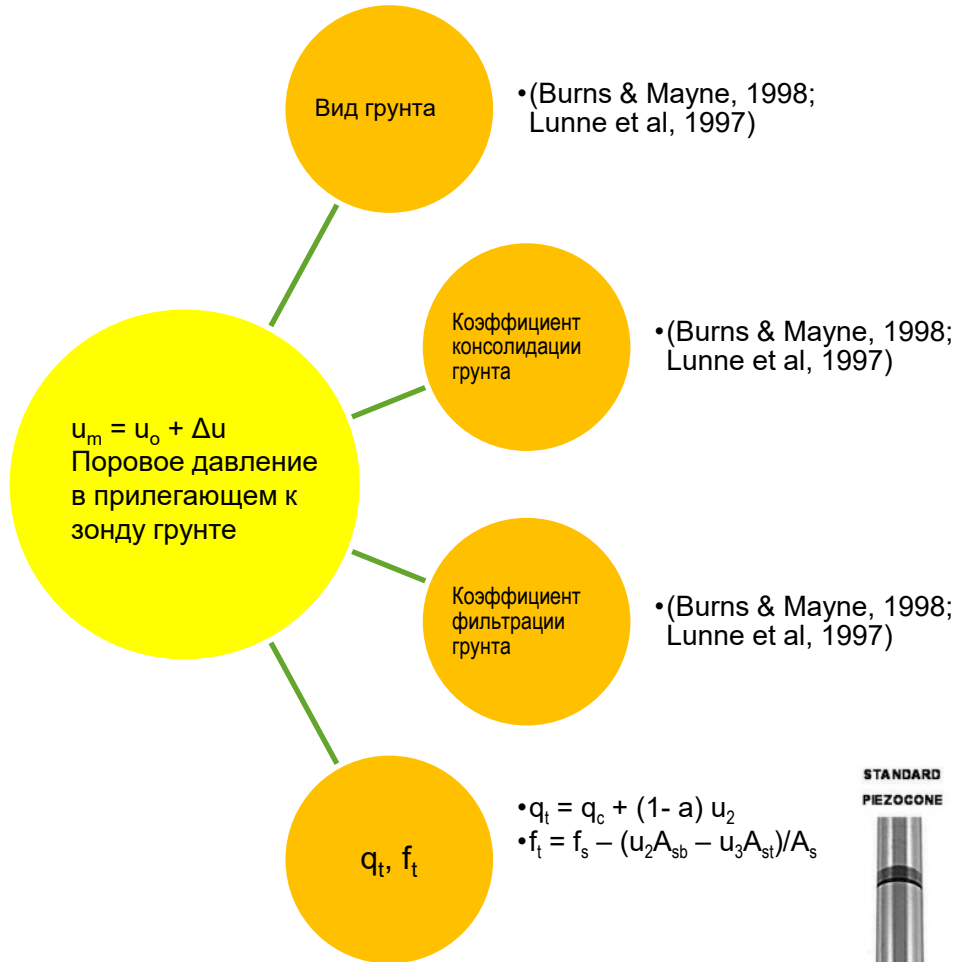


Применение зондов с дополнительными датчиками и устройствами (спецзондов)

□ **Преимущество** таких зондов заключается в том, что на одном и том же оборудовании, одновременно, **вместо одного выполняются два или более методов испытаний грунтов**. Это позволяет существенно сократить стоимость и длительность испытаний, повысить их информативность

ДАТЧИК ПОРОВОГО ДАВЛЕНИЯ (PORE WATER PRESSURE)

Первые публикации по зондам с датчиками порового давления за рубежом появились в 1970-х г. (Janbu & Senneset, 1974).



АКСЕЛЕРОМЕТР/ ВЕЛОСИМЕТР (ACCELEROMETER/ GEOPHONE)

Данный метод является аналогом «сейсмического каротажа» (измерения в диапазоне частот до 1 кГц, СП 11-105-97, часть IV, Геофизика)



Схема испытания грунта зондом с сейсмодатчиком УВС (Британия): 1 – конус, 2 – муфта трения, 3 – сейсмоприемник, 4 – молот, 5 – триггер, 6 – осцилоскоп; p – статическая нагрузка

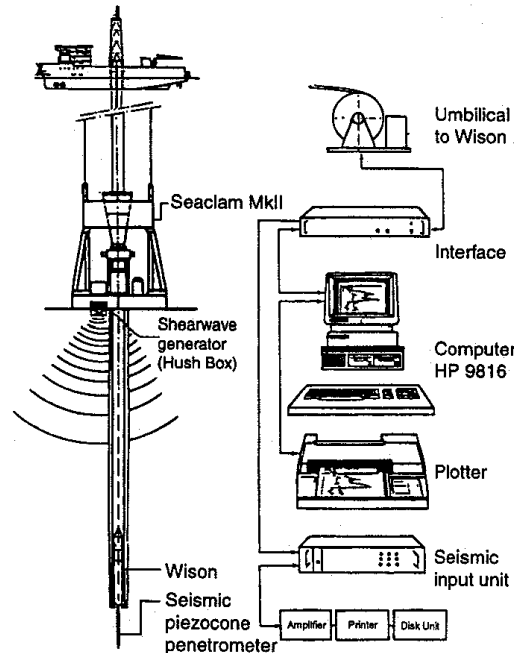
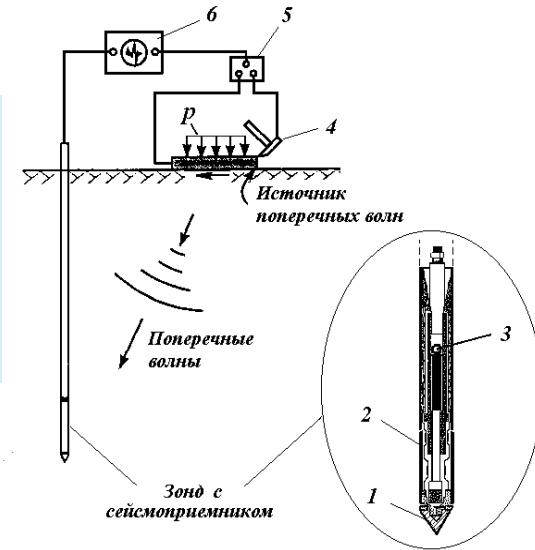
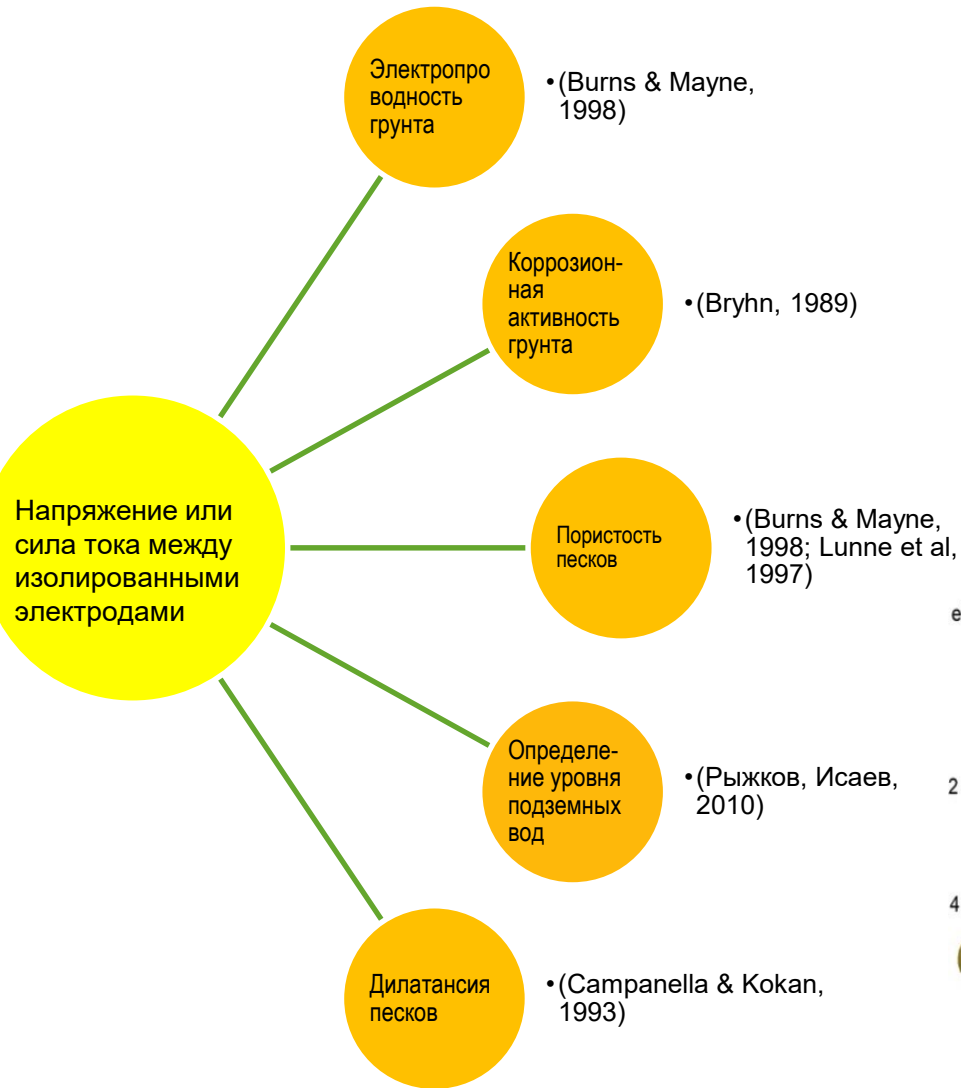


Схема испытания грунта зондом с сейсмодатчиком в акватории (FugroMcClelland)

ДАТЧИК ЭЛЕКТРОСОПРОТИВЛЕНИЯ (ELECTRICAL RESISTIVITY)

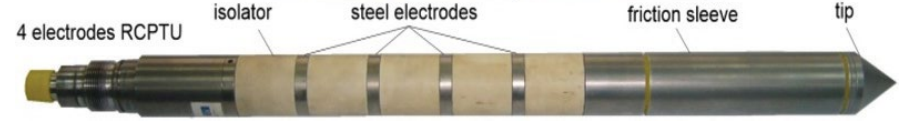
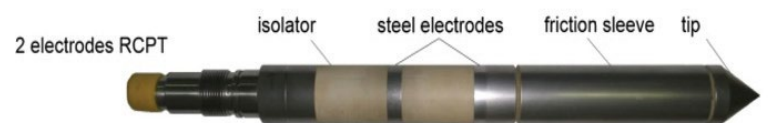
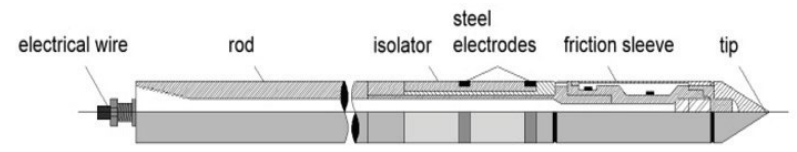
Электрокаротаж, совмещенный со статическим зондированием, впервые начал использоваться в Голландии в 1970-х г. (de Graaf and Zuidberg, 1985)



(Mauricio et al, 2014)



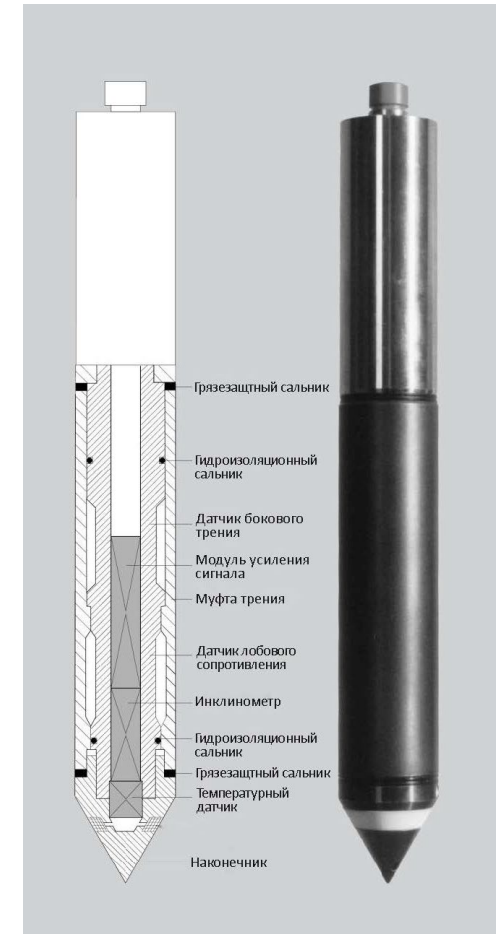
Giacheti et al, 2014



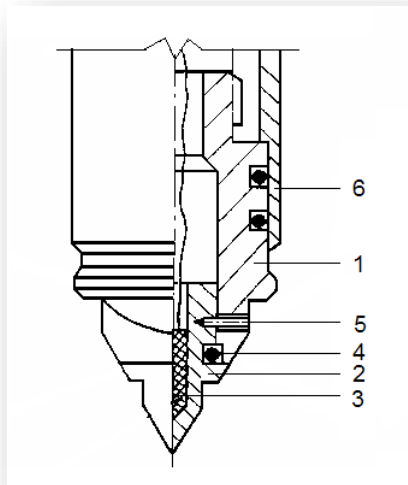
(Z. Skutnik, M. Bajda & M. Lech, 2018)

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ ДАТЧИК (TEMPERATURE)

Первый зонд с температурным датчиком был разработан и опробован в СССР в 1982 г. специалистами БашНИИстрой.



Зонд фирмы FUGRO с температурным датчиком для статического зондирования. Использовался для испытаний многолетнемерзлых грунтов



Российский зонд для статического зондирования с температурным датчиком (конструкция БашНИИстрой)

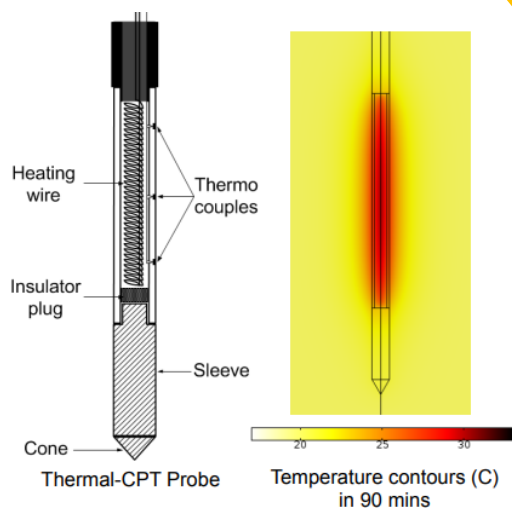
1 – основной конус, 2 – малый конус, 3 – датчик измерения температуры грунта, 4 – уплотнение, 5 – крепежный винт

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ ДАТЧИК И НАГРЕВАТЕЛЬНЫЙ ЭЛЕМЕНТ (TEMPERATURE AND HEAT)

Теплофизические свойства грунта

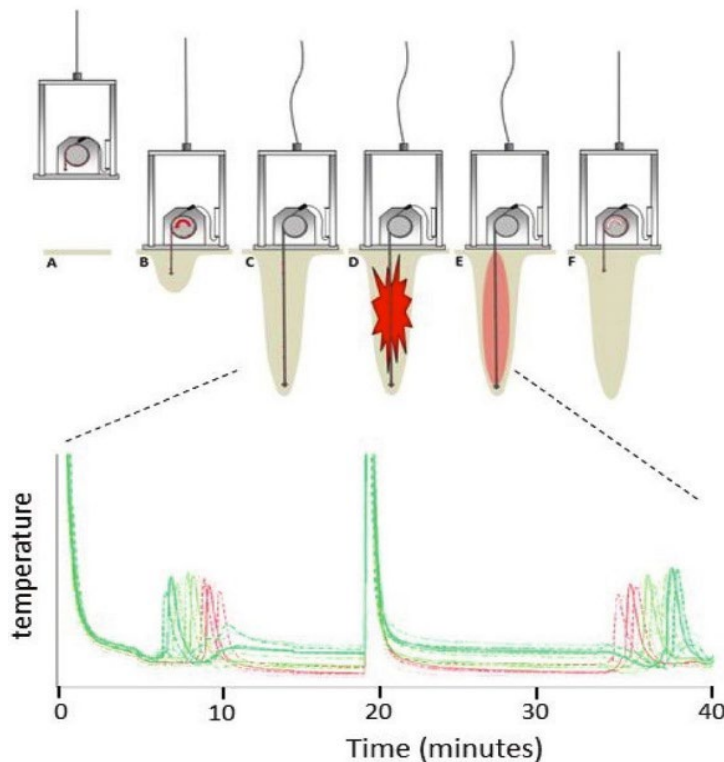
Температуры зонда при его нагреве и охлаждении

Оценка механических свойств мерзлых грунтов с учетом оттаивания



В СССР зонд с температурным датчиком и нагревательным элементом начали разрабатывать 1980-х г. в институтах НИИОСП им. Н.М.Герсеванова и БашНИИстрой.

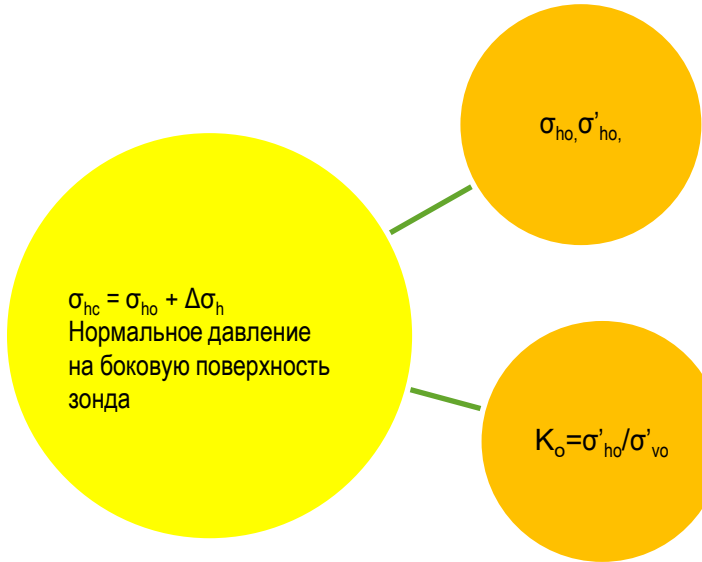
Примерно в это же время был разработан зонд FugroMcClelland для измерения температуры и теплопроводности (Zuidberg et al, 1986)



Принцип измерения теплового потока HF-PP зондом: оборудование опускается на морское дно (а), задавливание зонда в морское дно (b), регистрация стабилизации температуры после теплового возмущения от трения (около 20 минут) (c), импульс искусственного тепла (d), регистрация температуры после теплового импульса (около 20 минут) (e), поднятие зонда на поверхность (f).

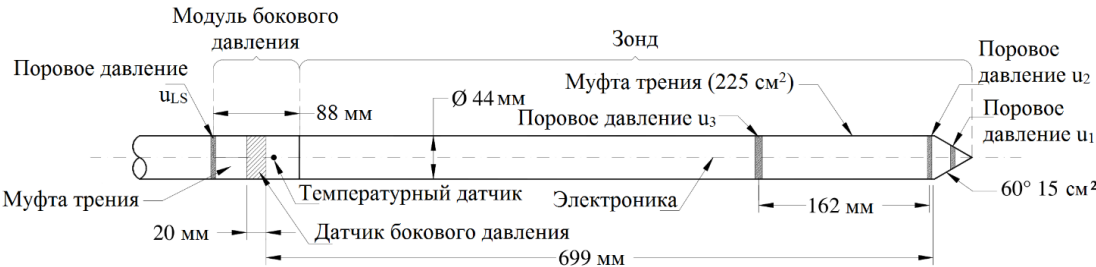
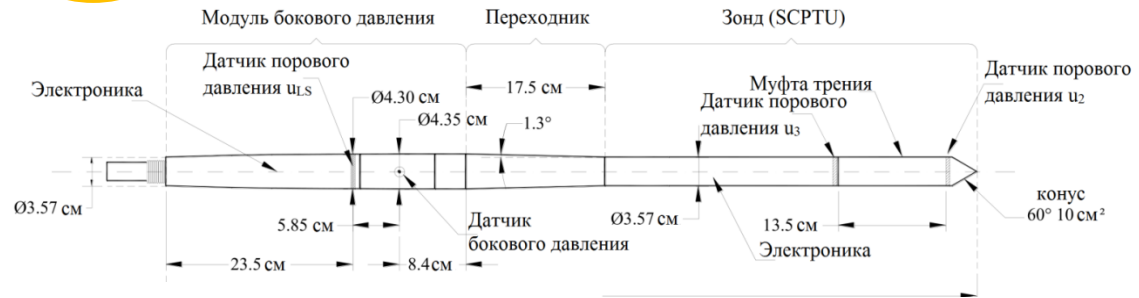
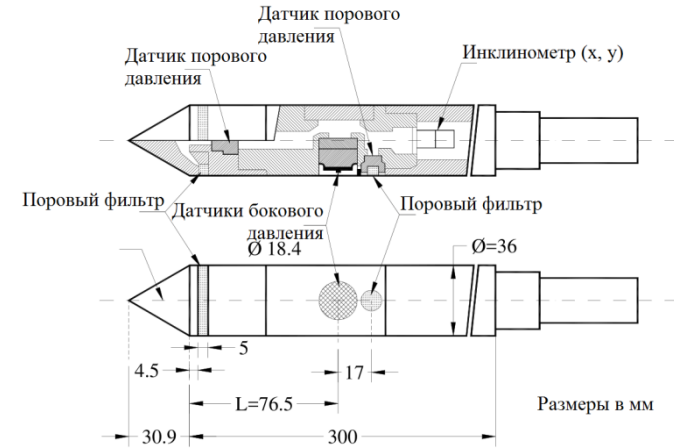
ДАТЧИК БОКОВОГО ДАВЛЕНИЯ (LATERAL STRESS)

Первый зонд с датчиком бокового давления был применен в 1986 г., в Калифорнийском университете в Беркли (США) (Huntsman *et al*, 1986)



- Природное горизонтальное напряжение в грунте (полное и эффективное)

- Коэффициент бокового давления грунта



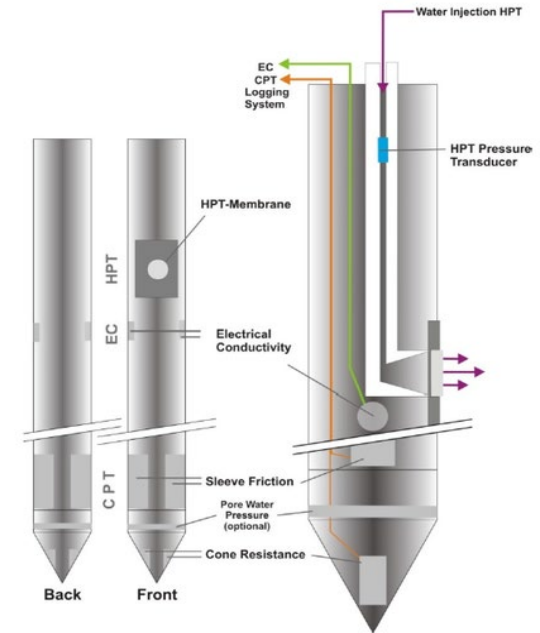
УСТРОЙСТВО ДЛЯ НАГНЕТЕНИЯ ВОДЫ

Зонд с устройством для нагнетания воды впервые был разработан в СССР в 1970-х г. в институте НИИОСП (Крутов В.И., Кулачкин Б.И., 1974).

Определение коэффициента фильтрации

- измерение расхода воды при постоянном напоре
- измерение q_c до и после замачивания грунта

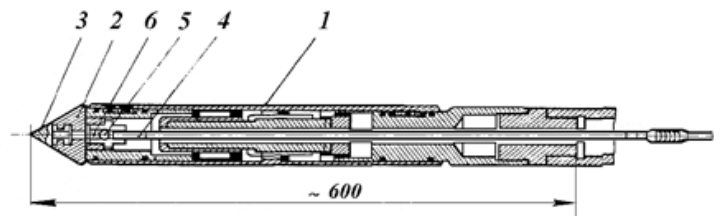
Относительная просадочность лессовых грунтов



А)



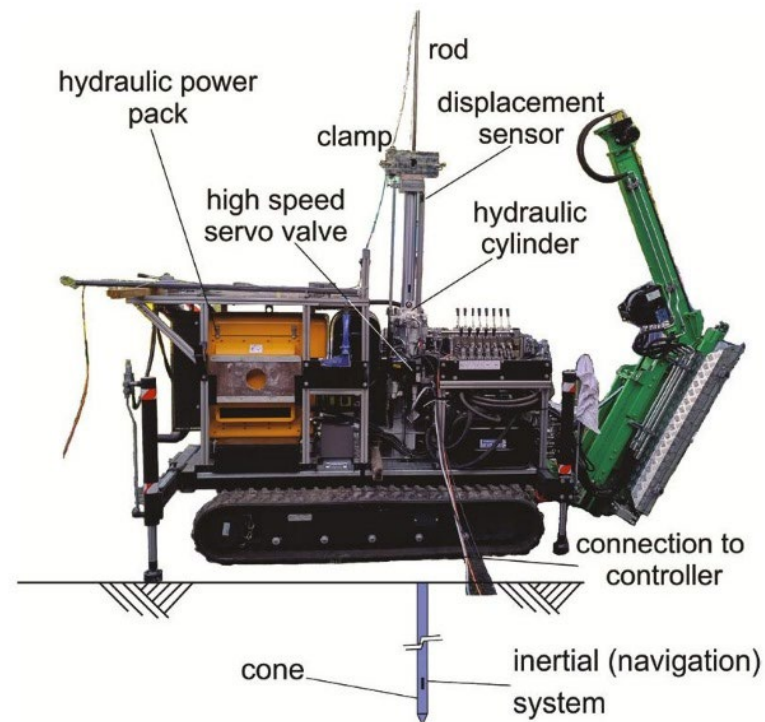
Б)



а – общий вид зонда и приспособлений для подачи воды, **б** – схема зонда; 1 – корпус, 2 – конус, 3 – выдвижной наконечник, 4 – труба для подачи воды в забой зондировочной скважины, 5 – шарик, 6 – пружина

ВИБРОМОДУЛЬ (VIBRATORY MODULE)

Зонд с вибромодулем впервые был разработан за рубежом в Японии в 1980-х годах (Sasaki and Koga, 1982)



Виброгусеничная высокоскоростная гидросистема для виброндирования грунтов, включающая 3-осевой гироскоп и 3-осевой акселерометр, работающие с частотой 5 кГц

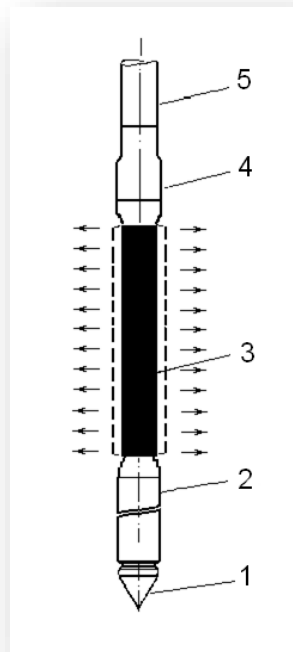
Сопротивления грунта зондированию при задавливании зонда без вибрации и с вибрацией

Определение зон рыхлых песков

Возможность разжижения песков

ПРЕССИОМЕТРИЧЕСКИЙ МОДУЛЬ (PRESSUREMETER MODULE)

Первые публикации по зондам, совмещающим статическое зондирование и pressiометрию появились в СССР и за рубежом в 1980-х г. (Лебедев и др., 1988; Houlsby & Withers, 1988).



- 1 – конус,
- 2 – муфта трения,
- 3 – pressiометр (pressиометрический модуль),
- 4 – соединительный участок (переходник),
- 5 – стандартная зондировочная штанга

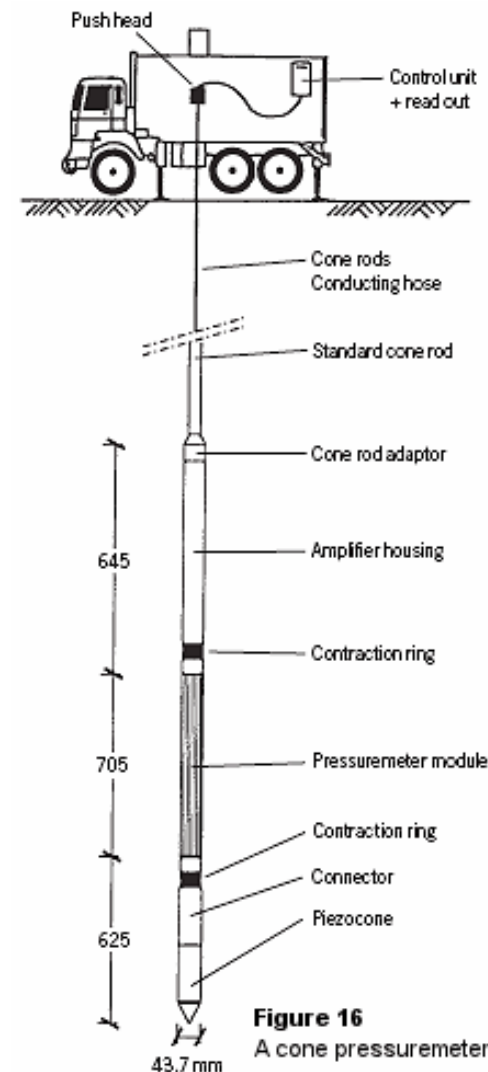
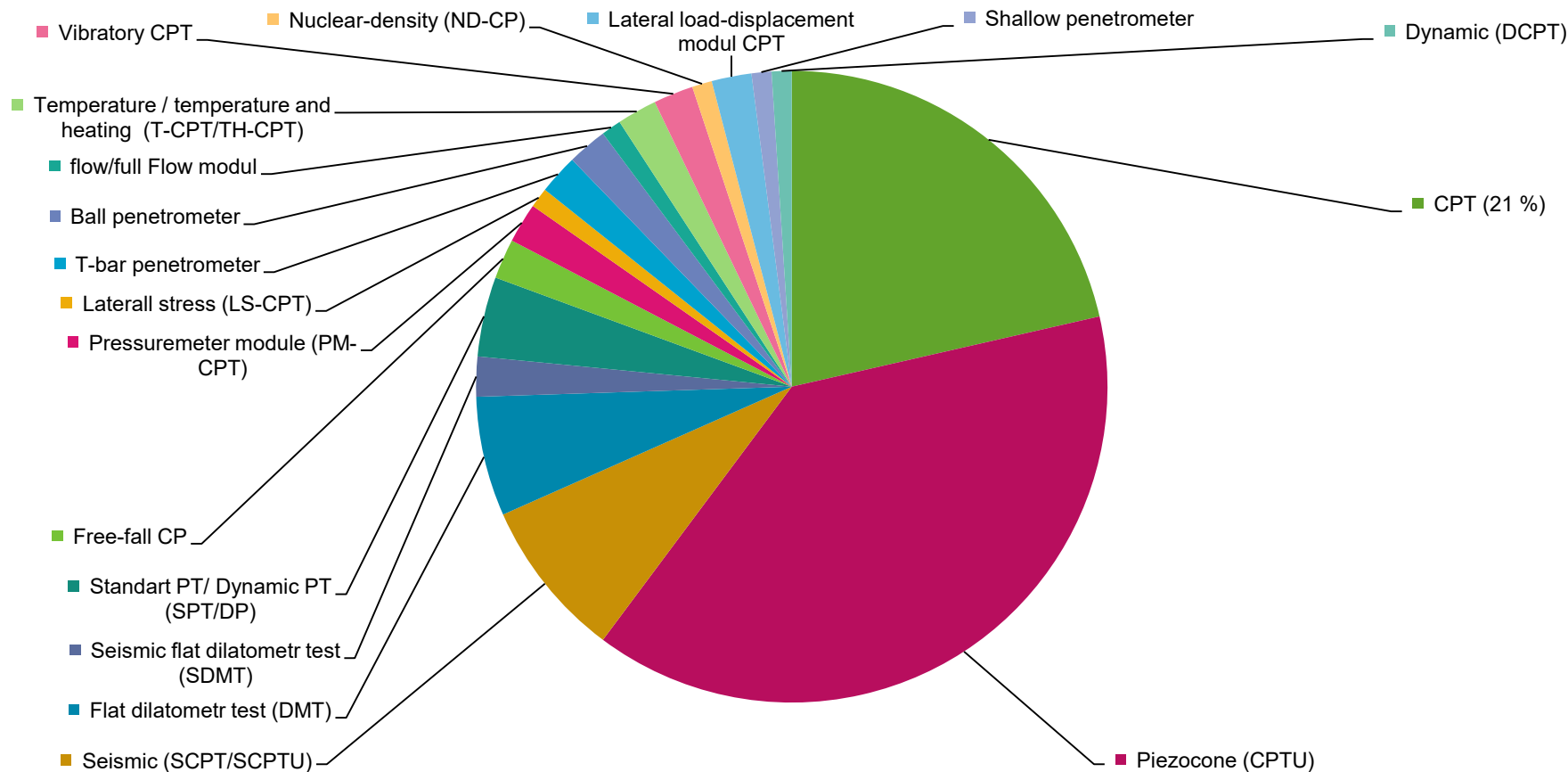


Figure 16
A cone pressuremeter

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ЗОНДЫ ДЛЯ СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ГРУНТОВ

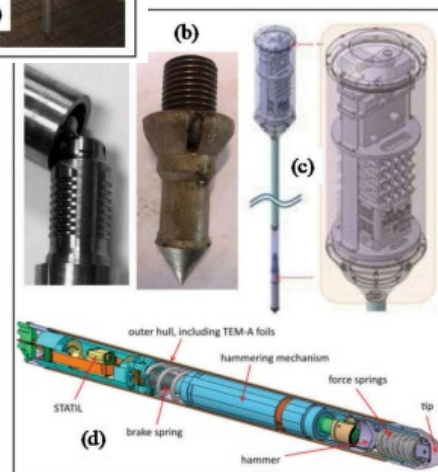
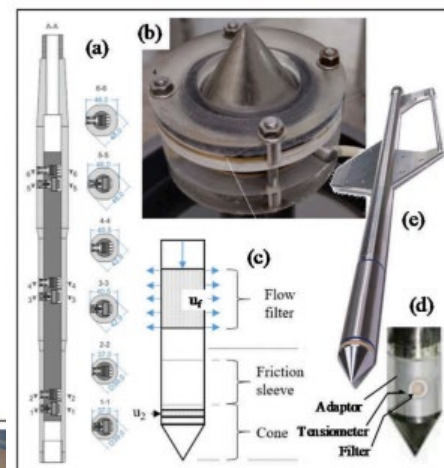
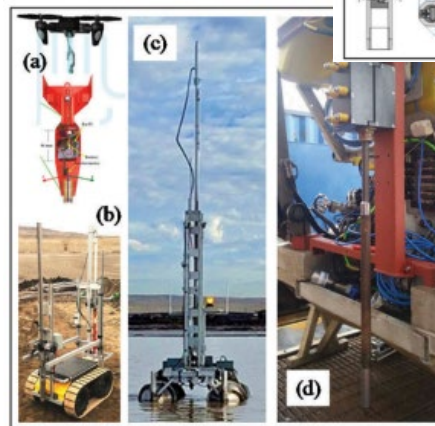
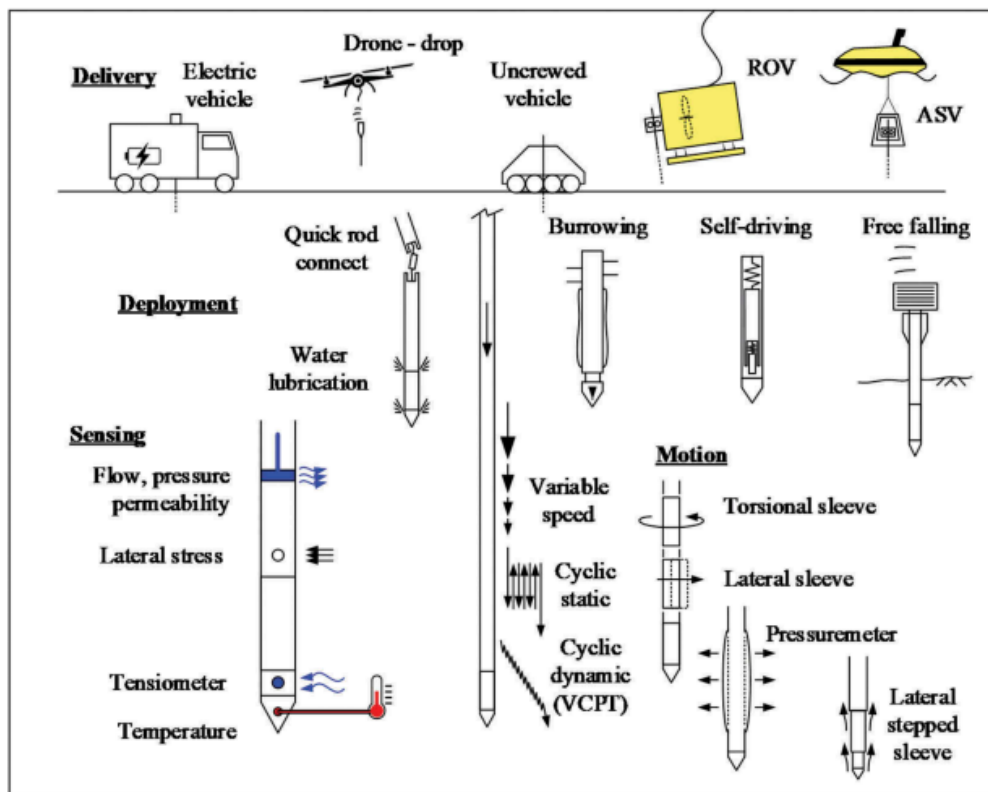
Полевые методы зондирования грунтов (CPT22, Bologna, Italy)



Согласно данным последнего международного симпозиума по статическому зондированию грунтов, который прошел в этом году Италии, **68 %** современных исследований посвящено **зондам с дополнительными датчиками и устройствами**

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ЗОНДЫ ДЛЯ СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ГРУНТОВ

Разработка новых зондов и оборудования для статического зондирования грунтов (CPT22, Bologna, Italy)



На этом симпозиуме, в обзорном докладе, был отмечен и зонд с модулем бокового давления разработанный совместно специалистами НИИОСП и фирмой «УСМ-Инжиниринг» (он показан на верхнем рисунке)

- ❑ До последнего времени в России **спецзонды применялись крайне недостаточно**.
- ❑ Основные причины этого следующие:
 - В России подобные зонды почти **не выпускались**.
 - **Отсутствовала** для них **нормативная база**.
 - **Не были выполнены** соответствующие **НИОКР**.
- ❑ В связи с этим в течение последних пяти лет **в НИИОСП были проведены научные исследования**, позволившие ликвидировать **пробелы** в нормативной базе, **разработать конструкции** ряда спецзондов и методы их применения

НИОКР (2018) РАЗРАБОТКА МЕТОДИК ИСПЫТАНИЙ ГРУНТОВ СТАТИЧЕСКИМ ЗОНДИРОВАНИЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПЕЦИАЛЬНЫХ ЗОНДОВ С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМИ ДАТЧИКАМИ И УСТРОЙСТВАМИ, МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕОТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГРУНТОВ



Комплект оборудования ПИКА-19К (зонд с дополнительным датчиком гамма-каротажа)



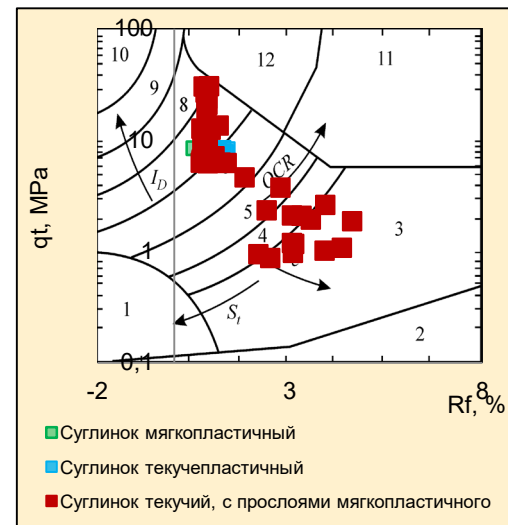
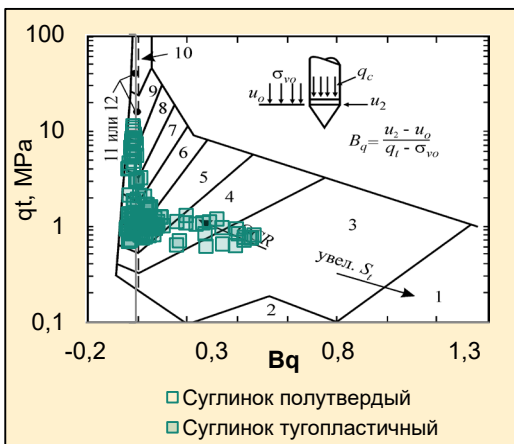
Зонд S-CPTU (FUGRO) с дополнительными датчиками порового давления и сейсмодатчиками



Зонд TR-CPTU (FUGRO) с дополнительными датчиками порового давления, температуры и электропроводности грунта



Испытания зондами FUGRO TR-CPTU и S-CPTU на опытной площадке АО "НИЦ "Строительство"

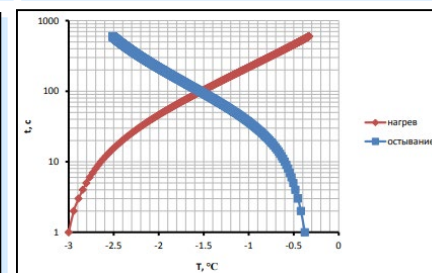
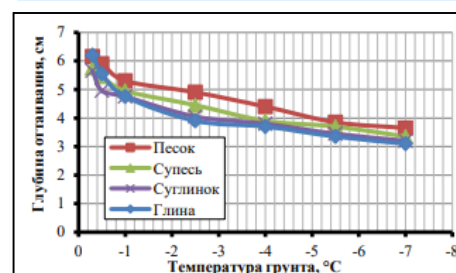
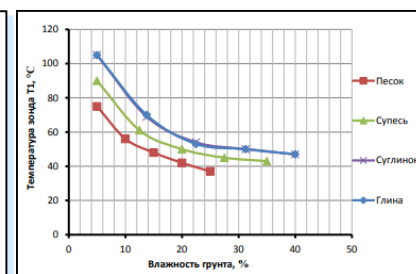
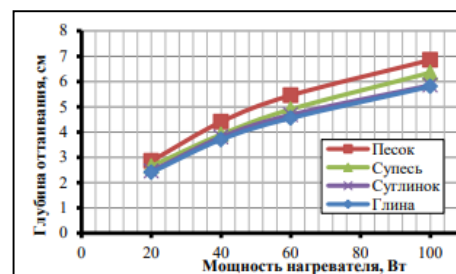
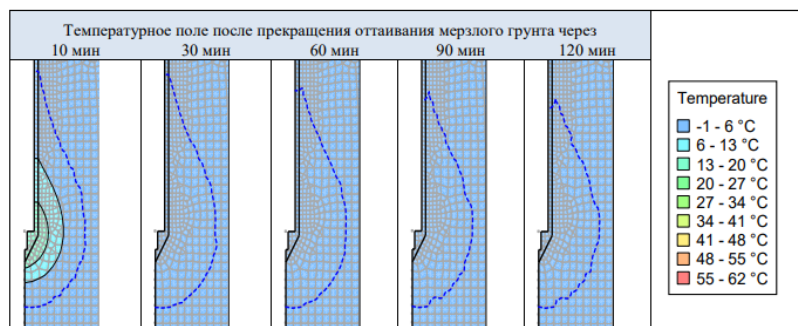
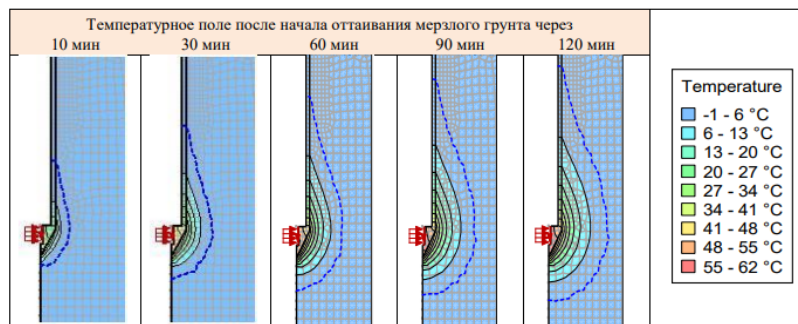


Первые исследования выполненные с привлечением зарубежных зондов показали, что **автоматически использовать зарубежный опыт их применения нельзя** - у нас другие грунтовые условия, другие методики испытаний, другая классификация грунтов, другие размеры зондов

$$T_{cs} = T_n + \frac{a}{t_s}$$

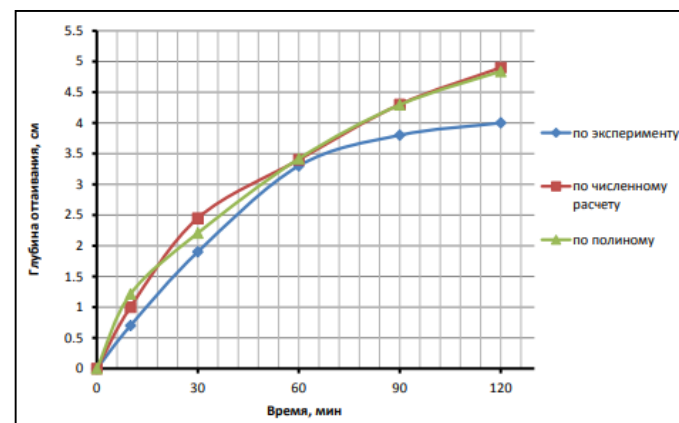
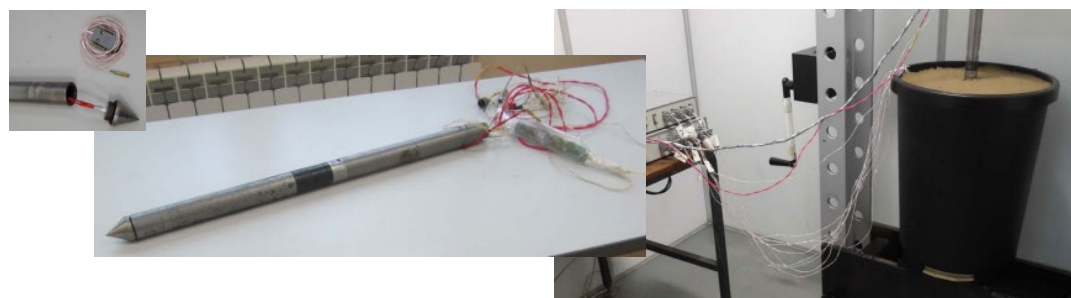
$$K_f = f_s / f_{sn}$$

НИОКР (2018) РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКИХ ОСНОВ ПОЛЕВОГО МЕТОДА ИСПЫТАНИЯ МЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ ТЕРМОСТАТИЧЕСКИМ ЗОНДИРОВАНИЕМ



$$H_{th} = a_1 T^2 + a_2 T + a_3 + b_1 W_{tot}^2 + b_2 W_{tot} + c_1 t^2 + c_2 t + d_1 P^2 + d_2 P$$

$$D_{th} = a_1 T^2 + a_2 T + a_3 + b_1 W_{tot}^2 + b_2 W_{tot} + c_1 t^2 + c_2 t + d_1 P^2 + d_2 P$$



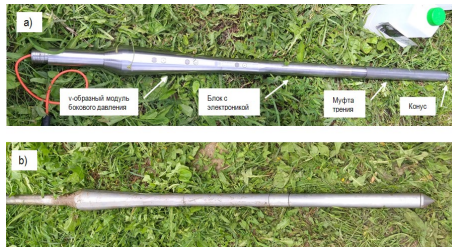
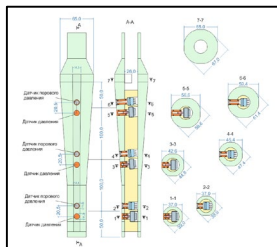
В 2018 г. был разработан **метод термостатического зондирования**, основанный на использовании зонда с датчиком температуры и нагревательным элементом. Выполненные исследования позволили разработать методику определения теплофизических и механических свойств мерзлых грунтов с учетом их оттаивания

Сравнительные результаты эксперимента и расчета глубины оттаивания для песков при температуре -2 °C

НИОКР (2019) РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКИХ ОСНОВ ПОЛЕВОГО МЕТОДА ИСПЫТАНИЙ ГРУНТОВ ЗОНДОМ С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ МОДУЛЕМ БОКОВОГО ДАВЛЕНИЯ (LS-CPT)



Наконечник зонда с тензосистемой **раздельного** типа в разобранном виде



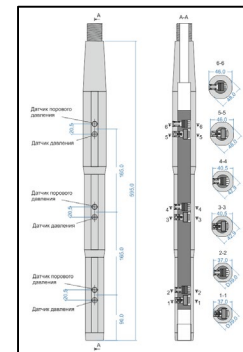
Наконечник зонда с тензосистемой **разностного** типа в разобранном виде

Факторы	Параметры напряженного состояния грунта					
	σ'_c	OCR	POP	K_o	σ'_{ho}	σ'_{ho}
σ'_{LS1}	0,66/0,67 ^B	-0,39	0,48	-0,34	0,92	0,95
u_{LS1}	0,03	-0,47	-0,10	-0,47	0,29	0,35
σ'_{LS2}	0,68/0,69 ^D	-0,35	0,51	-0,30	0,93	0,95
σ'_{LS2}	0,59/0,59 ^A	-0,45	0,40	-0,42	0,88	0,93
u_{LS2}	0,51	-0,44	0,32	-0,41	0,82	0,86
σ'_{LS2}	0,61/0,63 ^A	-0,45	0,43	-0,41	0,89	0,93
σ'_{LS3}	0,61/0,61 ^C	-0,44	0,43	-0,39	0,89	0,94
u_{LS3}	0,57	-0,43	0,38	-0,39	0,86	0,90
σ'_{LS3}	0,62/0,62 ^C	-0,43	0,44	-0,39	0,89	0,93
$\sigma'_{LS3}/\sigma'_{LS1}$	0,25	-0,48	0,11	-0,45	0,51	0,56
u_{LS1}/u_{LS1}	0,51	-0,43	0,36	-0,38	0,75	0,80
$\sigma'_{LS2}/\sigma'_{LS1}$	0,17	-0,60/-0,61 ^C	0,01	-0,59/-0,59 ^B	0,49	0,56
u_{LS2}/u_{LS1}	0,51	-0,43	0,36	-0,38	0,75	0,80

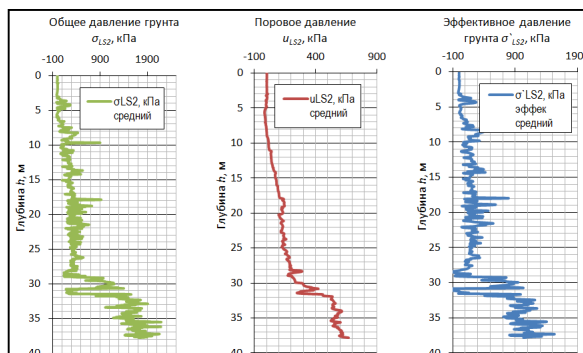
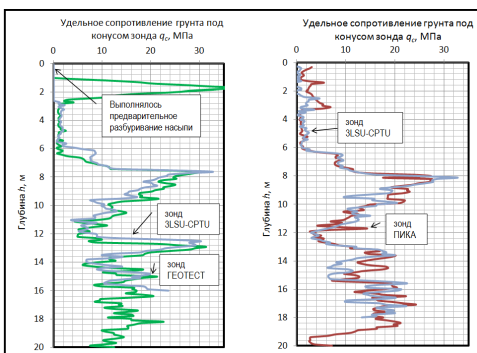
- связь статистически незначима
 - связь умеренная, $R(\rho) = 0,3-0,5$
 - связь заметная, $R(\rho) = 0,5-0,7$
 - связь высокая, $R(\rho) = 0,7-0,9$
 - связь весьма высокая, $R(\rho) \geq 0,9$

Тип уравнения регрессии:
 • А – экспоненциальное;
 • В – логарифмическое;
 • С – полиномиальное;
 • D – степенное

В числителе дроби приведено значение коэффициента корреляции ρ , в знаменателе – теоретическое корреляционное отношение λ для наиболее сильной нелинейной регрессионной зависимости

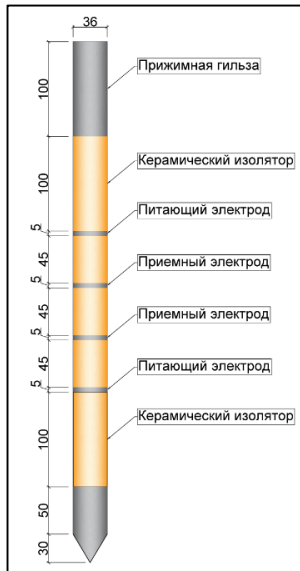


Рекомендуемые зависимости	
Отношение	Уравнение регрессии
OCR_e/OCR	$OCR_e = \left(\frac{-0,9669 \frac{\sigma'_{LS2}}{\sigma'_{LS1}} + 2,2928}{1 - \sin \varphi} \right)^2$
K_{oe}/K_o	$K_{oe} = -0,2762K_{D2} + 2,2798$
$\sigma'_{hoe}/\sigma'_{ho}$	$\sigma'_{hoe} = (-0,2762K_{D2} + 2,2798)\sigma'_{ho}$



В этом же был разработан уникальный **зонд с модулем бокового давления**, позволяющий измерять **11 параметров зондирования**. Выполненные с его помощью исследования позволили разработать методику определения параметров природного напряженного состояния грунтов.

НИОКР (2022) РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕСЧАНЫХ ГРУНТОВ



Фрагменты замера УЭС и температуры водяного раствора кондуктометр-солемером в процессе тарировки электрокаротажного модуля

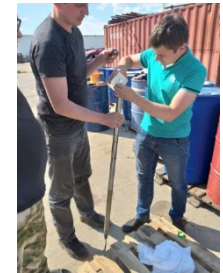
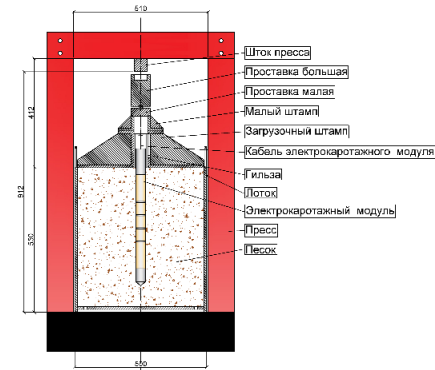


Схема электрокаротажного модуля

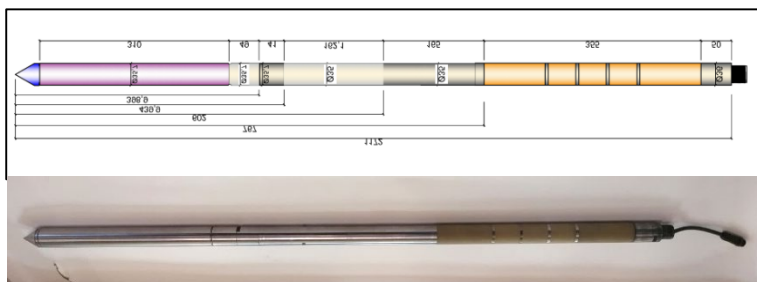
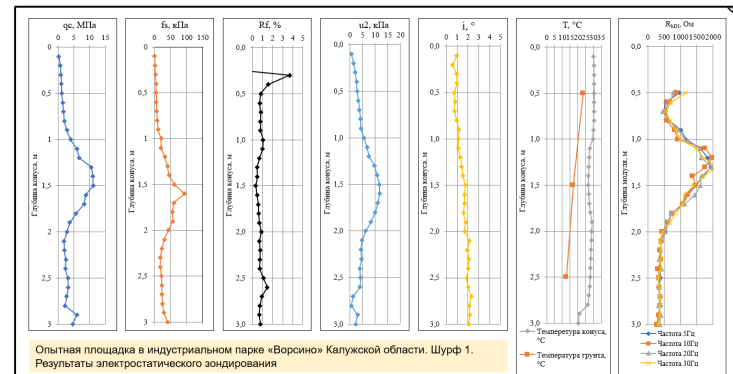


Схема и фото электростатического зонда



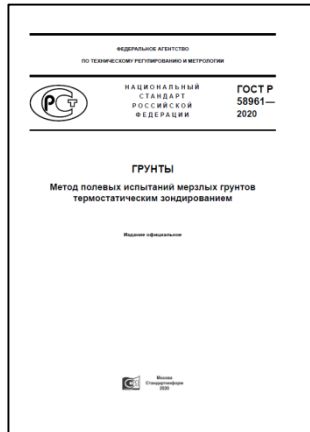
В 2022 году были проведены исследования грунтов **методом электростатического зондирования**. Впервые в России был разработан **зонд с электрокаротажным модулем**. Выполненные с его помощью исследования позволили разработать методику определения физических характеристик песчаных грунтов в условиях их природного залегания.

АКТУАЛИЗИРОВАННЫЕ И РАЗРАБОТАННЫЕ НОРМЫ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ СПЕЦИАЛЬНЫХ ЗОНДОВ ДЛЯ СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ГРУНТОВ

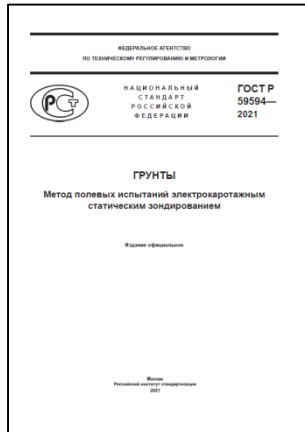
Сейсмостатическое зондирование
ГОСТ Р 59595-2021



Термостатическое зондирование
ГОСТ Р 58961-2020



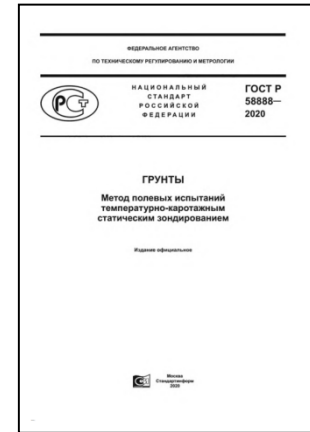
Электростатическое зондирование
ГОСТ Р 59594-2021



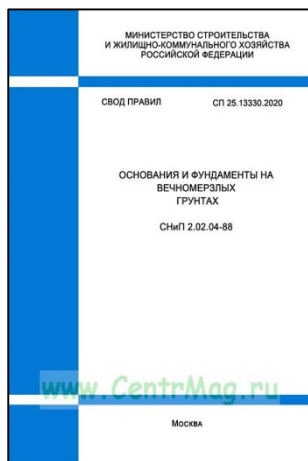
Пьезостатическое зондирование
ГОСТ 19912-2012



Температурностатическое зондирование
ГОСТ Р 58888-2020



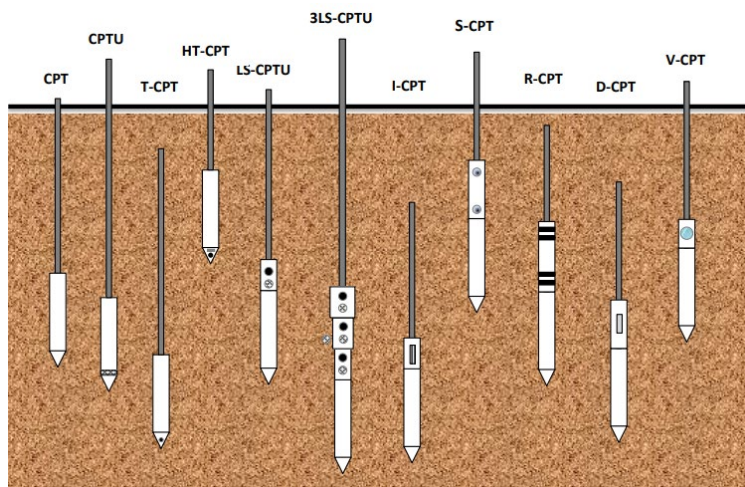
СП 25.13330.2020
Основания и фундаменты на
вечномерзлых грунтах



СП 493.1325800.2020
Основания и фундаменты на
вечномерзлых грунтах



ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ГРУНТОВ (НИИОСП-УСМ)



Измерительный комплекс соответствует требованиям ГОСТ 19912-2012, ГОСТ Р 58888-2020, ГОСТ Р 58961-2020, ГОСТ Р 59594-2021, ГОСТ Р 59595-2021.

Разработан на основе НИОКР, выполненных НИИОСП им. Н.М.Герсеванова, а также многолетнего опыта специалистов ООО «УСМ-Инжиниринг» в сфере разработки и производства аппаратуры для геотехнических изысканий и мониторинга.

Готово к коммерческой эксплуатации «ядро» измерительного комплекса: базовые тензометрические модули (CPT, T-CPT, CPTU, T-CPTU) с инклинометром, беспроводной блок измерения глубины и скорости зондирования, программное обеспечение, модуль бокового давления (2LS и 3LS) и электрокаротажный модуль (R). Разрабатываются и другие модули.

КОМПЛЕКТАЦИЯ МОДУЛЕЙ ЗОНДА

ТИП МОДУЛЯ	ИЗМЕРЯЕМЫЕ ПАРАМЕТРЫ												
	q_c	f_s	α	T_p	u_2	T_c	H	σ_{LS}	u_{LS}	α_{hp}	V_p/V_s	G_s/ρ_{er}	ϵ
БАЗОВЫЙ МОДУЛЬ													
CPT	●	●	●	●									
CPTU	●	●	●	●	●								
T-CPT	●	●	●	●		●							
HT-CPT	●	●	●	●		●	●						
ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ДАТЧИКИ И УСТРОЙСТВА (МОДУЛИ)													
2LS (3LS)									2(3)	2(3)			
I										●			
S											●		
R												●	
D													●

q_c – удельное сопротивление грунта под конусом; f_s – удельное сопротивление грунта вдоль муфты трения; α – угол наклона зонда к вертикали; T_p – температура тензосистемы зонда; u_2 – поровое давление между конусом и муфтой трения; T_c – температура конуса; H – нагрев конуса; σ_{LS} – полное боковое давление грунта; u_{LS} – поровое давление на боковой поверхности; α_{hp} – угол наклона зонда к вертикали, измеренный высокоточным двухосевым инклинометром; ; V_p и V_s – скорость продольных и поперечных волн в грунте G_s – удельная электропроводность грунта; ρ_{er} – удельное электрическое сопротивление грунта $=1/G_s$; ϵ – коэффициент диэлектрической проницаемости грунта

СЕРИЙНОЕ ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЗОНДОВ ДРУГИМИ ОРГАНИЗАЦИЯМИ

ТИП МОДУЛЯ	ИЗМЕРЯЕМЫЕ ПАРАМЕТРЫ	
	В РОССИИ	ЗА РУБЕЖОМ
БАЗОВЫЙ МОДУЛЬ		
CPT (стандартный модуль)	+	+
CPTU (+ датчик порового давления между конусом и муфтой трения)	+	+
T-CPT (+ датчик температуры в конусе)	+	+
HT-CPT (+ датчик температуры и нагревательный элемент в конусе)	-	-
ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ДАТЧИКИ И УСТРОЙСТВА (МОДУЛИ)		
2LS (3LS) (+ две или три пары датчиков полного и порового давления)	-	-
I (+ инклинометр)	+	+
S (+ пара сейсмоприемников)	-	+
R (+ пара питающих и пара приемных электродов)	-	+
D (+ датчики диэлектрической проницаемости)	-	-

**Спасибо за
внимание !**

