

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СЖИМАЕМОСТИ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ ПРИ ПОДЗЕМНЫХ ВЗРЫВАХ

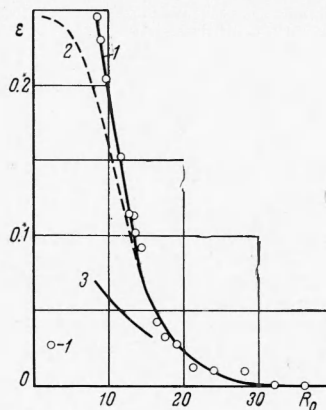
Г. В. Рыков

(Москва)

Рассматриваются результаты экспериментальных исследований сжимаемости глинистых грунтов — лёссовидных суглинков, суглинков и глин — при подземных взрывах. Полученные данные о деформациях на фронте ударной волны и их сопоставление с данными об остаточных деформациях свидетельствуют о существенности влияния вязко-пластических свойств рассматриваемых грунтов на их сжимаемость при кратковременных нагрузках, возникающих при подземных взрывах. Качественно и количественно подтверждаются выводы, сделанные ранее в [1].

1. Методика и условия проведения опытов.

В опытах на различных расстояниях от центра взрыва исследовались деформации на фронте ударной волны, распространяющейся при подземном взрыве в массиве ненарушенного грунта, а также остаточные деформации на тех же расстояниях после взрыва. Величины зарядов в опытах менялись от 0.2 до 200 кг. В опытах измерялись поля напряжений и скоростей частиц и их изменение во времени и пространстве. Радиальные σ_r и тангенциальные σ_α главные нормальные напряжения измерялись при помощи высокочастотных мембранных тензодатчиков диаметром $D=60$ мм, высотой корпуса $h=20-30$ мм и толщиной мембраны $\delta=2-7$ мм. Сигналы тензодатчиков через усилители типа УТС-12 регистрировались на шлейфных осциллографах типа Н-102, Н-105. Радиальные скорости частиц v измерялись датчиками, представлявшими собой соленоид, расположенный в дуралюминиевом корпусе, со свободно перемещающимся внутри соленоида цилиндрическим постоянным магнитом. Записи этих датчиков также регистрировались на осциллографах Н-102, Н-105. Датчики устанавливались на безразмерных расстояниях $R_0 = 12, 15, 20, 30, 40$ от центра взрыва в скважинах диаметром $d=150-200$ мм. Здесь $R_0 = r/r_0$, r — расстояние от центра взрыва в м, $r_0 = 0.054 \cdot C^{1/3}$ — радиус заряда в м, C — вес заряда в кг.



Фиг. 1

После соответствующей ориентации датчиков относительно направления распространения волны при взрыве скважины затрамбовывались ранее вынутым грунтом. Измерение остаточных плотностей производилось путем отбора проб после взрыва на различных расстояниях от центра взрыва по стандартной методике при помощи полевой лаборатории Литвинова.

Приводим данные о гранулометрическом составе грунта. Первая строка относится к тяжелому лёссовидному суглинку [1] с объемным весом скелета $\gamma = 1.35-1.47$ г/см³ и весовой влажностью $w = 12-14\%$; вторая строка — к суглинку с $\gamma = 1.60-1.65$ г/см³ и $w = 10-15\%$; третья строка — к плотной глине с $\gamma = 1.70-1.75$ г/см³ и $w = 20-23\%$.

	0.5—0.25	0.25—0.1	0.1—0.05	0.05—0.001	0.001—0.005	0.005—0.001	Менее 0.001
(1)	0.20	6.70		45.50	13.45	34.15	
(2)	26.70	36.46		26.60	1.27	8.97	
(3)	0.39	0.45	1.99	49.37	18.70	17.10	12.0

2. Результаты исследований. В результате исследований параметров взрывных волн было установлено, что в суглинках и глинах, как и в песчаных лёссовых грунтах [2-4], на близких расстояниях от центра взрыва имеют место ударные волны с резким, скачкообразным нарастанием напряжения на фронте волны. Ударные волны по мере удаления от центра взрыва трансформируются в непрерывные волны с плавным нарастанием напряжения в волне до максимального значения. По экспериментальным данным была проведена проверка выполнения на фронте ударной волны соотношения

$$\sigma_{r*}(R_0) = \rho_0 \cdot v_*(R_0) \cdot D_*(R_0), \quad \rho_0 = \frac{\gamma(1 + 0.01 w)}{g} \quad (2.1)$$

Здесь ρ_0 — начальная плотность; $D_*(R_0)$ — скорость распространения фронта ударной волны. Приводим соответствующие средние значения $\sigma_{r*}(R_0)$, полученные по результатам независимых измерений $\sigma_{r*}(R_0) \equiv \sigma_1$ и вычисленные по формуле (2.1) по данным о скоростях частиц и скоростях распространения фронта волны $\sigma_{r*}(R_0) \equiv \sigma_2$ для указанных выше грунтов соответственно для строк (1), (2), (3).

(1) $R_0 = 10$	12	15	20	25	30
$\sigma_1 = 30.7$	19.5	9.8	3.8	1.8	1.0
$\sigma_2 = 37.0$	19.8	10.6	4.8	2.8	1.7
$\Delta = +20.5$	+1.5	+8.2	+26.2	+55.5	+70.0
(2) $R_0 = 15$	20	25	30	40	
$\sigma_1 = 22.0$	9.8	5.3	3.0	1.1	
$\sigma_2 = 27.1$	12.8	7.5	4.0	1.6	
$\Delta = +23.2$	+30.6	+41.5	+33.3	+45.5	
(3) $R_0 = 15$	20	25	30	40	
$\sigma_1 = 236$	92.2	45.0	27.2	6.9	
$\sigma_2 = 192$	58.2	25.9	12.6	4.8	
$\Delta = -18.6$	-37.0	-42.3	-53.5	-30.5	

Здесь

$$\Delta = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\sigma_1} \%$$

Из этих данных следует, что соотношение (2.1) удовлетворительно выполняется в исследованных глинистых грунтах при $R_0 \leq 15-20$, что соответствует напряжениям σ_{r*} , равным $15-20 \text{ кг/см}^2$ для суглинков и $60-90 \text{ кг/см}^2$ для глин. Аналогичные данные по величинам напряжений, при которых существуют ударные волны в суглинках, приведены в [5].

Существование ударных волн дает возможность определять деформацию на фронте по формуле

$$\varepsilon_*(R_0) = \frac{\sigma_{r*}(R_0)}{\rho_0 D_*^2(R_0)} \quad (2.2)$$

В (2.2) величины $\sigma_{r*}(R_0)$ и $D_*(R_0)$ для глинистых грунтов, как и ранее для песчаных [2, 3], определяются следующими эмпирическими формулами

$$\sigma_{r*}(R_0) = KR_0^{-\mu_1} \frac{\text{кг}}{\text{см}^2} \quad 15 \leq R_0 \leq 40,$$

$$D_*(R_0) = \frac{54}{\mu_2 K_2 R_0^{\mu_2 - 1}} \frac{\text{см}}{\text{сек}} \quad 7 < R_0 \leq 20 \quad (2.3)$$

Здесь опытные коэффициенты:

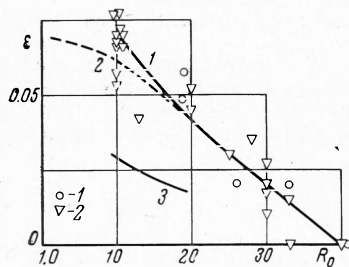
для суглинка

$$K_1 = 42.6 \cdot 10^3, \quad \mu_1 = 2.81,$$

$$K_2 = 8.13 \cdot 10^{-3}, \quad \mu_2 = 2.12$$

для глины

$$K_1 = 28.0 \cdot 10^5, \quad \mu_1 = 3.45, \quad K_2 = 0.58 \cdot 10^{-3}, \quad \mu_2 = 2.45$$



Фиг. 2

Для лёссовидного суглинка соответствующие данные были приведены ранее в [4].

Данные по величинам $\varepsilon_*(R_0)$, построенные согласно (2.2), (2.3), приведены на фиг. 1—2 (кривые 3) соответственно для лёссовидного суглинка (фиг. 1) и глины (фиг. 2). Для сопоставления на фиг. 1, 2 приведены опытные данные по изменению остаточных деформаций $\varepsilon_0(R)$ в этих же грунтах на различных расстояниях от центра взрыва. На фиг. 1, 2 точки 1, 2 соответствуют зарядам $C = 1.6, 0.26 \text{ кг}$.

По этим данным построены кривые 1 изменения остаточных деформаций $\varepsilon_0(R)$ с удалением от центра взрыва. Здесь $R = r/r_0$, r — расстояние от центра заряда после взрыва (координата Эйлера). Для сопоставления величин $\varepsilon_0(R)$ с данными об изменении деформаций на фронте ударной волны $\varepsilon_0(R_0)$ необходимо перестроить зависи-

мость $\varepsilon_0(R)$ в координатах Лагранжа. Воспользовавшись законом сохранения массы, получим

$$R_0^3 = 1 + 3 \int_{R_1}^R \frac{\eta^2 d\eta}{1 - \varepsilon_0(\eta)}, \quad \bar{R}_1 = \frac{r_1}{r_0} \quad (2.4)$$

Здесь r_1 — радиус каверны после взрыва.

Кривые 2 на фиг. 1—2, построенные согласно (2.4), соответствуют распределению остаточных деформаций $\varepsilon_0(R_0)$ в координатах Лагранжа. Сравнение кривых 2, 3 фиг. 1, 2 и аналогичных данных для суглинков (2) показывает, что остаточные деформации $\varepsilon_0(R_0)$ оказались значительно больше деформаций на фронте ударной волны $\varepsilon_*(R_0)$ при $R_0 = 10$ —15 в лёссовом грунте и в глине в 2 раза, в суглинке — в 1.3 раза. Следует заметить, что с увеличением расстояния R_0 и, следовательно, с уменьшением напряжений это различие уменьшается.

Для случая лёссовидного суглинка (фиг. 1), для которого имеются данные статических испытаний [1], можно также утверждать, что остаточные деформации после взрыва не превышали деформаций, соответствующих статической нагрузке, равной по величине максимальному напряжению на фронте ударной волны.

Полученные результаты не могут быть объяснены в рамках упруго-пластической модели [6]. Они свидетельствуют о том, что деформации в грунте при взрывах продолжают нарастать при выполнении условий разгрузки по напряжениям $\partial\sigma/\partial t < 0$ и подтверждают полученный ранее в [1] вывод о существенности влияния временных эффектов, в частности скорости деформирования, на объемную сжимаемость глинистых грунтов при кратковременных нагрузках. Автор благодарит С. С. Григоряна за полезные советы и В. В. Мельникова, принимавшего участие в экспериментах.

Поступила 17 IV 1967

ЛИТЕРАТУРА

1. Мельников В. В., Рыков Г. В. О влиянии скорости деформирования на сжимаемость лёссовых грунтов. ПМТФ, 1965, № 2.
2. Рыков Г. В. Экспериментальное исследование поля напряжений при взрыве в песчаном грунте. ПМТФ, 1964, № 1.
3. Алексеев В. Д., Григорян С. С., Кошелев Л. И., Новгородов А. Ф., Рыков Г. В. Измерение волн напряжений в мягких грунтах. ПМТФ, 1963, № 2.
4. Григорян С. С., Ляхов Г. М., Мельников В. В., Рыков Г. В. Взрывные волны в лёссовидном грунте. ПМТФ, 1963, № 4.
5. Ляхов Г. М. Основы динамики взрыва в грунтах и жидких средах. Изд. «Недра», 1964.
6. Григорян С. С. Об основных представлениях динамики грунтов. ПММ, 1960, т. 24, вып. 6.

ОБ ИЗМЕНЕНИИ ДАВЛЕНИЯ И РАСХОДА В СКВАЖИНАХ ПОРИСТО-ТРЕЩИНОВАТОГО КОЛЛЕКТОРА

Р. И. Медведский

(Баку)

В работе строятся двусторонние оценки для изменения давления при пуске скважины с постоянным дебитом и дебита при пуске с постоянным забойным давлением. Приводится также решение задачи методом осреднения. Содержатся графики характерных теоретических кривых изменения давления и экспериментальные кривые, относящиеся к месторождению Кюровдаг.

1. Разработка гидродинамических методов исследования скважин, вскрывающих пористо-трещиноватые коллектора, упирается в решение следующих двух основных задач: 1) найти изменение забойного давления $\Delta p(t)$ при возмущении стационарного состояния пласта резким изменением расхода скважины на постоянную величину Δq_0 , 2) найти изменение расхода скважины $\Delta q(t)$ при возмущении стационарного состояния пласта резким изменением забойного давления на постоянную величину Δp_0 .

Пусть функция $U(r, t)$ означает отклонение давления в трещинах возмущенного пласта над стационарным. В пористо-трещиноватых средах с пренебрежимо малой