

УДК 624.131.37:624.131.38

**Аннотация**

Приведены принципы определения прочностных свойств песчаных грунтов при помощи зондирования и с использованием прочномера конструкции Ю. Ельцова и полученные коэффициенты для достоверности опытных данных. Показаны возможности использования прочномера при геотехническом мониторинге для выявления изменчивости свойств песков под фундаментами.

**Ключевые слова:** песчаный грунт, прочномер, полевые испытания, динамическое зондирование.

Ил. 9. Библиогр.: 5 назв.

**DETERMINATION DURABILITY PROPERTIES OF SANDY SOILS****Abstract**

This paper presented principles strength of sandy soils by means of sounding and Hand-held penetration (Prochnomer EP-12; design by Eltsov) and received factors for reliability truth of trial's data. Possibilities of this instrument in geotechnical monitoring help us to indicate versatility of sand properties under the foundations.

**Key words:** sandy soil, penetrometer, in-situ test, dynamic probing test.

Fig. 9. Ref.: 5 titles.

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ПЕСЧАНЫХ ГРУНТОВ



Моради Сани Б.

**Введение**

Механические характеристики песчаных грунтов ( $\gamma$  и  $\phi$ ) традиционно определяют лабораторными испытаниями образцов из отобранных монолитов на сдвиговом приборе, а в полевых условиях по результатам зондирования на различных глубинах или с использованием прочномера ЕП-12 конструкции Ю. Ельцова. Этот прибор позволяет определять механические характеристики песчаных грунтов на стадии геологических изысканий и при геотехнических реконструкциях. В отличие от зондирования его можно погружать под наклоном под существующие фундаменты и выявлять изменчивость свойств песка за счет обжатия при их эксплуатации.

Задачи исследования: проанализировать полученные с помощью зондирования и прочномера механические характеристики песков ( $\gamma$  и  $\phi$ ) и сравнить их с данными лабораторных испытаний (сдвиговый прибор), выявить корреляционные связи между получаемыми результатами и оценить их достоверность.

**Описание прибора**

Прочномер ЕП-12 (рис. 1) разработан в Ижевском механическом институте [1] и предназначен для ручного исследования конусами с вершинами 30°, 60°, 90° нескальных песчаных и глинистых

грунтов непосредственно в целике. С его помощью по усилию внедрения конусных наконечников на заданную глубину определяются прямые показатели прочности грунта. При этом по показаниям индикатора с использованием сжатия протарированной пружины прочномера определяется сопротивление погружению конуса  $V$ , МПа по формуле 1:

$$V = \frac{P}{A} = \text{const}, \quad (1)$$

где  $P$  – усилие вдавливания конуса, МПа,  $P = (H \cdot \text{tag} \alpha + P_0)$  (по Ю. Ельцову),  $A$  – боковая поверхность погружаемого конуса, м<sup>2</sup>.

Для пары равноугольных конусов существует зависимость коэффициента раздвига от угла внутреннего трения [2]:

$$K_2 = \frac{V_1}{V_2} = f(\phi). \quad (2)$$

Целесообразно применение не менее трех равноугольных конусов для повышения точности определения прочностных характеристик по среднему коэффициенту раздвига [2]:

$$K_3 = V_1 \frac{(V_2 + V_3)}{2V_2V_3} = f(\phi), \quad (3)$$

где  $V_1, V_2, V_3$  – раздвиг конусами с углами соответственно 30°, 60°, 90°.

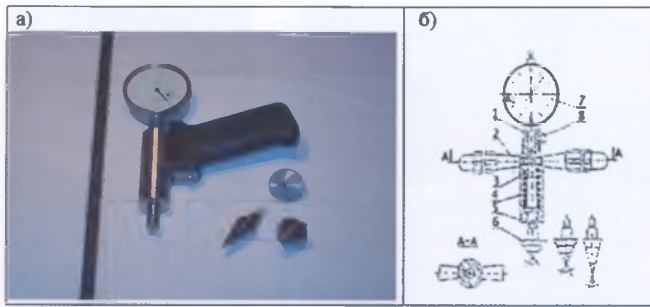


Рис. 1. Общий вид (а) и схема (б) прочномера ЕР-12: 1 – корпус, 2 – рукоятки, 3 – пружина, 4 – шток, 5 – крышка, 6 – конусный наконечник, 7 – индикатор

В интервале изменения угла внутреннего трения от 8° до 32° связь коэффициентов  $K_2$ , и  $K_3$  от коэффициента трения близка к линейной и выражается каноническими уравнениями [2]:

$$\text{tg } \phi = 1,11 - 1,47K_3 = 1,11 - 1,15K_2 \quad (4)$$

(по Ю. Ельцову).

### Тарировка прочномера

Ручную тарировку можно выполнить до усилия 25–30 кг, достаточного для установления математической формулы перевода показаний индикатора в усилие сжатия пружины. Формулу перевода устанавливают по графику связи показаний индикатора от усилий сжатия. Вес прочномера при этом не учитывается, так как он уравновешивается частью груза измерительного устройства.

Тарировка пружин показала, что в случае предусмотренной в нем исходной жесткости пружины ее сжатие оказывается пренебрежительно малым при погружении в песок с удельным весом менее 18 кН/м<sup>3</sup>. В связи с этим пришлось использовать пружины с меньшей жесткостью.

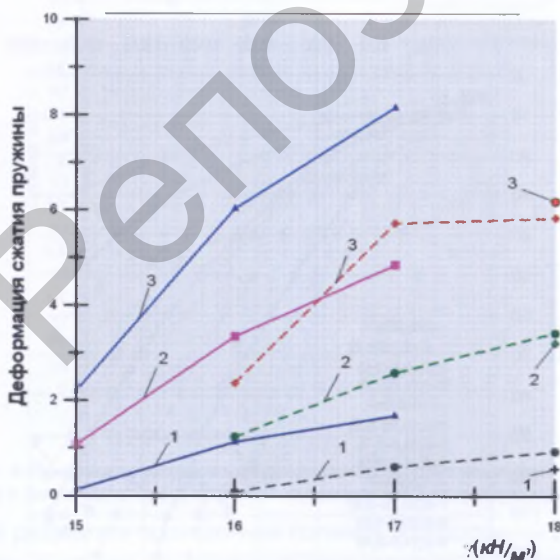


Рис. 2. Результаты тарировки пружин разной жесткости (сплошные линии – для пружины № 1, пунктирные – для пружины № 2 согласно исходной конструкции прибора): 1 – зонд с заострением 30°; 2 – то же 60°; 3 – то же 90°

Результаты тарировки прочномера в песке различной плотности по величине сжатия двух пружин с отличающимися жесткостями при погружении разноугольных конусов приведены на рис. 2. На нем сплошные линии даны для пружины № 1, пунктирные – для пружины № 2 согласно исходной конструкции прибора.

В соответствии с формулами (1–4) разными пружинами был определен угол внутреннего трения ( $\phi$ ) для каждой плотности. Одновременно в сдвиговом приборе определялся угол внутреннего трения ( $\phi$ ) для песка средней крупности с различными плотностями (табл. 1), (рис. 3).

Таблица 1

Результаты показаний угла внутреннего трения по данным сдвигового прибора и прочномера для песка средней крупности

$\gamma$ (кН/м <sup>3</sup> )	$\phi$ , deg			
	на сдвиговом приборе	Пружина № 1	Пружина № 2	Пружина № 3
15	25,19	30,57	–	–
16	26,45	30,87	30,24	–
17	27,47	31,85	31,482	–
18	28,34	30,57	32,07	32,09

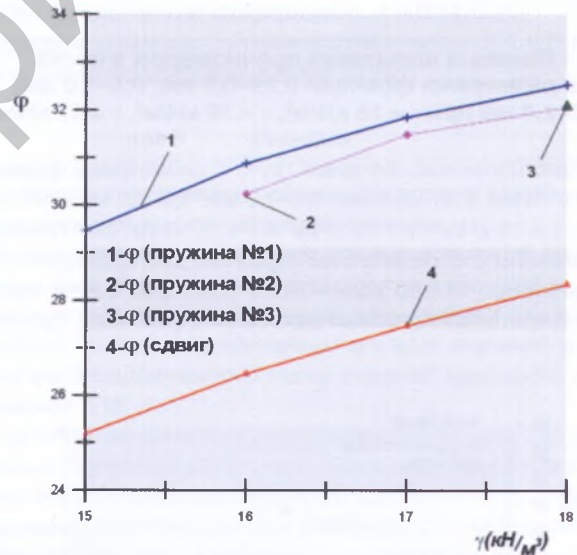


Рис. 3. Зависимость  $\phi = f(\gamma)$  для песка средней крупности при влажности 5% по результатам испытания прочномером Ю. Ельцова при различных плотностях: 1 – пружина № 1; 2 – пружина № 2; 3 – пружина № 3; 4 – сдвиг

Далее проводились лабораторные испытания на сдвиг песчаных фракций разных размеров, результаты которых представлены в табл. 2.

Сопоставление значений углов внутреннего трения, полученных при испытании на сдвиг и посредством прочномера, свидетельствует о том, что результаты вычислений по данным испытаний прочномером оказываются завышенными (рис. 3). При этом соотношение между данными прочномера и сдвигового прибора остается практически одинаковым для всех значений удельного веса песка средней крупности и составляет 1,16, а для удельного веса песчаных фракций



Результаты испытаний на сдвиг и прочномером песчаных фракций разных размеров

Таблица 2

Диаметр фракций	$\gamma$ (кН/м <sup>3</sup> )	Значение углов внутреннего трения по результатам испытаний ( $\phi$ , deg)	
		на сдвиговом приборе	прочномером
0,25–0,50 мм	15	24,47	31,19
	16	25,05	29,22
	17	25,52	33,68
0,50–1,0 мм	15	24,52	31,25
	16	25,26	30,426
	17	25,81	34,321
1,0–2,0 мм	15	26,45	34,204
	16	27,10	36,845
	17	27,64	39,840

с разными диаметрами (табл. 2) – 1,26 ( $\gamma = 15$  кН/м<sup>3</sup> и  $\gamma = 16$  кН/м<sup>3</sup>) и 1,36 ( $\gamma = 17$  кН/м<sup>3</sup>). Мы предлагаем вводить такие поправочные коэффициенты при интерпретации результатов испытаний с помощью прочномера Ю. Ельцова. Помимо этого, целесообразно жесткость пружин в приборе увязывать с плотностью сложения песчаных грунтов (рис. 4).

**Полевые испытания прочномером в песке с размерами фракций 0,25–0,5 мм; 0,5–1,0 мм; 1,0–2,0 мм при  $\gamma = 15$  кН/м<sup>3</sup>,  $\gamma = 16$  кН/м<sup>3</sup>,  $\gamma = 17$  кН/м<sup>3</sup>**

Подготовленный песчаный грунт с диаметрами фракций в диапазоне 0,25–0,50 мм; 0,5–1,0 мм; 1,0–2,0 мм с плотностью  $\gamma = 15$  кН/м<sup>3</sup>,  $\gamma = 16$  кН/м<sup>3</sup> и  $\gamma = 17$  кН/м<sup>3</sup> был помещен в скважины с определенной глубиной. Для проведения испытаний прочномер удлинялся с помощью зонда, на который крепился конусный наконечник (30°, 60°), при этом

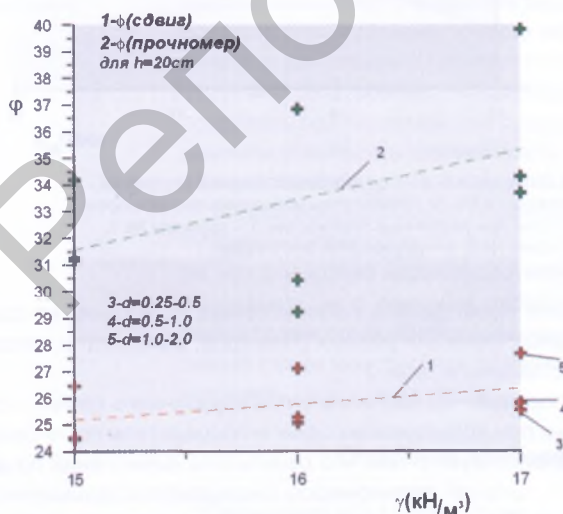


Рис. 4. Интерполяционные данные результатов испытаний на сдвиг и прочномером песчаных фракций разных размеров по данным табл. 2: 1 –  $\phi$  сдвига; 2 –  $\phi$  прочномер; 3 –  $d = 0,25-0,5$  мм; 4 –  $d = 0,5-1,0$  мм; 5 –  $d = 1,0-2,0$  мм

через каждые 5 см фиксировались показания индикатора прочномера.

По результатам испытаний получены следующие показания индикатора и глубины (рис. 5, 6).

Они свидетельствуют о нарастании сопротивлений песка с большей интенсивностью до глубины примерно 0,5 м с последующим ее плавным уменьшением по мере заглубления. В целом при всех удельных весах песчаных фракций и их диаметрах характерна нелинейная зависимость нарастания сопротивлений погружению зонда с глубиной, что прослеживается и от поверхности до небольшой глубины (рис. 6).

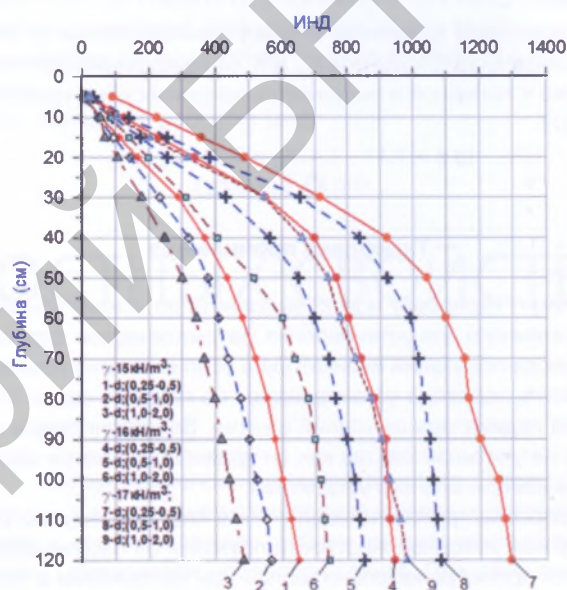


Рис. 5. Показатели индикатора прочномера по глубине в песках различной плотности с конусом  $\alpha = 30^\circ$ : 1,4,7 –  $d = 0,25-0,5$  мм; 2,5,8 –  $d = 0,5-1,0$  мм; 3,6,9 –  $d = 1,0-2,0$  мм; 1,2,3 –  $\gamma = 15$  кН/м<sup>3</sup>; 4,5,6 –  $\gamma = 16$  кН/м<sup>3</sup>; 7,8,9 –  $\gamma = 17$  кН/м<sup>3</sup>

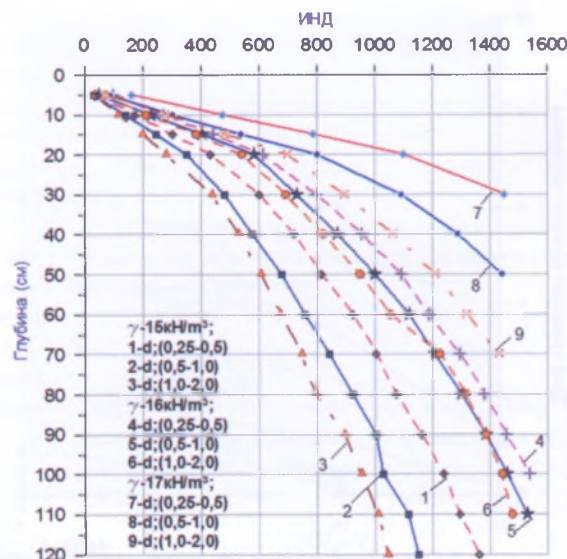


Рис. 6. Показатели индикатора прочномера по глубине в песках различной плотности с конусом  $\alpha = 60^\circ$ : 1,4,7 –  $d = 0,25-0,5$  мм; 2,5,8 –  $d = 0,5-1,0$  мм; 3,6,9 –  $d = 1,0-2,0$  мм; 1,2,3 –  $\gamma = 15$  кН/м<sup>3</sup>; 4,5,6 –  $\gamma = 16$  кН/м<sup>3</sup>; 7,8,9 –  $\gamma = 17$  кН/м<sup>3</sup>

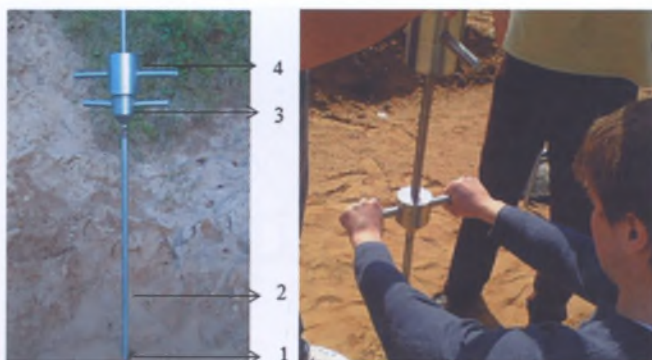


Рис. 7. Общий вид забивного зонда: 1 – конический наконечник; 2 – штанга; 3 – наковальня; 4 – молот

### Полевые испытания с использованием забивного зонда и прочномера

Испытания проводились на берегу реки в мелком песке с забивным зондом (рис. 7) и прочномером для сравнения сопротивлений под их конусами. Стандартный зонд имел массу молота 2,5 кг, высоту его падения – 300 мм, диаметр основания конуса – 16,0 мм и угол при вершине – 60° [3].

Динамическое зондирование выполнялось до глубины 2000 см последовательной забивкой зонда в грунт свободным падающим молотом с фиксацией числа ударов при погружении на каждые 10 см. При значительном изменении числа ударов изымался образец грунта на данной глубине для определения влажности и плотности в лабораторных условиях. В таком же грунте проводилось испытание прочномером с конусами 30° и 60°. Результаты этих испытаний представлены на рис. 8, 9.

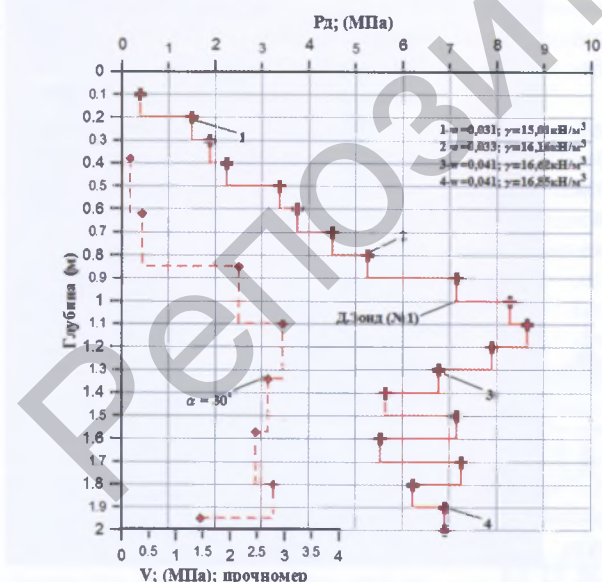


Рис. 8. Показатели условного динамического сопротивления грунта (Рд) и сопротивление (V) погружению прочномера с конусом  $\alpha = 30^\circ$

В результате проведенных полевых исследований с разными конусами получена итоговая зависимость между количеством ударов на залог 10 см (N) и сопротивлением под наконечником прочномера. Статистическая обработка данных позволила получить расчетную формулу:

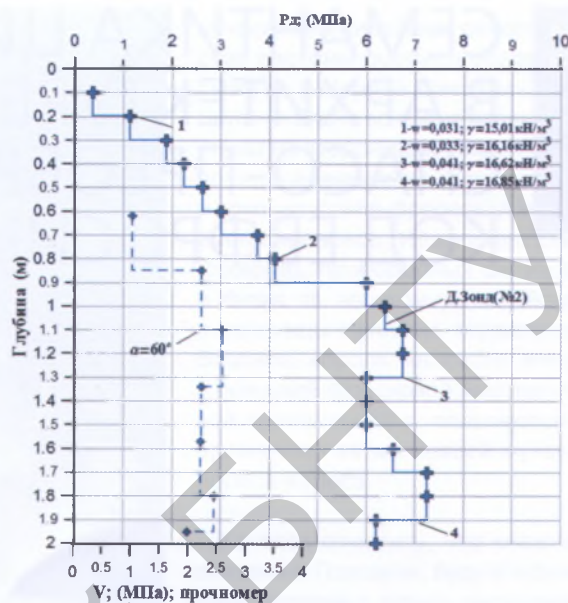


Рис. 9. Показатели условного динамического сопротивления грунта (Рд) и сопротивления прочномера (V) с конусом  $\alpha = 60^\circ$

$$V = kN - 0,55, \tag{5}$$

где k – эмпирический коэффициент,  $k = 0,14-0,20$ , V – раздвиг конусами с углами соответственно 30°, 60°, МПа, N – количество ударов на залеге 10 см.

### Выводы

1. Жесткость пружины прочномера должна приниматься соразмерно плотности испытываемого песка.
2. Результаты вычислений по данным испытаний прочномером превышают значения углов внутреннего трения, причем соотношение между данными прочномера и сдвигового прибора практически одинаковы для всех значений удельного веса маловлажного песка средней крупности и составляют 1,16.
3. Сопротивление однородного песка под конусом прочномера нарастает с глубиной нелинейно. При этом выявлено значительное занижение сопротивления погружению прочномера по отношению к условному динамическому сопротивлению грунта. Поэтому сопротивление под конусом прочномера должно быть скорректировано на коэффициент, составляющий в среднем  $K_0 = 3,2$ .

### Литература

1. Ельцов, Ю.А. Исследование грунтов наконечниками: учеб. пособие / Ю.А. Ельцов. – Ижевск: Изд-во УдГУ, 1990. – 112 с.
2. Ельцов, Ю.А. Грунтоэкология Удмуртии: учеб.-метод. / Ю.А. Ельцов, А.Ю. Ельцов. – Ижевск: ИжГТУ, 2003. – 86 с.
3. Проектирование забивных и набивных свай по результатам зондирования грунтов: П2-2000 к СНБ 5.01.01-99: введ. 01.07.2001. – Минск: утв. М-вом архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 25.06.2000. – 22 с.
4. Контроль степени уплотнения грунтов при возведении земляных сооружений: П12-2000 к СНБ 5.01.01-99: введ. 01.01.2002. – Минск: утв. М-вом архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 29.12.2000. – 62 с.
5. Грунты – методы полевого определения характеристик прочности и деформируемости: ГОСТ 20276-99: введ. 01.07.2001 (взамен ГОСТ 20276-85, ГОСТ 21719-80, ГОСТ 23253-78, ГОСТ 23741-79). – Минск: утв. М-вом архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 13.07.2000. – 57 с.