

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования «Северный (Арктический) федеральный университет  
имени М.В. Ломоносова»

**Д.А. Онохин, А.Н. Орехов, Э.Н. Сабуров**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООТДАЧИ В ЦИКЛОННОЙ КАМЕРЕ**

*Учебное пособие*

*Под редакцией доктора технических наук,  
профессора Э.Н. Сабурова*

Архангельск  
САФУ  
2018

УДК 536.244/253:621.783.233.3  
ББК 31.16  
О-59

*Рекомендовано к изданию учебно-методическим советом  
Северного (Арктического) федерального университета  
имени М.В. Ломоносова*

*Рецензенты:*

*В.А. Ванин, генеральный директор ЗАО «Архгипродрев»;  
О.Б. Колибаба, канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой «Энергетика  
теплотехнологий и газоснабжение» ИГЭУ им. В.И. Ленина (г. Иваново)*

**Онохин, Д.А.**

О-59 Исследование теплоотдачи в циклонной камере: учебное пособие / Д.А. Онохин, А.Н. Орехов, **Э.Н. Сабуров**; под ред. д-ра техн. наук, проф. Э.Н. Сабурова; Сев. (Арктич.) федер. ун-т им. М.В. Ломоносова. – Архангельск: САФУ, 2018. – 123 с.: ил.  
ISBN 978-5-261-01327-3

Рассмотрены вопросы методики, содержания и порядка проведения исследований по теплоотдаче на боковой поверхности рабочего объема циклонной камеры, обработки и обобщения опытных данных, оценки погрешностей измерений.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлению подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника».

ISBN 978-5-261-01327-3

© Онохин Д.А., Орехов А.Н., Сабуров Э.Н.,  
2018

© Северный (Арктический) федеральный  
университет им. М.В. Ломоносова, 2018

## ОСНОВНЫЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

$D_k$  – диаметр рабочего объема циклонной камеры;

$L_k$  – длина рабочего объема циклонной камеры;

$d_{\text{вых}}$  – диаметр выходного отверстия камеры;

$h_{\text{вх}}$  – высота входного канала (шлица);

$f_{\text{вх}}$  – площадь входа потока в камеру (входных каналов);

$Re_{\text{вх}} = v_{\text{вх}} D_k / \nu_{\text{вх}}$  – число Рейнольдса, определенное по входным условиям (входное число Рейнольдса);

$v_{\text{вх}}$  – скорость потока во входных каналах (шлицах) камеры;

$v$  – полная скорость потока в данной точке рабочего объема камеры;

$w_\phi$  – тангенциальная компонента полной скорости потока;

$\nu_{\text{вх}}$  – кинематический коэффициент вязкости потока во входных каналах (при входных условиях);

$P_{\text{с.д}}, P_{\text{с.п}}, P_{\text{с.вх}}, P_{\text{с.ст}}$  – избыточные статические давления: в контрольных сечениях перед и после измерительного сужающего устройства, во входных каналах, на боковой поверхности (стенке) рабочего объема камеры;

$Q_T, Q_0$  – теоретический и действительный объемные расходы воздуха;

$Q, Q_k, Q_l$  – тепловой поток: суммарный, конвективный, лучистый;

$G$  – масса конденсата;

$r_{\text{п}}$  – удельная теплота парообразования;

$T_k, T_{\text{ст}}$  – абсолютная температура: поверхности теплообмена калориметра, внутренней поверхности камеры (рабочего объема);

$\epsilon_{\text{пр}}, \epsilon_k, \epsilon_{\text{ст}}$  – степень черноты: приведенная системы, поверхности калориметра, поверхности рабочего объема циклонной камеры;

$l_{\text{р.у}}$  – длина рабочего участка калориметра;

$F_k = \pi D_k l_{\text{р.у}}$  – площадь рабочей поверхности теплообмена калориметра;

$F_{\text{ст}} = \pi D_k L_k$  – площадь боковой поверхности рабочего объема циклонной камеры;

$Nu = \alpha D_k / \lambda_{\text{вх}}$  – число Нуссельта;

$\alpha$  – коэффициент теплоотдачи;

$\lambda_{\text{вх}}$  – коэффициент теплопроводности воздуха при входной температуре (на входе в камеру);

ДТП – датчик теплового потока;

ГДТП – градиентный датчик теплового потока;

эдс – электродвижущая сила.

## ВВЕДЕНИЕ

Федеральная целевая программа «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы» [1] среди важнейших выделила проблему повышения энергоэффективности технологий и оборудования, решение которой во многом зависит от возможностей интенсификации тепломассообменных процессов.

Одним из перспективных способов интенсификации конвективного теплообмена является применение закрученных высокотурбулентных потоков жидкостей и газов [2–6]. Они находят применение в циклонных печах, рекуператорах, вихревых горелках, сушильных камерах, в топках котлоагрегатов, в камерах сгорания газовых турбин, в новых конструкциях теплообменных аппаратов, в химических реакторах для вихревого газодинамического регулирования и стабилизации пламени низкотемпературной плазмы при переработке различных материалов в плазменной среде, в энерготехнологических установках и печах черной и цветной металлургии, в плазменных генераторах, в газовых ядерных реакторах для космической техники, в МГД генераторах вихревого типа и многих других технических устройствах.

Одним из наиболее широко применяемых в промышленных условиях генераторов закрученных потоков являются циклонно-вихревые камеры. Поэтому в процессе изучения дисциплин «Гидрогазодинамика» и «Тепломассообмен» обучающиеся выполняют работы «Исследование аэродинамики циклонной камеры» [7] и «Исследование теплоотдачи цилиндра в закрученном потоке» [8]. В процессе их выполнения обучающиеся подробно знакомятся с общими особенностями закрученного потока, влиянием его на основные аэродинамические характеристики параметров циклонно-вихревой камеры, с приборами и техникой аэродинамического и теплового экспериментов, обработкой и анализом опытных данных. Настоящее учебное пособие является их продолжением и развитием.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ОСНОВНЫЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ .....	3
ВВЕДЕНИЕ .....	4
ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ .....	5
1. ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ И МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЙ .....	7
2. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТОВ .....	16
3. РАСЧЕТ РАСХОДА ВОЗДУХА ЧЕРЕЗ ИЗМЕРИТЕЛЬНУЮ ДИАФРАГМУ .....	20
4. ОБРАБОТКА ОПЫТНЫХ ДАННЫХ ПО КОНВЕКТИВНОМУ ТЕПЛООБМЕНУ .....	28
5. РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЙ .....	35
6. ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ЗАЩИТЕ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ .....	39
7. ОБРАБОТКА ОПЫТНЫХ ДАННЫХ .....	42
8. ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ .....	49
ПРИЛОЖЕНИЯ .....	102
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	121