

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЯ ПЛАСТИЧНОСТИ СЖИМАЕМЫХ ГРУНТОВ ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

А. В. Михалюк, Г. И. Черный

(Киев)

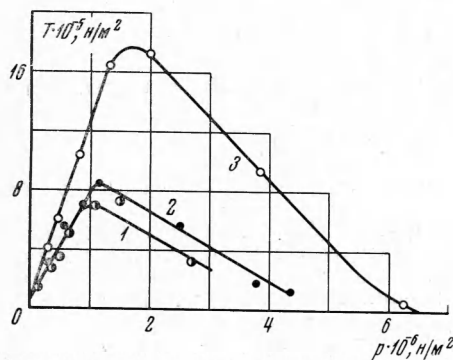
Приведены результаты экспериментальных исследований функции пластичности для различных сжимаемых грунтов (глины, суглинки, лессы) при динамическом нагружении. Показано, что вид функции пластичности существенно зависит от состава и влажности грунтов и от условий нагружения.

1. Для решения широкого круга прикладных задач динамики грунтов в качестве модели сжимаемого грунта часто используется жестко-пластическое или упруго-пластическое тело с условиями пластичности Прандтля — Мора или Мизеса — Шлейхера. При этом, как правило, удовлетворяются их упрощенной интерпретацией в виде линеаризованных соотношений между касательными и нормальными напряжениями [1-3]. В то же время в работе [2] отмечается, что при достаточно больших динамических нагрузках содержащий глинистые частицы грунт ведет себя как жидкость, лишённая касательных напряжений.

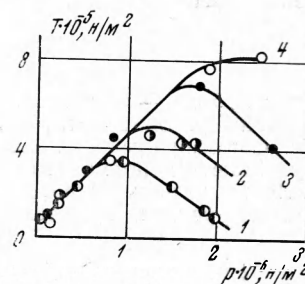
В работах [4,5] установлена роль вязких эффектов при динамических нагружениях различных грунтов. Закономерно предполагать, что вязкие эффекты также влияют на вид функции пластичности.

2. Экспериментальные исследования проводились по методике, не имевшей принципиальных отличий от изложенной в [4]. Образец грунта был заключен в цилиндрическую обойму, нагрузка осуществлялась ударом падающего груза по подвижному поршню. Для изменения скорости нагружения использовались эластичные прокладки разной толщины. Исследованиям подвергались глины и суглинки естественной структуры и лессы нарушенной структуры. Было испытано две разновидности киевских глин с плотностью $\gamma_0 = 1850 \text{ кг/м}^3$ и весовой влажностью $w = 23.5$ и 15% , киевские суглинки ($\gamma_0 = 1990 \text{ кг/м}^3$ и $w = 14.17\%$), херсонские суглинки ($\gamma_0 = 1830 \text{ кг/м}^3$, $w = 12.98\%$) и каховский лесс ($\gamma_0 = 1550 \text{ кг/м}^3$ и $w = 7.02\%$).

Характер напряженного состояния в грунте и его изменение во времени измерялись с помощью мембранных тензодатчиков, показания которых после предварительного усиления на усилителе низкой частоты 8 АНЧ-7м записывались на шлейфовом осциллографе Н-700.



Фиг. 1



Фиг. 2

По результатам обработки осциллограмм определялись (t — время) главные компоненты тензора напряжений

$$\sigma_1 = \sigma_z(t), \quad \sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_x(t) = \sigma_y(t)$$

среднее гидростатическое давление в грунте

$$p = \frac{1}{3} [\sigma_z(t) + 2\sigma_x(t)] \quad (2.1)$$

интенсивность касательных напряжений в грунте

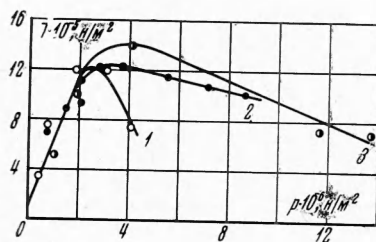
$$T = \frac{1}{3} \sqrt{3} [\sigma_z(t) - \sigma_x(t)] \quad (2.2)$$

Исключая параметр t из выражений (2.1) и (2.2), легко построить функцию $T = f(p)$, являющуюся условием пластичности грунта.

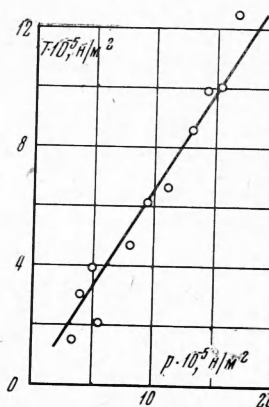
На фиг. 1—4 приведены зависимости $T = f(p)$, построенные по результатам проведенных экспериментов. Кривые 1 и 2 на фиг. 1 соответствуют глинам влажностью 23.5% при скорости нагружения соответственно $8.16 \cdot 10^8$ н/м².сек и $1.39 \cdot 10^9$ н/м².сек; кривая 3 — для глины влажностью 15% и скорости нагружения $7.54 \cdot 10^8$ н/м².сек. На фиг. 2. приведены зависимости $T = f(p)$ для киевских суглинков (кривая 1 — $\dot{\sigma} = 3.07 \cdot 10^8$ н/м².сек., кривая 2 — $\dot{\sigma} = 3.2 \cdot 10^8$ г/м².сек кривая 3 — $\dot{\sigma} = 4.64 \cdot 10^8$ н/м².сек, кривая 4 — $\dot{\sigma} = 7.95 \cdot 10^8$ н/м².сек).

На фиг. 3 даны аналогичные зависимости для херсонских суглинков (кривая 1 — $\dot{\sigma} = 2.42 \cdot 10^9$ н/м².сек, кривая 2 — $\dot{\sigma} = 4.39 \cdot 10^9$ н/м².сек, кривая 3 — $\dot{\sigma} = 7.55 \cdot 10^9$ н/м².сек) и на фиг. 4 — для лессов.

3. Анализ полученных результатов показывает, что общий вид функции пластичности для сжимаемых грунтов носит сложный характер. Вначале с возрастанием среднего гидростатического давления происходит рост интенсивности касательных напряжений. При достижении некоторого уровня давления касательные напряжения достигают максимального значения. Дальнейшее нагружение сопровождается уменьшением касательных напряжений в грунте до перехода его в состояние сжимаемой жидкости, когда $T = 0$.



Фиг. 3



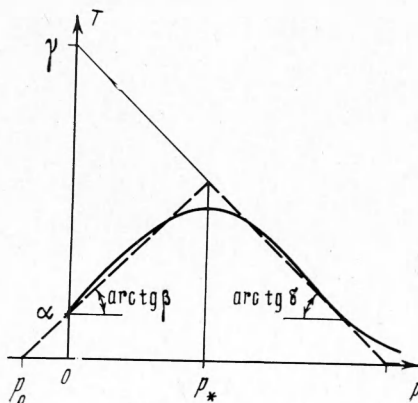
Фиг. 4

В общем виде зависимости $T = f(p)$ удовлетворительно аппроксимируются выражением

$$T = a(p + p_0)^b \exp[c(p + p_0)] \quad (3.1)$$

Здесь a , b и c — эмпирические коэффициенты, p_0 — коэффициент, имеющий размерность напряжений (см. фиг. 5).

Использование условия пластичности грунтов в виде (3.1) приводит к существенному усложнению математических решений, что не всегда удобно в практических расчетах. Поэтому с целью упрощения в первом приближении реальную функцию пластичности можно условно представить в кусочно-линейном виде (фиг. 5)

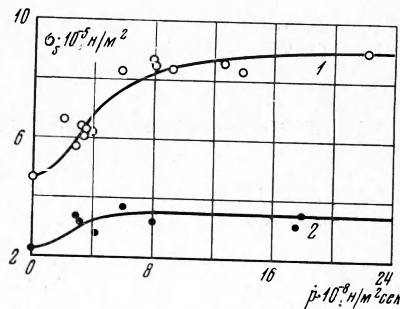


Фиг. 5

$$T = \alpha + \beta p \quad \text{при } 0 \leq p \leq p_* \quad (3.2)$$

$$T = \gamma - \delta p \quad \text{при } p_* \leq p \leq p_b \quad (3.3)$$

$$T = 0 \quad \text{при } p \geq p_b \quad (3.4)$$



Фиг. 6

Здесь p_* — давление, соответствующее максимальным касательным напряжениям в грунте; p_b — давление, при котором касательные напряжения в грунте становятся пренебрежимо малыми.

Коэффициенты α , β , γ и δ определяются эмпирически. Функция пластичности в виде (3.2) была впервые предложена С. С. Григоряном при применении к грунтам условия пластичности Мизеса — Шлейхера. Для участка падения касательных напряжений эта функция сохраняет свой вид, не являясь убывающей. Заметим, что выражение (3.2) по форме напоминает закон Кулона для октаэдрической площадки в грунте, поэтому коэффициенты α и β с точностью до постоянных множителей можно рассматривать как коэффициенты, характеризующие соответственно сцепление и внутреннее трение в грунте.

4. Рассматривая кривые, приведенные на фиг. 1—4, нетрудно заметить, что на описанный вид функции пластичности в значительной мере оказывают влияние состав и влажность грунта. Чем выше влажность грунта, тем меньших значений достигают в нем максимальные касательные напряжения, тем при меньшем давлении грунт переходит в состояние сжимаемой жидкости. Это хорошо согласуется с представлениями о прочности грунтов, принятыми в строительной практике. В то же время снижение влажности грунта повышает его сопротивление, увеличивает пределы применимости условия пластичности в виде (3.2). Это подтверждается как фиг. 4, так и аналогичными исследованиями, проведенными с грунтами малой влажности другими авторами [4].

Следует отметить, что с увеличением скорости нагружения в импульсе давления заметно возрастание максимальных касательных напряжений в грунте, что говорит о повышении сопротивления грунта деформированию. Это явление, отмеченное практически для всех грунтов, указывает на зависимость условия пластичности от так называемых временных параметров импульса давления и является одним из проявлений вязких свойств грунтов при деформировании.

Недостаточная точность регистрации малых давлений не дала возможности установить влияние скорости нагружения на вид функции $f(p)$ в области $0 \leq p \leq p_*$. Наличие такого влияния подтверждается установленной зависимостью предела прочности грунта, определяемого сцеплением и внутренним трением, от скорости нагружения, представленной для некоторых из упомянутых грунтов на фиг. 6 (кривая 1 — глина $w = 23,5\%$, кривая 2 — суглинок киевский).

Из отмеченного следует, что коэффициенты a , b , c , определяющие характер функции пластичности, в свою очередь зависят как от физико-механических свойств грунтов, так и от временных параметров импульса давления. Установление этих зависимостей является объектом специальных исследований. Здесь ограничимся лишь указанием на существование таких зависимостей, как это следует из анализа кривых, представленных на фиг. 1—3.

Поступила 14 V 1969

ЛИТЕРАТУРА

1. Григорян С. С. Об основных представлениях динамики грунтов. ПММ, 1960, т. 24, вып. 6.
2. Рахматулин Х. А., Сагомонян А. Я., Алексеев Н. А. Вопросы динамики грунтов. М., Изд-во МГУ, 1963.
3. Григорян С. С., Ляхов Г. М., Мельников В. В., Рыков Г. В. Взрывные волны в лёссовидном грунте. ПМТФ, 1963, № 4.
4. Мельников В. В., Рыков Г. В. О влиянии скорости деформирования на сжимаемость лёссовых грунтов. ПМТФ, 1965, № 2.
5. Михалюк А. В. Определение размеров полостей и зон уплотнения при взрывах в грунтах с учетом их вязких свойств. В сб.: «Взрыв в пористых и дисперсных средах», Киев, «Наукова думка», 1969.