

## ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ТЕЛА ПЛОТИНЫ И ОСНОВАНИЯ ВОДОХРАНИЛИЩА

Джаманбаев М. Дж., Чыныбаев М. К.

Кыргызский государственный технический университет им. И. Разакова,

jamanbaev@mail.ru, chynubaev@gmail.com

В статье приводятся результаты расчетов температурного режима основания водохранилища совместно с телом и основанием плотины.

The article presents the results of calculations of temperature base of tailings together with the body and the base of the dam.

**Введение.** Из-за неизвестности теплофизических свойств хвоста и размера области расположения хвостов на дне пруда и на верхнем бьефе плотины временно рассмотрено температурный режим области основания хвостохранилища, а водохранилища близкой к условиям хвостохранилища.

**Математическая модель.** Существуют различные математические модели, описывающие температурно-фильтрационный режим грунта. Если происходит просачивание воды в грунт под влиянием разности давлений или под действием собственного веса, то в таких случаях свободная конвекция отсутствует, и температурный режим воды и грунта описываются известными уравнениями теплопереноса и фильтрации

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a_x \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + a_y \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + a_z \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \beta_v (Q - T);$$

$$\frac{\partial Q}{\partial \tau} + v_x \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} + v_y \frac{\partial^2 Q}{\partial y^2} + v_z \frac{\partial^2 Q}{\partial z^2} = \alpha^* (T - Q), \quad (1)$$

где  $T(x, y, z, \tau)$  - температура грунта;  $Q(x, y, z, \tau)$  - температура фильтрующей воды;  $\tau$  - время;  $a_x, a_y, a_z$  - коэффициенты теплопроводности грунта, насыщенного водой, по осям;  $v_x, v_y, v_z$  - компоненты скорости фильтрации по осям;

$$\alpha^* = \frac{\alpha_v}{C_B \rho_B}; \quad \beta_v = \frac{\alpha_v}{C_G \rho_G}$$

где  $\alpha_v$  - объемный коэффициент теплообмена, характеризующий теплообмен между грунтом и омывающей его фильтрующей жидкостью;  $\rho_B, \rho_G$  - удельная объемная теплоемкость воды и грунта;  $\rho_B, \rho_G$  - плотности воды и грунта.

Система уравнений (1) описывает изменение температуры фильтрующей воды при прохождении через пористую проницаемую среду и ее отличие от температуры пористой среды. Теплообмен между водой и грунтом характеризуется параметром - коэффициентом объемного теплообмена. При длительном процессе теплопереноса, температуру грунта и температуру фильтрующей воды можно считать равными. Тогда уравнения (1) упрощаются, и сводится к уравнению Фурье-Кирхгофа [1]

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a_x \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + a_y \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + a_z \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} - \frac{C_G \gamma_G}{C_B \gamma_B} \left( v_x \frac{\partial T}{\partial x} + v_y \frac{\partial T}{\partial y} + v_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) \quad (2)$$

Если в начальный момент грунт полностью насыщен водой и фильтрация воды отсутствует и начинается нагрев грунта, то из-за разности температуры воды, в грунте начинается свободная конвекция воды. Такой процесс описывается уравнениями Брикмана [2] и уравнением теплопереноса:

$$\frac{\mu}{k} u + \nabla p - \nabla \cdot \frac{\mu}{\varepsilon} (\nabla u + (\nabla u)^T) = pg\beta(T - T_c) \quad (3)$$

$$\nabla \cdot u = 0$$

$$\rho C_L u \cdot \nabla T - \nabla \cdot (k_{eq} \nabla T) = 0 \tag{4}$$

Здесь  $T$  - представляет температуру грунта,  $T_c$ - исходная температура,  $g$  -ускорение силы тяжести,  $\rho$  - плотность жидкости при исходной температуре,  $m$  - пористость, и  $\beta$  - коэффициент жидкости объемного теплового расширения,  $k_{eq}$  обозначает эффективную теплопроводность жидко-твердой смеси, и  $C_L$  - теплоемкость жидкости в постоянном давлении. Как видно математическая модель (1) и (2) описывает нестационарный процесс теплопереноса, а (3)-(4) стационарный процесс. В зависимости от изучаемого процесса выбирается соответствующая математическая модель.

**Постановка задачи.** Рассматривается водохранилище расположенное на мерзлом однородном грунте. Исследуется температурный режим области ограниченный под основанием водохранилища глубиной до 30м. и областью ограниченный телом плотины и под ее основанием длиной 280м. Верхний и нижний бьеф плотины заложены отношением 1:3. Исследования проводились при следующих предположениях: Так как в значительной части рассматриваемой области краевые условия теплопереноса являются неизменными ( постоянными) т.е. вдоль границы водоема (основания пруда и верхний бьефе плотины) температура воды считается постоянной, а на границе, граничащая с окружающей средой (гребень и нижний бьеф) температура атмосферы в течении года изменяются. Считая часть области тела плотины, граничащая с атмосферой окружающей среды по сравнению с областью под основанием пруда и частью тела плотины, граничащая с водоемом не значительной можно предположить, что теплоперенос в рассматриваемой области установившийся. Поэтому используется математическая модель (3)-(4). Для качественного анализа температурного режима рассмотрены различные варианты постановки задачи.

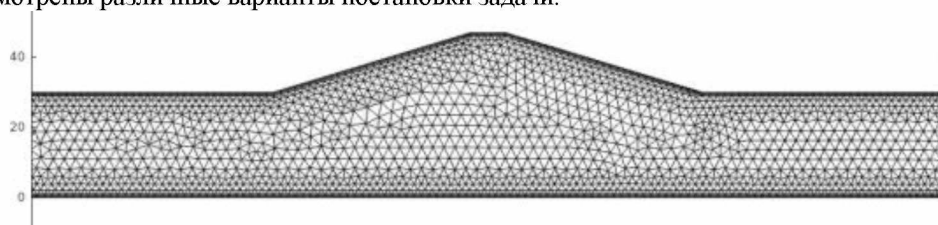


Рис. 1 Разбивка области на конечные элементы

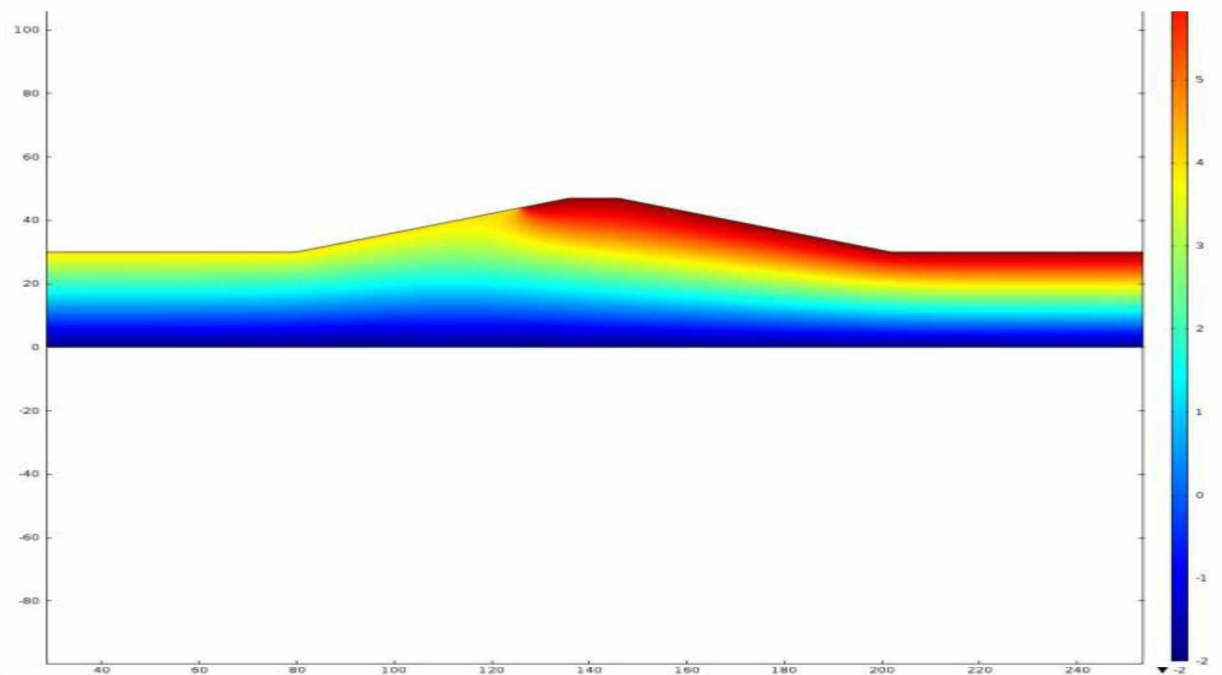


Рис. 2. Поле температуры при температуре воды в пруде  $+4C^0$ , температура окружающей среды  $+7C^0$ .

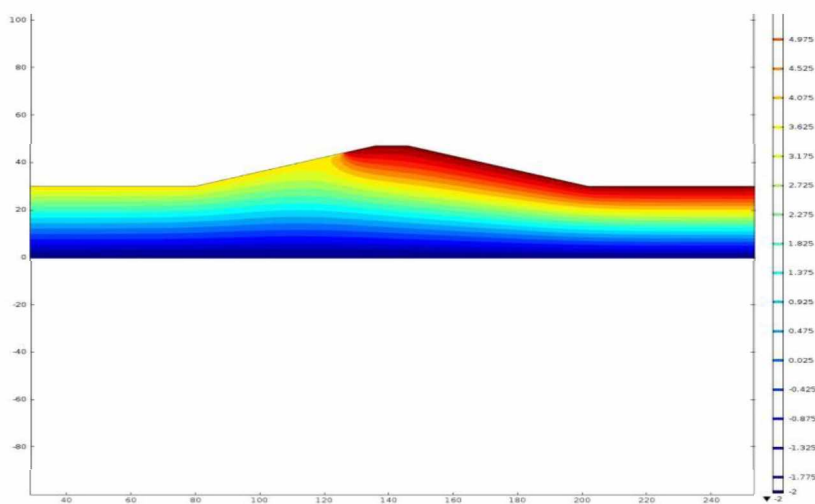


Рис. 3. Поле градиентов температур при температуре воды в пруде  $+4\text{C}^0$ , температура окружающей среды  $+7\text{C}^0$ .

**Вариант 1.** В начале процесса переноса тепла температура грунта в рассматриваемой области считалась равной  $0^0\text{C}$ , т.е. мерзлой. Затем начинается наполнение пруда водой. На верхней границе области, граничащая водой пруда, температура воды поддерживается постоянной равной  $T_{\text{в}} = +4\text{C}^0$ , на нижней границе области поддерживается постоянная минусовая температура – температура вечной мерзлоты равной  $T_{\text{н}} = -2\text{C}^0$ , на левой и на правой границах области поддерживается условие теплообмена  $T_{\text{в}} - (T_{\text{в}} - T_{\text{н}}) * s$ . Средне сезонная температура окружающей среды за теплый период считалась равной  $T_{\text{с}} = +7\text{C}^0$ . Из-за разницы температуры происходит тепловой поток. Требуется определить поле температуры грунта в зависимости от влияния температуры на верхней и нижней границах области. Качественный анализ температурного режима грунта проведено на примере, имитирующее реальные размеры тело плотины и водохранилища с помощью вычислительного эксперимента. Рассмотрен водонасыщенный грунт пористостью равной 0.4 и численные значения теплофизических характеристик грунта и воды как плотность, вязкость, коэффициент теплопроводности и объемного расширения. Уравнения математической модели решалась численно методом конечных элементов. Область автоматически разбивается на треугольные элементы. Разбивка области на элементы представлены на рис.1. Рассматриваемый область длиной 280м., высотой 50м. согласно рис.1 разбивалась на 3871 элемента. Результаты расчета модели (3) – (4) приведены на следующих рисунках в виде графика отдельно для полей температуры и градиента температуры. Поле температуры приведено на рис. 2.

Как видно из результатов расчета представленных на рис.2 положительная температура под основанием водохранилища и основанием тела плотины распространилась почти до 15м. области (область протаивания). В этом случае область протаивания мерзлого грунта наблюдается под основанием водохранилища, в теле и под основанием плотины. В зоне таяния под водоемом будет происходить фильтрация из пруда водохранилища. Величина фильтрационного расхода зависит от уровня воды в пруде. Соответственно поле градиентов температуры приведено на рис. 3, где величины градиентов теплового потока хорошо видны.

**Вариант 2.** Рассмотрен этот же пример. Только изменено значение температуры воды в пруде и равнялась  $+6\text{C}^0$ .

Результаты расчета представлены на рис. 4, 5. На рис. 4 представлены поле температуры и на рис.5 изолинии значений градиентов температуры. Как видно из графика положительная температура распространилась почти до 20м. Анализ результатов расчета двух вариантов показывают, что изменение температуры воды пруда на два градуса влечет увеличение зоны талого грунта при установившемся процессе теплопереноса на 5м. Это влечет увеличение величины фильтрационного расхода жидкости под основанием водохранилища и основанием тело плотины. Величина фильтрационного расхода зависит от уровня воды в пруде.

Выводы верны для установившегося теплопереноса. В действительности под основанием хвостохранилища теплоперенос можно считать

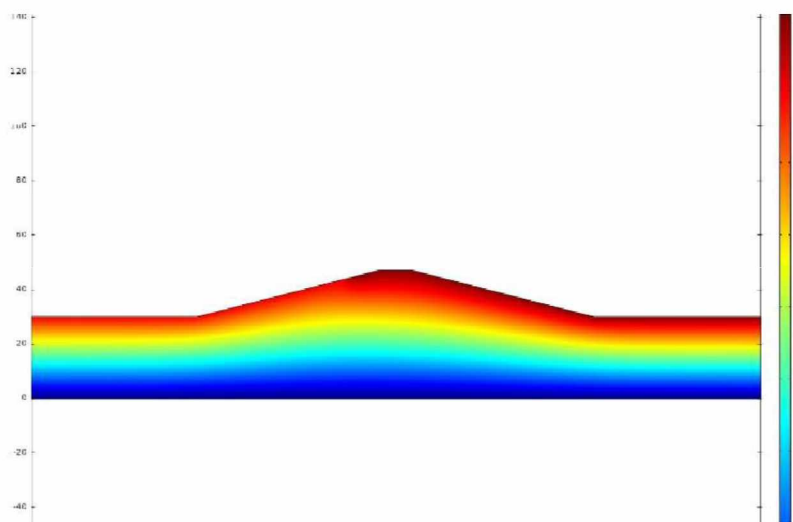


Рис. 4. Поле температуры при температуре воды в пруде  $+6C^0$ , температура окружающей среды  $+7C^0$ .

установившимся, а теплоперенос в области граничащей с атмосферой окружающей средой т.е. за телом плотины неустановившимся. Поэтому результаты носят качественный характер по которым можно судить о температурном режиме грунтов под основанием, тела плотины и ее основанием. Для этого рассмотрим следующий вариант.

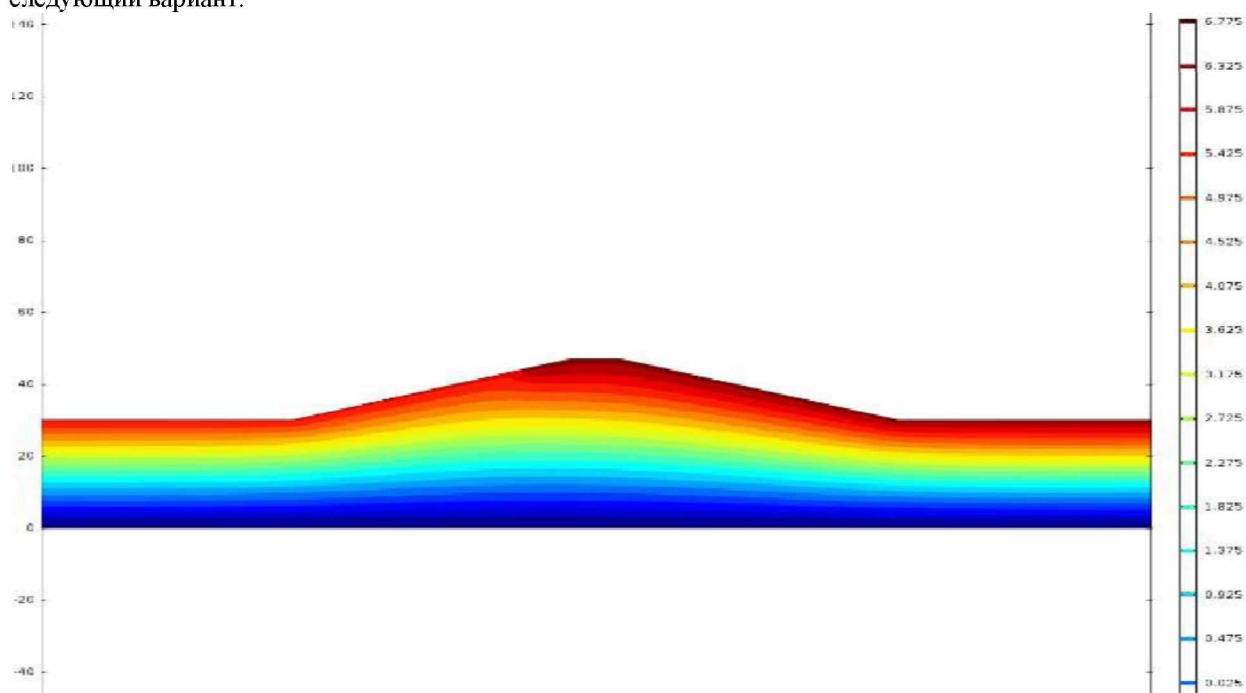


Рис.5 Поле градиентов температур при температуре воды в пруде  $+6C^0$ , температура окружающей среды  $+7C^0$

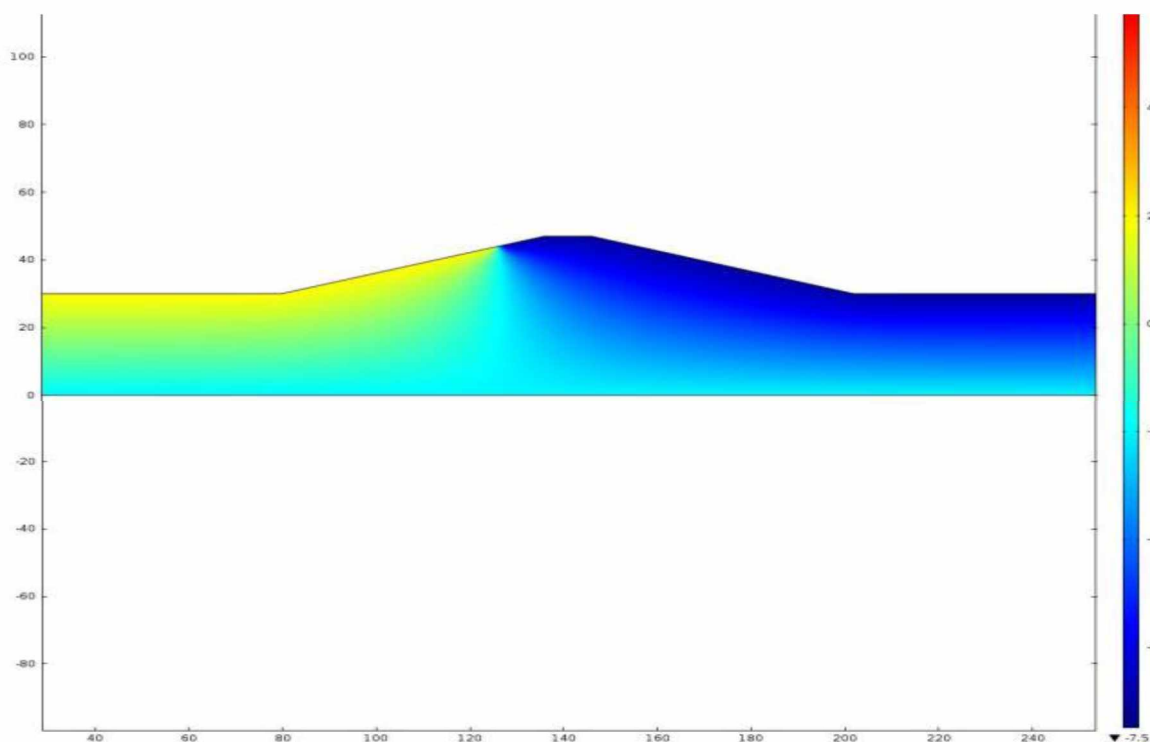


Рис. 6. Поле температуры при температуре воды в пруде  $+2C^0$ , температура окружающей среды  $-7C^0$

**Вариант 3.** Рассмотрен этот же пример для случая холодного периода года. Среднесезонная температура окружающей среды считалась равной  $-7C^0$ , а температура воды в пруде  $+2C^0$ . Результаты расчета установившегося процесса переноса тепла за холодный период представлены на рис. 6, 7.

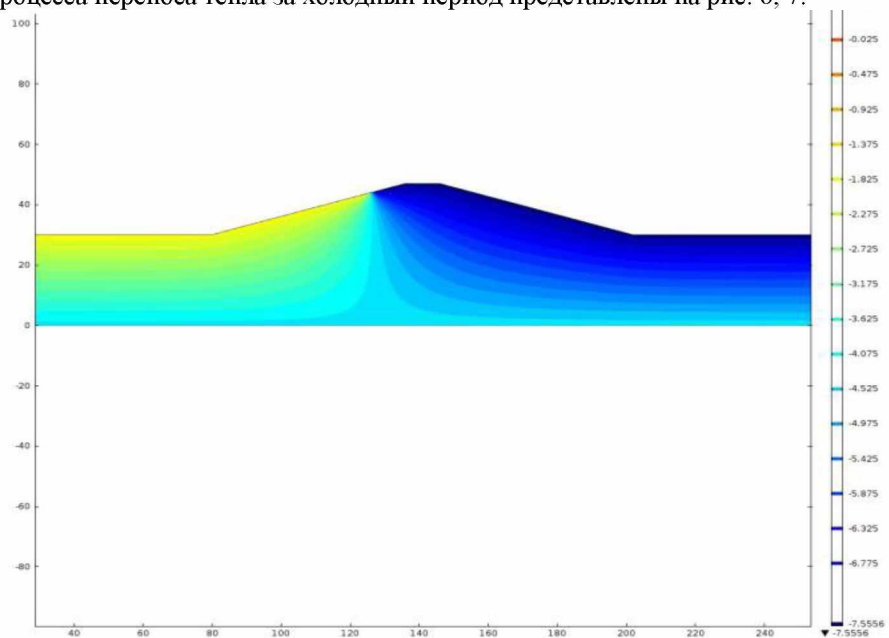


Рис. 7. Поле градиентов температур при температуре воды в пруде  $+2C^0$ , температура окружающей среды  $-7C^0$

Из результатов видно, что часть тела и область за телом плотины полностью промерзает. Только под основанием водохранилища образуется чаща глубиной до 8м. положительной температуры. Это означает, что в зимний период часть области под основанием тело плотины полностью промерзает и предотвращает фильтрацию под основанием тела плотины.

**Выводы**

При предположении процесса теплопереноса установившегося на типичном примере с помощью пакета прикладных программ COMSOLи вычислительного эксперимента показано на сколько изменится глубина протаивания при изменении температуры воды в пруде, а именно изменение температуры воды в пруде на +2С<sup>0</sup>влечет увеличению глубины протаивания до 5м. и может достигать до 20м. За холодный период кроме основания пруда полностью промерзает.

**Литература**

1. Анискин Н.А. Температурно-фильтрационный режим основания и плотины Курейской ГЭС во втором правобережном понижении. – М. Вестник МГСУ 2/2006. С.43-52.
2. Brinkman H.C. A calculation of the viscous force exerted by a flowing fluid on a dense swarm of particles. Appl. Sci. Res., 1947. Vol. A1
3. Free convection in Porious Media. Comsol. 2011.

УДК.: 532.582.24:517.544.73

**РАСЧЕТ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ТЕЛ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ФОРМЫ ТЕНЗОРОМ КОШИ**

*Искендер Козубай*

*Кыргызский государственный технический университет им. И.Раззакова,  
Бишкек, Кыргызская Республика, iskan-7@mail.ru*

*В статье приводится пример расчета прямоугольной пластины. На основе нетрадиционного решения краевой задачи теории упругости произведен анализ напряженно-деформированного состояния пластины при значительных деформациях и перемещениях.*

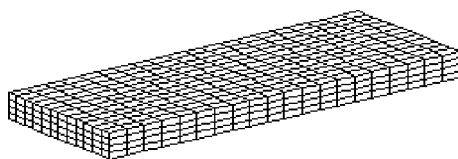
*In this article provides an example of calculating a rectangular plate. On the basis of non-traditional solutions of the boundary value problem of elasticity theory analyzed the stress-strain state of the plate with large deformations and displacements.*

Зададимся областью определения уравнений статической краевой задачи в виде указанной на рис.1 прямоугольной плиты. Начало прямоугольной декартовой системы координат поместим в центре левой торцевой грани.

Итак, под V будем подразумевать следующую область

$$-b/2 \leq x_1 \leq b/2, 0 \leq x_2 \leq \ell, -h/2 \leq x_3 \leq h/2, \tag{1}$$

Рассмотрим вторую краевую задачу без массовых сил



*Рис.1 Прямолинейная плита с усилиями (4) на своей поверхности находится в равновесии.*

$$\sigma_{jij} = 0, \sigma_{ij} = \sigma_{ji}, x_i \in V, \tag{2}$$

$$\sigma_{ij,kk} + \frac{1}{1+\nu} \sigma_{kk,ij} = 0, x_i \in V, \tag{3}$$

$$\sigma_{ji} n_j = \delta_{i2} c x_3, x_i \in S \tag{4}$$

где V определяется выражениями (1). Из (4) следует, что на четырех гранях плиты нет внешних сил, они приложены на левую и правую торцевые грани, создают изгибающие моменты, равные соответственно

$$m_1 = - \int_{-b/2}^{b/2} \int_{-h/2}^{h/2} c x_1^2 dx_1 dx_2 = -cbh^3/12, m_2 = \int_{-b/2}^{b/2} \int_{-h/2}^{h/2} c x_1^2 dx_1 dx_2 = cbh^3/12$$

Задача (2) - (4) математически полностью определена [1]. Она имеет простой механический смысл - прямоугольная плита с усилиями (4) на своей поверхности находится в равновесии. Требуется найти во

### **Выводы**

При предположении процесса теплопереноса установившегося на типичном примере с помощью пакета прикладных программ COMSOL и вычислительного эксперимента показано на сколько изменится глубина протаивания при изменении температуры воды в пруде, а именно изменение температуры воды в пруде на  $+2\text{C}^0$  влечет увеличению глубины протаивания до 5м. и может достигать до 20м. За холодный период кроме основания пруда полностью промерзает.

### **Литература**

1. Анискин Н.А. Температурно-фильтрационный режим основания и плотины Курейской ГЭС во втором правобережном понижении. – М. Вестник МГСУ 2/2006. С.43-52.
2. Brinkman H.C. A calculation of the viscous force exerted by a flowing fluid on a dense swarm of particles. Appl. Sci. Res., 1947. Vol. A1
3. Free convection in Porious Media. Comsol. 2011.