УДК 624.131

ДИНАМИЧЕСКИЕ НАПРЯЖЕНИЯ В ЛЕССОВЫХ ГРУНТАХ

А. М. Самедов, Г. Х. Паничаров

Розглянуто проблеми закономірності загасання хвиль динамічних напружень і швидкостей руху твердих частинок лесових суглинків природної вологості. Проведено експерименти і встановлено, що загасання хвиль динамічних напружень і швидкостей руху твердих частинок при вібраційних хвилях мають криволінійних характер по глибині масиву від джерел динамічних навантажень.

Рассмотрено проблемы о закономерностях затухания волн динамических напряжений и скоростей движения твердых частиц лессовидного суглинка в природной влажности. Проведены эксперименты и установлено, что затухания волн динамических напряжений и скоростей движения твердых частиц при вибрационных волн имеют криволинейных характер по голубине массива от источников динамических нагрузок.

Consider the problem of the laws of wave damping of the dynamic stresses and velocities of solid particles in the loess loam of natural moisture. Conducted experiments and found that the wave attenuation of the dynamic stresses and velocities of solid particles under vibration waves have a curvilinear nature of the depth of the array of sources of dynamic loads.

Лессовидные суглинки относятся к структурно-неустойчивым грунтам и при увлажнении до водонасыщенного состояния W_{sat}=0,32÷0,45 дают просадочные деформации как II-тип по просадочности и от собственного веса могут быть провальные деформации до 1,0 м и больше.

Динамические нагрузки нарушают структурные связи в природной влажности лессовидного суглинка и создают предпосылки к ускорению при увлажнении просадочных свойств этих грунтов. Поэтому были поставлены специальные эксперименты по изучению закономерностей затухания волн динамических напряжений в лессовидных суглинках.

Деформирование оснований подземных сооружений при динамических нагрузках встречается в некоторых работах [1÷3], а также приведены реологические модели лессовых грунтов [1]. Однако не полностью изучены закономерности затухания динамических волн по глубине массива, и это не позволяет прогнозировать случаи изменение просадочных свойств при увлажнении лессовидных суглинков, претерпевших динамических волн напряжений. Отсюда вытекает актуальность и необходимость изучения данной работы.

Цель настоящей работы – установить закономерности затухания волн динамических напряжений и скорости движения твердых частиц в лессовидных суглинках в природной влажности, которые ухудшают просадочные свойства в случаях увлажнении этих грунтов.

Различные процессы и явления, происходящие при действии динамических нагрузок в структурно – неустойчивых грунтах, в частности лессовидных суглинках, уплотнение с изменением его напряженного состояния и структуры в природной влажности, например W=0,06, разрушение твердых частиц, разрыхление цементирующих частиц, изменение фильтрационных свойств и др., – тесно связаны с учетом анализа закономерностей движения этих волн в данной грунтовой среде.

В связи с этим были проведены экспериментальные исследования по определению параметров динамических (вибрационных) волн при вибрации с помощью площадочных вибраторов В-76 и В-97 в лессовидных суглинках природной влажностью W=0,06 и ненарушенной структуры с целью определения закономерностей изменения напряжений и скорости движения частиц грунта на фронте вибрационной волны, скорости фронта волны и максимума напряжений, а также объемной деформации с расстоянием. Плавные нормальные радиальные напряжения σ_r, окружные σ_d и осевые (вертикальные) σ_z измеряли при помощи полупроводникового датчика, конструкция и принцип действия описаны ниже.

Полупроводниковые тензодатчики давлений имеют вид цилиндрической формы корпуса

© А. М. Самедов, Г. Х. Паничаров

из дюралюмина с малой по сравнению с диаметром, высотой (50 и 27 мм); мембрана-диафрагма совместно с корпусом (рис. 1.)

Для ближних зон диаметр мембраны составляет 25 мм при толщине ее 2-6 мм, для дальных – диаметр 35 мм, толщина 1-4 мм. На внутреннюю поверхность мембраны наклеен рабочий тензоэлемент с базой 5-10 мм и сопротивлением 50-120 Ом. Компенсационный элемент наклеен на внутреннюю боковую поверхность цилиндра. Полимеризация клея происходит при нагреве в течение 3ч до 120, 150 и 180 °С. Сопротивление между тензодатчиком давлений и корпусом бывают более 10 Ом. Сопротивление измеряется тераомметром. Датчики могут измерять давления от 0,02 до 0,6 МПа. До применений тензодатчиков давлений были осуществлены тарировка статическим методом с применением гидростатического пресса. Требуемое давление масла по мембране устанавливалось по манометру. С помощью такой тарировки определялся также линейный (рабочий) участок характеристики датчика.

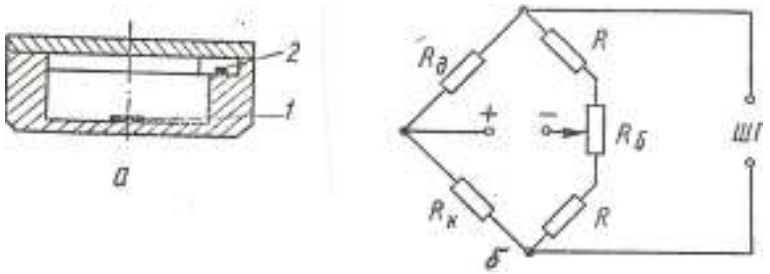

Рис. 1. Схема полупроводниковых датчиков давления
с элементами на мембране (а) и мостовая схема включения полупроводниковых датчиков (б)
1-рабочий элемент, 2-компенсационный элемент. $R_д$ – рабочий, $R_к$ – компенсационный элемент, $R_б$ – балансировка резистора, R – резистор, ШГ – подключения к шлейфовому гальванометру

Датчики устанавливались в ненарушенном грунте в предварительно выбуренных скважинах диаметром 150 мм и ориентировались относительно центра виброплощадки. Затем скважины засыпались ранее вынутые грунтом с послойным трамбованием. При воздействии измеряемого напряжения на мембрану электрический сигнал, возникающий в результате разбаланса моста, поступал на усилитель и далее на шлейфовый осциллограф Н-105 или Н-700, которые применялись при экспериментальных исследованиях, где регистрировался на чувствительной фотобумаге. Время нарастания вибрационного импульса давления t_H в ближних зонах составляло 1-2 мсек, в средней зоне 2÷5 мсек, в дальней зоне 5÷10 мсек, в очень дальней зоне 10÷15 мсек. Для регистрации таких процессов необходимо было выбрать малоинерционные приборы и специальные усилители.

Как известно осциллографы Н-700 и Н-105 снабжены шлейфами с рабочим диапазоном частотой до 2000 Гц, однако чувствительность гальванометров при этом невысока, потому частота полосы пропускания 7000 Гц и шлейфы с рабочим диапазоном принимается до 1000÷1500 Гц.

Датчики скорости индукционного типа выполнены в виде катушки с подвижным цилиндрическим постоянным магнитом. Вывод кабеля находится в боковом корпусе.

Датчик скорости состоит из каркаса изготовленного из органического стекла имеет 10-20 секций с числом витков от 1 до 20, намотанных навстречу друг другу по часовой стрелке. Обмотка соединена параллельно: начало I-обмотки соединено с концом II, начало III-с концом IV. Внутри каркаса находится постоянный магнит цилиндрической формы, который может свободно перемещаться вдоль оси. Каркас с обмоткой заключен в корпус из алюминиевого сплава.

Датчик скорости (рис. 2) помещался в грунт так, что его ось была направлена вдоль смещения частиц грунта. При прохождении вибрационной волны корпус датчика вовлекается в движение вместе с грунтом, а магнит остается неподвижным. При вибрационной волне в обмотке возникает сигнал, пропорциональный скорости движения магнита относительно корпуса датчика, т.е. протекают абсолютные скорости движения грунта. Этот сигнал без усилия регистрировался шлейфным осциллографом.

Тарировка датчика скорости осуществлялась на специальном маятниковом копре при

скорости от 3 до 10 м/сек, в зависимости от расстояния центра виброплощадки.

Датчики помещались на глубину Н=0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 м. лессовидного суглинка II-типа по просадочности ненарушенной структурой и в естественной влажности W=0,06.

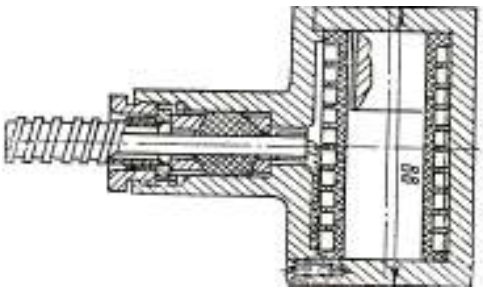

Рис. 2. Схема датчика скорости с боковым выводом

Из 2-х дензодатчиков давления, расположенных в одной точке, мембрана одного устанавливалась перпендикулярно, а другого – параллельно направлению распространения волны напряжения от вибрационных сил. Эти датчики регистрировали соответственно нормальное и боковое давление. Датчики скорости ориентировались по радиальному направлению к центру виброплощадки. Для измерения осевых напряжений устанавливался дополнительно тензодатчик давления.

Технические характеристики грунтов лессовидного суглинка: удельный вес частицы γ_s=27,4 кН/$м^3$; удельный вес γ=14,5 кН/$м^3$ природная влажность W=0,06; удельный вес сухого грунта природная влажность γ_d=13,9 кН/$м^3$; пористость n=46 % угол внутреннего трения φ=31°, сила сцепления с=0,07 МПа; влажность на границе: текучести W_L=0,260; раскатывания W_P=0,132; число пластичности I_p=W_L-W_P=0,260-0,132=0,128; 0,07<I_p=0,128<0,17 – грунт суглинок; относительная просадочность $\mathcal{E}_{sl}$=0,202; коэффициент фильтрации $K_Ф$=1,62 см/ч; глубина слоя от поверхности земли 26 м; удельный вес в водонасыщенном состоянии γ_{sw}=18,66 кН/$м^3$; коэффициент влагопроводности K_{vn}=2,88 $м^2$/сут. Подземные воды залегают на глубине 28 м от поверхности земли.

Как известно регистрируемая электрическая величина в осциллографе преобразуеться зеркальным гальванометром шлейфового осциллографа в отклонение светового луча. Перемещение светового пятна по поверхности движущейся фотолунты создает разветку процесса во времени.

Для получения на осциллограмме масштаба времени на один из шлейфов обычно подается сигнал частотой 100Гц со специального генератора – отметчика времени типа П-201.

При обработке осциллограмм определялись следующие величины: максимальные амплитуды $\sigma_{r,max}$, $\sigma_{a,max}$; V_{max}, время нарастания давления t_t и время прихода возмущения вибрационной волны в данную точку t_o. Максимальные амплитуды определялись как максимальные расстояния от средней линии записи осциллографа при нулевых значениях напряжений и скоростей.

Время t_{max} и t_o измерялось от момента включения вибрации, время t_t – от начала прихода вибрационной волны в данную точку до точки пересечения кривой записи со средней линией. Полученные данные сравнивались с длиной одного периода отметки времени, равного 1 мсек.

На рис. 3 приведена типовая осциллограмма записи ударных волн датчиками при включении вибратора В-76. Расположение лучей: 1 – отметка времени 1000 Гц; 2 – полупроводниковый датчик давлений с чувствительностью 0,2 мм/Па; 3 – тоже, с чувствительностью 0,4 мм/П; 4 – тоже, с чувствительностью 1,0 мм/Па; 5 – тоже, с чувствительностью 2,2 мм/Па; 6 – тоже, до включения вибратора.

На рис. 4. построены кривые изменения максимальных напряжений на фронте вибрационной волны в лессовидном суглинке II-типа по просадочности и угасания радиальных, окружных и осевых напряжений с расстоянием по глубине.

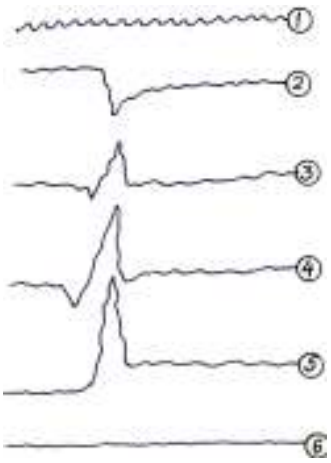

Рис. 3. Типовая осциллограмма процесса записи параметров ударных волн при включении вибратора.
1 – отметка времени при 1000 Гц,
2 – полупроводниковые датчики давлений с чувствительностью 0,2 мм / Па;
3 – то же, с чувствительностью 0,4 мм / Па;
4 – то же, с чувствительностью 1,0 мм / Па;
5 – то же, 2,2 мм / Па; 6 – до включения вибратора.

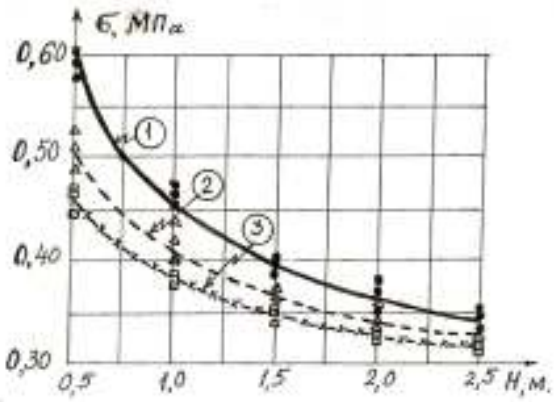

Рис. 4. Зависимость радиальных (1), окружных (2) и осевых (3) напряжений по глубине Н, м от центра виброплощадки экспериментальные данные

Как видно из рис. 4 радиальные, окружные и осевые напряжения по глубине лессовидного суглинка II-типа по просадочности в начале наиболее интенсивно затухают, а затем стабилизируются. Скорость частиц V движения на фронте вибрационной волны по аналогии затухают, как затухания радиальных, окружных и осевых окружений. Значит затухания напряжений и скоростей движения частиц лессовидного суглинка при вибрационной волне по глубине имеют криволинейный характер, которые можно записать в виде степенной функции.

Выводы

– При динамических воздействиях возникают вибрационные волны, которые проходя по глубине массива из лессовидного суглинка изменяет структурные связи этих грунтов. На фронте вибрационной волны появляется главные радиальные, окружные и осевые вертикальные напряжения, которые создают движения твердых частиц и переупаковуют их, уплотняют и деформируют.
– Установлено, закономерности затухания волн динамических напряжений и скоростей движения твердых частиц лессовидного суглинка II-типа по просадочности в природной влажности при вибрационных нагрузок имеют криволинейный характер.

Использованная литература

1. Вовк А. А. Деформирование сжимающих сред при динамических нагрузках. / А. А. Вовк, Г. И. Черный, А. Г. Смирнов // Изд. “Наукова думка”. – 1971 – 175 с.
2. Самедов А. М. Математичне моделювання розповсюдження плоских хвиль у розрідженому масиві при короткочасно діючих динамічних навантаженнях / А. М. Самедов, Н. В. Зуевская, Д. Чиригов // Вісник Житомирського технологічного університету. Технічні науки. – 2006. – Вип., III (38). – С. 155-161.
3. Самедов А. М. Движения массива, как вязкопластическая среда по твердым слоям при нарушении устойчивости склона. / А. М. Самедов, Г. Х. Паничаров // E-Journal VFU. – 2012. – № 4. – С. 23-25.

Паничаров Г. Х. – Варненски Свободен Университет „Черноризец Храбър“, г. Варна, Болгария.

Самедов А. М. – д.т.н., проф., НТУУ”КПИ”, Украина.