4. Джумаев А. Я. Возможности использования солнечной энергии в регионах Туркменистана.//Вестник Гомельского Государственного технического университета имени П.О. Сухого. Научно-технический журнал. №3/4 (82,83), 2020. С.74-80.

Назаров С. Г., Рахимов М. Р., Якубов М. С.

О ПРИБЛИЖЕННОМ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ В ТЕПЛИЦЕ

Государственный энергетический институт Туркменистана

Предлагается оптимальная математическая модель использования теплоты продуктов сгорания в электростанциях. Горячая вода с температурой от 40 °С до 55 °С, получаемая при вторичном использовании продуктов сгорания с помощью специальной конструкции, может быть использована для обогрева теплиц и помещений [1, см. библ.]. Предлагаемая в данной работе математическая модель, позволяет построить оптимальную модель процесса установления оптимальной температуры для отопления теплиц.

Рассмотрим одномерную задачу определения оптимальной температуры $u \equiv u(t,x)$ движущейся жидкости по трубе в теплице [1]

$$u_t - au_{x^2} + wu_x + k(t)u = f + f_1, \qquad (x,t) \in Q_T\,, \tag{1}$$

где a −коэффициент теплопроводности, $k(t)$ −коэффициент, характеризующий скорость температуропроводности внешней среды, w −скорость движения жидкости, u − температура жидкости (воды).

Определим начально-граничные условия

$$\begin{cases} u(0,x) = c(x), \quad x \in (0,l) \\ u(t,0) = g(t), \ u(t,l) = 0, t \in (0,T) \end{cases}, \tag{2}$$

где $t \in [0,T]$; $x \in \Omega = (0,l)$, граница $\partial\Omega = S = \{x = 0, x = l\}$, $Q_T = (0,T)X(0,l)$, $S_T = SX[0,T]$; $f_1 = f_1(t,x)$ − постоянно действующая сила, учитывающая температуры внешней среды (воздуха, охлаждающей или подогревающей воды, формы и виды защиты теплицы, интенсивности солнечной радиации и другие параметры); $f = f(t,x)$ −регулируемая внешняя сила (например, геометрическая форма трубы, поверхность нагрева специально создаваемой шероховатостью для интенсификации теплоотдачи при турбулентном течении теплоносителя (воды), температура подаваемой воды, и др.), в граничных условиях (2) функции $g(t)$ − например, регулируемая температура подаваемой воды на границе, т. е. в левом конце трубы, др.

В качестве управляющих параметров принимаем функции f, g из ограниченного множества их значений:$-N_1 \le f(t,x) \le N_2, -N_3 \le g(t) \le N_4$. Считается, что скорость w жидкости известна и постоянна [1]. Сформулируем задачу оптимального моделирования процесса теплопередачи. Требуется найти управляющие функции $f(t,x) = f(t,u)$, $g(t) = g(t,u)$, как функции состояния $u = u(t,u)$ и такие, что в конечный момент времени $t = T$ ($T -$ фиксирован) функционал

$$\mathcal{E}[u(T,x)] = \int_0^l [u(T,x) - \psi(x)]^2\,dx = \|u_T - \psi\|^2, \ (\, u_T = \ u(T,x); t_0 = 0), \tag{3}$$

принимал минимальное возможное значение. Здесь $\psi = \psi(x)$ −заданная функция. По определению положим

$$S[t, u(t,x)] = \min_{\substack{-N_1 \le f(x,\tau) \le N_2; -N_3 \le g(\tau) \le N_4 \\ t \le \tau \le T}} \mathcal{E}[u(T,x)].$$

Тогда $S[t_0, u(t_0,x)]$ будет минимальное значение функционала (3). Для определения функционала $S[t, u(t,x)]$ получено уравнение Беллмана [2]

$$-\frac{\partial S}{\partial t} = \min_{p,f}\{a(u, \vartheta_{x^2}) - (u, k\vartheta) + (f + f_1, \vartheta) + ag(t)\vartheta_x(t,0)\}, \quad (4)$$

$$S[T, u(T,x)] = \mathcal{E}[u(T,x)], \quad (5)$$

где (u, ϑ) − скалярное произведение элементов $u, \vartheta \in L_2(0,l)$, $\vartheta = \vartheta(t,x)$ − функциональная производная Фреше функционала Беллмана S. Из функционального уравнения (4) видно, что оптимальные значения управляющих параметров f, g может достичь при условии, что

$$\tilde{f}(x,t) = \begin{cases} -N_1, & \text{если } \vartheta(t,x) > 0 \\ N_2, & \text{если } \vartheta(t,x) < 0 \end{cases},$$

$$\tilde{g}(t) = \begin{cases} -N_3, & \text{если } \vartheta_x(t,0) > 0 \\ N_4, & \text{если } \vartheta_x(t,0) < 0 \end{cases}. \quad (6)$$

Покажем один способов приближенного решения задачи оптимального моделирования, основанного на способе многошагового процесса метода динамического программирования. Положим $t = T$, тогда значение функционала S не зависит от управления. Так как по условию (5) значение $S\,[T, u\,(T,x)]$ задано, то вычисляем дифференциал Фреше: $\Delta\, S\,[T, u\,(T,x)] = \Phi\,(T, u\,(T,x); h) + 0(h)$, где $\Phi\,(T, u\,(T,x); h)$ можно представить в виде линейного функционала. Используя условие (5) получаем, что $dS\,[T, u\,(T,x)] = d\mathcal{E}\,[u\,(T,x)]$. Согласно определению функционала $\mathcal{E}\,[u(T,x)]$ находим, что $d\mathcal{E}\,[u(T,x)] = 2\int_0^l [u\,(T,x) - \psi\,(x)]h\,(x)\,dx$. Таким образом, $\vartheta\,(T,x) = 2\,[u\,(T,x) - \psi\,(x)]$, $\vartheta_x\,(t,0) = 2\,[u_x\,(T,0) - \psi_x\,(0)]$. Используя найденные значения $\vartheta\,(T,x)$ и уравнения (1), получим явное выражение функциональной производной Фреше функционала Беллмана $S\,[t, u\,(t,x)]$ на элементе $u\,(T,x)$.

Теперь переходим ко второму этапу приближенного решения задачи оптимизации температуры. Берем некоторое малое Δt и вычисление производим для определения $\vartheta\,(T - \Delta t, x)$ в момент времени $T - \Delta t$. Величину $u\,(T - \Delta t, x)$ заменим на $u\,(T - \Delta t, x) + h\,(x)$, $h(0) = h\,(l) = 0$. Используем выражение для $S\,[T - \Delta t, u\,(T - \Delta t, x)]$. С другой стороны, разница $S\,[T - \Delta t, u\,(T - \Delta t, x) + h\,(x)] - S\,[T - \Delta t, u\,(T - \Delta t, x)]$ без учета малых величин высшего порядка дает интеграл следующего вида $\int_0^l a\,(T - \Delta t, x)\,h\,(x)\,dx$. Тогда можно $\vartheta\,(T - \Delta t, x) = a(T - \Delta t, x)$. В итоге получим выражение вида: $\vartheta\,(T - \Delta t, x) = 2u\,(T,x) - 2\psi\,(x) -$

$$-2\left\{a\,[2\,u_{x^2}\,(T,x) - \psi''(x)] - w\psi'(x) - k\,(T)\,[2u\,(T,x) - \psi\,(x)] + \widetilde{f}\,(T,x) + f_1\,(T,x)\right\}\Delta t.$$

Подставляя теперь значения функции $\vartheta\,(T - \Delta t, x)$ в формуле (6) определяем, $\tilde{p}\,(T - \Delta t)$. Таким образом, последовательно можно построить функционал $S\,[t, u(t,x)]$ при любом $t \in [t_0, T]$, следовательно, при любом $t \in [t_0, T]$ определяется функция $\vartheta(t,x)$. Подставляя значение $\vartheta\,(t,x)$ в (6), находим закон управления в любой момент времени.

Программа приближенного решения задачи об оптимальной температуре в теплице

Приведем графическую иллюстрацию оптимальной траектории для первого приближения при $l = 1$ и специально заданных функций. Используем условие (6). Численные значения решения оптимального моделирования получены с помощью программы Matlab R2016a. Положим: $a = 0.6$, $f_1 = \exp(x + t) * \sin t$, $k(t) = 0.3 + 0.1 * t$; $\psi(x) = 40 - 2 * x$; $N_1 = -2$; $N_3 = 45$; $N_4 = 55$; $N_2 = 10$;

```
function Heatoptimization1D
a = 0.60;  m = 0;  N1 =-2;  N3 =-45;  N4 = 55;  N2 = 10;
clc
global sert;
options = odeset ('RelTol', 1e-2,  'Abstol', 1e-2);
 function wFun = w (x, t)
   wFun = 4;
 end
 function kFun = k (t)
   kFun = 0.3 + 0.1 * t;
 end
 function f1Fun = f1 (x ,t)
   f1Fun = exp (x + t) * sin (t);  % external force (refers to pipe geometry, etc.)
 end
 function cFun = c0 (x)       % initial condition
   cFun = -10;
 end
 function [c,f,s] = heatpde (x, t,u, dudx)
     function f0Fun = f0 (x, t)
       function psixFun = psix (x)

         psixFun = 40 – 2 * x;
       end
     if (u – psix (x) ) >0
     f0Fun = -N1;
     end
     if (u – psix (x) ) < = 0
     f0Fun = N2;
     end
     end
     function sertFun=sert (x,t)
          sert = dudx – diff (psix (x), x);
    end
     c  =1;
   f = a * dudx;
   s =-w (x, t) * dudx – k (t)  *u + f0 (x, t) + f1 (x, t);
end

 function u0Fun = heatic (x)
   u0Fun = c0 (x);
```

```
  end
  function [pl, ql, pr, qr ] = heatbc (xl, ul, xr, ur, t)
    function gFun = g (t)
      if sert (0,t) > 0
      pl = ul + N3;
      end
      if sert (0,t) < = 0
      pl = ul – N4;
      end
      end
    pr =  ur;
    ql= 0;
    qr  =0;
  end
x = linspace (0, 1, 100);
t = linspace (0, 1, 100);
sol = pdepe (m, @ heatpde, @ heatic, @ heatbc, x, t, options);
u = sol (:,:,1)
figure (1);
plot (x, u);
title (' Optimum temperature conditions ')
ylabel (' Temperature ');
xlabel ('x ');
figure (2);
mesh (t, x,u)
title (' Numerical solution of heat transfer ')
xlabel ('x ')
ylabel ('t')
zlabel (' Temperature ')
end
```

Укажем графики оптимального режима.

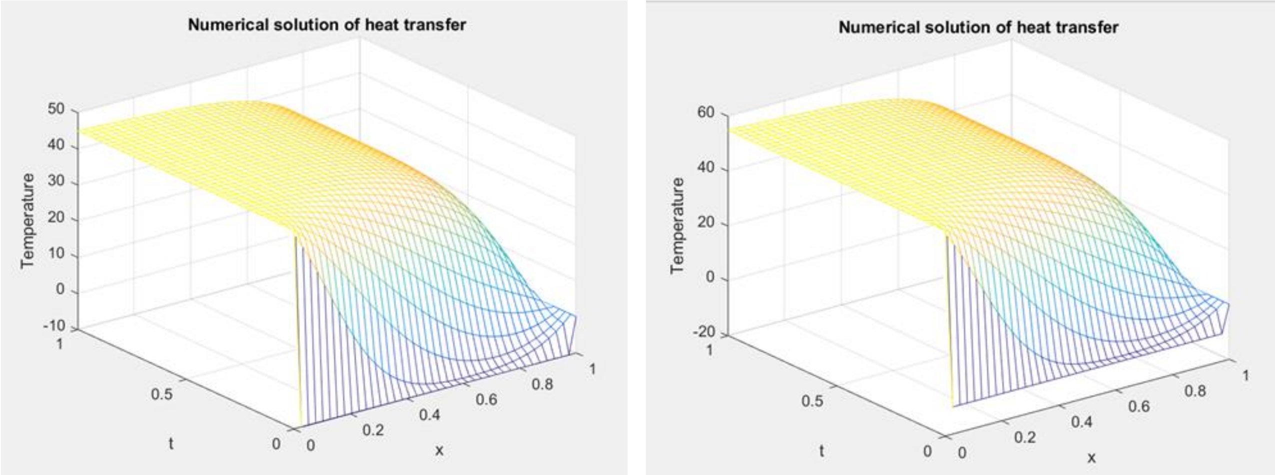

График 5.1 ─ Трехмерный график численного решения задачи об оптимальной температуры в теплице: рисунок а) $g\ (t) = 45$; b) $g\ (t) = 55$.

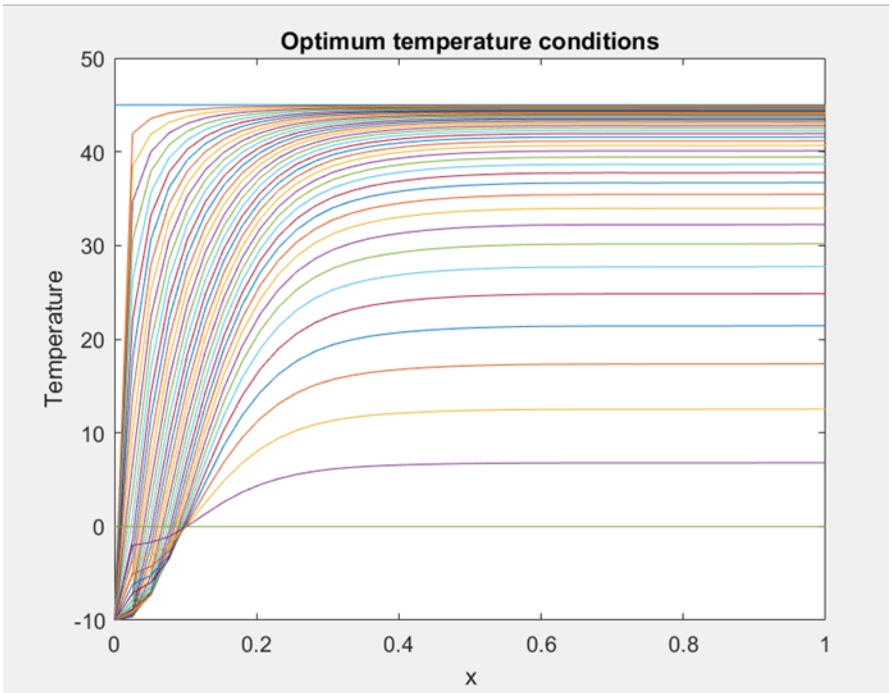

График 5.2 ($g\ (t) = 45$) – Двухмерный график численного решения задачи оптимальной температуры в теплице

Список использованных источников:

1. М. Рахимов, Оптимальное моделирование процессов теплопередачи и колебаний. Методы динамического программирования и спектрального разложения, научная монография, LAP, LAMBERT Academic Publishing, ISBN:978-620-3-30910-2.

Веремейчик А. И., Парфиевич А. Н., Томашев И. Г., Сазонов М. И., Хвисевич В. М.

РАЗРАБОТКА ГЕНЕРАТОРА НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ КИСЛОРОДНОЙ ПЛАЗМЫ

Брестский государственный технический университет. кафедра прикладной механики

Введение. Электродуговые нагреватели газа (плазмотроны) широко применяются для стационарного нагрева газовых сред до состояния низкотемпературной плазмы 10000 К. Использование их в промышленных технологиях обеспечило разнообразие конструктивных решений плазменных устройств. Энергетические и электрофизические характеристики плазмотронов определяются главным образом геометрическими и газодинамическими параметрами разрядной камеры [1–8]. Генераторы кислородной плазмы находят применение в металлургии, химической промышленности, например, получение двуокиси титана и озонирование, а также могут применяться для получения озона в различных областях.

Методика теоретических и экспериментальных исследований. С целью получения исходных данных для моделирования и разработки плазмотрона,