

**СОБСТВЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ ПРОТЯЖЕННЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ
СООРУЖЕНИЙ****Д.П.Жураев***Национальный исследовательский университет “Ташкентский институт
инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства”;***П.Ж.Маткаримов***Наманганский инженерно-технологический институт. г. Наманган, ул.
Касансайская 7, 160115;***З.Х.Холбоев***Наманганский инженерно-строительный институт. г. Наманган,
ул.И.Каримова 12, 160103.**Email: zx7712407@mail.com*

Настоящая работа посвящена исследованию динамических характеристик протяженных грунтовых сооружений. В работе на основе вариационного принципа разработан алгоритм определения собственных частот и форм колебаний грунтовых плотин с учетом реальных геометрических размеров, физико-механических характеристик материала сооружения и конструктивных особенностей сооружений.

Решение указанной проблемы с учетом выше изложенных факторов, наиболее полно и точно можно получить, пользуясь численными методами: например, методом конечных элементов (МКЭ) или методом конечных разностей (МКР) [1, 3].

Напряженное состояние и динамическое поведение различных грунтовых сооружений и свойств грунтов рассмотрены в работах [2, 4-12], в которых учитываются конструктивные особенности сооружений, неупругой свойства грунта, взаимодействие сооружений с водной средой водохранилища и другие особенности сооружений.

При оценке сейсмостойкости сооружений особое место уделяется исследованию динамических характеристик (собственных частот, форм колебаний), которые являются основными регламентирующими характеристиками (паспортом) сооружений, позволяющими заранее судить о его динамических свойствах.

Под собственными колебаниями понимаются такие виды колебаний сооружения, которые протекают при отсутствие внешних воздействий и при которых каждая точка рассматриваемого сооружения совершает колебания по гармоническому закону, а амплитуда этих колебаний меняется от точки к точке, т.е. является функцией координат:

$$\bar{U}(\bar{x}, t) = \bar{U}^*(\bar{x})e^{-i\omega t} \quad (1)$$

Здесь $\bar{x} = \{x, y, z\}$, $\bar{U}^* = \{u^*, v^*, w^*\}$ -координаты и амплитуды колебаний точек плотины по соответствующему направлению.

Рассматриваются собственные колебания протяженного сооружения (плотины) находящегося в плоско-деформированном состоянии (рис.1), имеющего трапециодальное поперечное сечение и занимающего объём $V = V_1 + V_2 + V_3$, (V_1, V_3 - объём верхней и нижней опорных призм, V_2 - объём ядра). Верхняя и боковые стороны предполагается свободными от напряжения, а нижняя ($y=0$) жестко заземлена. При этом поверхность Σ_p не загружена, а на части поверхности Σ_u заданы нулевые перемещения. Учитываются реальные физико-механические характеристики материалов грунтовой плотины, её реальная геометрия и неоднородность конструкции.

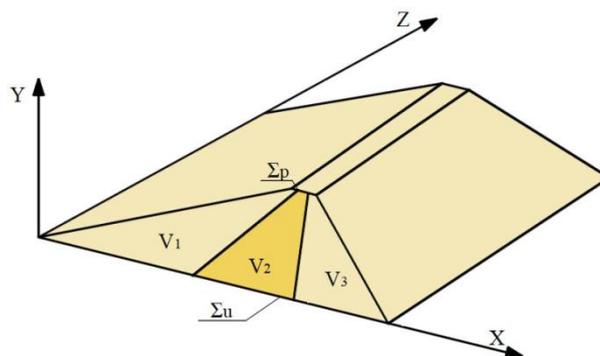


Рис. 1.

Математическая постановка задачи включает вариационное уравнение принципа возможных перемещений

$$\delta A = - \int_V \sigma_{ij} \delta \varepsilon_{ij} dV - \int_V \rho \bar{u} \delta \bar{u}^* dV = 0 \quad (2)$$

Здесь \bar{u} - вектор перемещений; $\varepsilon_{ij}, \sigma_{ij}$ - компоненты тензоров деформаций и напряжений; $\delta \bar{u}, \delta \varepsilon_{ij}$ - изохронные вариации вектора перемещений и тензора деформаций; ρ - плотность материала.

Физические свойства материалов призмы ($n=1,3$) и ядра ($n=2$) описываются соотношениями между напряжениями σ_{ij} и деформациями ε_{ij} :

$$\sigma_{ij} = \lambda_n \varepsilon_{kk} \delta_{ij} + 2\mu_n \varepsilon_{ij}, \quad i, j=1, 2 \quad (3)$$

С помощью процедуры МКЭ вариационная задача (2) сводится к действительной алгебраической проблеме собственных значений:

$$([K] - \omega^2 [M]) \{ \bar{u} \} = 0 \quad (4)$$

Здесь $[K], [M]$ - матрицы жесткости и масс; $\omega, \{ \bar{u} \}$ - собственная частота и собственный вектор.

Для нахождения собственных частот используется метод Мюллера [2], а собственные вектора определяется методом Гаусса.

Для исследования собственных колбания грунтовых плотин с учетом реальных геометрических размеров и конструктивных особенностей сооружений были рассмотрены несколько плотины, высота которых больше 70м [11]: Нурекская

плотина высотой 296 м в Таджикистане на реке Вахш (упорные призмы из гравийно-галечникового грунта имеют следующие физико-механические параметры $E = 3,068 \cdot 10^5$ т/м², $\gamma = 2,15$ т/м³, $\nu = 0,28$); Сохская плотина высотой 86.5 м на реке Сох в Ферганской области (упорные призмы из гравийно-галечникового грунта с параметрами $E = 3,55 \cdot 10^5$ т/м², $\gamma = 2,15$ т/м³, $\nu = 0,28$). Все рассмотренные плотины имеют тонкое ядро из суглинка с параметрами $E = 2,399 \cdot 10^5$ т/м², $\gamma = 2,0$ т/м³, $\nu = 0,35$.

Для проверки достоверности разработанного алгоритма и программы были сопоставлены полученные результаты, т.е. собственные частоты для Нурекской плотины с результатами ВНИИГ им. Б.В.Веденеева и НИСа Гидропроекта им. Я.С.Жука. Совпадение результатов свидетельствует об удовлетворительной точности и хорошей сходимости разработанного алгоритма.

На строящейся плотине Нурекской ГЭС постоянно функционирует инженерно-сейсмометрическая служба (ИСС), наблюдающая за поведением плотины. В процессе ее возведения 30 июня 1974 г. ИСС зарегистрировала землетрясение интенсивностью 5 баллов. К этому моменту высота сооружения достигала 140 м. Наиболее качественные записи колебания плотины были получены на перемычке, на уровне 120 м и в бетонной пробке плотины [13]. Записи подвергались спектральному анализу, который позволил более детально исследовать состав колебаний. Для всех записей были вычислены спектры Фурье. Теоретически полученные собственные формы и соответствующие им собственные частоты плотины оказались следующими: первая частота $\omega_1 = 1.315$; $\omega_2 = 1.584$; $\omega_3 = 1.993$; $\omega_4 = 2.330$; $\omega_5 = 2.503$; $\omega_6 = 2.624$; $\omega_7 = 2.664$; $\omega_8 = 2.877$; $\omega_9 = 3.157$; $\omega_{10} = 3.224$ и $\omega_{11} = 3.441$ Гц.

Анализ инструментальных данных показал, что на спектре Фурье отчетливо выделяются несколько максимумов амплитуд, остальные пики выражены неярко; многие из теоретически полученных и приведенных выше частот попадают в эти пики амплитуд.

Расчеты для всех плотин производились в двух вариантах. В первом варианте расчета предполагалось, что сооружения однородны и имеют усредненные физико-механические параметры по всему телу плотины. Во втором варианте учитывались конструктивные особенности плотин, т.е. наличие в них ядра из суглинка. При этом в каждом случае приводится сравнение полученные результатов однородного и неоднородного расчета.

Анализ полученных результатов показывает, что частоты высокой Нурекской плотины находятся в относительно узкой полосе низкочастотной области (0,8-2 Гц). Это указывает на сильное взаимное влияние соответствующих форм колебаний. С уменьшением высоты сооружения значения и диапазон собственных частот увеличивается, т.е. взаимное влияние соответствующих форм колебаний менее выражено. Что касается основных частот невысокой Сохской плотины, то они лежат в широком диапазоне (3.71-9.36 Гц) высокочастотной области. Учет конструкции ядра плотины приводит к уменьшению значения собственных частот до 3% в зависимости

от высоты сооружения. Наибольшая разница наблюдается в сооружениях большей высоты.

Для полученных частот были построены соответствующие формы колебаний. Анализ результатов показывает, что основными для высокого сооружения являются изгибные формы колебания ядра. В целом такой же характер имеют и формы колебаний невысокой плотины, за исключением второй формы колебаний, где наблюдаются вертикальные деформации сооружения. Учет конструктивных особенностей (ядра) сооружений практически не влияет на их собственные формы колебаний.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Мирсаидов М.М., Трояновский И.Е. Динамика неоднородных систем с учетом внутренней диссипации и волнового уноса энергии. – Ташкент: Фан, 1990.-108 с.
2. Muller D.E. A method for solid algebraic equations using an automatic computer// *Mathematical Tabl.* 1956. October. P. 173-187.
3. Juraev, D., & Matkarimov, P. (2023). Stress-strain state and strength of earth dams under static loads. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 365, p. 03008). EDP Sciences.
4. Juraev, D., Matkarimov, P., Mirsaidov, M. (2024). Three-Dimensional Stress State of Earth Dams Under Static Loads. In: Vatin, N., Roshchina, S., Serdjuks, D. (eds) *Proceedings of MPCPE 2022. MPCPE 2022. Lecture Notes in Civil Engineering*, vol 335. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-30570-2_1
5. Mirsaidov, M. M., Matkarimov, P. J., & Godovannikov, A. M. (2010). *Materiallar qarshiligi. Fan va texnologiya" Toshkent.*
6. RESPUBLIKASI, O. Z., TA, O. V. O. R. M., VAZIRLIGI, L., MIRSAIDOV, M., MATKARIMOV, P., & GODOVANNIKOV, A. (2010). **MATERIALLAR QARSHILIGI.**
7. Mirsaidov, M., & Matkarimov, P. (2007). Dinamicheskaya zadacha dlya gruntovykh sooruzheniy, vzaimodeystvuyushchikh s zhidkostyu [Dynamic problem for soil structures interacting with a liquid]. *Doklady AN RUz*, (1), 25-28.
8. Маткаримов, П. Ж. Алгоритм определения динамических характеристик гидроупругих систем для управления гидросооружениями. *Вопросы кибернетики*, (168), 56-60.
9. Matkarimov, P. Z., & Mirsaidov, M. M. (1996). A study on the forced oscillations of an inhomogeneous planar system incorporating passive vibrational isolation. *Probl. Mekh.*, 1, 23-27.

10. Маткаримов, П. Ж., & Мирсаидов, М. М. (1996). Исследование вынужденных колебаний неоднородной плоской системы с учетом пассивной виброизоляции. *Проблемы механики.*, (1-2), 23.
11. Гидротехнические сооружения. Справочник проектировщика. Под общ. ред. В.П.Недриги - М.: Стройиздат, 1983. - 543 с.
12. Usmonho'jayev, S., Matkarimov P., & Juraev D. (2023). STRESS-STRAIN STATE OF SOIL DAMS UNDER THE ACTION OF STATIC LOADS. *Scientific and Technical Journal of Namangan Institute of Engineering and Technology*, 8(2), 221–228. Retrieved from <http://niet.uz/index.php/nj/article/view/135>
13. Барышева Н.Н., Селезнев Г.С. Колебания плотины Нурекской ГЭС при землетря-сении 30 июля 1974 г. //Сейсмостойкость плотин. Вып. 4..Душанбе, 1978. С. 126-134.
14. Kholboev Z., Usmonkhuzhaev S. Influence of Soil Humidity on the Stress-Strain State of Earth Dam //Web of Synergy: International Interdisciplinary Research Journal. – 2023. – Т. 2. – №. 6. – С. 189-193.
15. Холбоев З. Х., Мавлонов Р. А. Исследование напряженно-деформированного состояния резаксайской плотины с учетом физически нелинейных свойств грунтов //Science Time. – 2017. – №. 3 (39). – С. 464-468.