

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЖЕННОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СООРУЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫМ ПОТОКОМ

*А.М. Захезин, Т.В. Малышева, А.С. Сергийко*

**Проведено исследование вибронагруженности плотины Шершневского водохранилища в зимний период. Полученные экспериментальные результаты позволяют вычислить жесткостные и демпфирующие коэффициенты бетонного основания плотины. С помощью рассчитанных экспериментальных значений можно определить предельные значения параметров вибронагруженности в контролируемых точках, и определить реакцию системы «плотина-основание» на различные сочетания нагрузок с учетом определенных по натурным данным отклонений от проектных состояний, в частности определить немонолитность профиля, раскрытие шва под напорной гранью, глубину раскрытия.**

Известно, что строительные конструкции должны выдерживать транспортную вибрацию, которую необходимо учитывать в эксплуатационных режимах для обеспечения обслуживания строительного сооружения и соответствия условиям окружающей среды, а также обеспечение прочности конструкции и гидротехнических сооружений. В процессе эксплуатации гидротехнического сооружения часто возникают проблемы, обусловленные непроектными динамическими нагрузками плотины и ее основания, требующие проведения специального исследования, кроме того, в период длительной эксплуатации сооружения часть первоначально установленной контрольно-измерительной аппаратуры, определяющей некоторые диагностические параметры, выходит из строя. За последние несколько лет интенсивность транспортного потока, проходящего через плотину, возросла в несколько раз. Поэтому существенно возросла и динамическая нагрузка от транспорта, которая относится к тем типам действующих нагрузок, которые не могут быть учтены в расчетах сооружения в полном объеме.

Плотина Шершневского водохранилища является участком одной из важнейших магистралей г. Челябинска. Согласно СНиП 2.07.01-89 [1] это магистраль общегородского значения с общим числом полос движения - 3, длиной участка 2,3 км [2]. Согласно рекомендациям по выбору диагностических параметров, контролирующим состояние бетонных плотин П 82-2001 на высоких плотинах I класса обязательно осуществляются визуальные, инструментальные (геодезические и фильтрационные), температурные, тензометрические наблюдения, а также в некоторых случаях, которые часто возникают в процессе эксплуатации, необходимы специальные исследования за наиболее ослабленными частями сооружения [3, 5]. Частота проведе-

ния наблюдений должна быть достаточной для получения зависимостей между изменяющимися нагрузками, воздействиями и контролируемыми параметрами, температурой. В полученных значениях вибрационных параметров могут быть погрешности связанные, с объективной реакцией элементов сооружения или основания, изменяющееся от времени года, объема транспортного потока, обуславливающего динамическое воздействие.

Согласно методическим рекомендациям по составлению проекта мониторинга безопасности гидротехнических сооружений на поднадзорных Госгортехнадзору России производствах РД 03-417-01 перемещения различных отметок плотины фиксируют ее деформированное состояние, и на основе перемещений, полученных из эксперимента в горизонтальном направлении, можно построить упругую линию тела плотины [6]. Экспериментальные значения виброскоростей различных точек плотины, полученных в разное время года, говорят об интенсивности изменения нагрузок и воздействий. С помощью рассчитанных экспериментальных значений можно определить предельные значения параметров вибронагруженности в контролируемых точках, и определить реакцию системы «плотина-основание» на различные сочетания нагрузок с учетом определенных по натурным данным отклонений от проектных состояний, в частности определить немонолитность профиля, раскрытие шва под напорной гранью, глубину раскрытия.

Качество плотины как конструкции и бетона как материала проявляется во времени и обусловлено постепенным изменением физики механических свойств бетона и геологической среды. По результатам эксперимента определяется фактическая прочность, морозостойкость, водопроницае-

мость. При наличии необратимых процессов, вызванных дефектами, выявленными по параметрам вибрации, можно говорить об ослаблении рабочего профиля плотины, вызывающего ухудшение схемы ее статической работы. В этом случае следует определить причины такого состояния, обосновать необходимость ремонтных мероприятий или эксплуатацию плотины при пониженных нагрузках.

Динамические напряжения, возникающие в строительных конструкциях, как правило, невелики и составляют обычно лишь небольшую долю допускаемых статических напряжений [7]. Поэтому для строительных конструкций практический интерес имеет изучение внутреннего поглощения при динамических напряжениях. За характеристику внутреннего поглощения материала при циклических деформациях принято считать коэффициент поглощения

$$\psi = \frac{\Delta W}{W}, \quad (1)$$

где  $W$  – упругая работа, отвечающая максимальной деформации;

$\Delta W$  – поглощенная в необратимой форме работа за тот же цикл.

Можно определить коэффициент поглощения  $\psi$  по затуханию собственных колебаний. По полученной из опыта развертке собственных затухающих колебаний, можно вычислить логарифмический декремент затухания  $\delta$

$$\delta = \ln \frac{a_n}{a_{n+1}}. \quad (2)$$

Здесь  $a_n$ ,  $a_{n+1}$  – амплитуды колебаний в  $n$ -м и  $(n+1)$ -м циклах (рис. 1).

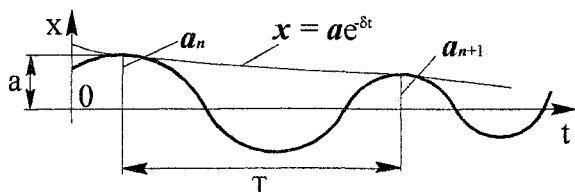


Рис. 1. Развертка собственных затухающих колебаний

По найденному значению декремента затуханий можно определить коэффициент потерь из соотношения

$$\psi = 1 - e^{-2\delta}. \quad (3)$$

К недостатку метода можно отнести большую трудоемкость обработки разверток затухающих колебаний, обеспечивающих получение надежных результатов.

Можно определить коэффициент потерь по ширине резонансного амплитудного пика. Необходимо по амплитудному спектру перемещений объекта определить ширину резонансного пика, соответствующего половине высоты пика (рис. 2).

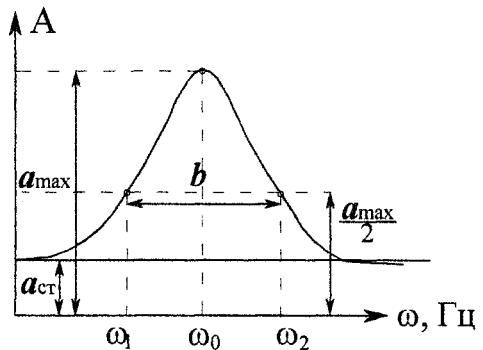


Рис. 2. Резонансный пик системы

Коэффициент поглощения в этом случае можно определить по формуле

$$\psi = \frac{2\pi}{\sqrt{3}} b(1 - b^2), \quad (4)$$

где  $b$  получается при возбуждении с переменной амплитудой.

Этот метод хорош тем, что коэффициент  $\psi$  можно определить по одной величине  $b$ , но с другой стороны, при малых коэффициентах поглощения снижается точность его определения.

Динамическая идеализированная жесткость системы, в которой отсутствуют потери, связана с резонансной частотой  $\omega_0$  (см. рис. 2) соотношением

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k_0}{m}}, \quad (5)$$

где  $\omega_0$  – резонансная частота;

$m$  – масса системы.

Но в реальных механических система всегда есть потери. И жесткость объекта приближенно может быть получена следующим образом:

$$k = \frac{M_0 \omega^2}{(\beta l)^2}. \quad (6)$$

Здесь  $M_0$  – масса объекта

$$M_0 = \rho \cdot S \cdot l;$$

$\rho$  – плотность материала;

$S$  – площадь поперечного сечения;

$l$  – длина объекта;

$\beta$  – волновое число, которое может быть определено как

$$\beta = \frac{\omega}{c},$$

где  $c$  – скорость звука в объекте.

Таким образом, определив тем или иным методом динамические коэффициенты потерь  $\psi$  или жесткости  $k$  можно вычислить и динамический коэффициент модуля упругости

$$E = \frac{k \cdot \alpha \cdot l}{S}, \quad (7)$$

где  $E$  – динамический модуль упругости объекта;  $\alpha$  – коэффициент формы тела при его деформировании.

По формуле (7) можно определить модуль упругости объекта по экспериментально измеренному значению жесткости и коэффициенту потерь.

При вибрационном обследовании плотины в разное время года можно определить характер изменения контролируемых параметров: если изменения носят квазистационарный характер, то это говорит об упругой работе плотины и основания; если же изменение вибрационных параметров носит необратимый характер, то можно говорить о неупругой, нелинейной работе системы плотина-основание. Скачкообразное изменение этих параметров обычно наблюдается при сезонном раскрытии конструктивных и строительных швов, расположенных у наружных поверхностей, поэтому необходимо проводить экспериментальные наблюдения в течение всего календарного года [8].

Свободные деформации плотины контролируются измерениями перемещений гребня и точек плотины по высоте, что дает возможность рассматривать упругую линию тела плотины, изменение во времени перемещения гребня и осадку основания плотины.

Диагностическим параметром при этом является СКЗ виброскорости, а в случае ограниченности измерительных точек, определение СКЗ виброскорости в наиболее характерной измерительной точке - с максимальной амплитудой сезонного изменения параметров вибрации. Вибронагруженное состояние, измеряемое в высоких плотинах, является важным признаком, определяющим устойчивость и прочность плотины.

В марте месяце 2007 (при температуре  $-1^{\circ}\text{C}$ ) года были замерены параметры виброскорости (среднеквадратичные значения СКЗ) плотины в двух направлениях: продольном и поперечном в 47 точках, расположенных напротив каждого осве-

тительного столба (рис. 3). Величины измеренных параметров приведены в таблице. Эти результаты были получены с использованием аттестованной аппаратуры датской фирмы «Брюль и Кьер».

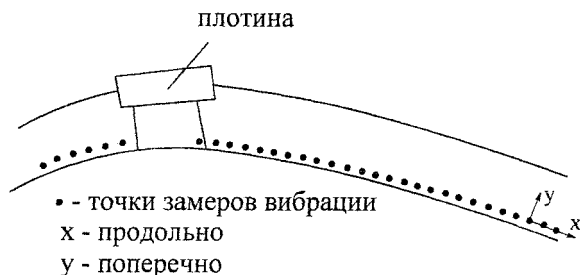


Рис. 3. Схема точек измерения вибрации плотины

Для определения этих параметров необходимо создать фактическую схему работы сооружения, что возможно только на основе комплексного использования откорректированных расчетных схем и результатов натурных наблюдений.

Так, например, по уровню реальных виброперемещений, можно определить эффективный или глобальный модуль упругости конструкции. Этот параметр интегрально характеризует не только физический модуль упругости бетона, но и трещиноватость массива бетона, наличие раскрытых швов в теле плотины. По характеру изменения этих параметров можно оценить упругую работу гидротехнического сооружения или его элементов и выявить развитие необратимых процессов.

Таким образом, выполняя частотный или статистический анализ этих параметров можно выявить дефекты, имеющиеся в сооружении, а по измеренным результатам вычислить эффективный модуль упругости конструкции и определить вибронагруженность в отдельных точках плотины.

Параметры виброскорости плотины в двух направлениях

№ точки	Продольное направление, мм/с	Поперечное направление, мм/с	№ точки	Продольное направление, мм/с	Поперечное направление, мм/с	№ точки	Продольное направление, мм/с	Поперечное направление, мм/с
1	0,1	0,15	17	0,2	0,35	33	0,3	0,7
2	0,14	0,16	18	0,3	0,6	34	0,3	0,4
3	0,2	0,18	19	0,5	0,5	35	0,35	1
4	0,3	0,2	20	0,6	0,5	36	0,33	1
5	0,18	0,16	21	0,3	0,2	37	0,7	1
6	0,6	0,24	22	0,3	0,4	38	0,4	0,7
7	0,25	0,3	23	0,2	0,25	39	0,25	0,5
8	0,5	0,5	24	0,3	0,3	40	0,4	1
9	1,0	0,5	25	0,2	0,25	41	0,25	0,3
10	0,3	0,3	26	0,28	0,7	42	0,7	0,4
11	0,2	0,3	27	0,5	0,45	43	0,3	0,3
12	0,25	0,3	28	0,2	0,4	44	0,18	0,2
13	0,2	0,4	29	0,4	0,4	45	0,14	0,16
14	0,3	0,7	30	0,3	0,3	46	0,12	0,16
15	0,3	0,3	31	0,35	0,45	47	0,12	0,16
16	0,4	0,18	32	0,25	0,3			

## Теория расчета строительных конструкций

---

После этих обследований можно объективно установить реальное техническое состояние всего сооружения или отдельных его элементов под действием транспортного потока.

На основе этих результатов, возможно, потребуется проведение специальных исследований и выявления причин изменений, происходящих в плотине. Своевременный и оперативный анализ состояния плотины должен обеспечить ее работоспособность и путем принятия неотложных мер исключать возникающие дефекты и контролировать динамические нагрузки от транспортного потока.

### *Литература*

1. СНиП 2.07.01-89. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений/Госстрой России. -М.: ГПЦПП, 1994.
2. СНиП 2.05.02-85. Автомобильные дороги / Госстрой СССР. -М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986.
3. СНиП 2.06.06-85. Плотины бетонные и железобетонные. — М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986.
4. СНиП 2.02.02-85. Основания гидротехнических сооружений. - М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1988.
5. П 82-2001. Рекомендации по выбору диагностических параметров, контролирующих состояние бетонных плотин / ВНИИГ - М.: Центр безопасности труда, 2001.
6. РД 03-417-01. Методические рекомендации по составлению проекта мониторинга безопасности гидротехнических сооружений на поднадзорных ГОСГОРТЕХНАДЗОРУ России производства, объектах и организациях / ВНИИГ - М.: Центр безопасности труда, 2001.
7. Росин, Г.С. Измерение динамических свойств акустических материалов / Г. С. Росин. - М.: Стройиздат, 1972. - 237 с.
8. Сибрикова, М.А. Обследование движения транспортных потоков по Шершневской плотине в г. Челябинске / М.А. Сибрикова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». - 2003. - Вып. 6.-№7 (27). - С. 84-88.