

УДК 697+699.82

**Чайка Ю.И., Гвоздецкий А.В., Вакуленко С.В., Бондаренко Л.Г.,  
Мозговой А.А., Кисляк Е.А.**

*Харьковский государственный технический университет строительства и архитектуры*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА БЕТОННОЙ ПЛОТИНЫ НА Р. БО ВО ВЬЕТНАМЕ**

Приведена методика и результаты расчета температурных полей плотины на реке Бо. Моделирование температурных полей выполнено по методу конечных элементов в пакете численного моделирования задач теплопроводности. Поля температур будут использованы для определения температурных напряжений и деформаций в теле плотины и последующем прогнозировании долговечности и надежности сооружения.

ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ, ПЛОТИНА, ВОДА, ТЕМПЕРАТУРНОЕ ПОЛЕ, КОНЕЧНЫЙ ЭЛЕМЕНТ

The method and results of calculation temperature fields of the dam on the River Bo. Simulation of temperature fields is satisfied by the finite element method in numerical simulation package thermal conductivity. Temperature field will be used to determine the thermal strains in the body of the dam and the subsequent construction of predicting longevity.

THERMAL CONDUCTIVITY, DAM, WATER, TEMPERATURE FIELD, FINITE ELEMENT

Наведено методику та результати розрахунку температурних полів греблі на річці Бо. Моделювання температурних полів виконано за методом скінчених елементів у пакеті чисельного моделювання задач теплопровідності. Поля температур будуть використані для визначення температурних напружень і деформацій у тілі греблі і наступному прогнозуванні довговічності і надійності споруди.

ТЕПЛОПРОВІДНІСТЬ, ГРЕБЛЯ, ВОДА, ТЕМПЕРАТУРНЕ ПОЛЕ, СКІНЧЕНИЙ ЕЛЕМЕНТ

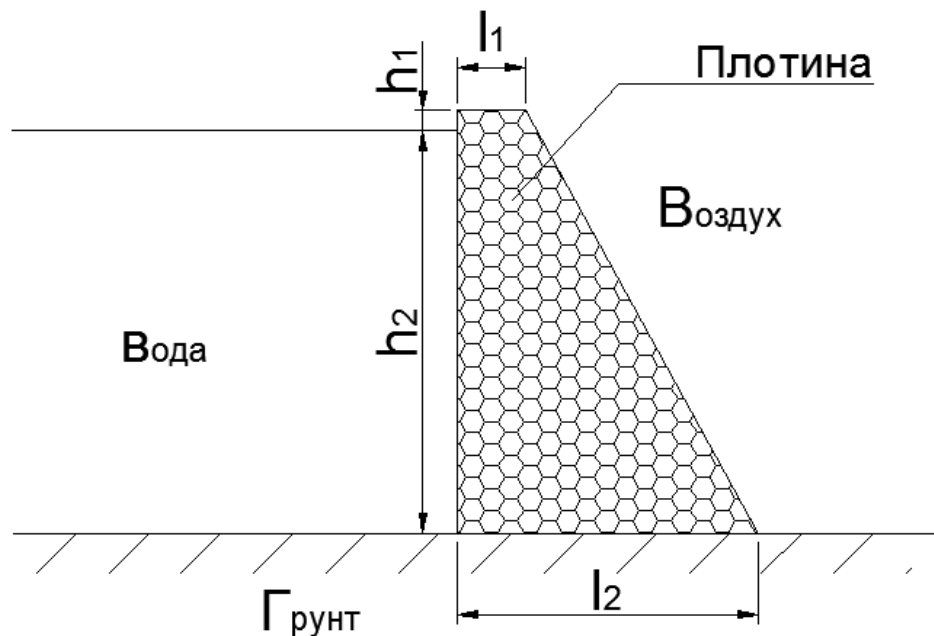
Надежность гидротехнических сооружений зависит от совершенства принятого инженерного решения, качества входящих материалов, квалифицированного исполнения работ, условий эксплуатации.

Цель данной статьи – описание методологии расчета, анализ полученных результатов исследования температурных режимов плотины на реке Бо (Ароматная река). Полученные температурные режимы послужат основой для определения температурных напряжений и деформаций в теле плотины с последующим прогнозированием надежности и долговечности сооружения.

Объектом исследования является бетонная плотина. Это действующая плотина, расположенная в 16 км от города Хюэ. Поперечное сечение плотины представляет прямоугольную трапецию (см. рис. 1). Материал тела плотины - бетон класса В-15 (марка бетона М200). Теплофизические характеристики бетона приняты следующие: плотность  $\rho = 2242 \text{ кг/м}^3$ , теплопроводность  $\lambda = 2,67 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ ; удельная теплоемкость  $c = 1000 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{°C)}$ .

Температуры воздуха и воды в районе строительства плотины приняты согласно климатологическим данным (см. табл. 1).

При расчете учитывается уменьшение температуры воды по мере удаления от поверхности.



- расстояние от верха плотины до уровня воды:  $h_1 = 1,6 \text{ м}$ ;
- расстояние от уровня воды до дна водоема:  $h_2 = 50,9 \text{ м}$ ;
- ширина гребня плотины:  $l_1 = 8,5 \text{ м}$ ;
- ширина основания плотины:  $l_2 = 37,2 \text{ м}$ ;

Рис. 1 – Геометрическая схема плотины

Для решения поставленной задачи необходимо решить дифференциальное уравнение теплопроводности [1]:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \cdot \left( \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right), \quad (1)$$

где  $\alpha = \frac{\lambda}{c \cdot \rho}$  - коэффициент температуропроводности.

Для получения однозначного решения уравнения (1), его необходимо дополнить уравнением начальных условий (2):

$$t(n,0) = f(n) \quad (2)$$

Граничные условия на поверхности плотины были приняты двух типов: между водой и телом плотины условия первого рода, между воздухом и телом плотины условия третьего рода.

Поставленная задача решена методом конечных элементов при помощи одного из пакетов численного моделирования задач теплопроводности (ПЧМ) [2]. Перед этим, на тестовом примере решения задачи теплопроводности была выполнена проверка данного пакета на точность и сходимость решения. Решения полученные при помощи аналитического и приближенного методов полностью совпали.

Для решения поставленной задачи согласно строительных чертежей была создана 3-D модель плотины. В программе твердотельного моделирования (ПТМ) был создан плоский эскиз, который в последствии был вытянут в трехмерную фигуру. При построении 3D модели глубина плотины задавалась 100 м.

Изменения температуры воды по глубине водохранилища учтено путем разбиения грани плотины на десять участков длиной по 1 м и задания на этих поверхностях соответствующей температуры. При этом, при создании 3D модели сторону плотины, которая соприкасается с водоемом создавали по участкам с небольшим смещением в 0,001 м, образуя необходимые расчетные грани. Для каждой из граней было задано свое граничное условие: воздух(1), вода-1(2), вода-2(3), вода-3(4), вода-4(5), вода-5(6), вода-6(7), вода-7(8), вода-7(8), вода-8(9), вода-9(10), вода-10(11), вода-11(12). Каждое граничное условие привязано к соответствующим граням 3D модели (см. рис. 2).

Табл.1 Климатологические данные района строительства

Тип задачи	Квазистационарная задача				Стационарная задача (Январь+Июль)/2
	Январь-Март	Апрель-Июнь	Июль-Сентябрь	Октябрь-Декабрь	
Граничные условия					
воздух	20.0	26.0	29.4	25.1	24.7
вода1	19.6	23.8	28.0	23.8	23.8
вода2	18.7	22.2	25.6	23.8	22.2
вода3	18.0	20.7	23.4	22.2	20.7
вода4	17.4	19.4	21.4	20.7	19.5
вода5	16.8	18.3	19.7	19.4	18.4
вода6	16.3	17.3	18.3	18.3	17.4
вода7	16.0	16.6	17.2	17.3	16.6
вода8	15.7	16.0	16.4	16.6	16.1
вода9	15.5	15.7	15.8	16.0	15.7
вода10	15.4	15.5	15.5	15.7	15.5
вода11	15.4	15.4	15.4	15.5	15.4

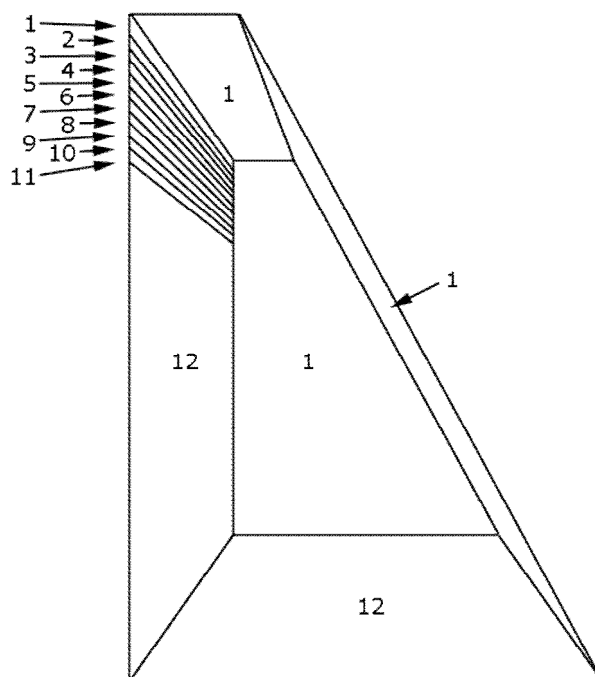


Рис. 2 - Соответствие граничных условий к граням 3D модели плотины

Для исследуемого объекта решены две задачи: квазистационарная и стационарная. Каждая из задач решена в двух расчетных диапазонах температур:

в зимнем и летнем периоде [3]. Решение квазистационарной задачи основывается на том, что температура внутри тела исследуемого объекта равна средней температуре воздуха для зимы (20 °С). Стационарная задача решена по полученным данным квазистационарной задачи (использовано распределение на начало апреля, так как этот период имеются схожие значения температур, такие как у граничных условий стационарной задачи). Далее подставляются граничные усредненные значения (среднее арифметическое температур зимы и лета).

После задания параметров граничных условий создается расчетная сетка.

Квазистационарная задача решена на период времени 10 лет, с шагом расчета в 1 месяц. Решение квазистационарной задачи начинается с заданными граничными условиями для января. Шаг расчета - 86400 с (1 день).

Псевдостационарная задача решается 120 раз. После того, как расчет по одному периоду заканчивается, задаются новые параметры граничных условий. Расчеты показали, что постоянный температурный режим плотины наступает на восьмой год эксплуатации, поэтому на начало 10-го года рассчитано итоговое квазистационарное распределение для зимы, а в начале июля 10-го года рассчитано итоговое квазистационарное распределение для лета.

На рис. 3, 4, 5 приведены температурные поля в теле плотины за два периода года (зимы и лета) на 10-й год эксплуатации.

## **Выводы**

1 Выполнено моделирование температурных режимов бетонной плотины на реке Бо (Ароматная река).

2 Полученные поля температур послужат основой для определения температурных напряжений и деформаций в теле плотины с последующем прогнозированием надежности и долговечности сооружения.

3 При расчетах температурных режимов плотины учтено изменение температуры воды по глубине водохранилища.

4 Анализ полученных результатов показал, что постоянный температурный режим плотины наступил только на восьмой год эксплуатации.

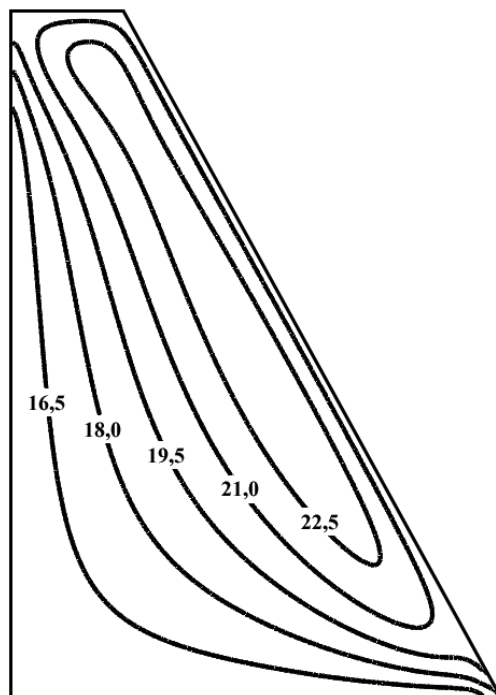


Рис. 3 - Квазистационарная задача. Распределение температуры по сечению плотины - зимние параметры.

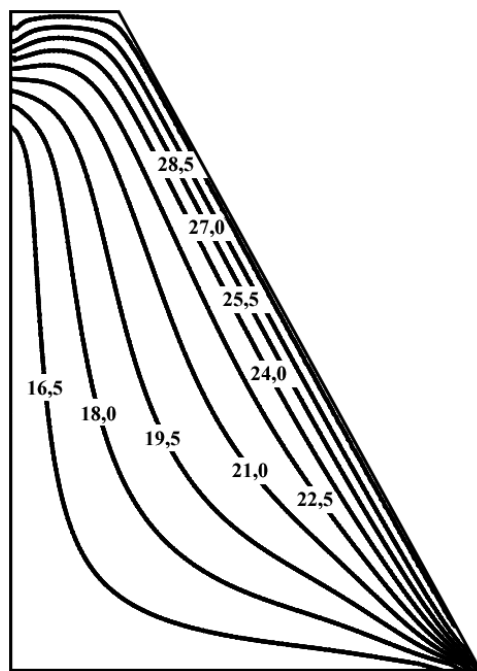


Рис. 4 - Квазистационарная задача. Распределение температуры по сечению плотины – летние параметры.

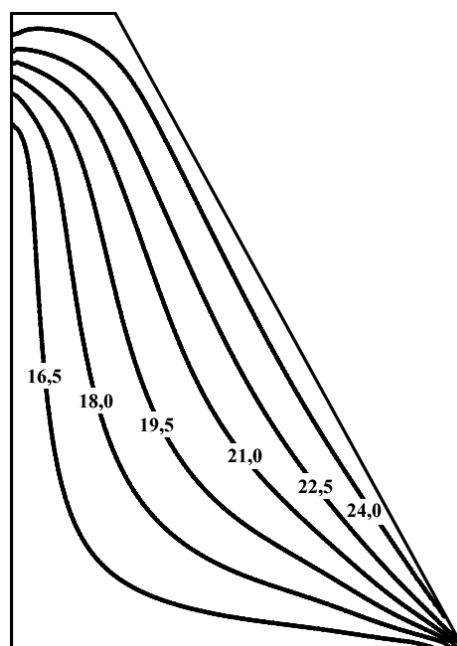


Рис.5 - Стационарная задача. Распределение температуры по сечению плотины.

### Литература

1 Фокин К. Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. Изд. 4-е, перераб. и доп. М., Стройиздат, 1973. – 287с.

2 Кондранин Т.В., Ткаченко Б.К., Березникова М.В., Евдокимов А.В., Зуев А.П. Применение пакетов прикладных программ при изучении курсов механики жидкости и газа: Учебное пособие – М.: МФТИ, 2005. – 104с.

3 Применение ЭВМ для решения задач теплообмена: Учебное пособие для теплофизич. и теплоэнергетич. спец. вузов / Г. Н. Дульнев, В. Г. Парфенов, А. В. Сигалов. М.: Высш. шк., 1990. — 207 с: ил. — (ЭВМ в техническом вузе).