

Государственный комитет РФ по высшему
образованию
Нижегородский научно-исследовательский
радиофизический институт

П Р Е П Р И Н Т №397

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БЛИЖНЕГО ПОЛЯ
ИМПУЛЬСНОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ
(анализ поверхностных волн)

Заславский Ю. Н.

Н. Новгород
1994г

Численное моделирование ближнего поля
импульсного сейсмического излучателя
(анализ поверхностных волн).

//Препринт N 397

-Нижний Новгород:НИРФИ.-1994.-12с.

УДК 550.834

В работе проведён численный расчёт осциллограммы сейсмического отклика, регистрируемого в ближней зоне импульсного сейсмоисточника. Отклик на δ -воздействие рассчитан для точек приёма, расположенных под рабочей площадкой и за её пределами, лежащими на поверхности упругой мембраны, моделирующей поверхность мягкого грунта. Демонстрируется изменение формы импульса по мере смещения точки регистрации за пределы опорной поверхности штампа.

Подписано к печати 4. 07. 94г. Формат 60x84/16
Бумага писчая. Печать офсетная. Объём 1, 00упл
Заказ 5410 Тираж 50 Бесплатно

Отпечатано на ротапринте НИРФИ

Особенности структуры упругих полей в ближней зоне неварывных сейсмических источников теоретически анализировались в работах [1-6]. Действие на грунт такого излучателя порождает вблизи рабочей площадки возникновение некоторой совокупности полей, создающей сложную структуру упругих перемещений. Непосредственно под излучателем формируется та или иная пространственная конфигурация упругих колебаний, видоизменяющаяся при смене рабочей частоты. В случае импульсной работы источника можно ожидать возникновения особенностей в осциллограмме перемещений поверхности грунта, а также в осциллограмме скорости перемещений, регистрируемой сейсмоприёмником-велосиметром в ближнем поле, поскольку объёмные и поверхностные волны неодинаково возбуждаются воздействием, распределённым по области с фиксированной площадью. Причём, если распространение P - и S - волн, уходящих от поверхности по направлениям, примыкающим к нормали, характеризуется близостью формы импульса, регистрируемого как в ближнем, так и в дальнем полях, то относительно поверхностных волн, излучаемых распределённым источником, можно предположить наличие изменчивости осциллограммы при переходе из области ближнего к области дальнего поля.

В настоящей работе путём численного расчёта строятся осциллограммы импульса, переносимого поверхностной волной, расходящейся от источника. Осциллограммы рассчитаны для ряда точек поверхности, находящихся как непосредственно под штампом, так и на всё более удалённых дистанциях вдоль по линии радиуса, выходящего из центра рабочей площадки. Предполагается исследовать случай установки источника на столь мягком грунте, что для описания колебаний точек поверхности в ближней зоне может быть использована модель среды в виде упругой мембраны со скоростью распространения по ней волн, равной скорости волны Рэлея. Действие источника будет описываться заданием нормальной к границе компоненты скорости перемещений в виде прямоугольного короткодействующего во времени импульса, распределённого по площадке некоторой формы. Рассчитываемый сейсмический отклик также будет представлен в виде скорости перемещений.

Сделаем одно замечание, касающееся используемой модели среды. Оно связано со значительным неравенством констант упругости $\mu \ll \lambda$, характеризующих мягкие грунты (для консолидированных сред эти константы приблизительно равны друг другу $\mu \approx \lambda$), на которых, как правило, устанавливаются сейсмисточники. В этих условиях имеется много общего в характере поля упругих деформаций при распространении поверхностных волн Рэлея и волн на мембране, что, в частности, подтверждается отсутствием частотной дисперсии фазовой скорости у тех и у других. Это обстоятельство даёт основание прибегнуть к упрощенной модели, какой служит мембрана для описания параметров импульса поверхностной волны при его возбуждении и распространении. Такое упрощение позволяет отыскивать решение в виде интеграла

по опорной площадке от стандартной западающей функции источников, соответствующей однопотенциальному волновому движению. В результате значительно облегчаются расчёты на ЭВМ и одновременно сохраняется качественное сходство предсказываемой расчётом картины эволюции волнового пакета с той, которая возникает на поверхности однородного упругого полупространства, если жёсткость последнего незначительна.

Вышеупомянутая интегральная связь сейсмического отклика на воздействие, распределённое по площади штампа, учитывающая его влияние на интервале времени, предшествующем текущему моменту наблюдения, имеет следующий вид [7]:

$$w(x, y, t) = \frac{1}{2\pi c} \int_0^{ct} \int_0^{2\pi} v_0(x', y') \frac{R \, dR \, d\theta}{\sqrt{c^2 t^2 - R^2}}, \quad (1)$$

где c — скорость распространения поверхностной волны, x , y — координаты точки наблюдения,

$R = \sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2}$, t — текущее время, w — вертикальное смещение материальных частиц поверхности, θ — полярный угол между радиусами на точку наблюдения (x, y) и на точку интегрирования (x', y') . Форма площадки далее будет задаваться путём выбора функции скорости смещений $v_0(x', y')$, в то время как отклик $w(x, y, t)$ вычисляется в виде производной по времени от смещений, получаемых из формулы (1):

$$v(x, y, t) = \frac{dw(x, y, t)}{dt}. \quad (2)$$

Нулевая отметка времени соответствует моменту включения источника. Последующие расчёты проводятся применительно к короткоимпульсному воздействию, длительность которого меньше вре-

мени пробега волны по отрезку, равному характерному линейному масштабу рабочей площадки излучателя.

Рассмотрим результаты численного расчёта для случая, в котором штамп имеет форму круга радиуса "а". На рис. 1 (кривые а, б, в, г, д) представлены осциллограммы отклика для нескольких значений дистанции от центра площадки до точки приёма: а- $r_1 = 0.25a$, б- $r_2 = 1.25a$, в- $r_3 = 2.25a$, г- $r_4 = 3.25a$, д- $r_5 = 4.25a$. Таким образом, первая приёмная точка находится почти под центром рабочей площадки, остальные - за её краем на всё больших удалениях. Длительность первичного импульса принята равной $0.15a/c$. Можно видеть, что короткопериодная прямоугольная фаза в начале отклика сохраняется лишь непосредственно под рабочей площадкой (см. рис. 1а - соответствующий первой из перечисленных точек приёма). Уже в точке, ближайшей к краю штампа, короткопериодная фаза резко спадает по амплитуде. Одновременно с этим формируется хвостовая часть в виде сравнительно плавного двуполярного сигнала, длительность которого, измеренная по интервалу задержки его максимума относительно минимума, соответствует времени распространения сигнала от ближайшей и самой удалённой противоположащих на диаметре круга точек. Осциллограммы сигналов, принятых в третьей, четвёртой и пятой точках регистрации, задержаны по времени прихода на равные интервалы и содержат лишь вторичный двуполярный сигнал, амплитуда которого с удалением от центра штампа плавно спадает. При этом имеет место равенство площадей положительной и отрицательной частей двуполярного сигнала, так что площадь под кривой, описывающей его эюкру, равна нулю. Это согласуется с общей теорией, развитой применительно к двумерному и трёхмерному случаям

распространения первоначально однополярного акустического импульса [8]. Неизменность общей длительности отклика, принятого на разных удалениях от источника, есть следствие отсутствия частотной дисперсии в исследуемой системе. Наконец, лишь кратко упомянем о результатах численных расчётов, проведённых применительно к штампу с вдвое и втрое большими радиусами. Они показали соответствующее увеличение длительности только у хвостовой части, а также и амплитудных значений в обоих фазах сигнала.

Определённый интерес представляет рассмотрение другого случая, когда начальный импульс вертикальной скорости сообщается полупространству штампом некруговой формы. Однако в настоящем рассмотрении не принимались во внимание штампы прямоугольной (или многоугольной) формы, линия периметра которых содержит резкие изломы, поскольку в ближнем поле рядом с вершиной угла возникают особенности. Исследование последних не входит в задачу данной работы. Поэтому несимметричность формы далее будет задаваться плавной функцией для v_0 вида:

$$v_0(R, \theta) = \frac{1}{1 + \frac{(R_0^2 - 2RR_0 \cos \theta + R^2)^4}{(a - a_1 \cos^2 \theta)^6}} \quad (3)$$

где a и a_1 — параметры, характеризующие поперечные и продольные размеры рабочей площадки, R_0 — расстояние до точки наблюдения, R и θ — вводимые вместо x' , y' текущие полярные координаты распределённых по площадке источников, по которым производится интегрирование. Удобство использования такой функции в том, что с помощью последней обеспечивается резкая ступенчатая зависимость формы нагрузки от ради-

уса R -источников. Кроме того, переход от некруговой к круговой площадке выполняется за счёт обнуления параметра a . Задание функции распределения источников в форме (3) свидетельствует о том, что точки регистрации располагаются на радиусе, пересекающем площадку в направлении минимальной её ширины, т. е. вдоль поперечного её сечения. На это указывает фактор $\cos\theta$, стоящий перед параметром a . Очевидно, замена $\cos\theta$ на $\sin\theta$ будет соответствовать случаю, когда линия точек регистрации проходит вдоль продольного сечения плоскости штампа. В дальнейших расчётах примем следующее соотношение параметров: $a_1/a = 0.5$. Далее рассмотрим результаты расчёта осциллограммы сигналов, возбуждаемых некруговым штампом и регистрируемых в точках, лежащих на линии, идущей вдоль поперечного направления. Из семейства откликов на рис. 2, соответствующих эпюрам сигналов, регистрируемых на удалениях $r_1 = 0.25a$, $r_2 = 1.25a$, $r_3 = 2.25a$, $r_4 = 3.25a$, $r_5 = 4.25a$ от центра штампа, можно видеть кривые, аналогичные ранее представленным на рис. 1. Однако только для первой из них характерно чаличие исходной короткоимпульсной фазы, в то время как у остальных наблюдается лишь хвостовая часть в форме дуполярного сигнала. Общая его длительность определяется разницей времён распространения от максимально и минимально удалённых на штампе точек, лежащих на радиусе, ведущем к точке регистрации. Ввиду сплюсненности формы штампа длительность отклика существенно уменьшается. Характер зависимости спада уровня с увеличением дистанции остаётся неизменным, при этом также сохраняется условие равенства площадей под разнополярными фазами сигнала. Обратимся к последнему из рассмотренных случаев, показывающему эпюры отклика в точках регистрации, лежащих на радиусе, пересекающем штамп вдоль

а — — — — —
 б —————
 в
 г ————
 д ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○

Осциллограммы скорости перемещений
 для различных удалений от центра
 овального штампа, расположенных
 вдоль минимального сечения: а - $r = 0.25a$, б - $r = 1.25a$, в - $r = 2.25a$,
 г - $r = 3.25a$, д - $r = 4.25a$

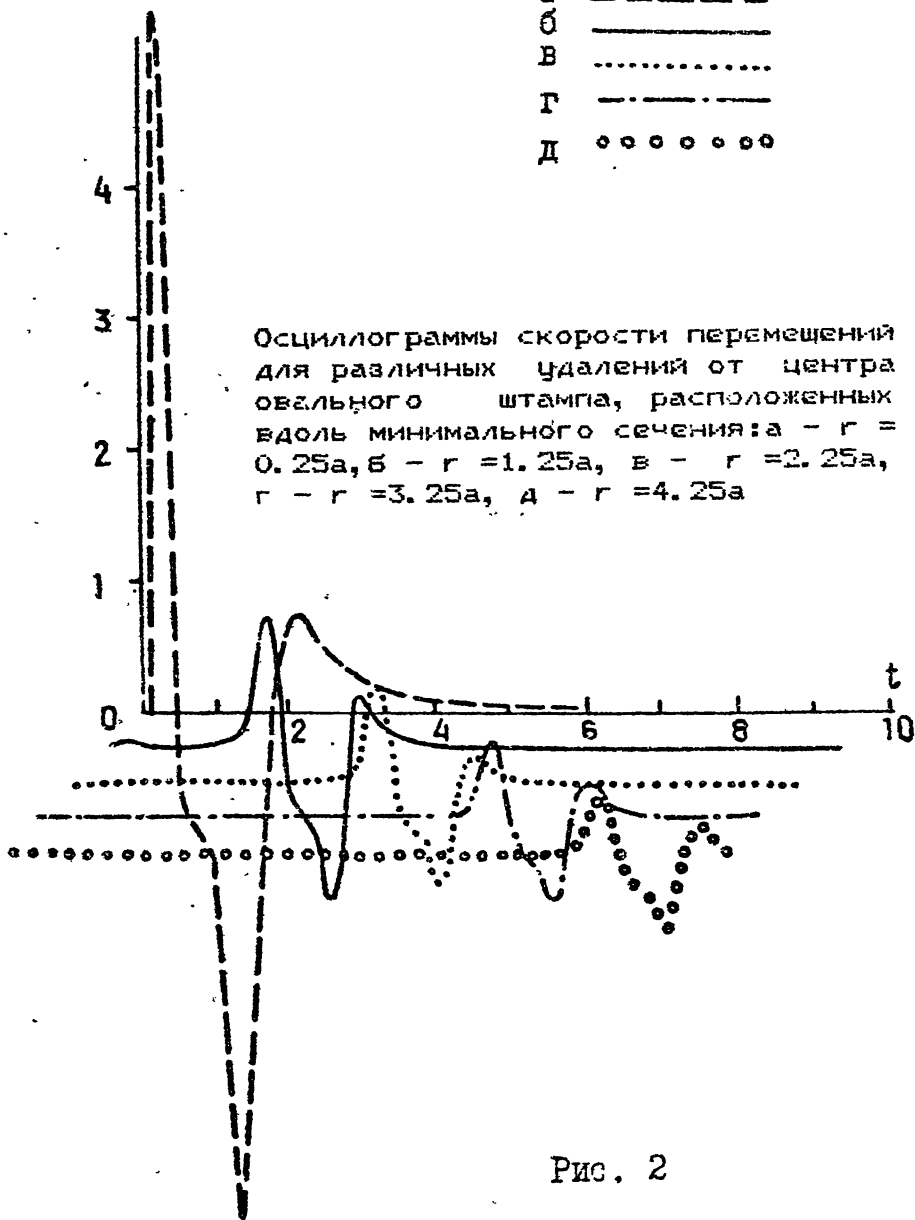


Рис. 2

продольного направления. Эти кривые представлены на рис. 3 а, б, в, г, д и соответствуют тем же удалениям от центра, что и в предыдущих двух случаях. Качественный характер зависимости остаётся тем же, хотя и возникают некоторые количественные изменения параметров, характеризующих форму сигнала. Примерно втрое увеличивается длительность двуполярного отклика и в полтора раза уменьшается размах осцилляций. Применительно к точке регистрации $r=0,25a$, легко видеть разницу уровня отрицательной фазы сигнала, сменяющей исходный импульс положительной полярности, в последних двух случаях.

В заключение сформулируем выводы, которые обобщают результаты численного моделирования процессов излучения коротких импульсов поверхностной волны штампами различной формы. Из полученной совокупности осциллограмм сигналов следует :

1. Поверхностная волна, генерируемая штампом конечной площади при воздействии, приложенном по нормали к поверхности, представляет собой отклик, включающий в себя как исходный, короткоимпульсный пик, так и хвостовую часть в виде двуполярного осциллирующего сигнала, причём эта последняя остаётся единственной на расстояниях, превышающих линейный размер штампа.

2. Размах двуполярного отклика почти, на порядок меньше уровня исходного короткоимпульсного пика, а его длительность в случае некругового штампа зависит от направления размещения линии точек регистрации. При увеличении дистанции до точки регистрации вдоль по радиусу, идущему через центр штампа, длительность отклика остаётся неизменной, а амплитуда асимптотически стремится к нулю.

Список литературы:

1. Бабешко В. А., Глушков Е. В., Зинченко Ж. Ф. Динамика неоднородных упругих сред М.: Наука 1989, 343с.
2. Бородачёв Н. М. Динамическая контактная задача для штампа с плоским круговым основанием, лежащего на упругом полупространстве. Изв. АН СССР ОТН Механика и машиностроение 1964, N2
3. Ильичёв В. А. Действие импульсной нагрузки на массив, лежащий на упругом инерционном полупространстве. Строительная механика и расчёт сооружений 1964, N6
4. Ильичёв В. А. К построению импульсной переходной функции системы штамп-полупространство. Изв. АН СССР Механика твёрдого тела 1973, N1
5. Гринченко В. Т., Мелешко В. В. Гармонические колебания и волны в упругих телах. Киев: Наукова думка 1981, 284с.
6. Гузь А. Н., Кубенко В. Д., Черевко М. А. Дифракция упругих волн. Киев: Наукова думка 1978 307с.
7. Морэ Ф. Колебания и звук М.-Л. Изд. И. Л. 1949, 496с.
8. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Гидродинамика т. VI: Курс теоретической физики М.: Наука 1986 736с.