

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ И КАДРОВ

**Учреждение образования
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»**

**Кафедра тракторов, автомобилей и машин
для природообустройства**

О.В. Понталев, А.А. Рудашко

Теплотехника

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА
ТЕПЛООТДАЧИ ПРИ СВОБОДНОЙ
КОНВЕКЦИИ ВОЗДУХА**

*Методические указания по выполнению лабораторной работы
для студентов обучающихся по специальностям
1-74 06 01 Техническое обеспечение процессов
сельскохозяйственного производства, 1-74 06 04 Техническое
обеспечение мелиоративных и водохозяйственных работ*

**Горки
БГСХА
2019**

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ И КАДРОВ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

Кафедра тракторов, автомобилей и машин
для природообустройства

О.В. Понталев, А.А. Рудашко

Теплотехника

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА
ТЕПЛООТДАЧИ ПРИ СВОБОДНОЙ
КОНВЕКЦИИ ВОЗДУХА**

*Методические указания по выполнению лабораторной работы для
студентов обучающихся по специальностям
1-74 06 01 Техническое обеспечение процессов
сельскохозяйственного производства, 1-74 06 04 Техническое
обеспечение мелиоративных и водохозяйственных работ*

Горки
БГСХА
2019

УДК 697.94:621.1(072)

*Рекомендовано методической комиссией
факультета механизации сельского хозяйства.
Протокол № 9 от 27 мая 2017г*

Авторы:

кандидат технических наук, доцент *О. В. Понталев*;
кандидат технических наук, доцент *А. А. Рудашко*.

Рецензент:

кандидат технических наук, доцент *С. И. Козлов*

Теплотехника. Определение коэффициента теплоотдачи при свободной конвекции воздуха : методические указания по выполнению лабораторной работы / О. В. Понталев, А. А. Рудашко. – Горки : БГСХА, 2019 – 10с.

Приведены общие сведения о конвективном теплообмене, схема и описание лабораторной установки, методика выполнения работы и содержание отчета.

Для студентов обучающихся по специальностям 1-74 06 01 Техническое обеспечение процессов сельскохозяйственного производства, 1-74 06 04 Техническое обеспечение мелиоративных и водохозяйственных работ.

©УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия», 2019

Цель работы: усвоить сведения о механизме конвективного теплообмена и методику экспериментального исследования, определить коэффициент теплоотдачи.

1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ.

Конвективным теплообменом или теплоотдачей называется процесс теплообмена между поверхностью твердого тела и омывающими ее жидкостями или газами. Перенос теплоты при этом происходит в результате молекулярного движения в движущейся среде благодаря перемещению частиц, представляющих большие группы молекул.

В зависимости от причин, обуславливающих движение среды, различают конвекцию свободную и вынужденную. Свободная (естественная) конвекция обусловлена разностью плотностей частиц жидкости или газа. В развитии свободной конвекции большое значение имеет разность температур поверхности и среды.

Вынужденная конвекция вызывается воздействием внешних побудителей: вентилятора, насоса, компрессора, перемешивающего устройства. Как правило, скорости потока при вынужденном движении значительно больше, чем при свободном, поэтому интенсивность теплоотдачи в первом случае будет выше.

Со скоростью потока неразрывно связан режим движения жидкости. Как известно, он может быть ламинарным или турбулентным.

Для ламинарного режима, характерным является струйчатое, параллельное стенкам канала движение, а для турбулентного – хаотическое, сопровождающееся перемещением потока.

Режим движения в процессе теплоотдачи играет немаловажную роль потому, что им определяется механизм переноса теплоты.

При ламинарном режиме перенос теплоты поперек потока осуществляется в основном теплопроводностью, а так как коэффициент теплопроводности для жидкостей и газов имеет небольшую величину, то теплоотдача в этом случае будет затруднена.

При турбулентном режиме движения жидкости происходит перемешивание ее слоев (более и менее нагретых). Поэтому теплообмен между жидкостью и стенкой в данных условиях идет более интенсивно, чем при ламинарном течении. Опыт показывает, что турбулентное движение, установившееся в данном потоке жидкости, не распространяется до самой стенки. У самой ее поверхности жидкость как бы «прилипает» к стенке, и скорость ее относительно стенки равна нулю.

На небольшом расстоянии от стенки скорость частиц мала, а движение ламинарное. Этот участок называется пограничным слоем. Здесь теплота передается исключительно теплопроводностью. Поэтому пограничный слой представляет собой сопротивление потоку теплоты и в нем происходит наибольшая потеря температурного напора.

Переход ламинарного режима (рис. 1) в турбулентный (рис. 2) определяется безразмерным комплексом, называемым числом Рейнольдса

$$Re = \frac{wd}{\nu}, \quad (1)$$

где w – скорость потока, м/с; d – диаметр канала, м;
 ν – кинематическая вязкость потока, м²/с.

Критическое значение Re , при котором наблюдается указанный переход, приблизительно равно 2300. При наличии местных возмущений турбулизация потока может произойти при меньших значениях.

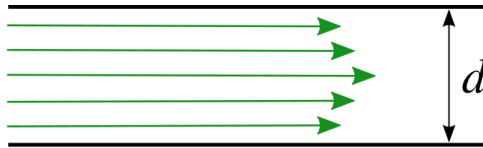


Рис. 1. Ламинарный режим движения жидкости, $Re < 2300$

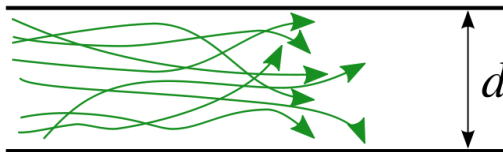


Рис. 2. Турбулентный режим движения жидкости, $Re > 10000$

Как видно, режим движения, а следовательно, и интенсивность теплоотдачи находятся в прямой зависимости от скорости потока и в обратной зависимости от вязкости среды, относящейся к физическим параметрам.

В технике в качестве теплоносителей применяются самые разнообразные вещества: воздух, газы, вода, масло, ртуть, расплавленные металлы и др. Их свойства как теплоносителей определяются некоторыми физическими параметрами (вязкостью, коэффициентами теплопроводности и температуропроводности, удельной теплоемкостью и плотностью), каждый из которых в большей или меньшей степени влияет на конвективный теплообмен. Существенное влияние физических свойств среды на интенсивность теплоотдачи обнаруживается при сравнении газообразной и жидкой сред.

Например, на воздухе раскаленное тело охлаждается очень медленно, в то время как в воде — моментально. Объясняется это прежде всего различием плотностей воздуха и воды. Газы являются сильно разреженными средами, их плотность в сотни раз меньше плотности жидкостей, поэтому точек контакта газов с теплоотдающей поверхностью будет значительно меньше и, следовательно, коэффициент теплоотдачи во много раз ниже.

В зависимости от формы и размеров теплоотдающей поверхности, а также ориентации ее в пространстве изменяются ее условия обтекания тела, степень турбулизации потока.

При свободной конвекции вокруг горизонтальных проволок и труб небольшого диаметра (не менее 2 мм) образуется почти неподвижная пленка среды, которая разрушается, но тут же восстанавливается.

С увеличением диаметра горизонтальной трубы наблюдается переход от неподвижной пленки к ламинарному, а затем турбулентному обтеканию поверхности, что приводит в конечном счете к изменению коэффициента теплоотдачи.

Кроме названных параметров, на величину коэффициента теплоотдачи имеют влияние также объем пространства, в котором развивается процесс, и расстояние от теплоотдающей поверхности до окружающих предметов и др.

Получить расчетное уравнение, которым учитывалось бы влияние всех перечисленных факторов, не представляется возможным, поэтому

до сих пор при расчете конвективного теплообмена пользуются уравнением Ньютона-Рихмана

$$Q = \alpha F(t_c - t_b), \quad (2)$$

где Q – тепловой поток, Вт;

α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К);

t_c и t_b – температура жидкости (газа) и поверхности тела, °С;

F – площадь поверхности, м².

Коэффициент теплоотдачи α равен тепловому потоку, проходящему через единицу площади поверхности при разности температур поверхности и среды в один градус.

В уравнении (2) выделена и показана первопричина теплообмена – разность температур, а вся сложность задачи сведена к определению коэффициента теплоотдачи.

Он является сложной функцией большого числа переменных и зависит от следующих факторов:

1) от характеристик поверхности тела: ее формы, геометрических размеров и пространственного расположения. Например, для пластины, высота которой имеет значительные размеры, возможны все три режима движения среды в пограничном слое (рис. 3).

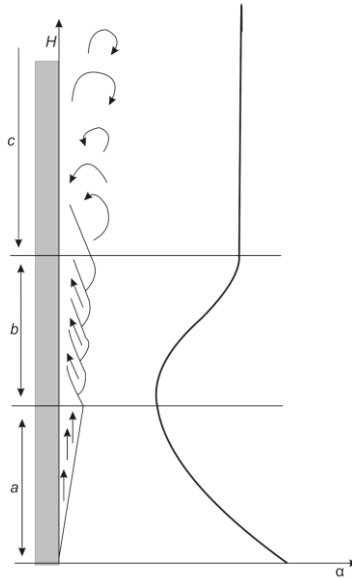


Рис. 3. Изменение коэффициента теплоотдачи в зависимости от пространственного расположения пластины

2) от особенностей движения среды – скорости и режима движения, которые определяются при свободной конвекции разностью температур поверхности и среды и протяженностью поверхности теплообмена;

3) от физических свойств среды: теплопроводности, вязкости, плотности, теплоемкости, а также от давления и температуры.

4) от направления силового потока от стенки к среде или от среды к стенке, причем во втором случае коэффициент теплоотдачи меньше, что объясняется увеличением вязкости вблизи поверхности (при уменьшении температуры) и утолщением при этом пограничного слоя.

2. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ И СХЕМА УСТАНОВКИ.

В настоящей работе исследуется коэффициент теплоотдачи горизонтальной трубы при свободной конвекции воздуха в зависимости от

разности температур поверхности и воздуха. При этом используется метод стационарного теплового потока, для которого характерно стационарное температурное поле.

Коэффициент теплоотдачи рассчитывается исходя из уравнения (2), для чего необходимо измерять тепловой поток, температуры воздуха и теплоотдающей поверхности.

Лабораторная установка, схема которой приведена на рис. 4, расположена в аудитории, размеры которой значительно больше размеров теплоотдающей поверхности. В таких случаях имеет место конвекция в условиях неограниченного пространства.

Внутри горизонтальной трубы 1 наружным диаметром 0,05 м и длиной 1 м установлен электронагреватель. С торцов трубы выполнена тепловая изоляция, а на наружной поверхности установлены три хромель-копелевые термопары 2. Эти термопары, позволяющие измерять температуру теплоотдающей поверхности, подключены через переключатель 3 к измерительному прибору 4.

Для измерения мощности электронагревателя, включенного в сеть через автотрансформатор 5, установлены вольтметр и амперметр.

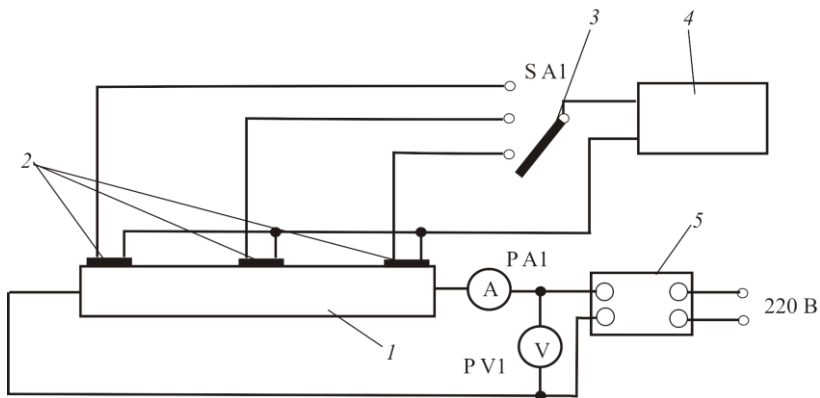


Рис. 4. Схема установки:
1 – горизонтальная труба; 2 – термопары; 3 – переключатель;
4 – измерительный прибор; 5 – автотрансформатор

Рассчитывая тепловой поток, характеризующий конвективный теплообмен трубы с воздухом, требуется учитывать лучистый теплообмен между поверхностью трубы и окружающими телами и предметами:

$$Q = Q_o - Q_{л}, \quad (3)$$

где Q_o – полный тепловой поток, равный мощности электронагревателя и определяющий количество теплоты, отдаваемое поверхностью трубы в секунду, Вт;

$Q_{л}$ – тепловой поток при лучистом теплообмене равен

$$Q_{л} = \varepsilon \cdot C_0 \left[\left(\frac{T_c}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_B}{100} \right)^4 \right] \cdot F, \quad (3)$$

где ε – степень черноты поверхности тела, равно 0,85;

C_0 – коэффициент излучения абсолютно черного тела, 5,67

$$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}^4};$$

T_c и T_B – термодинамические температуры теплоотдающей поверхности и окружающих тел, °К.

Порядок выполнения лабораторной работы.

1. Ознакомиться с лабораторной установкой;
2. Установить мощность электронагревателя (напряжение 100 В);
3. Через каждые 7 мин. измерять температуру теплоотдающей поверхности и воздуха в аудитории. При проведении опыта следить за показаниями амперметра и вольтметра, добиваясь автотрансформатором одной и той же мощности электронагревателя;
4. После проведения 4–6 измерений, после наступления стационарного режима (температура поверхности цилиндрической трубы постоянна), определить температуру наружной поверхности трубы как среднюю арифметическую из температур в точках измерений.
5. Рассчитать по уравнению (4) тепловой поток, характерный для лучистого теплообмена, а затем по уравнению (3) – тепловой поток при конвективном теплообмене трубы с воздухом. Используя зависимость (2), определить коэффициент теплоотдачи.
6. Результаты измерений и расчетов занести в таблицу.

Протокол наблюдений за показаниями измерительных приборов и результаты расчетов

№, п, п	U, В	I, А	t _в , °С	t _с , °С	Q _о , Вт	Q _л , Вт	Q, Вт	α, Вт/(м ² °К)
1								
2								
3								
4								
5								
6								

3. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет включает в себя:

- 1) цель работы;
- 2) принципиальную схему установки и ее краткое описание;
- 3) протокол наблюдений за показаниями измерительных приборов;
- 4) результаты расчетов;
- 5) график процесса изменения значения коэффициента теплоотдачи в зависимости от температуры воздуха внутри помещения.

4. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Каков порядок проведения лабораторной работы?
2. Как устроена и работает лабораторная установка?
3. Какие факторы оказывают влияние на величину коэффициента теплопередачи?
4. Что такое критерий Рейнольдса и как его значение влияет на пограничный слой?
5. От чего зависит тепловой поток при лучистом теплообмене?

Биографический список

1. Захаров, А. А. Практикум по применению теплоты в сельском хозяйстве / А. А. Захаров. – Москва: Агропромиздат, 1985. – 175 с.
2. Теплотехника, отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха : учебник для вузов / В. М. Гусев, [и др.] , под ред. В. М. Гусева. – Ленинград: Стройиздат; Ленингр. отд-ние, 1981. – 343 с.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Основные сведения.....	3
2. Методика исследования и схема установки.....	7
3. Содержание отчета.....	10
4. Вопросы для самопроверки.....	10
Библиографический список.....	10

Учебное издание

Понталев Олег Владимирович
Рудашко Александр Александрович

Теплотехника

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛООТДАЧИ
ПРИ СВОБОДНОЙ КОНВЕКЦИИ ВОЗДУХА**

Методические указания
по выполнению лабораторной работы

Редактор *О. Н. Минакова*
Технический редактор *Н. Л. Якубовская*
Корректор

Подписано в печать 04.09.2019. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная.
Ризография. Гарнитура «Таймс». Усл. печ. л. . Уч.- изд. л.
Тираж 50 экз. Заказ .

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия».
Свидетельство ГРИИРПИ №1/52 от 09.10.2013.
Ул. Мичурина, 13, 213407, г. Горки.

Отпечатано в УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия».
Ул. Мичурина, 5, 213407, г. Горки.