

ВОЛНЫ В ПРИПОВЕРХНОСТНОЙ ОБЛАСТИ ГРУНТОВОГО ПОЛУПРОСТРАНСТВА ПРИ КОНТАКТНОМ ВЗРЫВЕ

В. Д. Алексеев (Москва)

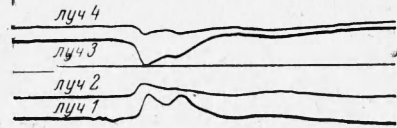
При измерении поля напряжений, возбуждаемого контактным взрывом на поверхности мягкого грунта, обнаружено, что волна в грунте вблизи свободной поверхности имеет два максимума.

На фиг. 1 приведена опытная осциллограмма с записью четырех нормальных напряжений в точке, удаленной от центра взрыва на расстояние $R = 40 r^\circ$, в направлении луча, исходящего из центра взрыва под углом 12° к свободной поверхности (r° — радиус заряда). Лучам 1, 2, 3, 4 соответствуют записи напряжений во времени σ_θ , σ_n , σ_z , σ_r (фиг. 2). Масштаб времени фиксировался отметчиком времени с частотой колебаний 500 гц. Чтобы установить природу этих двух максимумов напряжения, рассмотрим явления, происходящие при контактном взрыве.

После детонации заряда ВВ часть энергии излучается в воздух, порождая в нем воздушную ударную волну, распространяющуюся вдоль свободной поверхности.

Другая часть энергии взрыва излучается непосредственно в грунтовое полупространство, возбуждая в нем волны. Воздушная ударная волна также порождает волны, распространяющиеся от свободной поверхности в глубь полупространства.

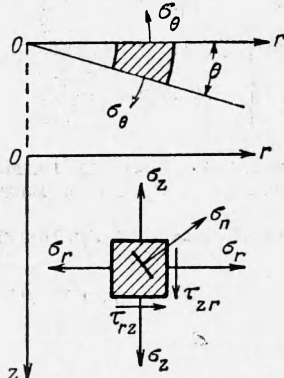
В соответствии с этим контактный взрыв схематически представим как действие сосредоточенного импульса в центре взрыва и воздушной ударной волны, распространяющейся



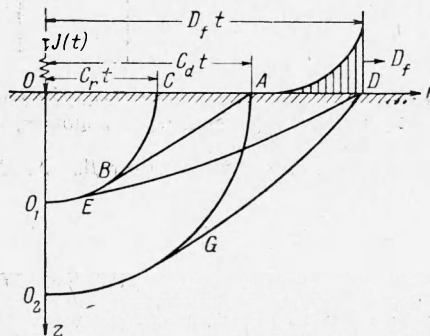
Фиг. 1

вдоль свободной поверхности с переменной во времени скоростью D_f .

Рассмотрим сначала картину возникающих при этом волн в полупространстве для случая, когда оно заполнено однородной упругой средой. Волновая картина, возникающая в этом случае, изображена на фиг. 3. Воздушная ударная волна порождает в упругом полупространстве два наклоненных к свободной поверхности фронта — продольный DG и поперечный DE . Сосредоточенный импульс возбуждает в том же



Фиг. 2



Фиг. 3

полупространстве три волны: одну продольную AGO_2 и две поперечные CBO_1 и AB . Волны, порожденные воздушной ударной волной, вследствие затухания скорости распространения ее фронта D_f и постоянства скорости распространения волн в упругом полупространстве искривляются, как показано на фиг. 3. Однако, если скорость распространения в полупространстве непостоянная и затухает по мере удаления от центра взрыва, то искривление фронтов DG и DE может быть противоположным указанному на фиг. 3, что характерно, как показали опыты, для мягких грунтов. Сосредоточенный импульс порождает продольную (AGO_2) и поперечную (CBO_1) волны сферической формы, а также поперечную головную волну (AB), наклон которой зависит от соотношения скоростей продольных и поперечных волн (в процессе распространения формируются поверхностные волны, которые здесь не рассматриваются).

Рассматривая волновую картину, изображенную на фиг. 3, замечаем, что вблизи свободной поверхности распространяются пять волновых фронтов, из которых два продольных и три поперечных. Мягкий грунт, как известно, является твердой средой.

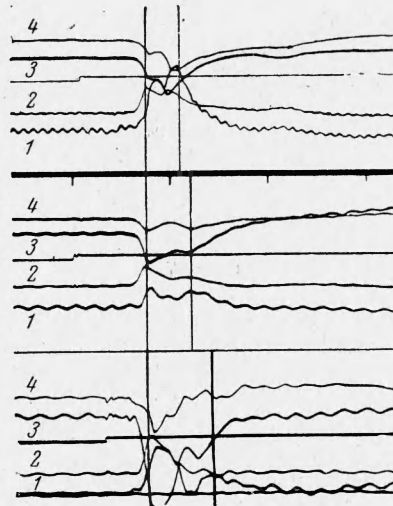
Следовательно, при проведении экспериментов в грунте все эти волны, вообще говоря, должны быть зафиксированы. Однако, как показали проведенные опыты, в приповерхностной области наблюдаются лишь два фронта (фиг. 1).

Возникает вопрос, какие именно фронты фиксируются в экспериментах. Для получения ответа на этот вопрос мы поставили специальные опыты. В результате было установлено, что фиксируемые фронты являются фронтами продольных волн. Первый фронт возбуждается воздушной ударной волной, поскольку $D_i > D_{гр}$ (этот фронт соответствует DG на фиг. 3), второй фронт распространяется из центра взрыва (фронт AGO_2 , фиг. 3). То, что фронт, соответствующий второму максимуму напряжения, не является поперечным, подтверждается следующим.

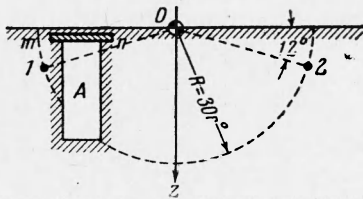
Во-первых, как видно из осциллограммы (фиг. 1), разрыв терпят все четыре компоненты тензора напряжений, в том числе и σ_θ . В случае, если бы рассматриваемый фронт был поперечным, напряжение σ_θ на этом фронте не должно было бы терпеть разрыва, поскольку на фронте поперечной волны терпит разрыв только касательное напряжение, тангенциальное к его поверхности.

Все остальные компоненты напряжений ($\sigma_n, \sigma_z, \sigma_r$) должны были терпеть разрыв, поскольку указанное касательное напряжение есть линейная комбинация из $\sigma_n, \sigma_z, \sigma_r$.

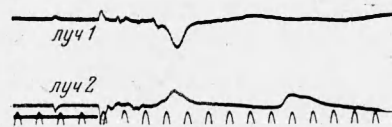
Во-вторых, если бы второй фронт был поперечным, то разность между временами прихода в одну и ту же точку двух максимумов напряжений с приближением к свободной поверхности уменьшалась бы и на свободной поверхности обращалась бы в нуль. Однако экспериментальные данные противоречат этому, наоборот, с приближением к свободной поверхности эта разность возрастает. На фиг. 4 приведены опытные осциллограммы с записями напряжений в песчаном неводонасыщенном грунте естественного сложения в точках, удаленных от центра взрыва на расстояние $R = 40 r^\circ$ и расположенных на лучах, выходящих из центра взрыва под углами к свободной поверхности



Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6

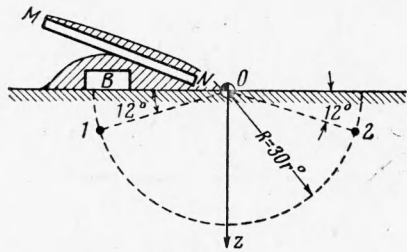
соответственно (сверху вниз) $18, 12$ и 6° . Масштаб времени на всех осциллограммах один и тот же. По существу этих данных достаточно для того, чтобы выяснить природу двух максимумов напряжения на опытных осциллограммах.

Для прямой проверки высказанного выше утверждения о природе двух максимумов в волне напряжений, кроме описанных опытов, были проведены специальные эксперименты в супесчаном неводонасыщенном грунте естественного сложения с отсечением волн, идущих по грунту либо из центра взрыва, либо от свободной поверхности от воздушной ударной волны. На фиг. 5 приводится схема эксперимента с отсечением волны, идущей по грунту из центра взрыва. В симметрично расположенных по отношению к центру взрыва O точках измерения 1 и 2 устанавливались однокомпонентные тензометрические датчики так, что их воспринимающие поверхности были ориентированы в меридиональной плоскости zO . Перед точкой 1 отрывалась траншея A длиной 2 м и глубиной $1,10$ м, которая сверху перекрывалась деревянным щитом mn и засыпалась грунтом заподлицо со свободной поверхностью, чтобы исключить затенение воздушной ударной волны.

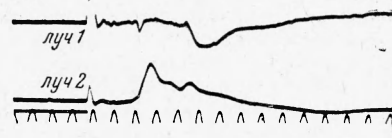
На фиг. 6 приведена осциллограмма, соответствующая этому опыту. Луч 1 относится к точке измерения 1 , луч 2 — к точке 2 . Из осциллограммы видно, что в точке 1 зафиксирован лишь один максимум напряжения (первый), порожденный воздушной

ударной волной, в точке 2 зарегистрированы два максимума напряжений. На обоих лучах первые максимумы напряжений совпадают во времени.

На фиг. 7 приводится схема эксперимента с отсечением воздушной ударной волны. Так же, как и в предыдущем опыте, имелись две симметричные точки измерения 1 и 2. На свободной поверхности над точкой 1 устанавливался ящик *B* (размер $0.8 \times 0.8 \times 0.4$ м), который обваловывался грунтом. Кроме того, на этот ящик устанавливался большой деревянный короб *MN* размером $2.5 \times 2.5 \times 0.25$ м, который также обваловывался грунтом сверху и с боков, чтобы исключить затекание воздушной ударной волны.



Фиг. 7



Фиг. 8

На фиг. 8 приведена относящаяся к этому опыту осциллограмма, из которой видно, что на луче 1, соответствующем точке 1, имеется лишь один максимум напряжения, совпадающий во времени со вторым максимумом напряжения на луче 2, относящемся к точке 2. Следовательно, второй максимум напряжения создается волной, распространяющейся по грунту из центра взрыва. Все изложенное выше позволяет сделать вывод, что регистрируемые на осциллограммах максимумы напряжений создаются двумя фронтами продольных волн.

Эксперименты показали, что в случае, когда полупространство состоит из мягкого неводонасыщенного грунта, разница в скоростях распространения фронта воздушной ударной волны и фронта волн в грунте довольно существенная, особенно на небольших расстояниях от центра взрыва ($R \leq 40r^*$). В результате этого угол наклона фронтов продольной и тем более поперечной волн, порожденных воздушной ударной волной, по отношению к свободной поверхности мал.

Поэтому интенсивность поперечной волны *DE* мала, и она не регистрируется датчиками. Что же касается фронтов *AB* и *СВО*₁, то их интенсивность, по-видимому, мала в силу того, что в рассматриваемом диапазоне расстояний движение грунта сопровождается значительными пластическими деформациями, так что скорость поперечной волны *СВО*₁ оказывается малой по сравнению со скоростью продольной волны *АГО*₂. Вследствие этого наклон фронта *AB* к свободной поверхности оказывается малым, что делает интенсивность этой волны незначительной и поэтому не регистрируемой датчиками.

Высказанные соображения относительно фронтов поперечных волн в пластически деформируемых средах являются предположительными и требуют специального изучения.

В заключение автор считает своим долгом выразить благодарность С. С. Григоряну и З. В. Нарожной за оказанную помощь при выполнении этой работы.

Поступила 26 XII 1962

ОБ УСЛОВИИ ПОЛНОЙ ПЛАСТИЧНОСТИ ДЛЯ ОСЕСИММЕТРИЧНОГО СОСТОЯНИЯ

Д. Д. Ивлев, Т. Н. Мартынова (Воронеж)

При рассмотрении задач пластического течения идеально-пластических тел большое упрощение при решении достигается за счет использования кусочно-линейных аппроксимаций условий текучести (условие Треска, условие максимального приведенного напряжения и др.). Генки [1] показал, что если напряженное состояние соответствует ребру призмы, интерпретирующей в пространстве главных напряжений условие пластичности Треска (условие полной пластичности), то задача определения напряжений является статически определенной. Решения ряда задач при условии полной пластичности даны в работах А. Ю. Ишлинского [2], Р. Шилда [3] и др.