

УДК 535

Г.Л.Козинец (асп., каф. СКИМ), В.В.Белов, д.т.н., проф.

ПРОБЛЕМА УЧЕТА ПРИСОЕДИНЕННЫХ МАСС ВОДЫ В РАСЧЕТАХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ ЗАТВОРОВ НА СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ

Важным этапом расчета гидротехнических сооружений в рамках линейно-спектральной теории (ЛСТ) сейсмостойкости является определение присоединенных масс воды. Понятие о присоединенной массе предложено Н.М. Вестергардом в связи с тем, что гидродинамическое давление, возникающее при колебаниях конструкции в жидкости равно переносной силе инерции от присоединенных масс воды. Гидродинамическая составляющая давления воды вызывает существенное перераспределение напряжений в конструкции, понижает частоты собственных колебаний, поэтому учет этого фактора является актуальным.

Российскими строительными нормами (СНиП II-7-81*. Строительство в сейсмических районах) регламентирован метод определения присоединенных масс воды в соответствии с предложением Н.М.Вестергарда. Метод основан на статической теории сейсмостойкости. Напорная грань конструкции принимается жесткой, недеформируемой, ее собственные частоты не учитываются.

В ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева по задаче Вестергарда разработана методика и вычислительная программа, позволяющая определять присоединенные массы путем решения задачи стационарной теплопроводности для бассейна перед конструкцией. Метод хорошо зарекомендовал себя в расчетах бетонных плотин. Такое решение основано на аналогии между уравнениями движения Эйлера для идеальной жидкости и уравнениями стационарной теплопроводности.

Гидротехнические затворы, по сравнению с бетонными плотинами, являются менее жесткими конструкциями. Первые собственные частоты у них находятся обычно в пределах от 10 Гц до 20 Гц, что значительно ниже ускорения нулевого периода (от 25 Гц до 33 Гц). Поэтому необходимо дополнительное исследование влияния форм колебаний затворов в определении присоединенных масс воды. В расчетах конструкций на сейсмостойкость по ЛСТ возможно учесть присоединенные массы, вычисленные только по одной из исследуемых форм собственных колебаний. Часто применяется упрощенная схематизация колебаний конструкции (например, первую форму колебаний определяют, как форму колебаний балки, оболочки и т.д.). Однако, для сегментных затворов, имеющих сложную геометрическую форму нельзя ограничиться упрощенной схемой колебательного процесса.

В данной работе предложен новый подход к определению присоединенных масс воды по форме собственных колебаний затвора, дающей наибольший вклад в сейсмическую нагрузку. Эта форма определяется по результатам сейсмического анализа затвора без присоединенных масс («сухого затвора») путем вычисления наибольших модальных масс по соответствующей форме колебаний.

Обозначим основные этапы этого способа на примере расчета сегментного затвора водосброса Ирганайской ГЭС на действие статических и сейсмических воздействий.

1. Методом конечных элементов выполняется статический расчет затвора.
2. Способом одновременных итераций на подпространстве определяются собственные частоты и формы колебаний «сухого затвора».
3. Выполняется расчет на сейсмическое воздействие по заданному спектру ответа.
4. Определяются наибольшие модальные массы по ранее выбранной форме колебаний.
5. Бассейн перед затвором разбивается на объемные конечные элементы. Длина (вдоль потока) принимается равной трем высотам затвора; ширина (поперек потока) равна

половине нагруженного пролета (для симметричной половины затвора); глубина – в соответствии с высотой затвора и проектной отметкой дна бассейна.

6. Методом конечных элементов решается задача стационарной теплопроводности для области, занимаемой бассейном перед затвором.

Граничные условия для решения температурной задачи задаются следующими: на свободной поверхности воды температура $T = 0$; на жестких стенках бассейна и в плоскости симметрии поток тепла $q = 0$; на грани, совпадающей с затвором поток тепла задается пропорционально исследуемой форме колебаний конструкции и (x_0, y, z) .

7. Используется формула пересчета температур массы i -го элемента обшивки площадью dF в точечные массы $m_{i\text{прис}}$, распределенные в узлах смоченной части обшивки.
8. Способом одновременных итераций на подпространстве определяются собственные частоты и формы колебаний затвора с присоединенными массами воды.
9. Выполняется расчет на сейсмическое воздействие по заданному спектру ответа.
10. Результаты расчета сейсмического расчета суммируются со статическим расчетом.

В работе сопоставлены результаты расчета сегментного затвора водосброса Ирганайской ГЭС на действие статической и сейсмической нагрузок для 4-х расчетных случаев:

- Первый расчетный случай – без учета присоединенных масс воды.
- Второй расчетный случай – с присоединенными массами воды, вычисленными без учета форм колебаний затвора.
- Третий расчетный случай – с присоединенными массами воды, вычисленными по наиболее наглядной для смоченной поверхности форме колебаний затвора.
- Четвертый расчетный случай – с присоединенными массами воды, вычисленными по выбранной форме колебаний затвора, дающей наибольшие модальные массы.

Результаты расчетов показывают, что наибольшие местные напряжения и напряжения в ригелях получаются с учетом присоединенных масс воды, определенных по четвертому расчетному случаю, поэтому предложенный метод учета присоединенных масс по выбранной форме колебаний конструкции следует применять в расчетах на сейсмостойкость гибких гидротехнических затворов.