

Эмпирические и
теоретические зависимости в
практике статического
зондирования

Значительная часть специалистов-практиков, особенно зарубежных, считают статическое зондирование чисто «эмпирическим методом», теоретическая интерпретация которого малоперспективна. Такой подход по-своему логичен, если учесть, что за последние десятилетия достижения в сфере теоретического изучения зондирования представляются весьма скромными по сравнению с прогрессом, достигнутым в области создания оборудования для зондирования, в совершенствовании методики его проведения.

Неоднократно предпринимавшийся в 20-ом веке попытки установления каких-либо единых теоретических закономерностей, отражающих общую связь результатов зондирования со свойствами грунтов, не дали результатов, которые существенно бы повлияли на практические применения этого метода. До настоящего времени в использовании статического зондирования преобладает эмпиризм, проявляющийся намного больше, чем при использовании любых методов испытаний грунтов. При этом затруднения создает не столько многообразие эмпирических формул, сколько отсутствие системы в их использовании, недостаточная ясность их достоверности и областей применения.

В качестве математических моделей грунта обычно принимались:

- сыпучая среда, разрушение которой происходит по закону Кулона, за пределами зоны разрушения такая среда считается жесткой (недеформируемой);
- линейно-деформируемая среда, деформирование которой происходит по закону Гука, причем разрушение не возникает ни при каких нагрузках;
- упругопластическая среда, разрушающаяся в соответствии с законом Кулона и деформирующаяся в соответствии с законом Гука

Применительно же к статическому зондированию выполнение таких условий наталкивается на серьезные затруднения. Эмпирические зависимости между результатами зондирования и стандартными характеристиками грунтов, получаемые в отложениях разного литологического типа (пески, глины и т.д.), могут заметно различаться. В частности, в монографии М.А. Солодухина, вышедшей еще в 1975 году, приводятся 24 эмпирические формулы отечественных авторов, связывающие сопротивление различных грунтов под конусом зонда с модулем деформации этих грунтов. В работе Р.С. Зиангирова и В.И. Каширского для теории лишь одной Москвы приводятся 8 эмпирических формул для определения модуля деформации.

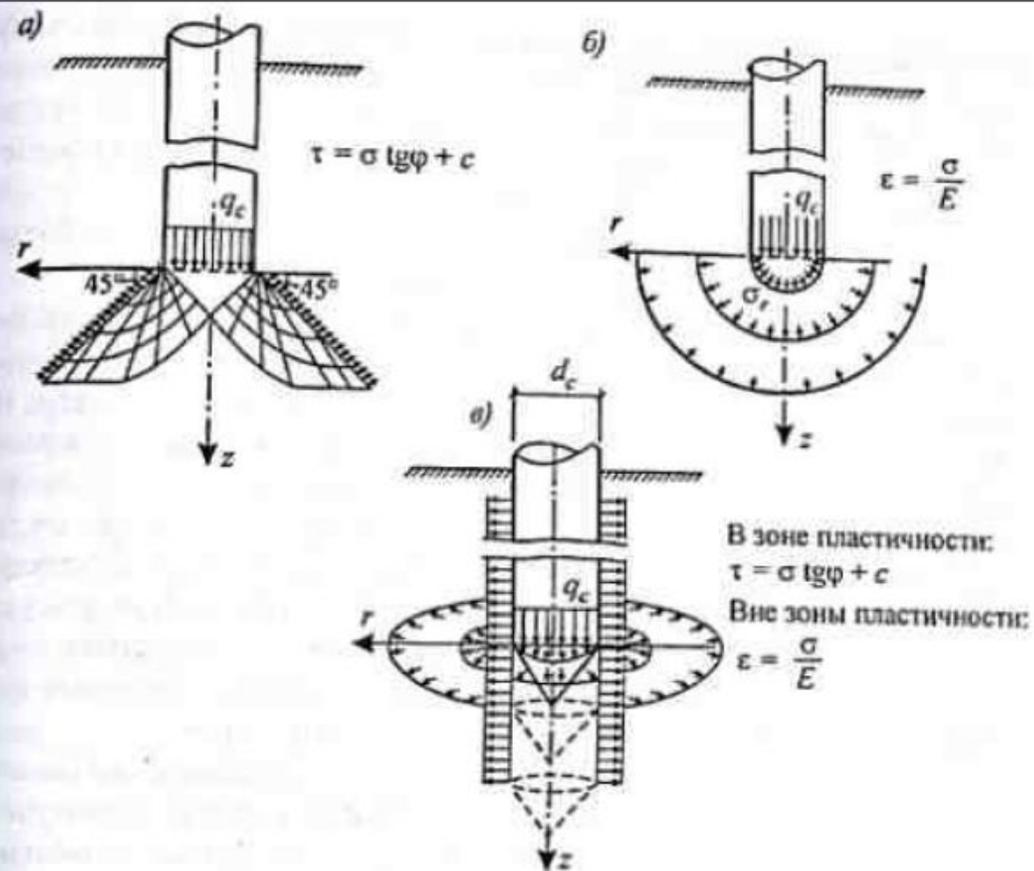


Рис. 2.17. Примеры расчетных схем, основанных на разных математических моделях грунта:

a – «глубокий фундамент», грунт – сыпучая среда Кулона (расчетная схема В.Г. Березанцева [7]); *б* – «расширяющаяся шаровая полость», грунт – линейно-деформируемая среда (расчетная схема В.И. Ферронского [105]); *в* – «расширяющаяся цилиндрическая скважина» [94, 66, 175, 75, 72], грунт – упругопластическая среда

В приведенных в табл. 2.2 формулах прочность грунта характеризуется одним параметром – сопротивлением срезу τ , соответствующим при использовании закона Кулона условию $\varphi = 0^\circ$. В связи с тем, что расчеты оснований всегда предполагают знание двух параметров среза – угла внутреннего трения φ и удельного сцепления c , более полезным представляется рассмотрение расчетных схем, в которых прочность упругопластической среды характеризуется двумя параметрами φ и c . В дальнейшем данный вопрос будет подробно рассмотрен именно с такой точки зрения, однако до этого целесообразно проанализировать приведенные выше упрощенные формулы. Такой анализ указывает на следующее.

Перспективность уточнения и последующего практического применения теоретических формул, основанных на моделях сыпучей или линейно-деформируемой сред ($q_c = f(\varphi)$, $q_c = f(E)$), представляется весьма малой. Эмпирические формулы (как и соответствующие им таблицы), отражающие те же связи, т.е. $q_c = f(\varphi)$, $q_c = f(E)$, независимо от теоретических исследований уже многие десятилетия используются в изыскательской практике. Как отмечалось, они неодинаковы в регионах с разными инженерно-геологическими условиями, т.е. их параметры отражают специфику конкретных типов грунтов. Учет этой специфики теоретическим путем пока представляется нерезальным, так как задачи о проникании зонда оказываются трудноразрешимыми даже для простейших сред, строго подчиняющихся упомянутым законам Кулона и Гука. Учет же структурных особенностей грунтов, истории их напряженно-деформированного состояния, анизотропии и других аналогичных особенностей методами одной лишь механики разрешить невозможно. На это, в частности, ука-

Типичные теоретические формулы, основанные на использовании моделей расширяющихся сферической и цилиндрической полостей в упругопластической среде [151, 66]

Сферическая полость		Цилиндрическая полость	
Авторы	Формулы	Авторы	Формулы
Г.Г. Мейергоф (1951)	$q_c = \left[\frac{4}{3} \left(1 + \ln \frac{E}{3\tau} \right) + 1 \right] \cdot \tau + \sigma$	Р. Хилл (1949)	$p_r = \left[1 + \ln \frac{E}{(5-4\nu)\tau} \right] \tau + \sigma$ ($q_c = \beta \cdot p_r$)
А.В. Скемптон (1951)	$q_c = \left[\frac{4}{3} \left(1 + \ln \frac{E}{\tau} \right) + 1 \right] \cdot \tau + \sigma$	Л. Менар (1957)	$p_r = \left[1 + \ln \frac{E}{(1-\nu)2\tau} \right] \tau + \sigma$ ($q_c = \beta \cdot p_r$)
Р.Е. Гибсон (1950)	$q_c = \left[\frac{4}{3} \left(1 + \ln \frac{E}{3\tau} \right) + \operatorname{ctg} \alpha' \right] \cdot \tau + \sigma$	О.М. Рзников (1961)	$p_r = \left[1 + 2 \ln \frac{E}{(1-\nu)^2 4\tau} \right] \tau + \sigma$ ($q_c = \beta \cdot p_r$)
А.С. Весич (1975)	$q_c = \left[\frac{4}{3} \left(1 + \ln \frac{E}{3\tau} \right) + 2,57 \right] \cdot \tau + \sigma$	М.М. Балих (1975)	$q_c = \left(1 + \ln \frac{E}{3\tau} + 11 \right) \cdot \tau + \sigma$

Статическое зондирование в настоящее время представляет область, где практика существенно опередила теорию и дальнейшее ее развитие нуждается в систематизации и осмыслении многочисленных зависимостей. Тем не менее условием такого осмысления должно быть соответствие общей теоретической зависимости получаемым на практике результатам, т.е. вычисляемые значения q_c не должны существенно отличаться от фактически измеренных

Таблица 2.3

Сравнение обобщенных экспериментальных данных, приведенных в СП 11-105-96 для глины, с результатами расчета величины q_c по формуле (2.13)

Эмпирические данные (табл. 5 прил. «Н» СП 11-105-96)				Теоретический расчет по формуле (2.13) для E , φ , c , приведенных в предшествующих столбцах
q_c , МПа	E , МПа	c , МПа	φ°	$q_c^{(теор)}$, МПа
0,5	3,5	0,025	14	0,7
1	7	0,030	17	1,3
2	14	0,035	18	2,1
3	21	0,040	20	2,7
4	28	0,045	22	3,5
5	35	0,050	24	4,0

Таблица 2.4

Сравнение обобщенных экспериментальных данных, приведенных в СП 11-105-96 для песков, с результатами расчета величины q_c по формуле (2.13)

Эмпирические данные (табл. 2 и 3 прил. «Н» СП 11-105-96)			Теоретический расчет по формуле (2.13) для E , φ , приведенных в предшествующих столбцах
q_c , МПа	φ°	E , МПа	$q_c^{(теор)}$, МПа
2	26	6 (17)	2,4 (4,9)
3	28	9 (18,5)	3,7 (6,0)
5	30	15 (21)	5,4 (7,0)
8	32	24 (25)	8,1 (8,2)
12	34	36 (30)	12,7 (11,9)
18	36	54 (38)	19,8 (14,4)

Спасибо за внимание!!!