

УДК 539.3

**УЧЕТ ПЕРВИЧНОЙ НЕЛИНЕЙНОСТИ ГРУНТА
ПРИ СЕЙСМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НА НАСОСНУЮ СТАНЦИЮ**

© 2011 г.

В.В. Турилов

ОАО «Нижегородская инжиниринговая компания «Атомэнергопроект»

valeriy_nnov@mail.ru

Поступила в редакцию 15.06.2011

Работа посвящена учету первичной нелинейности грунта при сейсмическом воздействии уровня проектного землетрясения на объединенную насосную станцию блока 3 Ростовской АЭС. Применяется эквивалентный линейный метод, при котором выполняется одномерный итеративный анализ распространения волн. Используется прямое и обратное преобразование Фурье по временной переменной. Результатом исследования является акселерограмма на «отрытой» поверхности грунта на отметке заложения фундамента, задающая сейсмическое воздействие на насосную станцию.

Ключевые слова: сейсмическое воздействие, первичная нелинейность грунта, преобразование Фурье по времени, эквивалентный линейный метод.

В соответствии с [1] при взаимодействии здания (сооружения) с грунтовым основанием выделяют два типа нелинейного поведения грунта: первичную нелинейность, вызванную прохождением сейсмических волн в толще грунта, и вторичную нелинейность, возникающую в результате взаимодействия сооружения с грунтом в зоне их контакта.

Рассматривается один из способов учета первичной нелинейности поведения грунта при сейсмическом воздействии на объединенную насосную станцию (ОНС) блока 3 Ростовской АЭС.

ОНС имеет вторую категорию сейсмостойкости по классификации [2], в связи с чем рассматривается сейсмическое воздействие на нее уровня проектного землетрясения (ПЗ) [2].

Модель грунтового основания ОНС предполагается имеющей слоистую структуру с горизонтальными границами слоев. Каждый слой грунта характеризуется следующими параметрами: толщиной, скоростями продольных и поперечных упругих волн, плотностью, нелинейными зависимостями модуля сдвига и затухания от деформации сдвига.

Принимается гипотеза вертикального распространения сейсмических волн [1].

Интенсивность ПЗ для площадки Ростовской АЭС составляет 6 баллов по шкале MSK-64. Сейсмическое воздействие задается трехкомпонентной синтезированной акселерограммой на свободной поверхности грунта [3]. Длительность воздействия составляет 6.42 с. Шаг оцифровки компонент равен 0.01 с. Максимальные ускорения в го-

ризонтальных направлениях составляют 0.05g, в вертикальном направлении – 0.033g.

Из гипотезы о вертикальном распространении сейсмических волн следует, что горизонтальные компоненты акселерограммы обусловлены вертикально распространяющимися поперечными упругими волнами, а вертикальная компонента – вертикально распространяющейся продольной волной.

При анализе распространения поперечных волн используется эквивалентный линейный подход для учета нелинейных зависимостей модулей сдвига и затуханий в грунтовых слоях от деформаций сдвига.

Рассмотрен обобщенный разрез основания в месте расположения ОНС. При этом данные о значениях скоростей продольных (v_p) и поперечных (v_s) волн для различных грунтовых слоев приняты в соответствии с [4]. Зависимости относительного модуля сдвига и относительного демпфирования для наиболее типичных грунтов даны в [5]. На рис. 1, 2 для примера приведены указанные зависимости для глин.

ОНС заглублена в грунт на 16 м. Сейсмическое воздействие на ОНС определялось на свободной («отрытой») поверхности грунта на уровне заложения фундамента ОНС. Для этого была применена следующая методика.

Сначала для модели грунтового основания в естественном состоянии по заданной акселерограмме на свободной поверхности грунта определялось воздействие на обнаженной поверхности коренных пород. Затем строилась модель ос-



Рис. 1

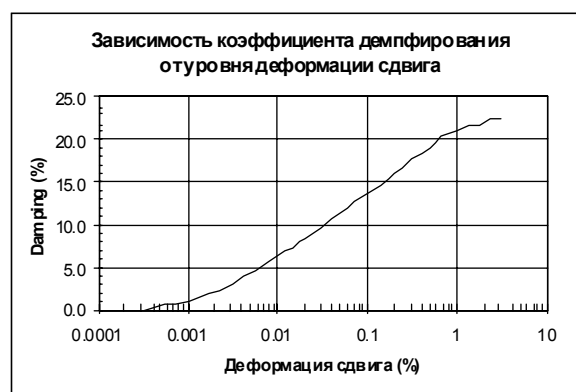


Рис. 2

нования с удаленными до уровня заложения фундамента ОНС слоями грунта. По данной модели при определенной акселерограмме на обнаженной поверхности коренных пород рассчитывалась акселерограмма для «отрытой» на уровне заложения фундамента ОНС поверхности грунта.

В расчетах применялась программа SHAKE91 [6], реализующая эквивалентный линейный метод, при котором выполняется одномерный итеративный анализ распространения волн. При этом используется преобразование Фурье по временной переменной, сводящее решение задачи во временной области к ряду решений соответствующих задач в частотной области, после чего решение во времени получается с помощью обратного преобразования Фурье. В программе реализовано эффективное с вычислительной точки зрения быстрое преобразование Фурье.

Исходные грунтовые слои были разбиты по толщине на подслои в соответствии с рекомендациями [6]. При определении воздействия на отметке заложения фундамента ОНС одна из границ подслоев была размещена на уровне подошвы фундаментной плиты ОНС.

Для горизонтальных компонент исходной акселерограммы вычисления производились итерационно с учетом изменения модуля сдвига G и относительного демпфирования в грунтовых слоях в зависимости от значений эффективных сдвиговых деформаций, достигнутых в слоях при сейсмическом воздействии. Значения модуля сдвига G_0 в слоях при малых деформациях вычислялись по заданным значениям скорости поперечных волн v_s в слоях. Относительное демпфирование в грунтовых слоях при малых деформациях было принято равным 1%.

Максимальные ускорения компонент акселерограммы сейсмического воздействия на «отрытой» поверхности грунта на уровне подошвы фундаментной плиты ОНС в горизонтальных направ-

лениях составили 0.0440g и 0.0388g. С целью задания одинакового уровня сейсмического воздействия в двух ортогональных горизонтальных направлениях максимальные значения горизонтальных компонент расчетной акселерограммы были приведены к среднему значению 0.0414g.

Для вертикальной компоненты исходной акселерограммы итерации не выполнялись, поскольку данные компоненты обусловлены вертикально распространяющимися продольными волнами, не связанными с деформациями сдвига. При этом для слоев задавались значения скоростей продольных волн v_p .

Максимальное ускорение в вертикальном направлении на «отрытой» поверхности грунта на уровне подошвы фундаментной плиты ОНС составило 0.0248g. Полученная описанным способом расчетная акселерограмма учитывает первичную нелинейность поведения грунта при сейсмическом воздействии уровня ПЗ и применяется для дальнейшего анализа взаимодействия ОНС с грунтовым основанием с применением импедансного метода [1].

Список литературы

1. ASCE 4-98 Seismic Analysis of Safety-Related Nuclear Structures and Commentary.
2. НП-031-01 Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций. М., 2001.
3. Уточнение сейсмических и тектонических условий размещения площадки Ростовской АЭС: Отчет о НИР / Автономная некоммерческая организация научный институт «Центр геофизических исследований». Учредитель: Объединенный институт физики Земли РАН. Москва, 2002.
4. Выполнение геотехнических исследований на площадке размещения основных сооружений Ростовской АЭС: Отчет о НИР / Производственный и научно-исследовательский институт по инженерным изысканиям в строительстве (ПНИИС) Госстороя России. Москва, 1997.

5. Working Material/Co-ordinated Research Program on/Benchmark Study for the Seismic Analysis and Testing of WWER-type Nuclear Power Plants/Volume 3I // IAEA, 1999.

6. SHAKE91. A Computer Program for Conducting Equivalent Linear Seismic Response Analyses of Horizontally Layered Soil Deposits. User's Manual. University of California, 1992.

THE ACCOUNT OF PRIMARY NONLINEARITY OF THE GROUND DURING A SEISMIC EFFECT ON A PUMP STATION

V.V. Turilov

The primary nonlinearity of the ground in the event of a seismic effect of the earthquake level on the incorporated pump station of the Rostov NPP unit 3 is accounted for. The equivalent linear method is used where one-dimensional iterative analysis of the wave propagation is done. The direct and inverse Fourier transforms for a temporary variable are used. The result of the work is the acceleration time history on the foundation level which sets the seismic impact on the pump station.

Keywords: seismic impact, ground primary nonlinearity, Fourier transformation by temporary variable, equivalent linear method.