

1.ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – М.: Система стандартов безопасности труда. Государственный стандарт СССР, 1988 (переиздан в мае 1991 г.).

2.Шумилов Р.Н., Толстова Ю.И., Поммер А.А.Совершенствование методики расчета лучистого отопления // Материалы междунар. науч.-техн. конф. «Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции». – М.: МГСУ, 2005. – С.107-112.

3.Иродов В.Ф., Солод Л.В., Кобыща А.В. Математическое моделирование элементарного участка системы воздушно-лучистого отопления // Вісн. Придніпров. держ. акад. буд-ва та архітектури. – 2001. – №4. – С.41-46.

4.Баскаков А.П., Берг В.В., Витт О.К. и др. Теплотехника. – 2-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 224 с.

5.Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. – М.: Энергия, 1981. – 416 с.

6.Алексеев Е.Р., Чеснокова О.В. MATLAB 7. – М.: НТ Пресс, 2006. – 464 с.

Получено 08.05.2009

УДК 697.14

А.Я.БОМБА, д-р техн. наук, В.П.ВОСТРИКОВ, канд. техн. наук, Є.В.САВІЮК
Національний університет водного господарства та природокористування, м.Рівне

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ НАГРІВАННЯ РОДЮЧОГО ШАРУ ГРУНТУ ПАРАЛЕЛЬНО РОЗМІЩЕНИМИ ЛІНІЙНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ТЕПЛА

Одержано формули для розрахунку температурного поля горизонтальної смуги ґрунту, що обігрівасться паралельно розміщеними лінійними джерелами тепла, знайдено оптимальні відстань між ними і глибина залягання за умов встановлення необхідного температурного режиму ґрунту.

Получены формулы для расчета температурного поля горизонтальной полосы ґрунта, который обогривается параллельно размещенными линейными источниками тепла. Найдены оптимальное расстояние между источниками и глубина их залегания при условиях достижения необходимого температурного режима ґранта

The formulas for the calculation of the horizontal bar field temperature, which is heated with parallel placed linear sources of heat were received and the optimum distance between them and depth of bedding according to the establishment of necessary temperature condition of soil were found.

Ключові слова: лінійні джерела тепла, теплопровідність, питома теплова витрата, тепловий потік, комплексний потенціал, тепловий режим.

На даний час задачі прогнозування процесів нагрівання середовищ зокрема ґрунту, пластинами, трубами, точковими джерелами тепла тощо є досить актуальними в будівельному виробництві та сільськогосподарській практиці. Причому, з метою економії певних затрат, окрім традиційних постановок задач на розрахунок температурних полів, виникає необхідність оптимізації тих чи інших параметрів процесу. В даній роботі йдеться про розрахунок температурного поля у

поперечному перерізі ґрунтового шару при обігріві його лінійними джерелами тепла, зокрема, проведені розрахунки для знаходження оптимальної відстані між сусідніми джерелами тепла та глибини залягання труб, за умов встановлення необхідного температурного режиму ґрунту.

Розглянемо стаціонарний процес нагрівання однорідного горизонтального нескінчено великих розмірів пласта

$$G = \{(x, y, z) : -\infty < x < +\infty, -\infty < y < 0, -\infty < z < +\infty\}$$

паралельно розміщеними джерелами тепла. Розв'язок задачі шукатимемо у площині поперечного перерізу ґрунту, де труби (джерела тепла) інтерпретовані точками. Внаслідок періодичності процесу теплопереносу в даній півплощині розрахункова область G_z матиме вигляд півсмуги:

$$G_z = \{z = x + iy : 0 < x < l, -\infty < y < 0\},$$

де ділянки CB , BAD є термоізолюваними (лініями течії тепла), а CD – ізотермічною лінією (рис.1). Процес теплопровідності описуємо на основі закону теплопровідності та рівняння нерозривності [1, 2]:

$$\vec{q} = -\lambda \text{grad}T, \quad \text{div} \vec{q} = 0, \quad (1)$$

де $T=T(x,y)$ – температура в точці (x,y) , λ – коефіцієнт теплопровідності (для зручності викладок покладемо $\lambda = 1$), $\vec{q} = (q_x, q_y)$ – питома теплова витрата.

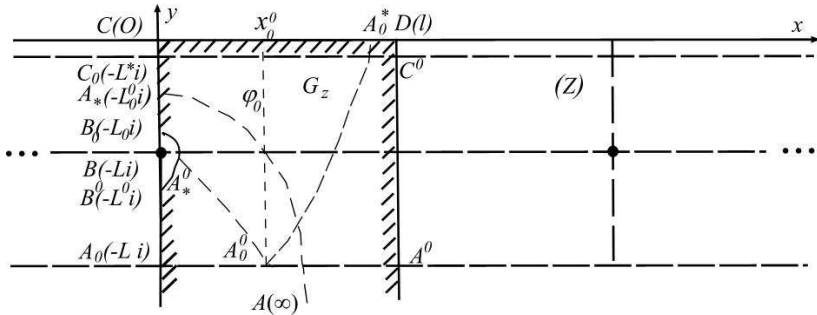


Рис.1 – Фізична область G_z

Вважаємо відомими наступні параметри: $T|_{B_0 B^0} = T^*$ – температура на джерелі тепла ($T|_{y=-L; x=0} = +\infty$), $T|_{CD} = T|_{y=0; 0 < x < l} = T_*$ – температура на поверхні ґрунту, Q – повний тепловий потік, l – ширина

розрахункової області ($2l$ – відстань між джерелами тепла), L – глибина залягання джерел тепла (l, L – невідомі величини, керуючі параметри), T_*^* – мінімально допустима температура, що необхідна з виробничих умов на деякій (заданій) глибині L^* .

Задача полягає у розрахунку температурного поля (температури, питомої витрати, динамічної сітки тощо) в області G_z і знаходженні мінімального з можливих значень параметру L та максимального з l , щоб температура $T=T(x,y)$ в зазначеній області ($G_z^0 = \{z = x + iy : 0 < x < l, -L_* < y < -L^*\}$) була не меншою заданого її значення T_*^* (тобто $T(x, y) \geq T_*^*$), за умови, що потрапляння тепла вглиб ґрунту Q_0 не перевищує деякого значення Q_0^0 .

Стратегія розв'язку (розрахункові формули). Ввівши тепловий потенціал $\varphi = \varphi(x, y)$ за формулою $\varphi = \lambda \frac{-T + T_*}{T_* - T}$ і функцію течії $\psi = \psi(x, y)$ (комплексно спряжену до $\varphi(x, y)$) «традиційну» частину даної задачі зведемо до більш широкої, а саме [2]:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial x} = \frac{\partial \psi}{\partial y}, \quad \frac{\partial \varphi}{\partial x} = -\frac{\partial \psi}{\partial y}, \quad (2)$$

$$\varphi|_{CD} = 0, \quad \varphi(A) = \varphi_0, \quad \varphi(B) = -\infty, \quad \psi|_{CB} = Q, \quad \psi|_{AD} = 0, \quad (3)$$

де Q – заданий повний тепловий потік, $Q = -\int_0^l q_y dx = \int_{\tilde{L}} -q_y dx + q_x dx$; \tilde{L} – довільний поперечний переріз відповідної трубки течії.

Відобразивши конформно дану фізичну ідеалізовану область G_z (джерело тепла інтерпретуємо точкою $z = -Li$ при $T(0, -L) = +\infty$ і за контур труби приймаємо деяку екіпотенціальну лінію $B_0 B^0$:

$\varphi|_{B_0 B^0} = \varphi^0 = \lambda \frac{T_* - T^*}{T_* - T} = -\lambda$) на відповідну область комплексного потенціалу G_w (яка за умов (3) має вигляд півсмуги (рис.2), $G_w = \{w = \varphi + i\psi : -\infty < \varphi < 0, 0 < \psi < Q\}$) (або $G_z \rightarrow G_w$) при від-

повідності кутових точок, знайдемо комплексний потенціал $w = w(z)$, характеристичну функцію течії тепла та тепловий потенціал на нескінченності φ_0 , відповідно, у вигляді ([3, 4]):

$$w = w(z) = \frac{Q}{\pi} \ln \left(ch \frac{\pi}{l} L \cos \frac{\pi}{l} z - 1 + ch \frac{\pi}{l} L \sin \frac{\pi}{l} z \right) \left(\cos \frac{\pi}{l} z - ch \frac{\pi}{l} L \right)^{-1}, \quad (4)$$

$$z = z(w) = \frac{l}{\pi} \arccos \left(ch \frac{\pi}{l} L ch \frac{\pi}{Q} w - 1 \right) \left(ch \frac{\pi}{Q} w - ch \frac{\pi}{l} L \right)^{-1}. \quad (5)$$

Згідно з (5), маємо формули для визначення швидкості теплопереносу та квадрата швидкості теплопереносу в області комплексного потенціалу (схематично поверхня функції $v^2(\varphi, \psi)$ зображена на рис.3):

$$\bar{V}(w) = ich \frac{\pi}{l} L ch \frac{\pi}{Q} w \left(sh \frac{\pi}{l} L \right)^{-1}, \quad (6)$$

$$v^2(\varphi, \psi) = \left(2sh^2 \frac{\pi}{l} L \right)^{-1} \left(2ch^2 \frac{\pi}{l} L - 4ch \frac{\pi}{l} L \cdot ch \frac{\pi}{Q} \varphi \cdot \cos \frac{\pi}{Q} \psi + ch \frac{2\pi}{Q} \varphi + \cos \frac{2\pi}{Q} \psi \right). \quad (7)$$

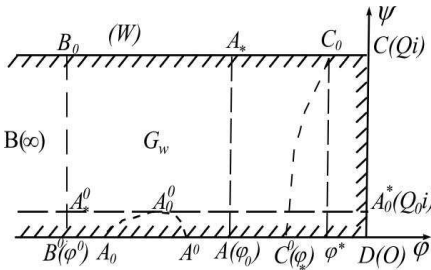


Рис.2 – Область комплексного потенціалу G_w

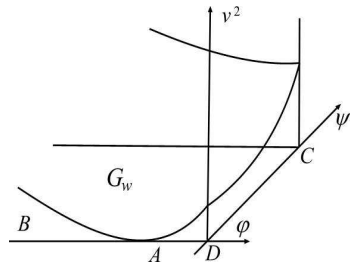


Рис.3 – Поверхня квадрата модуля функції $v = v(w)$

Нехай $a(x, y, l, L, Q) = \text{Re}(w(z))$, $b(x, y, l, L, Q) = \text{Im}(w(z))$, $c(\varphi, \psi, l, L, Q) = \text{Re}(x(w))$, $d(\varphi, \psi, l, L, Q) = \text{Im}(z(w))$, тоді для знаходження оптимальних l та L маємо таку систему алгебраїчних рівнянь:

$$\begin{cases} a(l, -L^*, Q, l, L) = \lambda \frac{T_* - T_*^*}{T^* - T_*}, & (8) \end{cases}$$

$$\begin{cases} b(l, -L^*, Q, l, L) = Q_0, & (9) \end{cases}$$

де (8), (9) – відповідно умова досягнення допустимої температури, наприклад необхідної для забезпечення родючості ґрунту на глибині L^* , та умова допустимої витрати теплового потоку (за рахунок надходження його вглибину ґрунту).

Параметри L_0 і L^0 матимемо в результаті розв'язку рівняння $a(0, y, l, L, Q) = \varphi^0(\lambda)$ ($y_1 = L_0$, $y_2 = L^0$).

На рис.4 зображено динамічні сітки руху тепла при таких вхідних та розрахункових даних: $Q = 1$, $T_* = 20$, $T^* = 12$, $T_*^* = 12$, $\lambda = 1$, $L^* = -0,5$, $Q_0^0 = 0,1$, $\Delta\varphi = 0,1$ (крок по φ), $\Delta\psi = Q/10$ (крок по ψ);

а) $L = -1$; $l = 5$; $L_0 = -0,993$; $L^0 = -1,01$; $x_0^0 = 1,5$; $\varphi_0 = 0,2$;
 $T(l, -L^*) = 12,2$;

б) $L = -2$; $l = 5$; $L_0 = -1,983$; $L^0 = -2,016$; $x_0^0 = 1,7$; $\varphi_0 = 0,4$;
 $T(l, -L^*) = 12,9$;

в) $L = -4$; $l = 5$; $L_0 = -3,955$; $L^0 = -4,062$; $x_0^0 = 2,4$; $\varphi_0 = 0,8$;
 $T(l, -L^*) = 15,7$;

г) $L = -5$; $l = 5$; $L_0 = -4,987$; $L^0 = -5,014$; $x_0^0 = 1,8$; $\varphi_0 = 1$;
 $T(l, -L^*) = 16,8$;

д) $L = -5$; $l = 10$; $L_0 = -4,995$; $L^0 = -5,009$; $x_0^0 = 3,9$; $\varphi_0 = 0,5$;
 $T(l, -L^*) = 13,6$;

е) $L = -5$; $l = 15$; $L_0 = -4,997$; $L^0 = -5,015$; $x_0^0 = 2,4$; $\varphi_0 = 1/3$;
 $T(l, -L^*) = 12,5$.

Результати розрахунків вказують на те, що мінімально допустима температура, яка задана в родючому шарі ґрунту, забезпечується при $L = 5$, $l = 16$. Проте при цьому спостерігається значна нерівномірність

у температурному режимі. Вирівнювання температурного режиму в шарі до $40\%L$ досягається зменшенням l до $(1,0 - 1,5)L$.

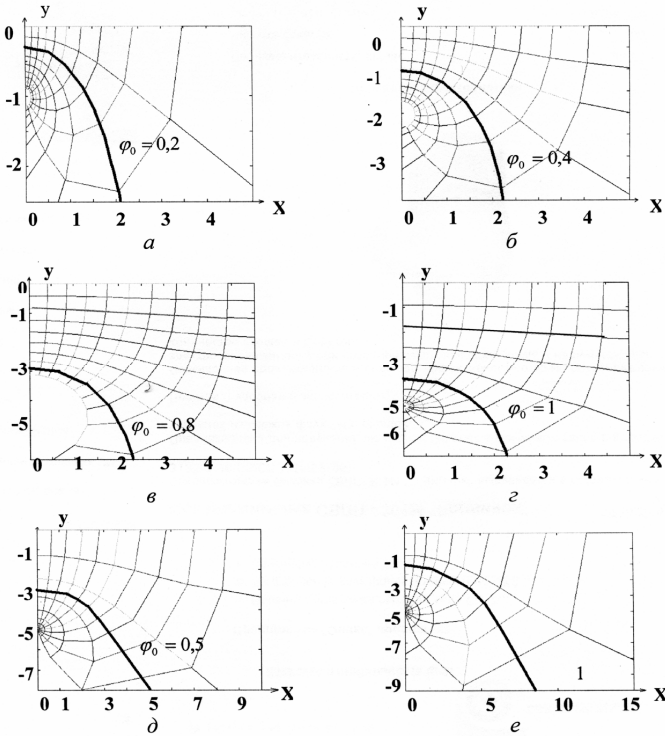


Рис.4 – Динамічні сітки руху тепла

Розроблений вище математичний підхід хоч і «поступається точністю» розрахунку температур навколо труб (внаслідок «заміни» їх лінійними джерелами), є ефективними для встановлення оптимальних величин, які характеризують процес параметрів, особливо у випадках, коли відомою є «характерна глибина», що забезпечує потік тепла до горизонту з малими втратами (за рахунок надходження його вглибину ґрунту).

Зазначимо, що замість значення повного теплового потоку Q можна було б задавати точку «виходу» еквіпотенціальної лінії, що наближено моделює контур поперечного перерізу труби. Тоді для знаходження Q матимемо рівняння $d(-\lambda, Q, l, L, Q) = -L_0$. Можливий

також ще один, точніший, варіант апроксимації контуру труби шляхом оптимального її «мажорювання» двома еквіпотенціальними лініями [3].

В перспективі – розповсюдження даної методології на неоднорідні середовища з урахуванням процесу нагрівання повітря.

1. Куртнер Д. А., Чудновский А.Ф. Агрометеорологические основы тепловой мелиорации почвы. – Л.: Гидрометеоздат, 1979. – 231 с.

2. Самарский А.А., Бабищевич П.Н. Вычислительная теплопередача. – М., 2003. – 782 с.

3. Ляшко И.И., Великоиваненко И.М., Лаврик В.И., Мыстецкий Г.Е. Метод мажорантных областей в теории фильтрации. – К.: Наукова думка, 1974. – 200 с.

4. Радьгин В.М., Голубева О.В. Применение функции комплексного переменного в задачах физики и техники. – М.: Высш. шк., 1983. – 161 с.

Отримано 03.07.2009

УДК 697.14

Л.В.ГИРМАН

Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка

ПОКРАЩЕННЯ ТЕПЛОЗАХИСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ІЗ ЗАМКНУТИМИ ПОВІТРЯНИМИ ПРОШАРКАМИ

Виконано дослідження, які дали можливість визначити, як впливають конструктивні характеристики повітряного прошарку на його опір теплопередачі. Проаналізовано характер змін опору теплопередачі замкнутого повітряного прошарку, визначено шляхи покращення теплозахисних властивостей огорожувальних конструкцій.

Выполнены исследования, которые дали возможность определить, как влияют конструктивные характеристики воздушной прослойки на ее сопротивление теплопередаче. Проанализирован характер изменений сопротивления теплопередаче замкнутой воздушной прослойки, определены пути улучшения теплозащитных свойств ограждающих конструкций.

Researches which enabled to define as structural characteristics of air layer influence on his heat-transfer resistance are executed. Character of changes of heat-transfer resistance of the reserved air layer is analyses. The ways of improvement of heat cover properties of external buildings constructions are define.

Ключові слова: огорожувальна конструкція, повітряний прошарок, опір теплопередачі, теплозахисні властивості, відбивна ізоляція, променевий тепловий потік, конвективний тепловий потік.

Теплотехнічна характеристика огорожувальної конструкції будинку або споруди повинна забезпечувати раціональне використання енергетичних ресурсів на обігрівання будівлі, а також нормативні санітарно-гігієнічні параметри мікроклімату приміщень. У статті наведено результати аналізу впливу різних факторів на опір теплопередачі пові-