

УДК 536.24:681.51

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ЗАДАЧАХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Кашкарёв А.А., к.т.н.

Таврический государственный агротехнологический университет

Тел.: 0619-42-57-97

Аннотация – проанализированы тепловые процессы в технологических аппаратах производства и переработки продукции сельского хозяйства, систематизированы методы их моделирования, рассмотрен пример моделирования трубчатого теплообменника.

Ключевые слова: тепловые процессы, моделирование, теплообменник.

Постановка проблемы. В сельском хозяйстве трудно найти технологический процесс производства и переработки продукции животноводства или растениеводства, в которых бы не протекали тепловые процессы. Они могут осуществляться в рамках контролируемых этапов производства и преобразования исходного материала или продукции, а также как негативные последствия работы технологических машин и воздействия окружающей среды. Экспериментальные исследования их влияния на объект управления являются многофакторным и многокритериальными, анализ которых требует определенного уровня квалификации (понимание физических процессов нагрева, опыт проведения исследований, умение выделять значимые факторы и анализировать экспериментальные данные) и технического оснащения (средства сбора и обработки данных, лабораторные установки для определения тепловых параметров сред и материалов). Следует отметить, что современный уровень термодинамики, как раздела общеобразовательной дисциплины «физика», описывает окружающие нас тепловые процессы достаточно полно и достоверно. Основные положения термодинамики не единожды были подтверждены экспериментальными исследованиями.

В сельском хозяйстве широко распространены тепловые процессы - нагревание и охлаждение различных агрегатных состояний различными способами (теплопередача, конвекция, облучение и т.д.), причем наибольшее распространение имеют теплообменные аппара-

ты. При внедрении мероприятий по энергосбережению их внедрение или модернизацию рассматривают в первую очередь. Современное программное обеспечение позволяет разработать математическую модель теплообменного аппарата на основе моделей элементов конструкции. Это позволяет упростить процедуру проектирования и обоснования внедрения.

Анализ последних исследований. Из-за разнообразия тепловых процессов и предъявляемых требований к ним, связанных с технологическими требованиями и условиями эксплуатации, применяют аппараты самых различных конструкций и типов. В качестве прямых источников тепла используют главным образом топочные газы, представляющие собой газообразные продукты сгорания топлива, и электрическую энергию. К числу распространенных промежуточных теплоносителей относятся водяной пар и горячая вода. В качестве охлаждающих агентов для охлаждения до обыкновенных температур (10-30°C) применяют в основном воду и воздух.

Все теплообменные аппараты по способу передачи тепла разделяются на две большие группы: поверхностные теплообменные аппараты и аппараты смешения. В поверхностных аппаратах передача тепла от одного теплоносителя к другому осуществляется с участием твердой стенки. Процесс теплопередачи в смесительных теплообменных аппаратах осуществляется путем непосредственного контакта и смешения жидких и газообразных теплоносителей.

Поверхностные теплообменные аппараты подразделяют на рекуперативные и регенеративные. В рекуперативных аппаратах тепло от одного теплоносителя к другому передается через разделяющую их стенку из теплопроводного материала. В регенеративных теплообменных аппаратах теплоносители попеременно соприкасаются с одной и той же поверхностью нагрева, которая в один период нагревается, аккумулируя тепло «горячего» теплоносителя, а во второй период охлаждается, отдавая тепло «холодному» теплоносителю.

Рекуперативные теплообменные аппараты классифицируются по следующим признакам [2]:

- по роду теплоносителей в зависимости от их агрегатного состояния: паро-жидкостные; жидкостно-жидкостные; газо-жидкостные; газо-газовые; паро-газовые;
- по конфигурации поверхности теплообмена: трубчатые аппараты с прямыми трубками; спиральные; пластинчатые; змеевиковые;
- по компоновке поверхности нагрева: типа «труба в трубе»; кожухотрубчатые; оросительные аппараты;

При истечении жидкостей в теплообменнике температура их изменяется: горячая жидкость охлаждается, а холодная нагревается. Характер изменения температуры жидкости, движущейся вдоль поверх-

ности нагрева, зависит от схемы ее движения. В теплообменных аппаратах применяются в основном три схемы движения жидкостей: прямоточная, противоточная, перекрестная.

Теплообменник является сложным объектом с распределенными параметрами. При выводе уравнений динамики необходимо принять ряд допущений [1, 3]:

- 1) количество тепла, которое проходит в направлении потока как в жидкости так и в стенке трубы не учитывается;
- 2) используются средние значения температур по сечению трубопровода и рассматривается изменение температуры только по направлению потока;
- 3) такие параметры как теплоемкость, плотность и коэффициенты теплоотдачи считаются постоянными;
- 4) механической энергией по сравнению с тепловой и потерями тепла в окружающую среду пренебрегаем.

Учитывая распространенность тепловых процессов в сельском хозяйстве, для дальнейшего изучения и построения имитационных моделей их реализации необходимо систематизировать методы моделирования основных элементов технологического оборудования.

Формулирование цели статьи. Систематизировать математические модели тепловых процессов в теплообменниках для построения математических моделей теплообменных аппаратов, с целью их модернизации, оптимизации, обоснование внедрения.

Основная часть. Рассмотрим процесс теплообмена между двумя жидкостями, протекающие в концентрически расположенных трубках, когда нагреваемой является жидкость во внешней трубке (рис. 1). Для данного теплообменника можно записать следующие уравнения, которые характеризуют процесс теплообмена. В этих уравнениях индекс '1' относится к внутреннему потоку, а индекс '2' ко внешнему потоку (рис. 2).

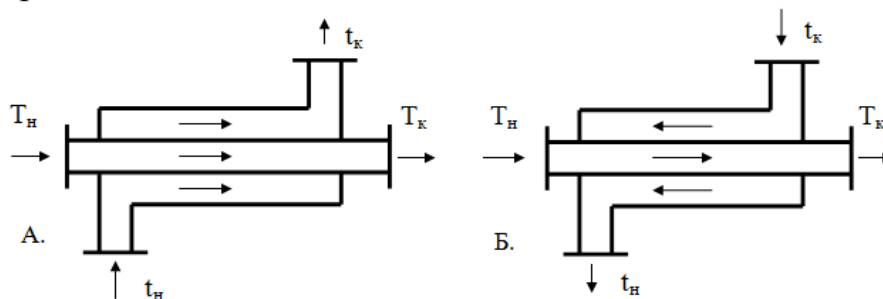


Рис. 1. Схема движения жидкостей в теплообменнике типа «труба в трубе» при прямотоке (А) и противотоке (Б).

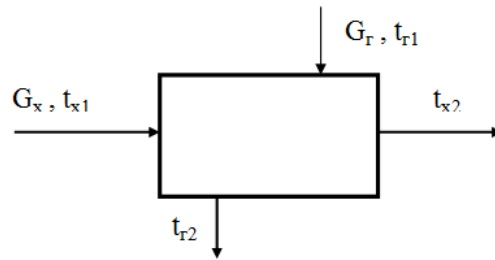


Рис. 2. Расчетная схема теплообменника: t_{x1} - входная температура холодного теплоносителя, °С; G_x - расход холодного теплоносителя, кг/с; T_{x2} - выходная температура нагретого теплоносителя, °С, G_r - расход горячего теплоносителя, кг/с.

Уравнение теплового потока в круглой трубке

$$\frac{dT_1}{dt} + \frac{G_1}{S_1 \cdot \rho_1} \cdot \frac{dT_1}{dx} = \frac{\alpha_1 \cdot \pi \cdot D_e \cdot (T_1 - T_{cm})}{S_1 \cdot \rho_1 \cdot c_1} \quad (1)$$

где α_1 - коэффициент теплопередачи от потока к стенке, Вт/(м²·°С);

ρ_1, c_1 - плотность и удельная теплоемкость теплоносителя, кг/м³, кДж/(кг·°С)

$T_1, T_{ст}$ - температура теплоносителя и стенки трубы, °С;

D_b - внутренний диаметр трубки, м;

S_1 - площадь трубного пространства, м²;

G_1 - расход теплоносителя, кг/с;

x - длина трубки, м.

Введем обозначения

$$C_1 = \frac{G_1}{S_1 \cdot \rho_1};$$

$$C_2 = \frac{\alpha_1 \cdot \pi \cdot D_e}{S_1 \cdot \rho_1 \cdot c_1}$$

Тогда (1) примет вид

$$\frac{dT_1}{dt} + C_1 \cdot \frac{dT_1}{dx} = C_2 \cdot (T_1 - T_{cm}) \quad (2)$$

Уравнение для стенки трубки:

$$\frac{dT_{cm}}{dt} = \frac{1}{K} (\alpha_2 \cdot \pi \cdot D_n \cdot (T_{cm} - T_2) - \alpha_2 \cdot \pi \cdot D_b \cdot (T_1 - T_{cm})), \quad (3)$$

При этом

$$K = \pi \cdot \delta \cdot \rho_{cm} \cdot D_e \cdot c_{cm},$$

где α_2 - коэффициент теплопередачи от стенки к нагреваемому потоку, Вт/(м²·°С);

$\rho_{ст}, c_{ст}$ - плотность и удельная теплоемкость материала стенки трубки, кг/м³, кДж/(кг·°С)

T_{2T} – температура нагриваемой среды, °С;
 D_n – наружный диаметр трубки, м;
 δ – толщина стенки трубки, м.

Введем обозначения:

$$C_3 = \frac{\alpha_2 \cdot \pi \cdot D_n}{K}$$

$$C_4 = \frac{\alpha_1 \cdot \pi \cdot D_e}{K}$$

Тогда (3) примет вид

$$\frac{dT_{cm}}{dt} = C_3 \cdot (T_{cm} - T_2) - C_4 \cdot (T_1 - T_{cm}). \quad (4)$$

Уравнение теплового потока в межтрубном пространстве:

$$\frac{dT_2}{dt} + \frac{G_2}{S_2 \cdot \rho_2} \cdot \frac{dT_2}{dx} = \frac{\alpha_2 \cdot \pi \cdot D_n \cdot (T_{cm} - T_2)}{S_2 \cdot \rho_2 \cdot c_2}, \quad (5)$$

где ρ_2 , c_2 – плотность и удельная теплоемкость нагриваемого потока, кг/м³, кДж/(кг·°С)

T_1 , $T_{ст}$ – температура теплоносителя и стенки трубы, °С;

S_2 – площадь между наружным диаметром греющей трубы и внутренним диаметром стенки кожуха, м²;

G_2 – расход нагриваемого потока, кг/с.

Введем обозначения

$$C_5 = \frac{G_2}{S_2 \cdot \rho_2};$$

$$C_6 = \frac{\alpha_2 \cdot D_n}{S_2 \cdot \rho_2 \cdot c_2}$$

Тогда (5) примет вид

$$\frac{dT_2}{dt} + C_5 \cdot \frac{dT_2}{dx} = C_6 \cdot (T_{cm} - T_2). \quad (6)$$

Исходя из закона сохранения энергии, динамика водо-водяного теплообменного аппарата описывается системой одномерных линейных дифференциальных уравнений в частных производных. Зависимость выходной температуры нагриваемого потока T_2 от температуры греющего потока T_1 и температуры стенок трубки $T_{ст}$ будет описываться системой уравнений, состоящей из уравнений 2, 4 и 6. Решение такой системы уравнений возможно на основе разбития пространственной координаты x (6) на N равных дискретных участков длиной Δx , что позволит задаваясь начальными условиями упростить систему уравнений и свести ее одному временному параметру. Это позволит

использовать стандартные методы решения дифференциальных уравнений в системах визуального программирования (Matlab Simulink, SciLab и др.)

Использование метода конечных элементов графическую модель решения, но позволяет получить более информативное решение и обеспечить универсальность модели.

Выводы. Систематизированы математические модели тепловых процессов проходящих в основных конструктивных элементах теплообменных аппаратов. Предложены методы их решения и направления практических задач.

Список использованных источников

1. Ковязин А. С. Влияние материала и толщины стенки обсадной трубы грунтового теплообменника на теплоотбор из массива грунта / А. С. Ковязин, И. Г. Величко // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 2013. – № 758 : Теплоенергетика. Інженерія докiлля. Автоматизація. – С. 57-62
2. Лисиенко В.Г. Хрестоматия энергосбережения: Справочное издание в 2-х книгах. Книга 1 / В.Г. Лисиенко, Я.М. Щелоков, М.Г. Ладыгичев. Под ред. В.Г. Лисиенко. – М.: Теплотехник, 2005. – 688 с.
3. Прохоренко А.М. Моделирование процессов теплообмена, протекающих в пластинчатых теплообменных аппаратах / А.М. Прохоренко // Вестник МГТУ, - Т. 17, №1. 2014 – С. 92-101

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ У ЗАДАЧАХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА

Кашкаръов А.О.

Анотація – проаналізовані теплові процеси в технологічних апаратах виробництва і переробки продукції сільського господарства, систематизовані методи їх моделювання, розглянуто приклад моделювання трубчастого теплообмінника.

MODELING OF THE HEAT PROCESSES IN AGRICULTURAL PRODUCTION

A. Kashkarov

Summary

The thermal processes in the production technological devices and processing of agricultural products were analyzed, the methods of their simulation modeling were systemized and the example for a tubular heat exchanger simulation was considered.