

3. Кинеловский С. А., Матюшкин Н. И., Тришин Ю. А. Движение цилиндрического поршня, окруженного слоем расширяющегося газа.— В кн.: Динамика сплошной среды. Вып. VII. Новосибирск, изд. Ин-та гидродинамики СО АН СССР, 1971.
4. Целминш А. Методы расчета взрывов в цилиндрической полости.— ПМ, 1969, т. 36, сер. Е, № 2.
5. Defourneaux M. Transfers d'energie dans les combustions et detonations avec confinement.—«Astronautica Acta», 1972, vol. 17.
6. Каширский А. В., Коровин Ю. В., Одинцов В. А. Движение оболочки при осевой детонации.— ПМТФ, 1971, № 1.

УДК 662.215.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВОЛНЫ В ГРУНТЕ С ПРЕГРАДОЙ ПО ЗАПИСЯМ НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ

Г. М. Ляхов, В. А. Плаксий, К. С. Султанов

(Москва, Киев)

При экспериментальных исследованиях взаимодействия взрывных волн с преградами ранее изучались напряжения и скорости частиц в грунте, нагрузки на преграду и ее смещение [1—4].

Ниже приводятся результаты экспериментальных исследований, включавшие одновременное измерение во времени напряжений и деформаций грунта при прохождении падающей и отраженной воли, а также нагрузки на преграду. Это позволило уточнить закономерности первичного и повторного сжатия грунта и проверить применимость модели вязкопластической среды [4].

Эксперименты проводились в лессовом грунте нарушенной структуры, уложенном в котлован глубиной 2 м, шириной и длиной по 1 м. Стенки котлована покрывались листами кровельного железа для уменьшения трения грунта при смещении и для обеспечения одномерности движения. В котловане по всему поперечному сечению устанавливалась железобетонная плита. Ее толщина в первом варианте составляла 0,05 м, а во втором 0,5 м, масса на единицу площади 120 кг/м² и 1200 кг/м² соответственно. Плита толщиной 0,05 м ставилась на глубине 0,3 м, а толщиной 0,5 м — на глубине 0,6 м.

Датчики для измерения напряжений и деформаций размещались в грунте над плитой и на ее поверхности. Напряжение измерялось высокочастотными тензометрическими датчиками, деформации грунта — датчиками, основанными на одновременной записи во времени смещений двух тонких алюминиевых дисков, параллельных плоскости заряда и удаленных на 0,05 м друг от друга. Пространство между дисками заполнялось грунтом, за исключением тонкой трубки, соединяющей диски, в которой находился механизм, позволяющий регистрировать смещение. Сопротивление этого механизма сжатию пренебрежимо мало по сравнению с сопротивлением грунта. Показания датчиков фиксировались на шлейфных осциллографах. Для обеспечения одинаковых условий котлован перед каждым опытом очищался от грунта и заполнялся вновь. При этом проводилась установка датчиков.

Волна создавалась при взрыве на поверхности грунта плоского заряда ВВ, перекрывавшего все поперечное сечение котлована. Заряд состоял из параллельно уложенных и соединенных между собой по краям нитей детонирующего шнура. Применялись заряды массой на единицу площади

| Диаметр частиц, мм | 0,25—0,05 | 0,05—0,01 | 0,01—0,005 | 0,005—0 |
|----------------------------|-----------|-----------|------------|---------|
| Их содержание, % | 9,6 | 73,6 | 6,8 | 10,0 |

$C = 0,3 \text{ кг/м}^2$. Сверху заряд обсыпался грунтом толщиной 0,4 м (грунто-вая забойка).

Объемный вес скелета грунта $\gamma_0 = (1,37—1,43)10^3 \text{ кг/м}^3$, влажность $W = 9,8—16,2\%$. Гранулометрический состав приведен в таблице.

Рассмотрим результаты опытов. Падающая волна сохраняет скачок на фронте на расстоянии от заряда $r \leq 0,1 \text{ м}$, что соответствует максимальному напряжению $\sigma_{max} \sim 5,0 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$. На расстояниях до 0,3 м кривые содержат участок, где напряжение нарастает практически скачком. С удалением волны происходит размывание скачка и к плите подходит непрерывная волна сжатия. Вследствие относительно малой массы плита толщиной 0,05 м быстро вовлекается в движение вместе с грунтом, поэтому эффект отражения незначителен: максимальное напряжение на верхней поверхности плиты на 5—10% больше, а на нижней на 5—10% меньше, чем на той же глубине в падающей волне. Датчики в грунте над плитой отраженной волны практически не фиксируют.

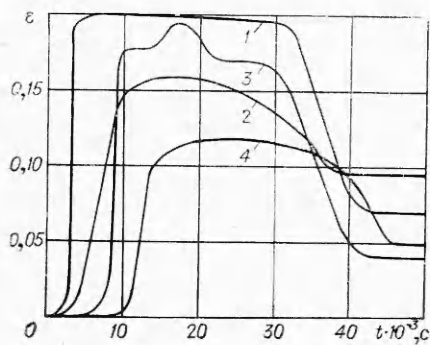
На фиг. 1 представлены в одном масштабе кривые $\sigma(t)$, полученные в опытах с плитой массой 1200 кг/м^2 (1—3 записаны на глубинах 0,2; 0,4 и 0,5 м соответственно, 4 — на верхней поверхности плиты (0,6 м)). В случае плиты массой 1200 кг/м^2 в грунте над ней наблюдаются два максимума напряжения, создаваемых падающей и отраженной волнами. На глубине 0,5 м напряжение в отраженной волне больше, а на глубинах 0,2 и 0,4 м — меньше, чем в падающей волне. Время нарастания напряжения в падающей волне с расстоянием увеличивается (продолжается размывание волны). Скорость распространения максимума напряжения падающей волны 50—70 м/с, а отраженной 250—300 м/с, т. е. в 4—6 раз больше. Значительное превышение скорости максимума отраженной над скоростью падающей волны наблюдалось в песчаных грунтах. Скорости составляли 50—60 и 800—1000 м/с соответственно [3].

На фиг. 2 представлены кривые $\varepsilon(t)$ (1, 2 соответствуют показаниям датчиков деформации, установленных на верхней и нижней поверхностях плиты массой 120 кг/м^2 (глубина 0,3 м)). Максимальная деформация грунта под плитой примерно на 20% меньше, чем над плитой, а нарастание до максимума происходит за более длительное время. Над плитой вторичное нарастание деформации не наблюдалось. Кривые 3, 4 соответствуют опытам с плитой массой 1200 кг/м^2 на глубине установки датчиков, равной 0,4 и 0,6 м (на плите). Над плитой при этом значении ее массы наблюдается вторичное возрастание деформации, вызванное отраженной волной. У поверхности плиты нарастание деформации происходит медленнее, чем на глубине 0,4 м.

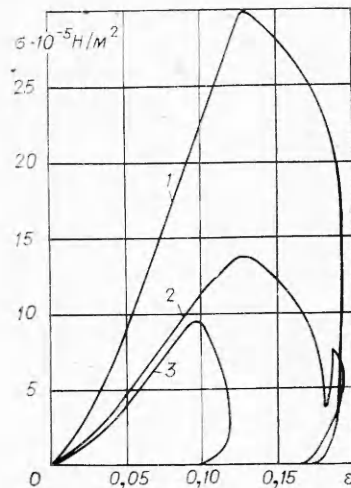
По графикам $\sigma(t)$ и $\varepsilon(t)$ построены диаграммы $\sigma(\varepsilon)$ (фиг. 3, где



Ф и г. 1



Ф и г. 2



Ф и г. 3

кривая 1 соответствует глубине 0,3 м и опытам без плиты, кривые 2, 3 — опытам с плитой массой 1200 кг/м² соответственно на глубине 0,4; 0,6 м). Кривые 1, 2 (до прихода отраженной волны) различны, так как вследствие размывания волны время нарастания напряжения до максимума с глубиной увеличивается, т. е. уменьшается скорость деформации ϵ . Кривые 1, 2 содержат участки с различной скоростью деформации. У кривой 1 напряжение от $15 \cdot 10^5$ до $25 \cdot 10^5$ Н/м² нарастает практически скачком и можно принять, что $\epsilon \sim \infty$. У кривой 2 вблизи начальной точки $\epsilon \sim 2\text{с}^{-1}$, что близко к статической диаграмме. При уменьшении напряжения некоторое время продолжается рост деформации. Вторичное нагружение (кривая 2) происходит не по линии, параллельной диаграмме первичного динамического сжатия ($\epsilon \rightarrow \infty$), а с существенно большим углом наклона к оси деформаций. В первом приближении можно принять, что вторичное нагружение соответствует линии разгрузки среды, реализуемой после достижения максимальной деформации. Диаграмма $\sigma(\epsilon)$ при разгрузке содержит участок, практически совпадающий с осью $O\epsilon$. Остаточные деформации после первичного и повторного нагружений отличаются незначительно.

Приведенные результаты показывают, что при кратковременных волновых процессах объемная вязкость грунта успевает проявиться: кривые $\sigma(\epsilon)$ существенно зависят от скорости деформации, а после снятия нагрузки сохраняются остаточные деформации, что свидетельствует о наличии пластических свойств. Диаграммы динамического и статического сжатия выпуклы к оси деформаций. Вторичная нагрузка в первом приближении происходит по линии разгрузки. Эти свойства соответствуют модели вязкопластической среды [4].

Поступила 5 VI 1975

ЛИТЕРАТУРА

1. Ляхов Г. М., Дубова Р. Н. Волны в грунте при наземном взрыве и их взаимодействие с преградами. — В кн.: Труды V сессии Ученого совета по народнохозяйственному использованию взрыва. Фрунзе, «Илим», 1965.

2. Ляхов Г. М., Полякова Н. И. Волны в плотных средах и нагрузки на сооружения. М., «Недра», 1967.
3. Нарожная З. В. Об экспериментальном определении скорости разгрузки в грунте при динамических процессах. — ФГВ, 1965, № 1.
4. Ляхов Г. М. Основы динамики взрывных волн в грунтах и горных породах. М., «Недра», 1974.

УДК 534. 24

МИНИМИЗАЦИЯ МОДУЛЯ КОЭФФИЦИЕНТА ОТРАЖЕНИЯ ПОЛИГАРМОНИЧЕСКОЙ ВОЛНЫ ОТ НЕОДНОРОДНОГО ПОГЛОЩАЮЩЕГО СЛОЯ

И. Л. Дорт, М. М. Мачевариани

(Ленинград)

Рассматривается синтез оптимального неоднородного поглощающего слоя заданной толщины при падении на него плоской полигармонической волны известного дискретного спектра частот. Задача синтеза формулируется как задача оптимального управления. С помощью аппроксимации управления ступенчатой функцией задача сводится к минимизации функции многих переменных.

Получены формулы для точного вычисления градиента критерия качества, необходимого при реализации алгоритма поиска оптимального решения. При их выводе использовалась запись основных и сопряженных переменных, а также гамильтониана в комплексной форме, что позволило значительно упростить промежуточные преобразования. Для поиска оптимального решения использовался метод сопряженных градиентов [1, 2] при наличии ограничений на управление. Приведены результаты вычислений оптимального управления с помощью ЭВМ, иллюстрирующие задачу.

1. Постановка задачи. Пусть на неоднородный поглощающий слой, отделяющий однородное полупространство от границы, характеризуемой произвольным комплексным адмитансом, нормально падает плоская полигармоническая волна известного частотного спектра $\kappa_j = f_j/f_1$ (f_1 — значение низшей частоты спектра, f_2, f_3, \dots, f_s — значения остальных его частот).

Система дифференциальных уравнений для безразмерных входных адмитансов G_j неоднородного слоя имеет вид [3]

$$(1.1) \quad dG_j/d\tau = -i\kappa_j(n_0^2 - G_j^2), \quad j = 1, \dots, s; \quad n_0^2 = 1 + (1 + i\eta)Q(\tau),$$

где G_j — входной адмитанс слоя, отнесенный к волновому адмитансу ($1/\rho_0 c_0$) среды, из которой приходит волна; ρ_0, c_0 — плотность среды и скорость продольной волны в этой среде; $n_0 = c_0/c(\tau)$, $c(\tau)$ — скорость в неоднородном поглощающем слое; $\tau = (2\pi f_1/c_0)x$ — приведенная толщина слоя, ограниченного плоскостями $x = 0$ и $x = l$; x — координата; η — заданная положительная константа; $Q(\tau)$ — неотрицательная функция, подлежащая определению

$$(1.2) \quad 0 \leq Q(\tau) \leq M.$$

Согласно принятой в теории оптимального управления терминологии, $Q(\tau)$ в дальнейшем будем называть функцией управления.

Значения входных адмитансов на границе $\tau = 0$ полагаются равными

$$(1.3) \quad G_j(0) = p_0 + iq_0, \quad j = 1, \dots, s.$$