

УДК. 539.3, 534.1

## ОЦЕНКА ДИНАМИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ ГРУНТОВЫХ ПЛОТИН С УЧЁТОМ ВОДОНАСЫЩЕННОСТЬ ГРУНТОВ

Д.П.Жураев<sup>1</sup>, П.Ж.Маткаримов<sup>2</sup>, З.Х.Холбоев<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский университет “Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства”;

<sup>2</sup>Наманганский инженерно-технологический институт. г. Наманган, ул. Касансайская 7, 160115;

<sup>3</sup>Наманганский инженерно-строительный институт. г. Наманган, ул.И.Каримова 12, 160103.

Email: [zxx7712407@mail.com](mailto:zxx7712407@mail.com)

Одной из актуальных проблем в науке о механике является оценка напряженно-деформированного состояния (НДС) и динамическое поведение различных сооружений со сложной геометрией и неоднородными конструктивными особенностями. Это, в свою очередь, требует разработки и использования математических моделей и методов вычисления, для оценки динамического состояния и прочностных параметров сооружений с учетом их конструктивных особенностей и реальных свойства материалов.

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, 2, 20, 21].

Статическое напряженное состояние и динамическое поведение различных грунтовых сооружений и свойств грунтов рассмотрены в работах

[3-17], в которых учитываются конструктивные особенности сооружений, неупругой свойства грунта, взаимодействие сооружений с водной средой водохранилища и другие особенности сооружений.

Исследования напряженно-деформированного состояния и динамических поведение грунтовых сооружений с учетом конструктивных особенностей и реальной работы на сегодняшний день исследовано недостаточно, поэтому проведение исследования в этом направлении представляет большой научный интерес. Прогноз поведения грунтовых сооружений должен основываться на возможно более полном учете всех факторов, влияющих на их НДС и динамического поведение при различного рода нагрузках.

Исходя из выше изложенного, в данной работе исследуется динамическое поведение и напряженно-деформированное состояние (НДС) двух грунтовых плотины с центральными ядрами при реальных динамических (сейсмических) воздействиях с учетом влажности грунтов. При этом в качестве внешнего воздействия использованы фактические записи зарегистрированных акселерограмм ряда землетрясений различной интенсивности, частотного спектра и продолжительности воздействия. Сравниваются результаты, полученные при различной степени водонасыщенности грунта ядра плотины.

Рассматриваемая грунтовая плотина имеет трапециидальное поперечное сечение, гребень и откосы которого свободны от напряжений, а в основании  $(\bar{x} \in \sum_u)$  задаются кинематические граничные условия. Задача решается в плоской постановке с помощью метода конечных элементов.

Для постановки динамической задачи используется вариационное уравнение Лагранжа, основанное на принципе Даламбера, приведенное в работе [ 2 ]:

$$\delta A = - \int_V \sigma_{ij} \delta \varepsilon_{ij} dV - \int_V \rho_i \bar{u} \delta \bar{u} dV = 0, \quad (1)$$

кинематические граничные условия

$$\bar{x} \in \Sigma_u: \quad \bar{u}_0(\bar{x}, t) = \bar{\psi}_1(\bar{x}, t), \quad (2)$$

начальные условия при  $t=0$ :

$$\bar{x} \in V: \quad \bar{u}(\bar{x}, 0) = \bar{\psi}_2(\bar{x}); \quad \bar{i}(\bar{x}, 0) = \bar{\psi}_3(\bar{x}). \quad (3)$$

Здесь  $\bar{x} = \{x_1, x_2\}$ ,  $\bar{u} = \{u_1, u_2\}$  - вектор перемещений;  $\varepsilon_{ij}$ ,  $\sigma_{ij}$  - компоненты тензора деформации Коши и тензора напряжений;  $\delta\bar{u}$ ,  $\delta\varepsilon_{ij}$  - изохронные вариации вектора перемещений и деформаций;  $\rho_i$  - плотность материала элементов рассматриваемого сооружения;  $\bar{\psi}_1$ ,  $\bar{\psi}_2$ ,  $\bar{\psi}_3$  - заданные функции.

Физические свойства грунтов призмы ( $n=1,3$ ) и ядра ( $n=2$ ) плотины описываются соотношениями между напряжениями  $\sigma_{ij}$  и деформациями  $\varepsilon_{ij}$  вида

$$\sigma_{ij} = \tilde{\lambda}_n \varepsilon_{kk} \delta_{ij} + 2\tilde{\mu}_n \varepsilon_{ij} \quad (4)$$

Величины  $\tilde{\lambda}_n$  и  $\tilde{\mu}_n$  являются константами Ламе. При учете влажности грунта в ядре плотины  $\tilde{\lambda}_n$  и  $\tilde{\mu}_n$  определяются по модели для просадочных грунтов, предложенной в работе [18].  $n$  - соответствует части плотины, к которой относятся механические характеристики,  $\delta_{ij}$  - символ Кронеккера.

Следуя работе [18], функциональные зависимости физико-механических характеристик грунта от влажности определяется по формулам:

$$K(I_W) = K_{sat} \exp(\alpha(1 - I_W)); \quad (5)$$

$$\nu(I_W) = \nu_0 + \phi \ln(1 + I_W); \quad (6)$$

где  $K_{sat}$  - модуль объемного сжатия водонасыщенного грунта;  $\nu_0$  - коэффициент Пуассона сухого грунта;  $\alpha$  и  $\phi$  эмпирические безразмерные коэффициенты, характеризующие степень изменения соответствующих механических характеристик просадочного грунта. Эти механические

характеристики грунта считаются функциями от степени водонасыщенности грунта  $I_W = W / W_{sat}$ , а не самой влажности  $W$ .

Задача состоит в определении функции перемещений  $\bar{u}(\bar{x}, t)$ , тензоров деформаций  $\varepsilon_{ij}(\bar{x}, t)$  и напряжений  $\sigma_{ij}(\bar{x}, t)$ , удовлетворяющих уравнениям (1), (4) и условиями (2), (3) при любом возможном перемещении  $\delta\bar{u}$ .

Вариационная задача (1) после конечно-элементной дискретизации сводится к задаче Коши для нелинейной системы дифференциальных уравнений высокого порядка вида [2]

$$[M]\{u\} + [C]\{u\} + [K]\{u\} = \{F(t)\} \quad (7)$$

с начальными условиями

$$\{u(0)\} = \{u_0\}; \quad \{\dot{u}(0)\} = \{\dot{u}_0\} \quad (8)$$

где  $[K], [M]$  - матрицы жесткости и массы рассматриваемого сооружения;  $[C]$  - матрица диссипативных сил (если они учитываются);  $\{u\}$  - искомый вектор перемещений,  $\{F(t)\}$  - вектор внешнего воздействия.

Расчеты производились для Туполангской (высотой 180м) плотины с упорными призмами из горной массы при воздействии трех акселерограмм землетрясений: высокочастотной акселерограммы Газли [19], интенсивность 9 баллов, основной период 0.1 секунд и продолжительность воздействия 8.74 сек, акселерограммы 7-12Г66 - интенсивность 7 баллов, основной период 0.9 секунд, продолжительность воздействия 23 сек и акселерограммы 7-25Г40 - интенсивность 7 баллов, основной период 0.37 секунд, продолжительность воздействия 12 секунд. Плотина имеет тонкое ядро из просадочного грунта (суглинок) с параметрами  $E = 2,399 \cdot 10^5 \text{ т/м}^2$ ,  $\gamma = 2,0 \text{ т/м}^3$ ,  $\nu = 0,35$ ,  $\alpha = 2.5$   $\varphi = 0.3$ .

Исследовано изменение интенсивности  $\sigma_i(\bar{x}, t)$  и компонентов напряжений  $\sigma_x(\bar{x}, t)$ ,  $\sigma_y(\bar{x}, t)$  и  $\tau_{xy}(\bar{x}, t)$  при различной влажности грунта, изменяющейся в пределах  $W = 10-30\%$ . Также были построены изолинии

равных уровней интенсивности  $\sigma_{i \max}$  и касательных  $\tau_{xy \max}$  напряжений в профиле плотины.

Анализ полученных результатов показывает, что на напряженно - деформированное состояние плотины в значительной мере оказывает влияние не только максимальные значения ускорения, но в большей степени его частотный спектр и продолжительность. Влажность грунта в ядре плотины приводит к перераспределению НДС плотины. Увеличения влажности грунта все больше выскозывается на НДС плотины. При этом интенсивность напряжений в ядре уменьшается, а на участках призм, непосредственно прилегающих к ядру - увеличивается. Так, например, при влажности в ядре  $W=10\%$   $\sigma_{i \max}$  уменьшается до 8% в ядре и увеличивается до 30% в призмах по сравнению со случаем неувлажненного ядра. При дальнейшем увеличении влажности интенсивность напряжений в нижней части ядра уменьшается в 1.5 раза, а её увеличение в верхней части ядра достигает до 15%.

### Использованная литература

1. Зарецкий Ю.К., Ломбардо В.Н., Статика и динамика грунтовых плотин., Москва: Энергоиздат, 1983.
2. М.М.Мирсаидов, Е.И.Трояновский Динамика неоднородных систем с учетом внутренней диссипации и волнового уноса энергии. - Ташкент, Фан, 1990, 108с.
3. 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.
4. Маткаримов, П. Ж., & Мирсаидов, М. М. (1996). Исследование вынужденных колебаний неоднородной плоской системы с учетом

- пассивной виброизоляции. *Проблемы механики.*, (1-2), 23.
5. Ильичев, В. А., Маткаримов, П. Ж., & Юлдашев, Ш. С. (1999). Исследования вынужденных колебаний неоднородной плоской системы с учетом пассивной виброизоляции. *Основания, фундаменты и механика грунтов*, (2).
  6. Il'ichev, V. A., Yuldashev, S. S., & Matkarimov, P. Z. (1999). Forced vibrations of an inhomogeneous planar system with passive vibrational insulation. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 36(2), 50-54.
  7. Мирсаидов, М., & Маткаримов, П. Ж. (2007). Динамическая задача для грунтовых сооружений, взаимодействующих с жидкостью. *Доклады АН РУз*, (1), 25-28.
  8. 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.
  9. Mirsaidov, M. M., Matkarimov, P. J., & Godovannikov, A. M. (2010). Materiallar qarshiligi. *Fan va texnologiya" Toshkent*.
  10. D Juraev, P Matkarimov, M Mirsaidov. Three-Dimensional Stress State of Earth Dams Under Static Loads Check for updates. *Proceedings of MPCPE 2022: Selected Papers* 335, 1
  11. S Usmonxo'jayev, P Matkarimov, D Juraev. STRESS-STRAIN STATE OF SOIL DAMS UNDER THE ACTION OF STATIC LOADS. - *Scientific and Technical Journal of Namangan Institute ...*, 2023
  12. D Juraev, P Matkarimov, M Mirsaidov. Three-Dimensional Stress State of Earth Dams Under Static Loads.- *Conference on Materials Physics, Building Structures ...*, 2022
  13. 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.

14. Juraev D., Matkarimov P. Stress-strain state and strength of earth dams under static loads //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2023. – Т. 365. – С. 03008.
15. Маткаримов, П. Ж. Алгоритм определения динамических характеристик гидроупругих систем для управления гидросооружениями. *Вопросы кибернетики*, (168), 56-60.
16. Juraev D., Matkarimov P., Mirsaidov M. Three-Dimensional Stress State of Earth Dams Under Static Loads //International Conference on Materials Physics, Building Structures & Technologies in Construction, Industrial and Production Engineering–MPCPE. – Cham : Springer International Publishing, 2022. – С. 1-11.
17. Маткаримов П. Ж. Колебание плоских систем" сооружение-основание" и пути уменьшения уровня вибрационных волн в грунте. – 1993.
18. К.С.Султанов, Б.Э.Хусанов Закономерности деформирования грунтов при просадке с учетом влажности. ДАН РУз, 2000, №9., с20-23
19. Рассказовский В.Т., Алиев И.А. Выборка нормированных акселерограмм землетрясений. - Ташкент, Фан, УзССР, 1991, 314 с.
20. Бате К., Вилсон Е. Численные методы анализа и метод конечных элементов. /Перевод с англ. -М.: Стройиздат, 1982. 448 с.
21. Калиткин Н.Н. Численные методы. -М.: Наука, 1988. 512 с.