УДК 534.01

DOI 10.37153/2687-0045-2021-14-139-142

ОЦЕНКА СЕЙСМОСТОЙКОСТИ ОТВЕТСТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ИМПЕДАНСНЫХ ФУНКЦИЙ

Шокин А.А.¹, Семенов Д.А.²

¹ АО «Атомэнергопроект»

Санкт-Петербургский горный университет

² АО «Атомэнергопроект»

Согласно СП 14.13330.2018 [1] расчет сооружений на сейсмический отклик во временном диапазоне может проводиться при помощи прямого динамического метода. Учет взаимодействия сооружения с основанием регламентируется использованием «коэффициента упругой жесткости основания», которые должны быть вычислены, исходя из упругих свойств грунтового основания.

Учесть данный фактор можно при помощи «метода эквивалентных жесткостей» [2]. Метод основывается на том, что контакт между сооружением и основанием моделируется с помощью пружинно-демпферных блоков (ПДБ) [2].

В отечественной нормативно-технической документации не предоставлено информации о том, как подбирать параметры ПДБ, во всяком случае в нормативах, относящихся к гражданскому строительству. Рекомендации имеются в отраслевой документации [3] и зарубежной НТД [4], а также в научной литературе, но ее мы рассматривать в данной работе не будем. Данный метод не позволяет в полной мере описать динамическое взаимодействие сооружения с основанием (ВСО).

Для получения максимально точных результатов необходимо использовать узкоспециализированное ПО (ACS SASSI), которое использует частотно-зависимые жесткости основания – импеданс функции. Сравнение результатов, полученных при использовании нормативных подходов и ACS SASSI, будут представлены в данной работе.

Цель работы – сравнение результатов расчета с применением метода эквивалентных жесткостей и импедансных функций.

Для достижения поставленной цели были построены модели и посчитаны с использованием двух разных методов моделирования ВСО.

Метод 1 основан на нормативном подходе (метод эквивалентных жесткостей).

Предполагается, что основание является упругим и изотропным. Расчетная схема состоит из конечно-элементной модели сооружения (рисунок 1) и пружинно-демпферных элементов, которые установлены к каждому узлу сетки конечных элементов на подошве фундамента. Характеристики пружин-демпферов были рассчитаны согласно ASCE 4-16 [4], так как анализ показал, что зависимости из данного источника больше приближены к результатам гармонического анализа, который был верифицирован в статье [5]. Характеристики ПДБ зависят от габаритов здания и усредненных упругих параметров

грунта. Формулы являются частично эмпирическими. Исходным воздействием для расчета является трехкомпонентная акселерограмма, посчитанная с помощью ПО SHAKE.

Метод 2 основан на математическом аппарате ACS SASSI (System for Analysis of Soil-Structure Interaction). Ключевой особенностью метода является учет частотной зависимости динамических характеристик грунтового основания (динамической жесткости и демпфирования). При данном подходе учитывается частотная зависимость жесткости грунтового основания в случае динамического воздействия, в то время как при Методе 1 жесткость пружин зафиксирована, а демпфирование линейно растет при повышении частоты, что не отображает реального поведения грунта [5]. При использовании Метода 1 динамическая жесткость грунта постоянна по частоте, а демпфирование зависит от частоты линейно, в то время как реальная частотная зависимость имеет явный нелинейный характер [7], [8]. Расчетная схема для Метода 2 представлена на рисунке 2 и состоит из следующего:

Рис. 2

- фундаментная плита сооружения, состоящая из объемных конечных элементов;
- подбетонка, состоящая из объемных конечных элементов;
- укрепленный грунт, состоящий из объемных конечных элементов;
- система стержней – так называемая «шашлычная модель», которая отражает жесткость этажей и статические нагрузки от веса перекрытий и оборудования.

Грунтовое основание представляет собой пакет грунтовых слоев с упругими свойствами (плотность, коэффициент Пуассона, модуль Юнга, модуль сдвига, скорость поперечных и продольных волн, коэффициента материального демпфирования), а также слоя условного скального полупространства, которое не имеет нижней границы. Графическое отображение модели грунта представлено на рисунке 2.

При использовании обоих методов расчета были получены акселерограммы на различных высотных отметках конструкции, из которых были вычислены спектры отклика ускорений. Данные спектры называются поэтажными спектрами отклика (In Structure Response Spectra – в зарубежной литературе), они являются критерием сравнения в данном исследовании.

Отображены полученные спектры на отметке поверхности фундаментной плиты и на отметке кровли сооружения на рисунках 3 – 4 соответственно. Уровень демпфирования для спектров отклика принят 5%.

Рис. 3

Рис. 4

По итогу исследования можно сказать, что цель работы достигнута – сравнительный анализ проведен. Исходя из результатов, можно сделать следующие выводы:

1. Результаты довольно сильно отличаются при расчете разными методами. В некоторых местах достигается двукратная разница.
2. Характер спектров по частоте, а также пики во многом совпадают, что говорит о корректном построении моделей.
3. В данном исследовании результаты показывают более консервативный результат в случае более простого Метода 1, но есть вероятность того, что при определенных условиях результаты будут противоположны.

Список литературы

1. СП 14.13330.2018 «Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81*». – М.: ФАУ ФЦСБ, 2014.
2. Бирбраер А.Н. Экстремальные воздействия на сооружения / А.Н. Бирбраер. – СПб.: Наука, 1998. – 255 с.
3. МР 1.5.2.05.999.0026-2011 Нормы проектирования оснований сооружений атомных электростанций. – М., 2011.
4. Seismic Analysis of Safety-Related Nuclear Structures and Commentary. The American Society of Civil Engineers (ASCE). – 2017. – 204 p.

5. Shokin A. Frequency-dependent dynamic characteristic of the soil foundation / A.Shokin, D.Semenov // Construction of Unique Buildings and Structures. – 2021. – № 94. – P. 804–813. doi: 10.4123/CUBS.94.6
6. Ghiocel D.M. Accurate linear and nonlinear seismic SSI analysis based on ANSYS FE modeling using extended SASSI methodology / D.M. Ghiocel, M. Saremi // Trans. 24th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology (SMiRT 24), Busan, Korea, Aug 2017.
7. Тяпин А.Г. Учет взаимодействия сооружения с основанием при расчетах на сейсмические воздействия: Научное издание / А.Г Тяпин. Издательство АСВ, 2014 г. – 136 с.
8. Тяпин А.Г. Расчет сооружений на сейсмические воздействия с учетом взаимодействия с грунтовым основанием / А.Г. Тяпин. – М.: Издательство АСВ, 2016. – 392 с.