

Е. Ю. Трацевская

Учреждение образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины», Гомель, Беларусь

К ВОПРОСУ О ДЕФОРМАЦИОННЫХ СВОЙСТВАХ ТРЕХФАЗНЫХ СЛАБОСВЯЗНЫХ ГРУНТОВ В УСЛОВИЯХ ДИНАМИЧЕСКОГО НАГРУЖЕНИЯ

Одним из основных видов техногенных воздействий на геологическую среду являются вибродинамические нагрузки, возникающие при строительстве и эксплуатации инженерных сооружений. Такие нагрузки могут приводить к изменению физико-механических свойств грунтов оснований и тем самым влиять на состояние инженерных объектов.

Технический кодекс установившейся практики (ТКП) «Основания и фундаменты зданий и сооружений. Фундаменты при вибродинамических воздействиях» [Технический..., 2013] в настоящее время является единственным национальным нормативным документом, регламентирующим определение динамических свойств грунтов. В данном документе, как и в научной литературе [Баркин, 1959; Савинов, 1964; Технический..., 2013 и др.], указанные свойства учитываются через коэффициент упругого равномерного сжатия C_z . При отсутствии экспериментальных данных значение C_z , кН/м³, для фундаментов с площадью подошвы, например, $A \leq 200$ м² допускается определять по формуле [Технический..., 2013]:

$$C_z = k_0 E \left(1 + \sqrt{\frac{A_0}{A}} \right),$$

где k_0 – коэффициент, м⁻¹, принимаемый равным: 1 – для песков; 1,2 – для супесей и суглинков; 1,5 – для глин и крупнообломочных грунтов [Технический..., 2013];

E – модуль общей деформации грунта, кПа;

$A_0 = 10$ м².

Поскольку коэффициент C_z зависит от деформационных свойств грунта и от размеров фундамента, его рассматривают как некоторую обобщенную характеристику основания. При этом свойства грунтов учитываются условно [Баркан, 1959]. Границы между понятиями модуль общей и упругой деформациями, жесткость (коэффициент жесткости) при статическом и динамическом режимах нагружения размыты.

Однако, при изучении деформационных свойств грунтов в грунтоведении четко различают понятия: модуль деформации при статической E и вибродинамической $E_{дин.}$ нагрузках. В последнем случае в свою очередь выделяют – динамический модуль деформации $E_{д.}^*$, получаемый при сейсморазведочных исследованиях и модуль деформации при вибрационных нагрузках $E_{д.}$. При этом предполагается, что величины вибрационных нагрузок значительно превышают величины нагрузок при сейсмических исследованиях.

Увеличение деформируемости грунтов при динамических воздействиях по сравнению со статическими отмечается многими исследователями [Баркан, 1959; Виноградова и др., 1977; Иванов, 1962; Савинов, 1964 и др.]. В статических условиях компрессионная сжимаемость грунта зависит от его вида, коэффициентов пористости, влажности и нормального напряжения [Грунтоведение, 2005; Зиангиров, 1979]. При динамических воздействиях кроме этих параметров учитывают амплитуду и частоту возмущающей силы [Виноградова и др., 1977].

В моделях упругопластических сред (модель Фусса, модель С.Н. Клепикова) общие деформации грунта (как при статическом, так и динамическом режимах) складывается из деформаций обратимых (упругих) и необратимых (остаточных). Слабосвязным неводонасыщенным грунтам свойственны смешанные структуры. В них кулоновское трение между частицами меньше, чем в чистых песках, а коагуляционная сетка слабая и прерывистая. Ввиду неоднородности структурных связей, даже при небольших напряжениях в пределах упругих деформаций появляются необратимые деформации, т.е. предел упругости принимается условно [Грунтоведение, 2005]. При приложении

вибродинамической нагрузки грунт из состояния равновесия переходит в нестабильное состояние. Распределение нормальных напряжений меняется в течение цикла. На стадии разгрузки происходит ослабление и разрушение связей между структурными элементами, возрастает их подвижность. На стадии нагружения увеличивается количество и площадь межчастичных контактов и происходит уплотнение грунта. В результате уменьшение сил сцепления при растяжении компенсируется увеличением числа контактов при сжатии настолько, что деформируемость уменьшается, т.е. процесс уплотнения имеет затухающий характер.

При возникновении в грунте напряжений, превышающих его структурную прочность, происходит уплотнение грунта и, естественно, изменение его деформационных свойств. Кроме того, из-за низкой гидрофильности рассматриваемых грунтов их реакция при компрессионных испытаниях зависит даже от небольших изменений влажности. При динамическом нагружении с ростом числа циклов воздействий значительно изменяются величины модулей общей и упругой деформации за цикл [Кутергин, Массух, 1987]. Изменение этих модулей по циклам носит затухающий характер. При увеличении количества циклов величина остаточных деформаций за цикл снижается, и модули общей деформации E приближаются к значениям модулей упругости E_y ; а жесткость α и коэффициент жесткости k_z увеличиваются. Таким образом, модули упругих и общих деформаций, а также жесткость и коэффициент жесткости при статических и вибрационных нагрузках являются величинами переменными по ряду причин. В этом случае для любого линейного участка компрессионной (декомпрессионной) кривой их можно определять по формулам [Баркан, 1959; Грунтоведение, 2005]:

$$E = \frac{1 + e_0}{a} \beta, \quad \alpha = \frac{E_{y,d} S}{l}, \quad k_z = C_z A,$$

где e_0 – начальный для линейного участка коэффициент пористости, доли ед.;

β – коэффициент, зависящий от поперечного расширения грунта, доли ед.;

a – коэффициент сжимаемости, кПа^{-1} ;

S – площадь поперечного сечения образца, м^2 ;

$E_{y,d}$ – модуль упругих деформаций;

l – высота образца, м.

Испытания грунтов нами проводились в лабораторных условиях. Были определены ускорения, возникающие в грунте ω'' при определенном ускорении возмущающей силы ω' ; вертикальные деформации грунтов необратимого характера при компрессионных испытаниях в статическом и динамическом режимах нагружения образцов. При виброкомпрессионном уплотнении грунта использовали металлическую обойму диаметром 152 мм и высотой 410 мм, жестко закрепленную на вибростоле вибрационного электродинамического стенда.

Амплитудно-частотный режим испытаний был выбран на основании обобщения опубликованных в литературе [Баркан, 1959; Иванов, 1962; Кутергин, Массух, 1987; Савинов, 1964 и др.] и полученных при исследованиях данных. Амплитуда виброперемещений A_0 задавалась постоянной $0,3 \cdot 10^{-3}$ м (максимальные амплитуды, характерны для железнодорожного транспорта). Частота гармонических колебаний φ изменялась от 15 до 105 Гц (наиболее часто встречаемые значения для техногенных нагрузок) с интервалом, равным 10 Гц. Каждый эксперимент проводился в течение одного часа (до стабилизации деформаций), а виброускорения, возникающие в грунте, обратимые и необратимые деформации измерялись в течение первых пяти минут, через 30 минут, а также в конце эксперимента. Образцы испытывали без статического пригружения.

В экспериментах использовали грунты с нарушенной структурой, но в ходе подготовки плотность и влажность их доводили до значений, которые они имеют в естественном залегании. Для исследований были взяты аллювиальные (aIII-IV) и ледниковые (gIII-d) супеси, широко распространенные на территории Беларуси. Готовили грунты с тремя значениями влажности: $W_1=0,080$; $W_2=0,100$ и $W_3=0,135$, попадающими в интервал максимальной гигроскопической влажности, W_T – влажность нижнего предела пластичности, W_P , т.е. грунты представляли собой трехфазные системы. Плотности при соответствующих влажностях $\rho_1 = 1,56$; $\rho_2=1,59$; $\rho_3 = 1,64$ г/см^3 . Во всех случаях плотность частиц $\rho_s = 2,65$ г/см^3 ; число пластичности $I_P = 4,5$ %; коэффициент пористости $e = 0,83$. Масса образцов составляла $m = 7,0$ кг.

В результате проведенных исследований установлено, что вертикальные относительные общие деформации грунта при вибродинамическом нагружении ζ_d могут превосходить аналогичные деформации при статическом нагружении ζ до 26 раз. Упругие деформации при вибродинамическом нагружении $\zeta_{y,d}$ в 3,6–5,0 раз больше упругих деформаций при статическом нагружении ζ_y . При вибродинамических исследованиях модули упругих деформаций $E_{y,d}$ изменяются в пределах 4,34–22,45 МПа, модули общих деформаций E_d 0,29–1,40 МПа, соответственно динамическая жесткость $\alpha_d = 219,67–7607,67$ кН/м. Поэтому при проведении изысканий грунтовых оснований инженерных сооружений, передающих вибродинамические нагрузки, необходимо учитывать особенности деформационных свойств дисперсных грунтов в указанном режиме нагружения.

Литература

- Баркан Д. Д.* Динамика оснований и фундаментов. – М.:Стройвоенмориздат, 1959. – 411 с.
- Виноградова Л.Г., Красный Ю.М., Швец Н.С.* Лабораторный метод определения и исследования зависимости упругих характеристик грунта от характера воздействующих нагрузок // Динамика оснований, фундаментов и подземных сооружений. Матер. IV Всес. конф. – Тшк.: ФАН, 1977. – С. 143-147
- Трофимова В.Т.* Грунтоведение. – М.:Изд-во Московского университета, 2005. – 1023 с.
- Зиангиров Р.С.* Объемная деформируемость глинистых грунтов. – М.: Наука, 1979. – 164 с.
- Иванов П.Л.* Разжижение песчаных грунтов. – М.: Госэнергоиздат, 1962. – 52 с.
- Кутергин В.Н., Массух М.* Оценка виброуплотнения песчаных смесей / Инженерная геология, № 5. – 1987. – С. 84-94
- Савинов О.А.* Современные конструкции фундаментов под машины и их расчет. – Л.:Стройиздат, 1964. – 346 с.
- Технический кодекс установившейся практики (ТКП) 45-5.01-264-2012 (02250) Основания и фундаменты зданий и сооружений. Фундаменты при вибродинамических воздействиях. Правила проектирования. – Мн: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2013. – 114 с.