

## GENERAL ENGINEERING AND MECHANICS

**Иванов Андрей Сергеевич**

доктор технических наук, профессор кафедры механика  
«Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства»,  
Республика Узбекистан

**Зайниддинов Бобиржон Гофирович**

старший преподаватель кафедры мехатроника и робототехника  
«Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова»,  
Республика Узбекистан

### ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СЕГМЕНТНОГО ЗАТВОРА ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СООРУЖЕНИЯ

***Аннотация.** Актуальность разработки математического моделирования заключается в том, что каждое гидротехническое сооружение уникально с точки зрения рельефа местности расположения гидроэлектрического комплекса, расчетных нагрузок и конструкции. Индивидуальность построения модели на основе использования современных программных систем основана на опыте проектирования таких конструкций и их оптимизации.*

***Ключевые слова:** математической модель, гидротехнические затвор, деформация, вектор.*

В настоящее время геометрические параметры затвора определяются с помощью пространственного численного моделирования и расчета по методу конечных элементов. Качество выполненных расчетов зависит от надежности работы клапана на гидросистеме. Решение этой задачи осуществляется на основе метода предельного состояния.

В этом случае рассматриваются две группы предельных состояний:

а) первая касается потери устойчивости формы, приводящей к прекращению работы структуры в целом;

б) вторая не подходит для нормальной работы из-за появления недопустимых провалов и стрессов.

При моделировании затвора руководствуются набором исходных данных, представленных на блок-схеме (рисунок 1).

Основным нормативным требованием к конструкции клапанов является то, что рассчитанные значения напряжений и прогибы не превышают максимально допустимых значений.

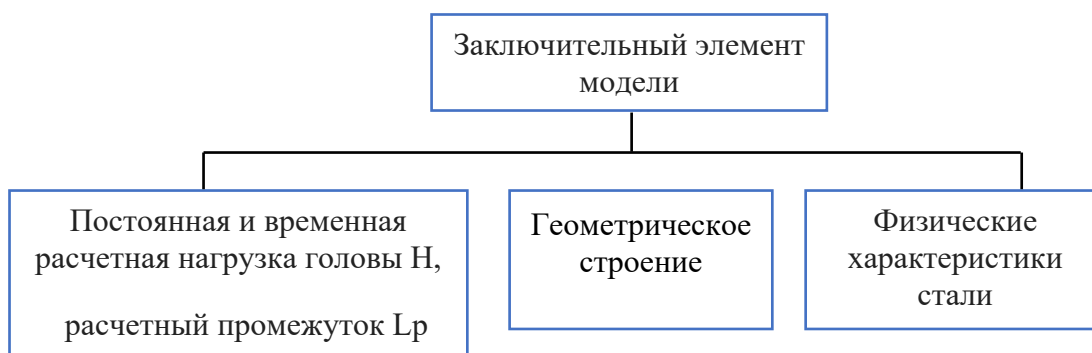


Рис. 1. Исходные данные для построения модели

Допустимые напряжения в элементах металлоконструкций определяются уравнением:

$$[\sigma] = \frac{R_n c \gamma_c}{\gamma_m \gamma_n}, \quad (1)$$

где  $R_n$  - стандартное сопротивление, взято  $R_n = \min\{R_y, R_u / 1,3\}$ ;  $R_y$  - предел текучести,  $R_u$  - временное сопротивление разрыва;  $c$  - коэффициент перехода от основного к полученному расчетному материалу сопротивлений;  $\gamma_c$  - работает соотношение условий;  $\gamma_n$  - коэффициент запаса материала;  $\gamma_m$  - предполагаемый коэффициент безопасности [1].

Испытание на прочность выполняется на рассчитанном заданном напряжении, полученном из пространственной задачи и решения уравнения:

$$\sigma_{pr} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)} : \sigma_{pr}$$

$$\sigma_{pr} \leq [\sigma] \quad (2)$$

Предельные прогибы в балках и стрингерах для замыкания поверхности определяются по уравнению:

$$[f] = L_p / 500$$

Для глубоких ворот из-за наличия верхнего горизонтального уплотнения максимально допустимый отклонения:

$$[f] = L_p / 1000$$

Общая система алгебраических уравнений пространственной модели конечных элементов:

$$[K]\{U\} = \{F\},$$

где  $[K]$  - глобальная матрица жесткости конечно-элементной модели;  $\{U\}$  - глобальный узловый обобщенный вектор смещения,  $\{F\}$  - глобальный вектор обобщенных внешних сил [2].

После определения глобального вектора узловых смещений с помощью уравнения:

$$U = K^{-1}(F_v + F_s) \quad (3)$$

на основании закона Гука [3] определены значения тензора деформации  $\varepsilon(x, y, z)$  и напряжения  $\sigma(x, y, z)$  в произвольных точках тела:

$$\varepsilon = B^e U^e = B^e a_j^e U = \varepsilon(x, y, z),$$

$$\sigma = D^e \varepsilon = D^e B^e a_j^e U = \sigma(x, y, z).$$

Расчеты затвора сейсмического сопротивления выполняются в соответствии с линейно-спектральной теорией, с использованием метода суммирования, который регулируется стандартами проектирования, и является квадратным корнем из сумма квадратов модальных ответов:

$$R_{ak} = \pm \sqrt{\sum_{j=1}^S R_{jk}^2}. \quad (4)$$

Следующие предположения сделаны при рассмотрении добавленной массы воды:

1. Колебания считаются малыми.

2. Волновые явления на свободной поверхности не учитываются.

3. Формы колебаний в вакууме и жидкости предполагаются одинаковыми.

Определение присоединенной массы воды  $m_{pris}$  для поверхности давления регулируется в соответствии с формулой Вестергаарда:

$$m_{pris} = p_B h \psi R(z), \quad (5)$$

где  $h$  - глубина воды перед воротами,  $\Psi$  - безразмерный коэффициент с учетом ограниченной длины водоема  $L_0$ ,  $R(z)$  - график распределения добавленной массы воды [4].

Результатами расчета являются:

1. Напряжение и деформация в любой точке металлических частей болта и опорной петли;
2. Напряжения в сварных швах;
3. Факторы устойчивости и прочности конструкции;
4. Усилия в узлах подвесок и в фундаментных болтах.

Результаты расчетов рекомендуется использовать при количественной оценке надежности системы: металлическая конструкции - опорные шарнирно-подвесные узлы.

#### Список источников:

1. Sabzi H. Z. & King J. P. (2015b). Evaluation of water reuse options through stochastic floods: A case study in Diez Logos flood catchment area, Southern New Mexico. In World environmental and water resources congress (pp. 1209–1218).
2. Savage B. M., and Johnson M. C. \_2001\_. “Flow over ogee spillway: Physical and numerical model case study.” *J. Hydraul. Eng.*, 127\_8\_, 640–649.
3. Panigrahi D.P., Mujumdar P.P. (2000). Reservoir operation modeling with fuzzy logic. *Water Resour Manag* 14:89–109.
4. Slutzman J. and Smith, J. \_2016\_. “Effects of flood control structures on flood response for hurricane Floyd in the Brandwyne Creek Watershed, Pennsylvania.” *J. Hydrol. Eng.*, 11\_5\_, 432–441.