**ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТОВ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ НА СЕЙСМИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ**

**А.С. Бестужева**, канд. техн. наук, доц.

(НИУ МГСУ)

**Аннотация.** Обосновывается важность анализа форм собственных колебаний при расчетах сейсмоустойчивости плотин, учёта поэтапности строительства и повторяемости землетрясений, особенностей пространственной работы сооружений, учёта скорости распространения сейсмической волны в основании плотины.

**Ключевые слова.** Плотины, формы собственных колебаний, спектральный анализ, модель грунта, динамические свойства материалов, сейсмические волны, остаточные перемещения.

Одним из наиболее сложных вопросов сейсмостойкого строительства остается вопрос проектирования гидросооружений в зоне высокой сейсмичности. Это вызвано несколькими причинами: во-первых, неопределенностью в задании самой сейсмической нагрузки, что вынуждает проводить расчеты на аналоговые или синтезированные акселерограммы; во-вторых, сложностью описания физико-механических свойств грунтов тела плотины и пород основания при динамических нагрузках, имея в виду возможности трещинообразования, пластические и вязко-пластические деформаций грунтов вплоть до течения при их разжижении; в-третьих, особенностями гидродинамического взаимодействия сооружений с водной средой при землетрясении.

Расчеты сейсмостойкости гидротехнических сооружений в рамках динамических методов показали, что комплексный подход к исследованиям сейсмостойкости плотин заключается в выделении среди большого числа возможных исследований, задач основного расчета и задач дополнительных, возможно частных, связанных с особенностями конструкции сооружения. В числе первоочередных задач динамических исследований стоит вопрос о расчете форм и частот собственных колебаний сооружений. Этот расчет является тем более важным, что именно согласно спектру собственных частот колебаний, производится подбор комплекса расчетных акселерограмм для сооружения.

Исследования форм и частот собственных колебаний сооружений разной высоты в плоской и пространственной постановке показали, что с увеличением высоты плотины разница в решениях по плоской и по пространственной схемам увеличивается за счет увеличения густоты спектра собственных частот, что требует учета всё большего числа форм собственных колебаний (ФСК) в расчете для пространственных задач (до 100 и более форм). При этом период и форма основного тона колебаний, полученная в решении плоской задачи остается неизменной и в решении пространственной задачи с той разницей, что в пространственной задаче эта форма может стать вторым тоном колебаний. Достаточное число учитываемых в расчете ФСК для каждой задачи должно определяться индивидуально на предварительной стадии исследований, от этого вопроса зависит точность решения, например, для 100-метровой бетонной гравитационной плотины при учёте 25 ФСК вместо 5 ФСК максимальные амплитуды пульсаций напряжений увеличиваются на 15%, у грунтовых плотин такая зависимость ещё более существенна.

Постановка задачи сейсмического расчета для бетонных и грунтовых плотин существенно различается динамическими моделями поведения материала под нагрузкой. Если в бетонных плотинах решение задач допустимо проводить по упругой схеме, а нелинейные эффекты допускаются в зонах возможного трещинообразования, то для грунтовых сооружений процесс динамического нагружения материала всегда протекает с образованием остаточных деформаций, которые к концу землетрясения накапливаются в каждом элементе плотины и формируют картину деформирования сооружения после землетрясения. В наших работах используется «энергетическая» модель грунта проф. Рассказова Л.Н., широко применяемая в расчетах грунтовых плотин [1,41с]. Поскольку сейсмическое воздействие на сооружение протекает на фоне статического напряженно-деформированного состояния (НДС), то статическое НДС определяет начальные значения динамической картины изменения НДС плотины во времени. Нелинейный характер деформирования грунта под нагрузкой, учитывающий эффект дилатансии, пластических деформаций, деформаций текучести согласно теории наследственной ползучести, обязывает в решении динамических задач строго придерживаться последовательности нагружения материала, т.е. учитывать поэтапность строительства сооружения, время до начала землетрясения, возможные повторные сейсмические явления. Например, проведенные исследования показали, что при повторных сейсмических толчках для 100-метровой каменно-земляной плотины наихудшей с точки зрения окончательного НДС будет серия землетрясений 9-8-7 баллов, чем гирлянда 7-8-9 баллов.

Одной из особенностей поведения грунтовой плотины при землетрясении является эффект «бегущей волны», проявляющийся в неравномерном смещении точек подошвы плотины при распространении в основании сейсмических волн. Этот эффект впервые был отмечен в докладе на 2-м Конгрессе по сейсмостойкому строительству в 1969г [2] и реализован в динамических расчетах автора в 1994г [3]. Эффект «бегущей волны» проявляется как в продольных колебаниях плотины, где протяженность основания грунтового сооружения сопоставима с длиной сейсмической волны, так и, в случае широких створов, в поперечных колебаниях, тогда этот эффект следует учитывать и для бетонных плотин. Учет неравномерности смещения основания при землетрясении приводит к перераспределению напряжений в теле плотины и снижению величин остаточных перемещений в ней.

Комплексный подход к расчету сооружений на сейсмические воздействия позволяет провести расчеты устойчивости и прочности, основываясь на базовых понятиях динамики сооружений, получить картину изменения НДС сооружения как во время землетрясения, так и после него, учет особенностей сооружений позволяет в некоторых случаях выявить резервы несущей способности и предложить более экономичное решение, в других случаях – учесть дополнительные воздействия, повысив надежность и безопасность плотин.

***Литература***

1. Гольдин А.Л., Рассказов Л.Н. Проектирование грунтовых плотин // Учебное пособие, М.: АСВ. - 2001.- 375с.

2. Chopra A.K., Dibaj M., Clough R.W. Earthquake analysis of earth dams // Proceedings of the fourth world conference on Earthquake Engineering Santiago de Chile, 1969/.-PROC.- 4-WCEE.-Chili. -1969. A5-55.

3. Бестужева А.С. Сейсмостойкость грунтовых плотин// Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук /МИСИ-МГСУ. – М. - 1994.-181с.

**The Main principles and the Specifics of Calculations of River Engineering Constructions under Seismic Loads**

**A.S. Bestuzheva**, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of University of Civil Engineering, Moscow State

**Abstract.** The author explains the importance of the analysis of natural modes while calculating the seismic stability of dams, of taking into consideration the stages of construction, frequency of earthquakes, and the peculiarities of the structures’ spatial functioning, of taking into account the propagation velocity of seismic waves at the base of the dam.

**Key words**. Dam, mode shapes, spectral analysis, the soil model, dynamic properties of materials, seismic waves, residual displacement.

**REFERENCES**

1. Goldin A.L., Rasskazov L.N. Design of earth dams// Education book/ Moscou, ASV, 2001.

2. Chopra A.K., Dibaj M., Clough R.W. Earthquake analysis of earth dams // Proceedings of the fourth world conference on Earthquake Engineering Santiago de Chile, 1969/.-PROC.- 4-WCEE.-Chili. -1969. A5-55.

3. Bestuzheva A.S. Seismic stability of earth dams// Ph.D. thesis in Engineering Science, M.-1994.-181p.