

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ГЛУБИНУ ПРОТАИВАНИЯ МЕРЗЛОГО ГРУНТА

*Душенова У. Дж., ст. преподаватель КГТУ им. И. Раззакова
Турсункулова З. С. ст. преподаватель КГТУ им. И. Раззакова*

Приводится методика определения глубины таяния мерзлого грунта за теплый период года, т.е. начиная с мая по сентябрь месяц. Методика основана на сочетании аналитического решения с идеей метода конечных элементов, которая позволила численно определять коэффициент температуропроводности путем идентификации аналитического решения задачи теплопроводности, с данными наблюдения о температуре грунта, а также находит движение фронта таяния из условия сопряжения температурного потока на границе талого и мерзлого грунта с течением времени.

Введение. Изучение температурного режима мерзлого грунта, расположенного в условиях вечной мерзлоты является одним из важных задач проблемы экологической безопасности. Таяния вечной мерзлоты под влиянием температуры окружающей среды является одним из главных вопросов изучения устойчивости сооружений и изучения вопросов потепления климата. В качестве примера рассматриваются грунты, расположенные на уровне 4000 м. в условиях вечной мерзлоты. Значения температуры окружающей среды использовались из данных наблюдений метеостанции. Теплый период длится почти до пяти месяцев. Для определения зоны таяния мерзлого грунта необходимо знать значения коэффициента температуропроводностей мерзлого грунта, определение которой является трудной задачей в лабораторных условиях т.к. при бурении мерзлого грунта для отбора проб, естественное состояние грунта нарушается из-за таяния льда. Поэтому используется методика [1] определения коэффициентов температуропроводностей мерзлого грунта в естественном состоянии.

Постановка задачи. Требуется определить глубину таяния мерзлого грунта, расположенные в условиях вечной мерзлоты под влиянием температуры окружающей среды за теплый период года.

Методика решения. На основе математической модели теплопроводности в талых и мерзлых грунтах (1)–(4) определяется значения коэффициентов температуропроводностей из начальной условия модели (2). Затем строится аналитическое решение задачи теплопроводности отдельно для зоны таяния и для мерзлой зоны (5). Используя эти аналитические решения, численно находятся глубина таяния мерзлого грунта под влиянием температуры окружающей среды из условия сопряжения температурных потоков на границе зоны талого и мерзлого грунта (4).

Математическая модель задачи имеет вид: теплоперенос в талых и мерзлых грунтах моделируется уравнениями

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial T_T}{\partial t} &= a_T \frac{\partial^2 T_T}{\partial x^2}, 0 \leq x \leq h \\ \frac{\partial T_M}{\partial t} &= a_M \frac{\partial^2 T_M}{\partial x^2}, h \leq x \leq L \end{aligned} \right\}$$

(1)

и начально-граничными условиями.

Начальные условия:

$$\begin{aligned} &\text{при } t = 0; \quad x \in [0, h]; \quad T_M = f_1(x), \\ T_T &= f_2(x). \end{aligned} \quad (2)$$

Граничные условия при $t \in [0, t^*]$:

$$\begin{aligned} &\text{при } x=0, \quad T_T = T_0, \\ &\text{при } x=h, \quad T_T = T_M = T_0 \\ &\text{при } x=L, \quad T_M = T_1. \end{aligned} \quad (3)$$

где соответственно - T_0 , T_1 температура таяния мерзлого грунта и температура вечной мерзлоты, $T_T(t)$ -температура окружающей среды.

Условие сопряжения на границе талого и мерзлого грунта описывается уравнением:

$$\lambda_{\delta} \left[\frac{\partial T_{\delta}}{\partial \delta} \right]_{\delta=h} - \lambda_M \left[\frac{\partial T_M}{\partial \delta} \right]_{\delta=h} = q_0 w \gamma \frac{\partial h}{\partial t}, \quad (4)$$

где T_T —температура зоны талого грунта; T_M - температура мерзлого грунта; $a_T, a_M, \lambda_T, \lambda_M$ —коэффициенты температуропроводности, теплопроводности грунта в талом и мерзлом состояниях; h - глубина протаивания; w - количество льда в грунте; q_0 - теплота плавления льда, γ - удельный вес скелета.

Использование идеи метода конечных элементов (МКЭ) позволяет построить аналитическое решение начально-краевой задачи, которая удовлетворяет начально-граничным условиям задачи. В качестве базисных функций используются линейно-независимые частные решения уравнения теплопроводности (1)

$$T_1(x, t, a) = e^{-\sqrt{\frac{2\pi}{a}}x} \cos\left(\sqrt{\frac{2\pi}{a}}x - 4at\right),$$

$$T_2(x, t, a) = e^{-\sqrt{\frac{2\pi}{a}}x} \sin\left(\sqrt{\frac{2\pi}{a}}x - 4at\right).$$

Рассматривается конечная глубина мерзлого грунта длиной L, за которой температура грунта почти не изменяется. Эта длина, в отличие от МКЭ, разбивается на два элемента. Первый элемент начинается от дневной поверхности до фронта таяния, которая является неизвестной и подвижной. Второй элемент начинается от фронта таяния до конца глубины L. В каждом элементе строится аналитическое решение задачи теплопроводности, удовлетворяющее начально-краевым условиям

$$T_T(x, t, a) = N_i^1(x, t, a) * T_T(t) + N_j^1(x, t, a) * T_0,$$

$$T_M(x, t, a) = N_i^2(x, t, a) * T_0 + N_j^2(x, t, a) * T_1,$$

(5)

где

$$N_i^k(x, ta) = \frac{T_2(x_j, t, a) * T_1(x_i, t, a) - T_2(x_i, t, a) * T_1(x_j, t, a)}{T_2(x_j, t, a) * T_1(x_j, t, a) - T_2(x_i, t, a) * T_1(x_j, t, a)},$$

$$N_j^k(x, ta) = \frac{T_2(x_i, t, a) * T_1(x_i, t, a) - T_2(x_i, t, a) * T_1(x_i, t, a)}{T_2(x_j, t, a) * T_1(x_j, t, a) - T_2(x_i, t, a) * T_1(x_j, t, a)}.$$

аналоги функции формы МКЭ т.е. при $x = x_i, N_i=1, N_j=0$; k – номер элемента. В начальный момент потепления окружающей среды, длина первого элемента (зона таяние) будет очень маленькой по сравнению со второй. С течением времени этот элемент будет увеличиваться, т.е. будет происходить

таяния мерзлого грунта под влиянием температуры окружающей среды, а длина второго элемента будет уменьшаться. Подвижная точка (фронт таяния) находится численно решением обыкновенной дифференциальной уравнении первого порядка методом Рунге-Кутты (4).

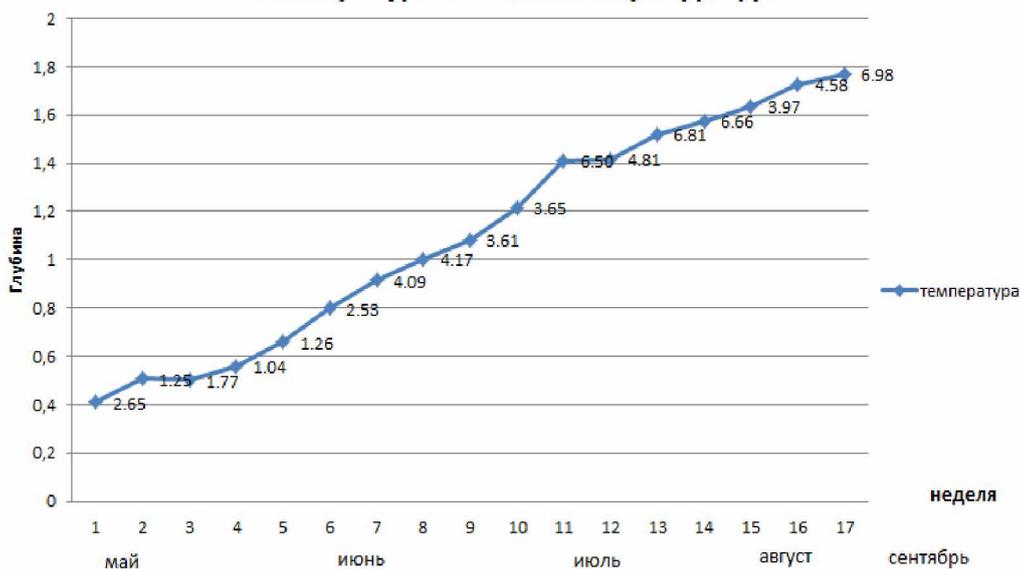
Особенность данной методики решения задачи заключаются в следующем: 1) известность аналитического решение начально-краевой задачи, позволило снять ограничения на шаг по времени в расчете и шаг по времени принималась равной неделе. Теплый период длится почти 19 недель; 2) в отличие от других методов здесь используется только три заданные температуры: на дневной поверхности грунта используются температуре окружающей среды, на границе таяния - постоянная температура $+0.01C^0$, которая движется вместе с фронтом таяния и на конце глубины L поддерживается постоянная минусовая температура (вечная мерзлота) $-1.86C^0$; 3) Используя данные температуры в каждые моменты времени на каждом элементе численно находятся коэффициенты температуропроводностей как решение трансцендентной уравнении

$$N_i^1(x, t, a) * T_B + N_j^1(x, t, a) * T_0 = T^*,$$

$$N_i^2(x, t, a) * T_0 + N_j^2(x, t, a) * T_1 = T^{**},$$

где T^*, T^{**} средние значения температуры в середине каждого элемента.

Температура за теплый период года



(Рис. 1) Глубина протаивания

Результаты исследований. Данный алгоритм апробирован на примере, имитирующее условие Кумтора. Рассматривается протаивание мерзлого грунта глубиной $L = 20$ м, под влиянием температуры окружающей среды. В качестве примера использованы данные метеостанции за

2011г. Теплофизические характеристики $\lambda_T, \lambda_M, w, q_0$ принималась предположительно равной $\lambda_T=1.21$ ккал/(ч·м⁰С), $\lambda_M=1.54$ ккал/(ч·м⁰С), $w=0.11, q_0=650$. В каждом шаге по времени путем идентификации аналитического решения с натурными данными определялись коэффициенты температуропровод-

ностей для талого и мерзлого грунта. Они почти не изменялись с течением времени и равнялись $a=1.893 \text{ м}^2/\text{ч}$. Результаты расчета определения глубины таяния вечной мерзлоты под влиянием температуры окружающей среды за теплый период года представлены на рис. 1. Как видно из рис. 1 глубина таяния достигает до 1.77м. за теплый период года. Натурные наблюдения за глубиной таяния на Кумторе колеблется в пределах 1.78м. до 2.6м. Нами в расчетах теплофизические характеристики принимались предположительно из-за неизвестности. Поэтому результаты получились приближенными.

Вывод. Предложенная методика определения глубины таяния, с идентификацией коэффициента температуропроводностей мерзлого грунта

под влиянием температуры окружающей среды за теплый период года апробирован, на примере имитирующее условие Кумтора. Результаты расчета хорошо согласуются с натурными данными.

Литература

1. Джаманбаев М.Дж., Душенова У.Д., Турсункулова З.С. Методика определения температуры и коэффициентов теплообмена грунта. Известия Кыргызского технического университета им. И. Раззакова, № 29 -Бишкек-2013.-с.129 -133.
2. Джаманбаев М.Дж. Методы решения коэффициентных задач процессов переноса. Известия КГТУ им. И.Раззакова, № 22, с. 99-104. Бишкек-2011.