

УДК 624.15.04

**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОВЛИЯНИЯ
ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ ПУЛЬПЫ И ОСНОВАНИЯ
ХВОСТОХРАНИЛИЩА**

К.Р. Шекеев

Кыргызский государственный технический университет
им. И.Раззакова

Физическое описание задачи.

В настоящее время изучение, прогноз и управление температурными полями в грунтовых средах являются необходимым элементом инженерно-геологического обоснования при строительстве объектов горнодобывающей отрасли в районах распространения вечномёрзлых грунтов. На практике прогноз изменений температурного режима грунтов выполняется приближенными методами [1].

Целью данной работы является построение математической модели, позволяющей качественно исследовать взаимовлияние температурных полей пульпы и основания хвостохранилища.

Постановка задачи.

В работе не рассматривается фазовый переход, а рассматривается математическая модель распространения тепла в грунте. В процессе эксплуатации золоторудной фабрики в хвостохранилище сбрасываются отходы в виде жидкой массы, где в большинстве случаев около 55% этой массы составляет жидкость,

остальные 45% составляют мелкодисперсные твердые частицы в виде пульпы. Так как пульпа поступает в виде жидкой массы, придонный слой воды имеет положительную температуру.

Под влиянием положительной температуры придонного слоя воды происходит оттаивание мерзлого грунта. В начальный момент времени грунт считается мерзлым. Требуется исследовать распространение тепла в грунтах при различных случаях: при различных значениях начальной температуры пульпы и температуры грунта основания хвостохранилища.

Изучению процесса теплопереноса посвящены многие работы известных ученых А.И. Воейкова, В.Н. Будыко, Г.М. Фельдмана, Н.А. Цытовича, А.В. Павлова и др. В большинстве этих работ процесс теплопереноса моделируется отдельно для талой и мерзлой зоны грунта, а на границе этих зон учитывается фазовый переход.

В данной работе рассматривается перенос тепла отдельно для зоны отложения пульпы и отдельно для зоны грунта основания хвостохранилища, а на стыке границ области ставится условие непрерывности температуры грунта. Математическая модель приведена ниже.

$$C_{II}\rho_{II}\frac{\partial T_1}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda_{II}\frac{\partial T_1}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\lambda_{II}\frac{\partial T_1}{\partial y}\right) \quad (1)$$

$$C_I\rho_I\frac{\partial T_2}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda_I\frac{\partial T_2}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\lambda_I\frac{\partial T_2}{\partial y}\right) \quad (2)$$

$$\lambda\frac{\partial T_2}{\partial t} = 0 \quad (x, y) \in \Gamma_1 \quad (3)$$

$$T_2(x, y, t) = -2^\circ C \quad (x, y) \in \Gamma_2 \quad (4)$$

$$T_1(x, y, t) = +6^\circ C \quad (x, y) \in \Gamma_3 \quad (5)$$

$$T_1(x, y) = T_2(x, y) \quad (x, y) \in \Gamma_4 \quad (6)$$

$$T_1(x, y, t) = +8^\circ C \quad (x, y) \in \Gamma_5 \quad (7)$$

$$T_2(x, y, 0) = 0^\circ \text{C} \quad (x, y) \in ABCDEFGH \quad (8)$$

$$T_1(x, y, 0) = 0^\circ \text{C} \quad (x, y) \in KDEFL \quad (9)$$

Коэффициент температуропроводности грунта в данном уравнении считается постоянной, что характеризует однородность грунта. В действительности коэффициент теплопроводности является переменной величиной, т.к. при промерзании и протаивании теплофизические свойства одного и того же грунта изменяются. По глубине залегания составы грунта изменяются. Поэтому коэффициент теплопроводности должен быть переменной величиной, зависящей от пространственной и временной координаты (1), (2).

Схематический чертеж области приведен на рис. 1. Область представляет собой форму размерами 100x1000 м, глубина под основанием хвостохранилища составляет 40 м., высота отложения пульпы принята равной 20 м. На границе двух сред ставится условие непрерывности температуры (Γ_4), на боковых границах области ставится условие отсутствия теплового потока (Γ_1), на дне пульпы $+6^\circ\text{C}$ (Γ_3), на дневной поверхности $+8^\circ\text{C}$ (Γ_5), а на глубине 40 м. от основания хвостохранилища ставится условие вечной мерзлоты (Γ_2). Численная реализация данной математической модели выполнена в пакете Comsol Multiphysics [3]. Программа способна рассчитать температурное поле в заданной области. В проведенном численном эксперименте физические свойства грунтов учитывались в следующем предположении: тело плотины состоит из сухого грунта, физические свойства пульпы принимались как усредненное значение физических свойств шлака. Теплофизические характеристики грунтов взяты из известных табличных данных [4].

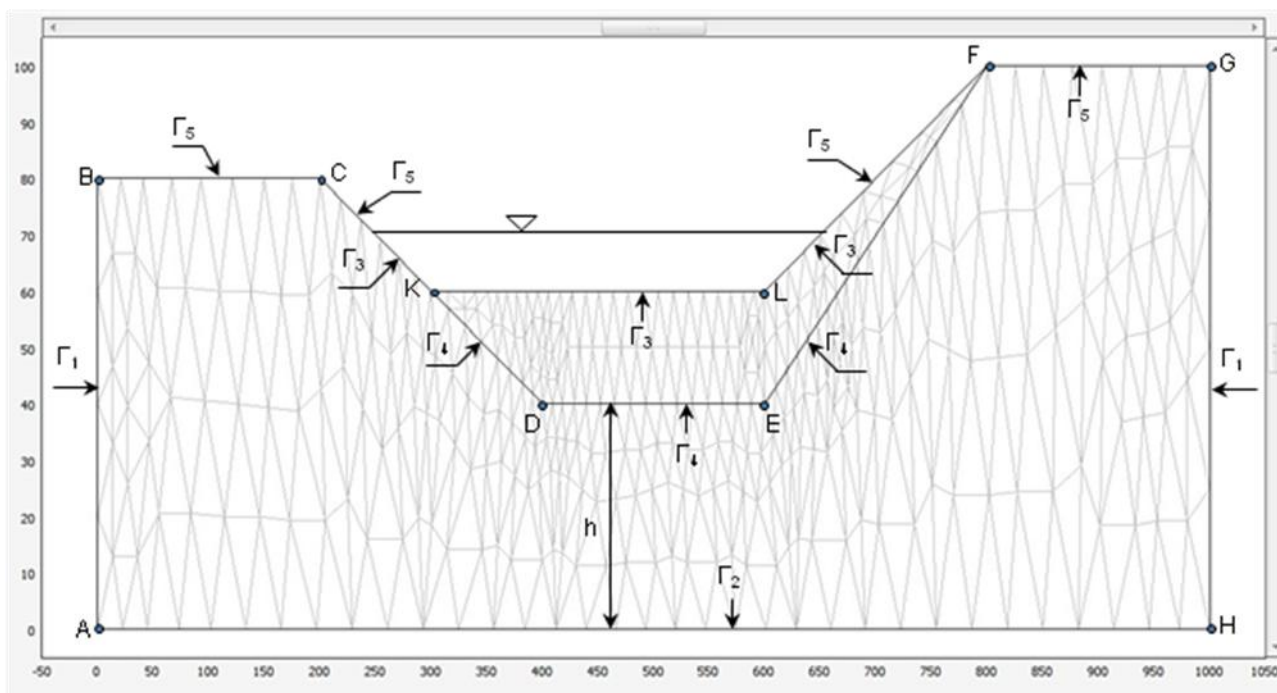


Рис. 1. Расчетная область модели

Для исследования взаимовлияния температурных полей пульпы и основания хвостохранилища проведен следующий численный эксперимент.

1. Проведено вычисление поля температуры грунта области в самом начале, когда еще нет поступления пульпы, а начальное значение температуры грунта области была равна 0. В этом случае, за один год плюсовая температура (фронт таяния) была распространена от основания (Γ_4) на 11,1 метров под воздействием температуры дневной поверхности, равной $+8^\circ\text{C}$.

2. Проведено вычисление, когда начальная температура области пульпы равна 0°C , высота отложения пульпы равна 20 м., начальная температура области основания хвостохранилища считалась равной 0°C . Температура придонного слоя воды считалась равной $+6^\circ\text{C}$ (рис. 2). В этом случае, за один год плюсовая температура распространилась от верхней границы пульпы (Γ_3) на 9,1метров. Это означает, что в случае когда высота пульпы равна 20 м., то зона таяния не достигнет основания хвостохранилища. Результаты

расчета хорошо согласуются с данными расчетов на основе другой модели [2]. Так как пульпа поступает в хвостохранилище в виде жидкой массы, начальная температура пульпы не может быть равной нулю.

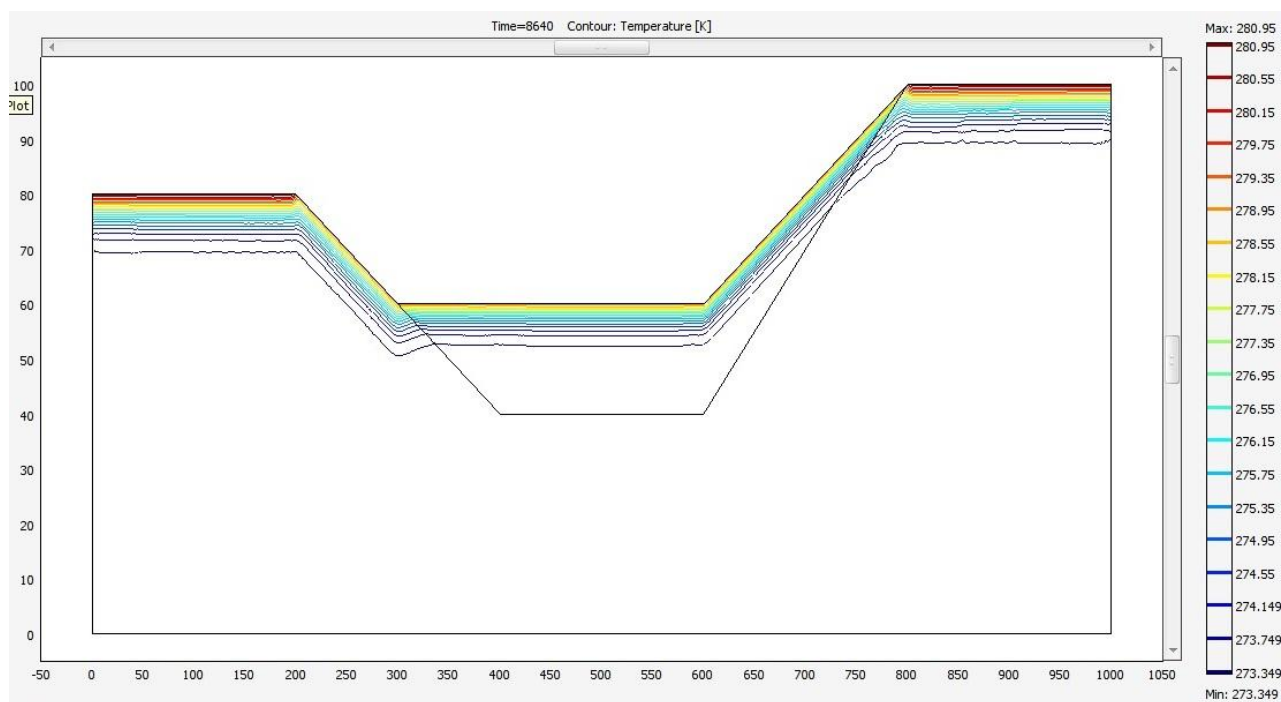


Рис. 2. Поле градиента температуры

Для исследования взаимовлияния температур пульпы и основания тела плотины был проведен численный эксперимент в двух вариантах:

- 1) начальное значение температуры основания плотины была принята равной нулю, а начальное значение температуры пульпы было принято равным $+2^{\circ}\text{C}$ и $+4^{\circ}\text{C}$;
- 2) начальное значение температуры основания плотины была принята равным 0°C , -2°C и -4°C , а начальное значение температуры пульпы было постоянной $+1,5^{\circ}\text{C}$. Остальные параметры расчета были равны с параметрами предыдущего расчета.

Результаты эксперимента показывают, что при мерзлом состоянии тела хвостохранилища изменение начальной температуры пульпы на 2°C приводит к углублению таяния основания хвостохранилища на 7,6 м., последующее увеличение начальной температуры пульпы на 2°C приводит к увеличению глубины таяния на 12%.

Из второго варианта эксперимента следует, что уменьшение начальной температуры основания хвостохранилища на -2°C за один год приведет к увеличению фронта промерзания от дна хвостохранилища на 1,3 метра, последующее уменьшение начальной температуры основания на 2°C приводит к увеличению фронта промерзания на 2,5 метра. Результаты численного эксперимента приведены на рисунках 3 и 4.

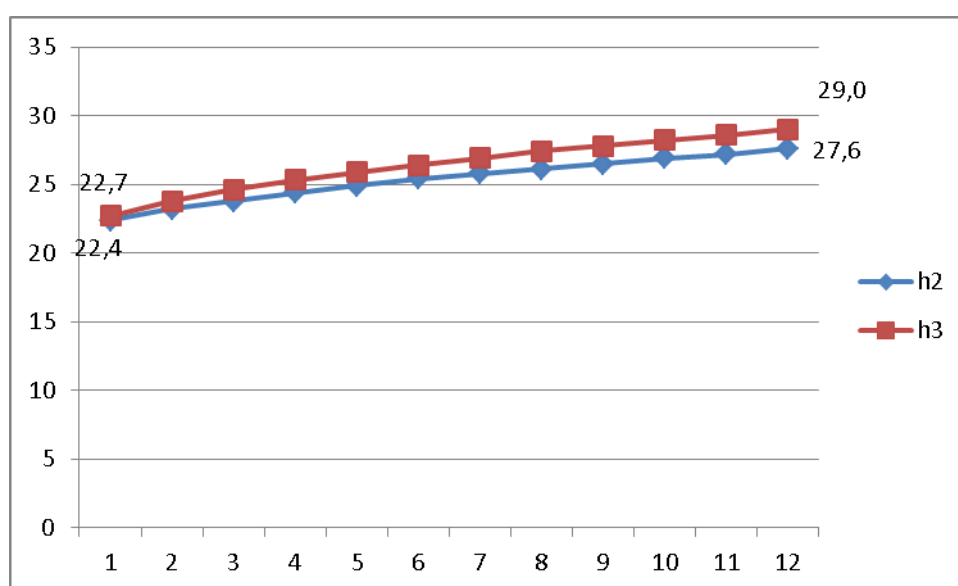


Рис. 3. 1-вариант ($h2 \rightarrow T = +2^{\circ}\text{C}$, $h3 \rightarrow T = +4^{\circ}\text{C}$)

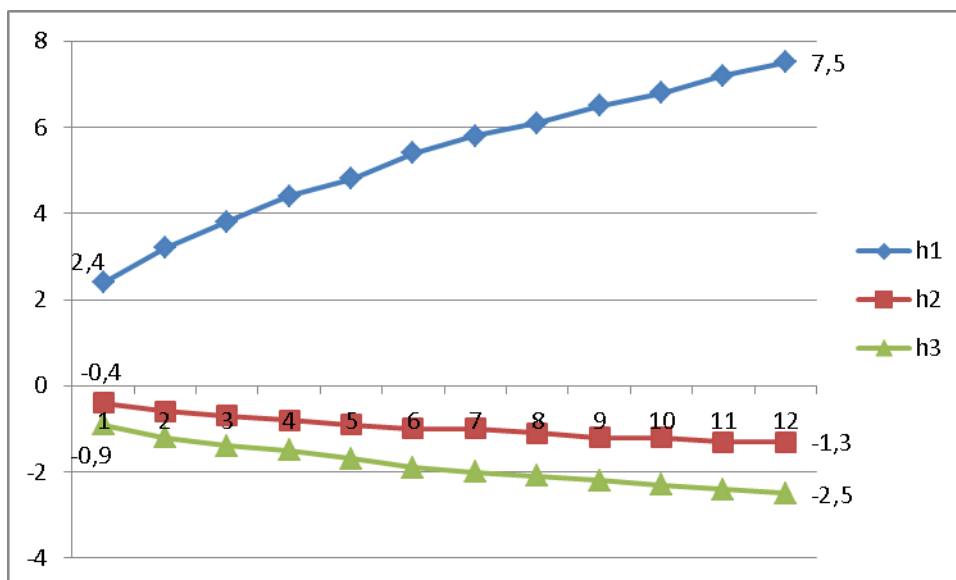


Рис. 4. 2-вариант ($h1 \rightarrow T = 0^{\circ}\text{C}$, $h2 \rightarrow T = -2^{\circ}\text{C}$, $h3 \rightarrow T = -4^{\circ}\text{C}$)

Температурный режим основания хвостохранилища сильно зависит от начального состояния температуры основания хвостохранилища и пульпы. Температуру пульпы можно считать плюсовой, так как при складировании пульпа поступает в виде жидкой массы, а температура воды в потоке плюсовая. Поэтому температурный режим основания сильно зависит от начального состояния температуры основания хвостохранилища. Если начальное значение температуры грунта минусовое, то фронт промерзания будет стягиваться от дневной поверхности, если начальное значение температуры грунта будет плюсовой, то фронт таяния будет углубляться.

Вывод: Складирование отходов в хвостохранилище целесообразно начинать при мерзлом состоянии основания, для того, чтобы не допустить фильтрации отходов через основания хвостохранилища.

ЛИТЕРАТУРА

1. Крылов Д.А., Мельникова Ю.С. Математическое моделирование распределения температурных полей в криолитозоне // Студенческий научный вестник. Сборник статей четвертой научно-технической выставки «Политехника». М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. С.94-97.
2. Джаманбаев М.Дж. Методы решения и идентификация параметров математической модели процессов переноса. - Бишкек: Илим, 1996.- 121 с.
3. Бирюлин Г.В. Теплофизические расчеты в конечно-элементном пакете COMSOL/FEMLAB. – Санкт-Петербург.: СПбГУИТМО, 2006.
4. Заручевных И.Ю., Невзоров А.Л.. Механика грунтов в схемах и таблицах. – М.: Издательство ассоциации строительных вузов, 2007.