

*Озерова Наталья Игоревна, студент кафедры строительной и теоретической механики, НИУ «Московский государственный строительный университет», Москва, Россия*

## **ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ О РАСПРОСТРАНЕНИИ ВОЛН В ВЯЗКОМ УПРУГОМ ОСНОВАНИИ СООРУЖЕНИЯ**

**Аннотация:** При экспериментальном определении динамических характеристик грунтов, скальных пород и местных строительных материалов должны учитываться степень сохранности их структуры, плотность, влажность и статическое напряженно-деформированное состояние в натуральных условиях, т. е. в основании или в теле гидросооружения. Испытания опытных образцов должны производиться при совместном воздействии заданных статических и динамических нагрузок, а выбор расчетных динамических характеристик должен осуществляться для наиболее неблагоприятного из возможных сочетаний указанных нагрузок. Измерение скоростей распространения упругих волн в образцах грунтов, скальных пород и местных материалов и определение зависимости упругих характеристик от статического напряженного состояния производится ультразвуковым импульсным методом.

**Ключевые слова:** Распространение волн, Упругое основание, Система.

**Annotation:** In the experimental determination of the dynamic characteristics of soils, rocks and local building materials, the degree of preservation of their structure, density, moisture and static stress-strain state in natural conditions, i.e., in the base or in the body of a hydraulic structure, should be taken into account. Tests of prototypes should be carried out under the combined action of the given static and dynamic loads, and the choice of the calculated dynamic characteristics should be carried out for the most unfavorable possible combination of the indicated loads. The

measurement of the velocities of propagation of elastic waves in samples of soil, rocks and local materials and the determination of the dependence of elastic characteristics on the static stress state is carried out by the ultrasonic pulse method.

**Keywords:** Wave Propagation, Elastic Base, System.

## **Введение**

Основными динамическими характеристиками грунтов, скальных пород и местных строительных материалов, необходимыми для расчета гидротехнических сооружений на сейсмические воздействия по СНиП II-A. 12-69 и подлежащими экспериментальному определению с помощью полевых и лабораторных исследований, являются:

1) характеристики упругих и поглощающих свойств при динамических нагрузках малой интенсивности, не превышающих предела упругости;

2) характеристики жесткости и поглощающих свойств оснований, используемые в расчетах колебаний фундаментов и сооружений на грунтовом основании;

3) характеристики сжимаемости при динамических нагрузках значительной интенсивности, превышающих предел упругости;

4) характеристики сопротивления сдвигу и предельного состояния (прочности) грунтов при интенсивных динамических нагрузках сейсмического характера;

5) характеристики свойств водонасыщенных несвязных грунтов, используемые при оценке изменения полных и эффективных напряжений, избыточного порового давления, прочности этих грунтов, устойчивости их структуры и возможности перехода в разжиженное состояние при динамических воздействиях сейсмического характера.

При экспериментальном определении динамических характеристик грунтов, скальных пород и местных строительных материалов должны учитываться степень сохранности их структуры, плотность, влажность и

статическое напряженно-деформированное состояние в натуральных условиях, т. е. в основании или в теле гидросооружения [1].

Испытания опытных образцов должны производиться при совместном воздействии заданных статических и динамических нагрузок, а выбор расчетных динамических характеристик должен осуществляться для наиболее неблагоприятного из возможных сочетаний указанных нагрузок.

Основными характеристиками упругих и поглощающих свойств грунтов, скальных пород и местных строительных материалов при динамических нагрузках малой интенсивности, не превышающих предела упругости, являются модуль Юнга  $E$ , коэффициент Пуассона  $\nu$  и коэффициент поглощения колебаний  $\phi$ . В необходимых случаях могут использоваться также другие эквивалентные динамические характеристики (например, скорости распространения  $V$ , амплитудные коэффициенты,  $\alpha$  или декременты  $\beta$  затухания упругих волн и др.).

Лабораторное определение упругих и поглощающих характеристик производится на образцах грунтов:

- 1) ненарушенной структуры, залегающих в основании гидросооружений;
- 2) нарушенной структуры, используемых для возведения земляных сооружений. Полевое определение указанных выше характеристик производится для грунтов и скальных пород оснований, находящихся в условиях естественного залегания, а также для каменных набросок в опытных отсыпках или в теле плотин.

Лабораторные исследования должны обеспечивать получение характеристик упругих и поглощающих свойств грунтов с учетом их статического напряженного состояния в основании или в теле сооружения. Ввиду отсутствия необходимых приборов для таких исследований, разрешается определение характеристик упругих и поглощающих свойств производить на установках продольных и крутильных колебаний, не обеспечивающих возможности статического обжатия исследуемых образцов, а определение зависимости этих характеристик от статического напряженного состояния

производить на ультразвуковых установках, оборудованных специальными устройствами для статического нагружения образцов грунта

По полученным осциллограммам измеряются периоды собственных продольных  $T_p$  и крутильных  $T_k$  колебаний образцов и затем вычисляются значения модулей Юнга  $E$  и сдвига  $G$  с помощью формулы:

$$E, G = \frac{4\pi^2 \gamma h^2}{g T_{п.к}^2 \beta^2}, \quad (1)$$

где  $h$  — высота образца;  $\gamma$  — объемный вес грунта;  $\beta$  — ускорение силы тяжести;  $\beta$  — коэффициент, представляющий собой наименьший положительный корень уравнения.

Измерение скоростей распространения упругих волн в образцах грунтов, скальных пород и местных материалов и определение зависимости упругих характеристик от статического напряженного состояния производится ультразвуковым импульсным методом с помощью аппаратуры, в состав которой входят:

- импульсный ультразвуковой сейсмокоп (УЗС-2, ИПА-1, УКБ-1 и др.);
- пьезодатчики и пьезо приемники;
- прибор для закрепления исследуемого образца грунта, пьезодатчиков, пьезоприемников и для создания заданного напряженного состояния.

Измерения производятся в диапазоне частот от 20 кгц и выше по методике, указанной в описании приборов.

Измерение скоростей распространения упругих волн в образцах производится методами прозвучивания и продольного профилирования. В первом случае образец грунта длиной  $l$  располагается между излучателем и сейсмоприемником и регистрируется время первого вступления  $t$  прямой упругой волны. Скорость распространения упругой волны  $V$  определяется из отношения  $V=l/t$ . Во втором случае положение излучателя на образце остается фиксированным, а приемник перемещается по прямой вдоль профиля наблюдения с постоянным шагом.

Скорость распространения упругих волн определяется по годографам первых вступлений и характерных фаз колебаний таким же образом, как при использовании методов полевой сейсморазведки. Величина базы измерения  $l$  (длина образца) и шаг сейсмоприемников выбираются в зависимости от скорости распространения упругих волн в грунте, исходя из условия получения допустимой погрешности измерений.

При больших размерах образцов ( $l \geq 10A$ ) и хорошо подготовленной их поверхности может быть произведено корреляционное прослеживание поперечной (S) и поверхностной (R) волн, построены годографы и определены скорости распространения ( $V_s$  и  $V_R$ ) этих волн аналогично тому, как это делается при полевой сейсморазведке [2].

Определение упругих характеристик каменнонабросных и гравийных материалов, а также различных грунтовых смесей, содержащих крупную фракцию, для исследования которых в лабораторных условиях пока не имеется специальных крупномасштабных установок, рекомендуется производить с помощью полевых методов, основанных на измерении скоростей распространения релеевских и продольных  $V_v$  волн. Волна Релея возбуждается электромагнитным вибратором, установленным на поверхность исследуемого грунта. Напряжение переменного тока на вибратор подается от генератора. Колебания грунта принимаются двумя сейсмоприемниками, электрические сигналы которых усиливаются двухканальным усилителем и подаются на электронный осциллограф для определения сдвига фаз колебаний [3].

Один сейсмоприемник неподвижен и является «опорным», а второй передвигается по профилю для определения точек на поверхности грунта, где колебания находятся в фазе или противофазе с колебаниями в точке установки первого сейсмоприемника. Расстояние между такими соседними точками равно  $\lambda/2$ , где  $\lambda$  — длина релеевской волны. Скорость определяется по формуле:

$$V_R = f\lambda_R \quad (2)$$

Определение упругих и поглощающих свойств грунтов или их напластований в условиях естественного залегания, а также материалов в теле

гидросооружений производится с помощью полевых методов сейсморазведки и сейсмокаротажа скважин. При этом используется стандартная сейсморазведочная аппаратура, включая многоканальные сейсмостанции (например, СС-24П и др.), комплекты сейсмоприемников (СП-16, СПЭД-56, СН-3), многоприборные зонды или одиночные скважинные сейсмоприемники и др. При разведке малых глубин (до 15 м) используются портативные одно- или двухканальные сейсмоустановки.

Определение обобщенных характеристик жесткости и коэффициентов затухания производится с помощью полевых исследований свободных и вынужденных колебаний опытных бетонных блоков и сборных инвентарных штампов, расположенных на поверхности основания площадок строительства в идентичных условиях с проектируемыми фундаментами и сооружениями. Возбуждение свободных колебаний блоков и штампов производится с помощью ударов, а вынужденных колебаний — с помощью жестко закрепленных на этих установках дебалансных вибраторов направленного действия. При опытах производится измерение колебаний блоков и штампов с помощью стандартной сейсмометрической аппаратуры (сейсмоприемников ВЭГИК, К'001 и др. в комплекте со шлейфными осциллографами) [4].

Отличительной особенностью грунтов и местных материалов является их способность к проявлению пластических и вязких свойств при динамических нагрузках даже относительно небольшой интенсивности. Для описания этих свойств применяются различные динамические модели (упруго-вязкой, упругопластической или упруго-вязко-пластической среды; многокомпонентной взаимопроникающей среды с деформируемым скелетом и др.). Выбор соответствующих динамических моделей грунтов и местных материалов, установление пределов их применимости при решении конкретных задач и определение расчетных динамических характеристик сжимаемости (диаграмм «напряжение—деформация», модулей деформации при нагружении  $E_n$  и разгрузении  $\epsilon_r$  и др.) должны производиться с помощью специальных лабораторных и полевых исследований.

Лабораторное определение сопротивления грунтов и местных строительных материалов объемному сжатию при динамических нагрузках производится:

1) с помощью непосредственного испытания образцов грунтов с ненарушенной структурой, отобранных с разных глубин естественных оснований или образцов грунтов и местных материалов с нарушенной структурой, используемых для возведения гидросооружений, в условиях одноосного сжатия без возможности или с возможностью бокового расширения, в условиях всестороннего (гидростатического) сжатия и др.;

2) с помощью измерения параметров одномерных (преимущественно плоских) волн напряжений, возбуждаемых ударами или взрывами в образцах грунтов и местных материалов ненарушенной или нарушенной структуры, и использования для построения динамических диаграмм сжатия основных соотношений на фронте волны (ударной или с резким нарастанием давления) [5; 6].

### **Основные результаты**

Взаимодействие сооружения и грунтового основания осуществляется через модель винклерового основания, суть которой в простоте расчетов не позволяет учитывать воздействие физических эффектов, связанных с инерционными свойствами грунтового основания. Модель упругого полупространства лишена этого минуса, однако в следствии тяжелых и долгих расчетов не позволяет вычислить аналитическое решение в замкнутом виде за исключением конкретного вида задач. При проведении динамического поведения с выше указанными факторами необходимо учитывать волновой унос энергии от сооружений в бесконечное грунтовое основание. При учете неоднородно вязкоупругого свойства решение по данному вопросу осложняется.

### **Библиографический список:**

1. Руководство по лабораторному определению физико-механических характеристик грунтов при устройстве оснований сооружений. М., 1965.
2. Шехтер О. Я., Минеев Л. Н., Левшинский Д. С., Иванов А. И. Лабораторная установка для определения упругих и диссипативных свойств грунтов динамическим методом. Сб. трудов НИИОСП, вып. 51. Применение вибрации в строительстве. М., Госстройиздат, 1962.
3. Методическое руководство по определению физических свойств горных пород и полезных ископаемых. Под ред. Дортман Н. Б. и Озерской М. Л. Государственное научно-техническое издательство литературы по геологии и охране недр. М., 1962.
4. Справочник геофизика, т. IV. М., «Недра», 1966.
5. Гурвич И. И. Сейсмическая разведка. М., Гостоптехиздат, 1960.
6. Пузырев Н. Н. Измерение сейсмических скоростей в скважинах. М., Гостоптехиздат, 1957.