

УДК 624.

Турдикулов Х.Х., м.н.с.

*Институт механики и сейсмостойкости сооружений АН Руз, г.Ташкент*

## **РАСЧЕТ ОСАДКИ ГРУНТОВОЙ ПЛОТИНЫ ПРИ ОСНОВНЫХ НАГРУЗКАХ С УЧЕТОМ ДАННЫХ НАТУРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ**

На основе разработанного комплекса прикладных программ произведен статический расчет плоских моделей грунтовых плотин, с учетом конструктивной неоднородности под действием собственного веса и гидростатического давления на верховой откос [1]. При расчете использована конечно-элементная дискретизация моделей. Достоверность и сходимость полученных результатов проверена на решении тестовой задачи.

Рассматривается плоско-деформируемая модель (поперечное сечение) грунтовой плотины, находящаяся на жестком упругом основании. Сооружение рассматривается при статическом (собственный вес, гидростатическое давление воды) нагружении. Учитывается неоднородный состав грунта тела плотины (наличие ядра). Результаты задачи сравниваются с предоставленными данными натурных наблюдений со стороны АО «Гидропроект».

Для расчета такой модели используется численный метод конечных элементов, основанный на вариационном принципе возможных перемещений, а при динамике – совместно с принципом Даламбера.

Для исследования напряженно-деформированного состояния плоской модели под собственным весом применяется вариационное уравнение [2,3]

$$\delta A = \delta A_{\sigma} + \delta A_p + \delta A_p = -\int_V \sigma_{ij} \delta \varepsilon_{ij} dV + \int_V \rho g \delta v dV + \int_S \gamma h \delta v dS = 0 \quad (1)$$

Интегралы, входящие в (1) представляют первый - работа сил упругости, второй – массовых сил ( $\rho g$ ) и третий – гидростатическое давление на поверхность верхового откоса.

В отсутствии гидростатики поверхность боковых откосов и гребень плотины – свободны от нагрузок, тогда статические граничные условия на этих поверхностях представляются в виде:

$$\sigma_{ij} n_j = 0, \quad (2)$$

где:

$n$  – вектор нормали к поверхности.

Учет же гидростатики на поверхности верхового откоса плотины, находящейся в однородной несжимаемой жидкости водохранилища, сводится к заданию на поверхности откоса давления, линейно возрастающего с глубиной

$$p = \rho g z, \quad (3)$$

где:

$z$  – глубина, отсчитываемая от свободной поверхности воды;

$g$  – ускорение свободного падения.

Граничные условия на нижней границе основания – жесткие, что выражается в отсутствии здесь горизонтальных и вертикальных возможных перемещений:

$$y=0: \quad \delta u|_{y=0} = 0; \quad \delta v|_{y=0} = 0. \quad (4)$$

На шарнирно-подвижных (в вертикальном направлении) боковых границах основания не допускаются горизонтальные перемещения контурных точек (только вертикальные). Граничные условия здесь будут:

$$\begin{aligned} \delta u|_{x=0} = 0 & \quad \delta v|_{x=0} \neq 0; \\ \delta u|_{x=l} = 0 & \quad \delta v|_{x=l} \neq 0. \end{aligned} \quad (5)$$

Для получения разрешающей системы уравнений в ходе конечно-элементной дискретизации элементы объединяются в узловых точках, перемещения которых является решением вариационного уравнения (1), реализующим экстремум (минимум) функционала работы. Полученная при этом разрешающая система уравнений имеет вид

$$[K]\{u\} = [M]\{g\} + \{P\} \quad (6)$$

где:

$[K]$ ,  $[M]$  – матрицы жесткости и массы всей модели, формирующаяся из матриц жесткости отдельных элементов;

$\{u\}$  – искомый вектор узловых перемещений;

$g$  – ускорение свободного падения ( $g=9,8\text{м/с}^2$ );

вектор

$\{P\}$  – вектор нагрузки, вызванной гидростатическим давлением на верховой откос.

Согласно разработанной методике и алгоритма решения задач численным методом (методом конечных элементов) по полученным в ходе решения системы (6) перемещениям  $\{u\}$  узловых точек модели, определяются с использованием аппроксимирующих функций, перемещения внутри каждого элемента, а затем деформации в элементах - при помощи уравнений Коши [2,3].

В ходе решения системы линейных алгебраических уравнений (6) методом Гаусса определяется вектор узловых перемещений  $\{u\}$ , затем по ним деформации и, наконец, компоненты напряжений в элементах модели плотины и основания.

При расчетах принимались геометрические и физико-механические характеристики грунта для Чарвакской грунтовой плотины со следующими характеристиками: высота – 168м; коэффициенты заложения откосов 2,2, ядра – 0,2. Физико-механические параметры грунта призм  $E=60\text{МПа}$ , плотность

$\rho=1800\text{кг/м}^3$ ; коефіцієнт Пуассона  $\mu=0,3$ . Параметри ґрунта ядра:  $E=30\text{ МПа}$ ,  
 плотність  $\rho=1700\text{кг/м}^3$ ; коефіцієнт Пуассона  $\mu=0,3$ ,

Результаты вычислений горизонтальных перемещений и данные натурных наблюдений для двух створов, где установлены контрольные знаки (КЗ) представлены на рис.1 – 7.

Сопоставление результатов вычислений максимальных горизонтальных смещений с натурными данными показывает разницу 12% для створа 6 и 15% для 9 (рис.1 – рис.4)

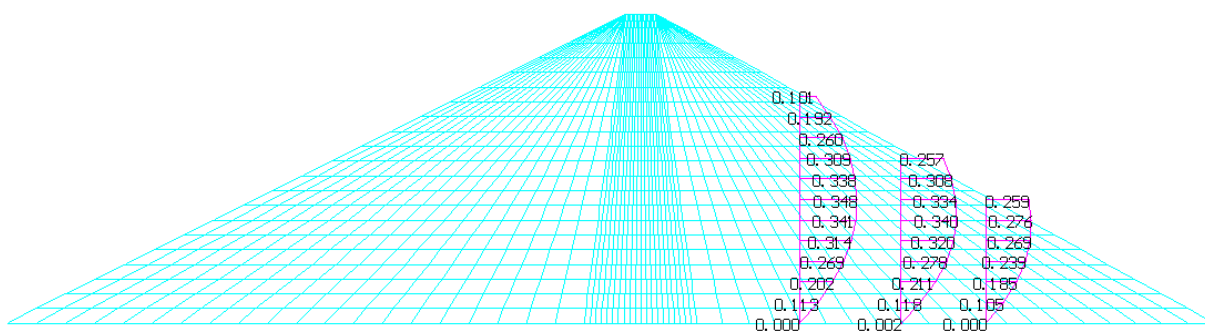


Рис.1 – Эпюры горизонтальных перемещений(м) плотины при учете сил гравитации и гидростатики (Створ-6)

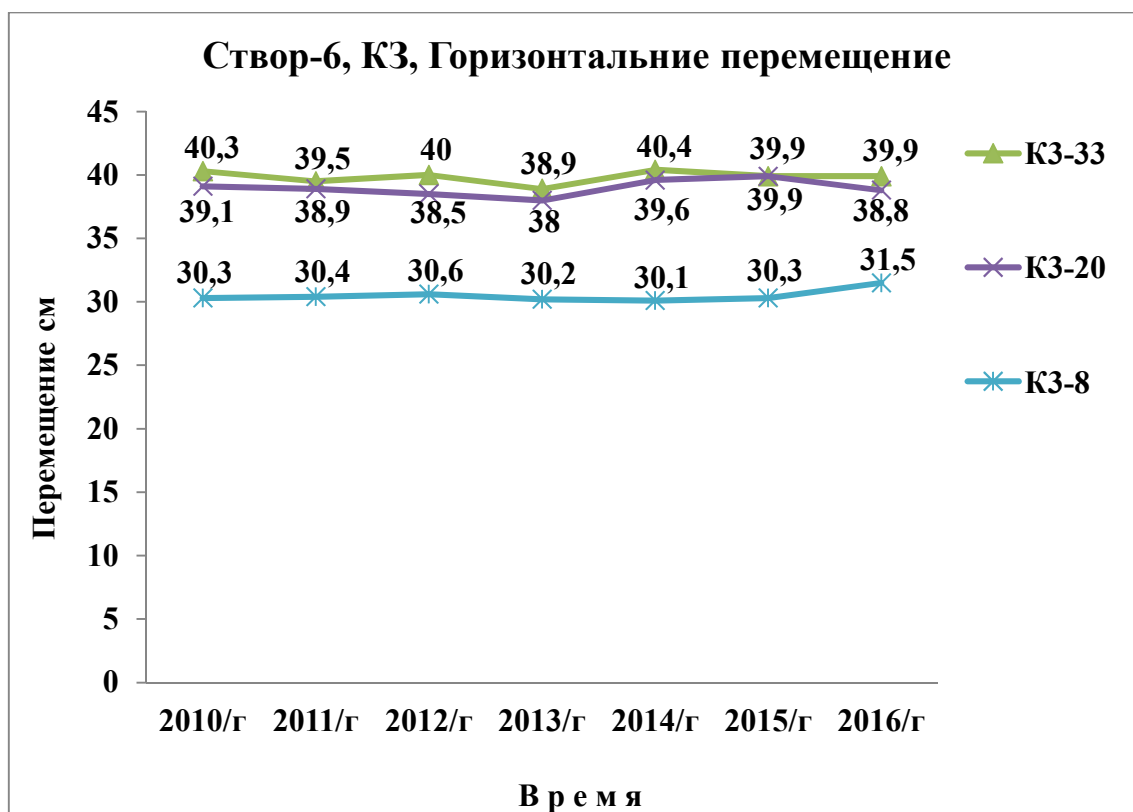


Рис.2 - Изменение горизонтальных перемещений упорной призмы грунтовой плотины по времени эксплуатации.

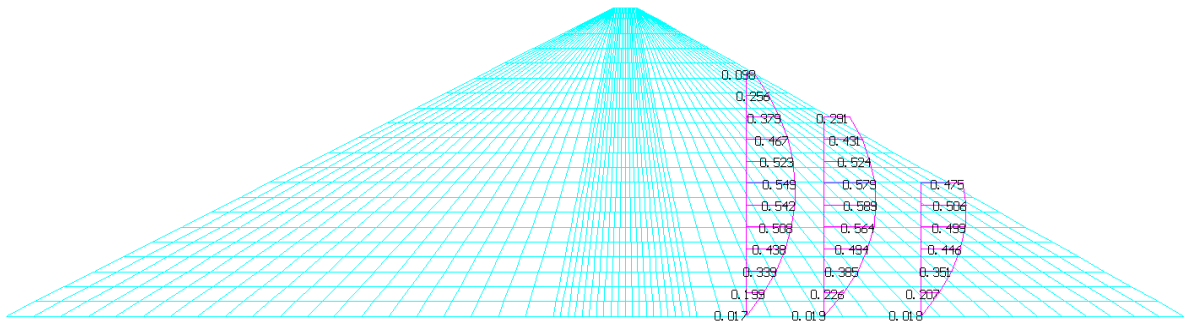


Рис.3 - Эпюры горизонтальных перемещений(м) плотины при учете сил гравитации и гидростатики (Створ-9)

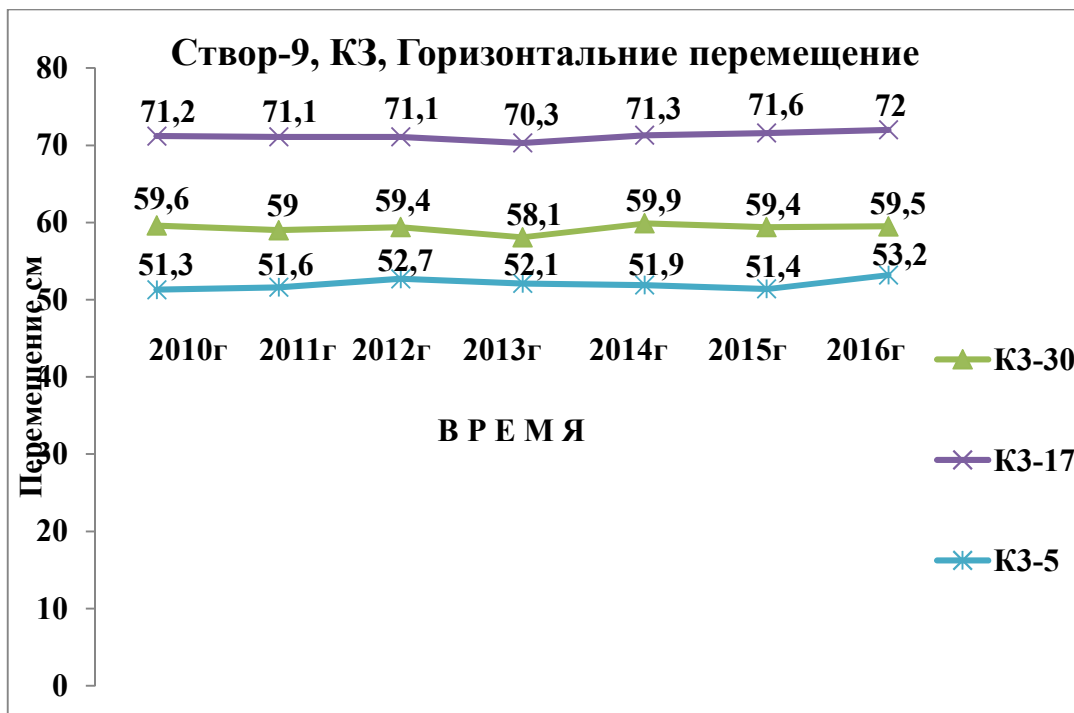


Рис.4 - Изменение горизонтальных перемещений упорной призмы грунтовой плотины по времени эксплуатации.

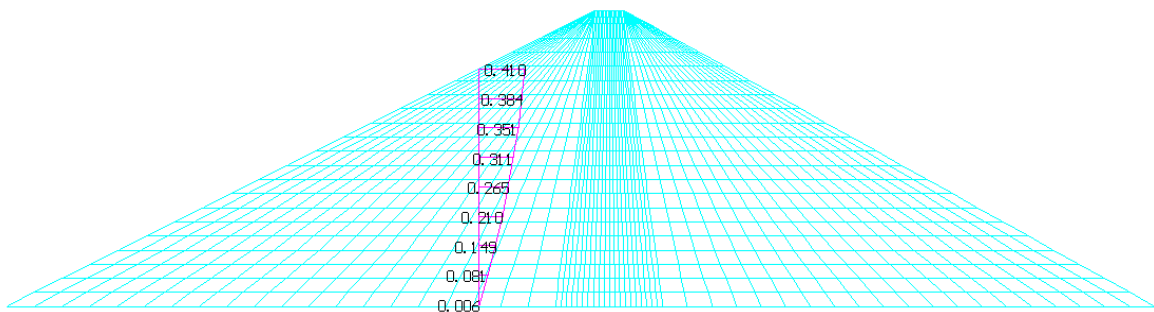


Рис.5 - Эпюры вертикальных перемещений(м) (осадки) плотины при учете сил гравитации и гидростатики (отм. 872.0) (Створ-6)

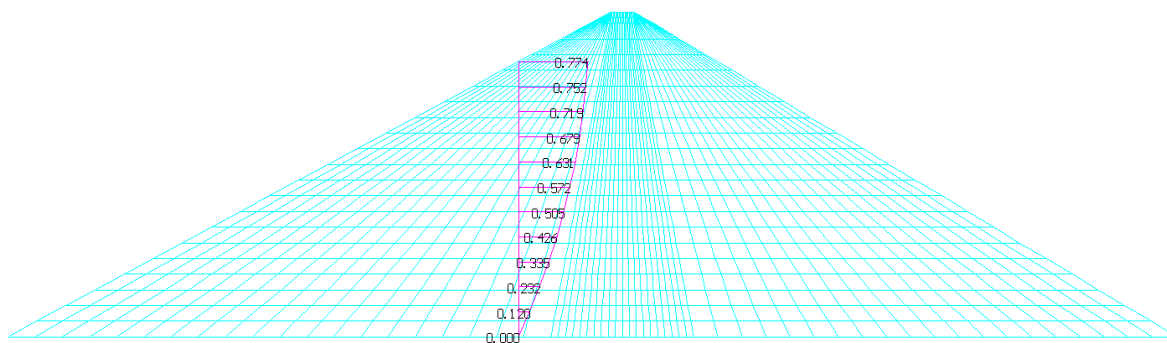


Рис.6 - Эпюры вертикальных перемещений(м) (осадки) плотины при учете сил гравитации и гидростатики (отм. 872.0) (Створ-9)

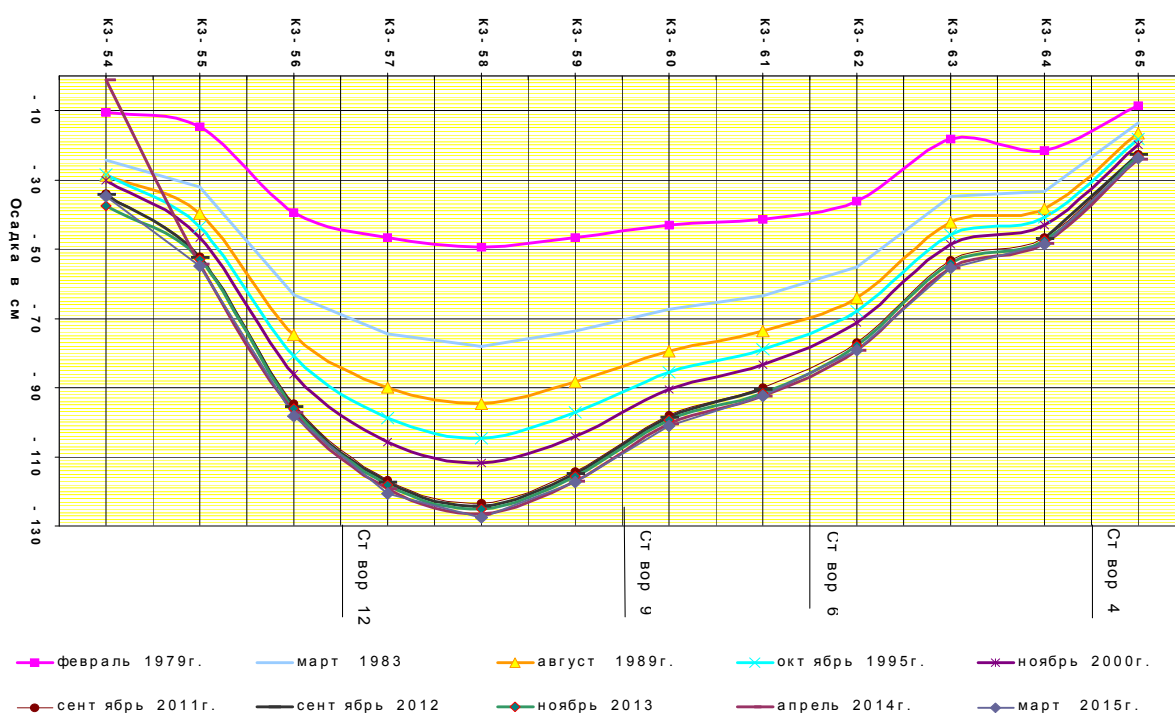


Рис.7 – Осадка бермы верхней упорной призмы плотины на отметке 872.0 в эксплуатационный период.

Сравнение результатов вычислений с данными натурных наблюдений по определению осадок при наполнении водохранилища показало их полное совпадение, что доказывает достоверность разработанной программы расчета (рис.5 – рис.7).

Актуальность и востребованность решенной задачи обосновывается тем, что в республике Узбекистан строятся и эксплуатируются высокие каменно-земляные плотины с суглинистым ядром, при этом следует анализировать перемещения, возникающие при наполнении водохранилища. Далее в соответствии с результатами расчетов оценивается прочность грунтовой

плотины при наполнении водохранилища в сравнении с критериальными показателями по безопасности.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1.Зенкевич О.К. Метод конечных элементов в технике. М.: Мир, 1975, 542с.
- 2.Постнов В.А., Хархурим И.Я. Метод конечных элементов в расчетах судовых конструкций. //Л.:”Судостроение”,1974, 342 с.
- 3.Салямова К.Д., Руми Д.Ф. Трансформация напряженно-деформированного состояния основания сооружения при неравномерном увлажнении грунта.//Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова.2016.№5-С.94-99.