

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ДИЗАЙНА»**

---

**ВЫСШАЯ ШКОЛА ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГЕТИКИ**

**ИССЛЕДОВАНИЕ  
ТЕПЛОАЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК  
РЕКУПЕРАТИВНЫХ ПЛАСТИНЧАТЫХ  
ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ**

**Учебно-методическое пособие  
для выполнения лабораторных работ**

**Санкт-Петербург  
2017**

УДК 621.184(075)  
ББК 31.71я7  
И 889

Исследование теплоаэродинамических характеристик рекуперативных пластинчатых теплообменных аппаратов: учебно-методическое пособие для выполнения лабораторных работ / сост. В.А. Суслов, В.Н. Белоусов, А.Н. Иванов, С.В. Антуфьев. ВШТЭ СПбГУПТД. - СПб. 2017. -22 с.

В настоящем учебно-методическом пособии рассматриваются методы исследования процессов передачи теплоты в пластинчатых теплообменных аппаратах. Приводятся теоретические основы, схемы лабораторных установок, порядок проведения эксперимента и обработки полученных опытных данных.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлению подготовки 13.03.01 и 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника».

Рецензенты: д-р техн. наук, профессор кафедры «Процессы и аппараты химической технологии» Высшей школы технологии и энергетики СПбГУПТД В.С. Куров;  
канд. техн. наук, доцент кафедры «Теплоэнергетика и теплосиловые установки» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I В.И. Крылов.

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом Высшей школы технологии и энергетики СПбГУПТД в качестве учебно-методического пособия.

© Высшая школа технологии и энергетики  
СПбГУПТД, 2017

© Суслов В.А., Белоусов В.Н., Иванов А.Н.,  
Антуфьев С.В., 2017

## Введение

Теплообменным аппаратом называется устройство, в котором осуществляется передача тепла от одной рабочей среды к другой. В качестве рабочих сред в теплообменных аппаратах могут применяться пар, жидкие и газообразные вещества.

Передача тепла от одной рабочей среды к другой осуществляется через разделяющую поверхность или при непосредственном соприкосновении путём смешивания рабочих сред. В первом случае теплообменные аппараты называются рекуперативными (воздухоподогреватели, пароперегреватели, маслоохладители, экономайзеры и т.д.), а во втором – смесительными (градирни, деаэраторы, скрубберы и т.д.).

На интенсивность процесса теплопередачи в теплообменных аппаратах оказывают влияние физические свойства рабочих сред, их скорость, направление движения потоков относительно друг друга (прямоток, противоток, перекрёстный ток), равномерность распределения потоков по сечению, загрязнения и другие факторы.

Оценка тепловой эффективности различных теплообменных аппаратов производится по величине коэффициента теплопередачи  $k$  [Вт/(м<sup>2</sup>·°С)] и суммарным затратам мощности по обеим сторонам на преодоление сопротивления, отнесенным к единице поверхности теплообмена  $N_o$  [Вт/м<sup>2</sup>].

В программу обучения студентов специальности «Промышленная теплоэнергетика» наряду с обязательным курсом «Тепломассообмена» входит дисциплина «Тепломассообменное оборудование предприятий».

В рамки обучения наряду с лекциями и практическими занятиями входят и лабораторные работы, целью которых является приобретение практических навыков по исследованию процесса теплопередачи в различных теплообменниках, в частности, исследование газо-газовых теплообменных аппаратов рекуперативного типа с различными схемами движения рабочих сред.

Газо-газовые теплообменники широко применяются в качестве воздухоподогревателей, утилизаторов тепла вторичных энергоресурсов, теплоуловителей и т.п.

Одним из путей усовершенствования теплообменных аппаратов является разработка конструкций теплопередающих устройств на базе профильно-пластинчатых поверхностей нагрева. Теплообменные аппараты из профильных листов по габаритам в  $2\div 2,5$  раза, а по массе на  $20\div 50$  % меньше трубчатых. При этом трудозатраты на их изготовление можно снизить за счёт создания безотходной технологии с частичной или полной автоматизацией процесса сборки.

Целью лабораторных работ является:

- углубление студентами знаний по теории конвективного теплообмена в условиях вынужденного движения потока в профильных поверхностях нагрева, а также изучение методики экспериментального определения коэффициента теплопередачи и его зависимости от факторов, определяющих процесс теплообмена;
- приобретение студентами навыков по самостоятельному проведению экспериментальных исследований, обработке опытных данных и анализу полученных результатов.

# Исследование теплоаэродинамических характеристик рекуперативных пластинчатых теплообменных аппаратов

## Схема и описание экспериментальной установки

Схема экспериментальной установки приведена на рис.1. Установка разомкнутого типа состоит из двух параллельных ветвей, на которых смонтированы теплообменный аппарат с противоточной 1 и перекрёстно-точной 2 схемами движения рабочих сред.

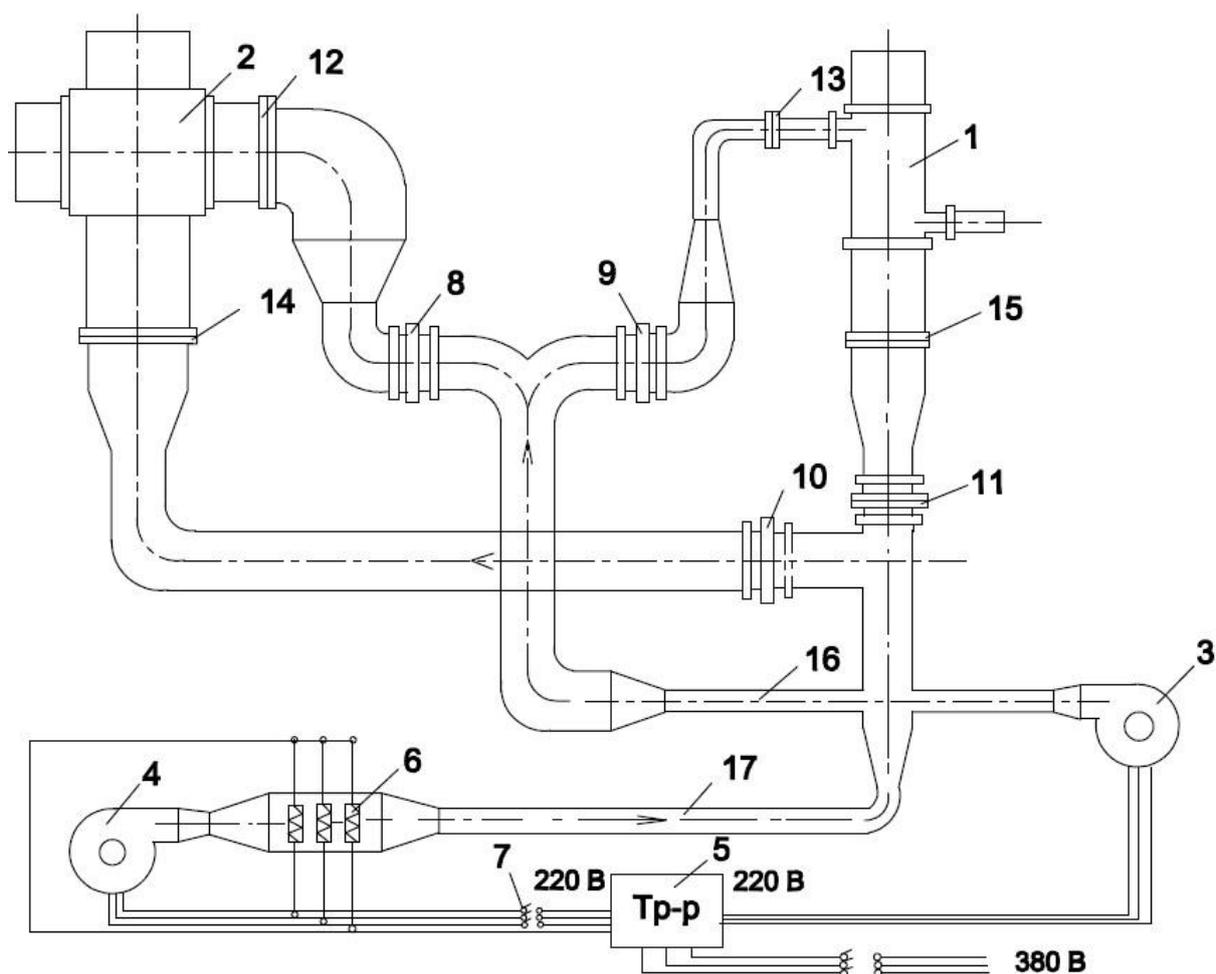


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Холодный воздух подается центробежным вентилятором 3 производительностью  $200 \text{ м}^3/\text{ч}$ , установленным на раме, и распределяется на два потока. Горячий воздух нагнетается центробежным вентилятором 4 производительностью  $200 \text{ м}^3/\text{ч}$ . На всасывающих патрубках вентиляторов установлены фильтры для очистки воздуха, выполненные из латунной сетки. Питание вентиляторов осуществляется от сети переменного тока напряжением 380 В. Электродвигатели имеют рабочее напряжение 220 В, поэтому в электрической схеме установки предусмотрен понижающий трансформатор 5 380/220 В.

Подогрев воздуха осуществляется электрическим нагревателем 6, установленным за вентилятором 4. Нагреватель состоит из трёх параллельно включённых спиралей единичной мощностью 600 Вт. Регулирование температуры горячего воздуха производится последовательным включением рубильников 7 каждой из спиралей.

Изменение расходов холодного и горячего воздуха осуществляется, соответственно, шиберами 8, 9 и 10, 11, установленными на входе рабочих сред в каждый опытный пакет. Для обеспечения равномерности профиля скоростей на входе в опытные пакеты по тракту холодного и горячего воздуха установлены стабилизирующие решетки сотовой конструкции, соответственно, 12, 13 и 14, 15.

Для измерения расхода воздуха предусмотрены стабилизирующие участки 16, 17 длиной 1000 мм каждый, выполненные из алюминиевых труб внутренним диаметром 53 мм. Для удобства проведения эксперимента контрольные приборы смонтированы на общем щите.

# Конструкция и основные геометрические характеристики опытных пакетов

## Лабораторная работа № 1

Общий вид *противоточного* теплообменного аппарата и профильного листа приведены на рис. 2 и 3.

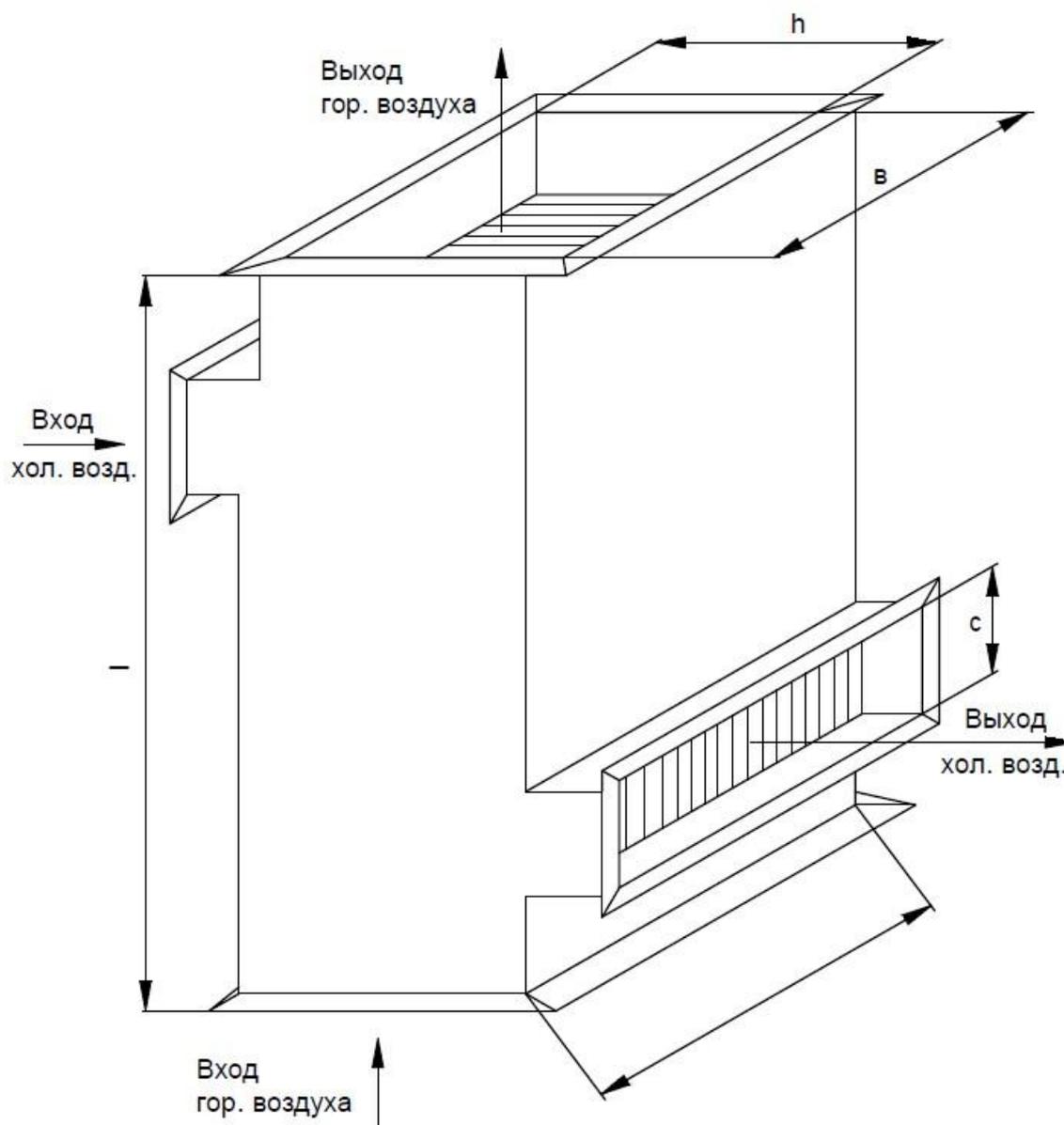


Рис. 2. Противоточный теплообменник

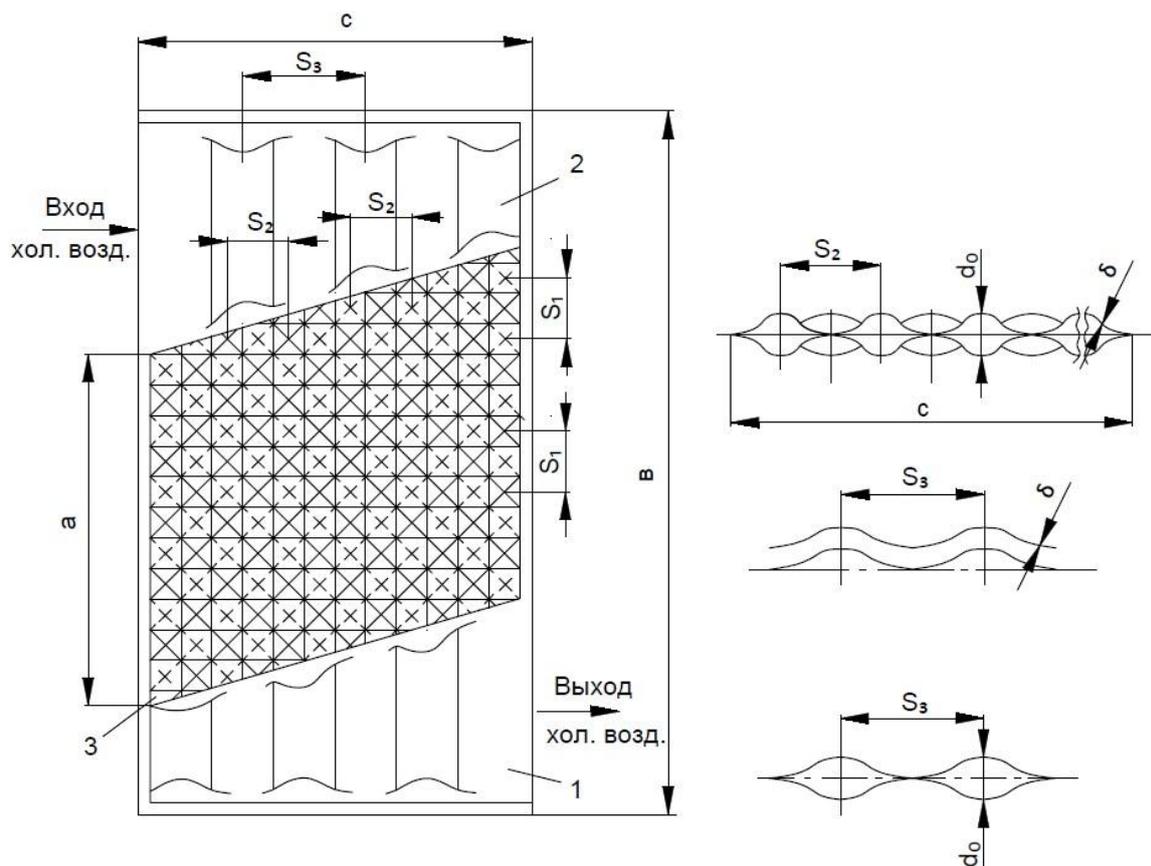


Рис. 3. Профильный лист противоточного теплообменника

Профильные листы изготовлены методом холодной штамповки из листовой латуни толщиной  $\delta = 0,5$  мм. По периметру листы имеют плоские кромки шириной 5 мм для возможности сварки или пайки при сборке опытного пакета.

Поверхность профильного листа выполнена в виде пирамидальных выступов со сфероидальными вершинами, расположенными по обе стороны от плоскости листа в шахматном порядке с шагами  $S_1 = S_2$ . Профильный лист состоит из входного 1, выходного 2 участков и противоточной части 3.

При сборке листов в противоточной части образуются двухугольные зигзагообразные каналы равнопроходного сечения для обоих теплоносителей. Во входных и выходных участках образуются щелевые волнообразные каналы для холодного воздуха с увеличенным шагом по волне, равным  $S_3 = 2S_1 = 2S_2$ , и прямоугольные двухугольные каналы для прохода горячего воздуха.

Геометрические характеристики профильного листа, образуемых каналов для прохода теплоносителей и основные конструктивные характеристики противоточного опытного пакета представлены в табл.1 и 2.

Таблица 1

Геометрические характеристики профильного листа

Наименование	Обозначение	Размерность	Значение
Габариты листа:			
<i>ширина</i>	c	мм	142
<i>высота</i>	в	мм	252
<i>толщина</i>	$\delta$	мм	0,5
Высота противоточной части	a	мм	140
Шаги по волне противоточной части:			
<i>продольный</i>	S <sub>1</sub>	мм	24
<i>поперечный</i>	S <sub>2</sub>	мм	24
Шаг по волне входного и выходного участков	S <sub>3</sub>	мм	48
Геометрические характеристики канала:			
<i>внутренний диаметр</i>	d <sub>0</sub>	мм	10,5
<i>эквивалентный диаметр</i>	d <sub>э</sub>	мм	9,65
<i>смоченный периметр</i>	П	мм	24,9
<i>площадь живого сечения</i>	f <sub>к</sub>	мм <sup>2</sup>	120,2

Таблица 2

Конструктивные характеристики противоточного опытного пакета

Наименование	Обозначение	Размерность	Значение
Габариты пакета:			
<i>ширина</i>	h	мм	146
<i>высота</i>	l	мм	300
<i>глубина</i>	b	мм	210
Количество листов в пакете	n	-	36
Количество элементов	m	-	18
Количество рядов выступов по воздуху:			
<i>горячему</i>	n <sub>1</sub>	-	6
<i>холодному</i>	n <sub>2</sub>	-	5
Проходные сечения пакета по воздуху:			
<i>горячему</i>	f <sub>1</sub>	мм <sup>2</sup>	12984
<i>холодному</i>	f <sub>2</sub>	мм <sup>2</sup>	12984
Поверхность нагрева	F	м <sup>2</sup>	1,15

## Лабораторная работа № 2

Общий вид перекрёстноточного теплообменного аппарата и профильного листа представлены на рис. 4 и 5.

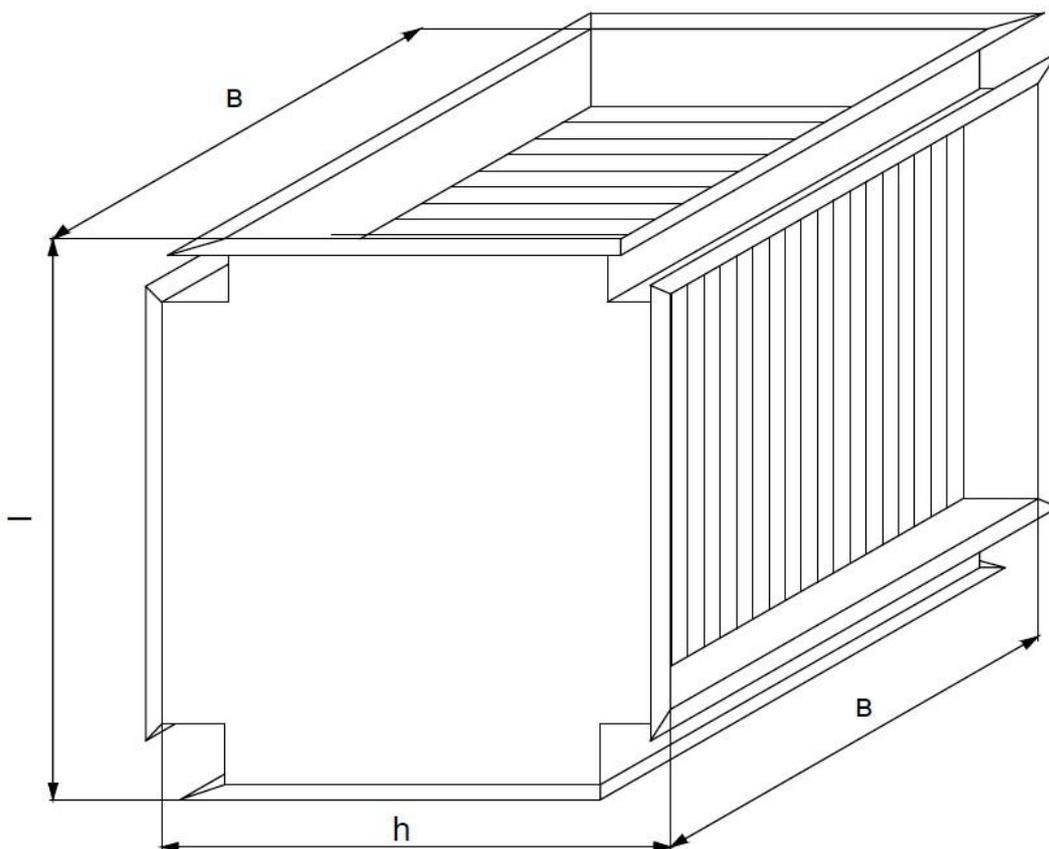


Рис. 4. Перекрёстноточный теплообменник

Геометрические характеристики профильного листа, образуемых каналов для прохода теплоносителей и основные конструктивные характеристики опытного пакета перекрёстноточного теплообменника приведены в табл. 3 и 4.

Таблица 3

## Геометрические характеристики профильного листа

Наименование	Обозначение	Размерность	Значение
Габариты листа:			
<i>высота</i>	<i>v</i>	мм	252
<i>ширина</i>	<i>c</i>	мм	133
<i>толщина</i>	$\delta$	мм	0,5
Шаги по волне:			
<i>продольный</i>	$S_1$	мм	24
<i>поперечный</i>	$S_2$	мм	24
Геометрические характеристики канала:			
<i>внутренний диаметр</i>	$d_1$	мм	10,5
<i>эквивалентный диаметр</i>	$d_3$	мм	9,65
<i>смоченный периметр</i>	$\Pi$	мм	24,9
<i>площадь живого сечения</i>	$f_k$	мм <sup>2</sup>	120,2

Таблица 4

## Конструктивные характеристики перекрёстноточного опытного пакета

Наименование	Обозначение	Размерность	Значение
Габариты пакета:			
<i>ширина</i>	<i>h</i>	мм	134
<i>высота</i>	<i>l</i>	мм	255
<i>глубина</i>	<i>b</i>	мм	227
Количество листов в пакете	<i>n</i>	-	44
Количество элементов	<i>m</i>	-	22
Количество рядов выступов по воздуху:			
<i>горячему</i>	$n_1$	-	9,5
<i>холодному</i>	$n_2$	-	6
Проходные сечения пакета по воздуху:			
<i>горячему</i>	$f_1$	мм <sup>2</sup>	29982
<i>холодному</i>	$f_1$	мм <sup>2</sup>	15148
Поверхность нагрева	<i>F</i>	м <sup>2</sup>	1,3

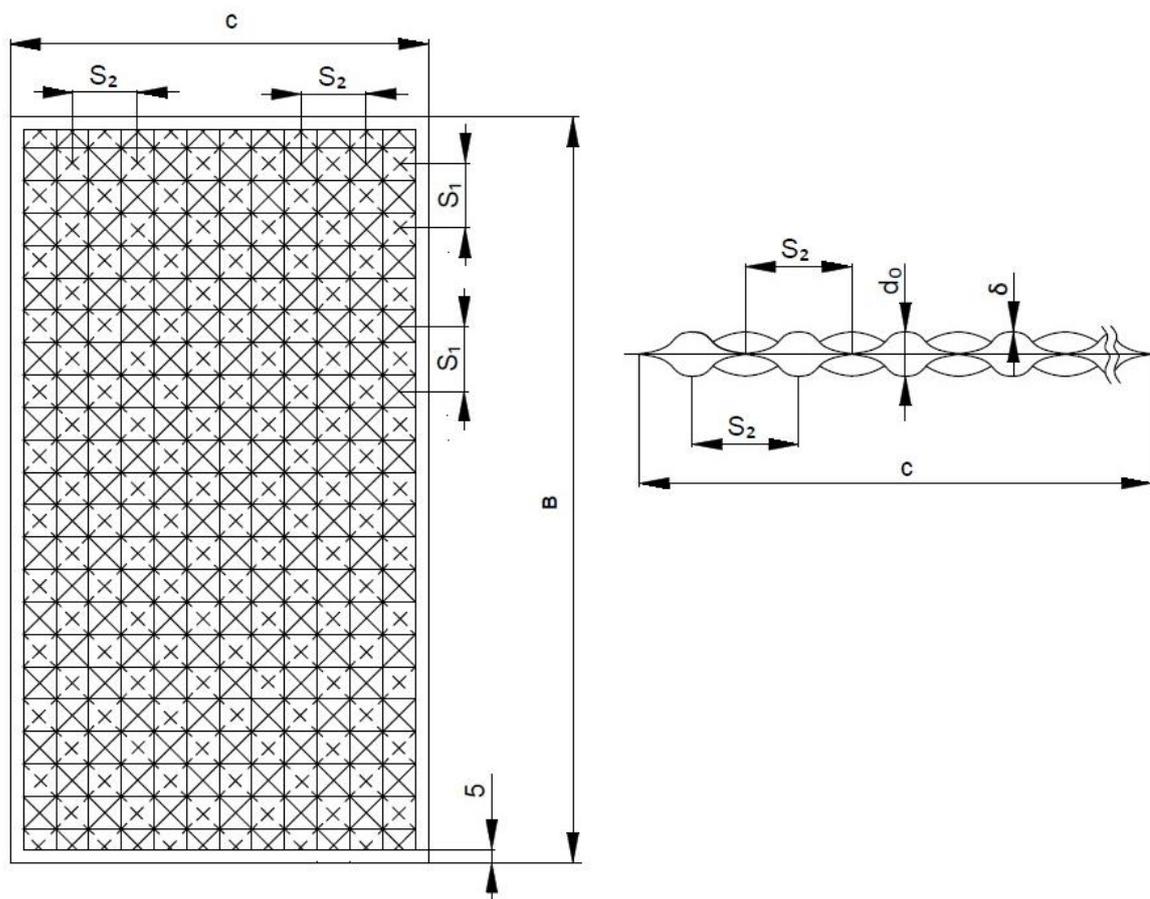


Рис. 5. Профильный лист перекрёстноточного теплообменника

Профильные листы изготовлены методом холодной штамповки из листовой латуни толщиной  $\delta = 0,5$  мм. Поверхность профильного листа аналогична поверхности листа противоточного теплообменного аппарата, но не имеет входных и выходных участков.

### **Подготовка к проведению опытов и методика измерений**

Перед началом работы необходимо тщательно ознакомиться с опытной установкой, проверить правильность включения измерительных приборов. Пуск установки в работу и изменение режимов осуществляется под наблюдением преподавателя.

Перед включением электрооборудования необходимо проверить исправность электрической схемы. После этого включается трёхфазная розетка, затем рубильник на распределительном щите. Перед пуском

вентиляторов необходимо обеспечить полное закрытие всех шиберов и установку заградительной решетки в закрытое положение. После включения вентиляторов открывают шиберы на одной из ветвей и устанавливают минимальный расход воздуха. Затем включается одна спираль электронагревателя.

**Работа производится только на одной из ветвей установки. Шиберы другой ветви должны быть плотно закрыты.**

При заданном расходе воздуха добиваются установившегося теплового состояния (стационарного режима), наличие которого контролируется температурой воздуха на выходе из теплообменного аппарата, после чего производят необходимые измерения, результаты которых записываются в журнал наблюдений.

Рекомендуется провести 7÷10 режимов измерений: при постоянном расходе горячего воздуха (греющей среды) постепенно увеличивать расход холодного воздуха (нагреваемой среды).

Затем устанавливают больший расход греющей среды и включают дополнительный нагреватель. Опыты следует проводить при 3÷4 различных значениях расхода горячего воздуха.

Принципиальная схема измерений приведена на рис. 6.

Измерение расхода холодного и горячего воздуха производится в измерительных участках 1 и 2 с помощью трубок Прандтля 3 и 4. Динамический напор измеряется U-образными манометрами 5 и 6. Плотность воздуха определяется по его температуре, измеряемой хромель-копелевыми термопарами 7 и 8 стандартной градуировки.

Температура холодного и горячего воздуха на входе и выходе из теплообменника измеряется хромель-копелевыми термопарами 9÷16 в пяти точках по сечению газопроводов. Величина электродвижущей силы измеряется лабораторным потенциометром 17 типа ПП-63. Холодные концы всех термопар расположены в термостате 18. Нулевая температура холодных концов термопар обеспечивается тающим льдом и контролируется ртутным

термометром с ценой деления 0,1 °С. Для удобства обслуживания все термопары выведены на щёточный переключатель 19.

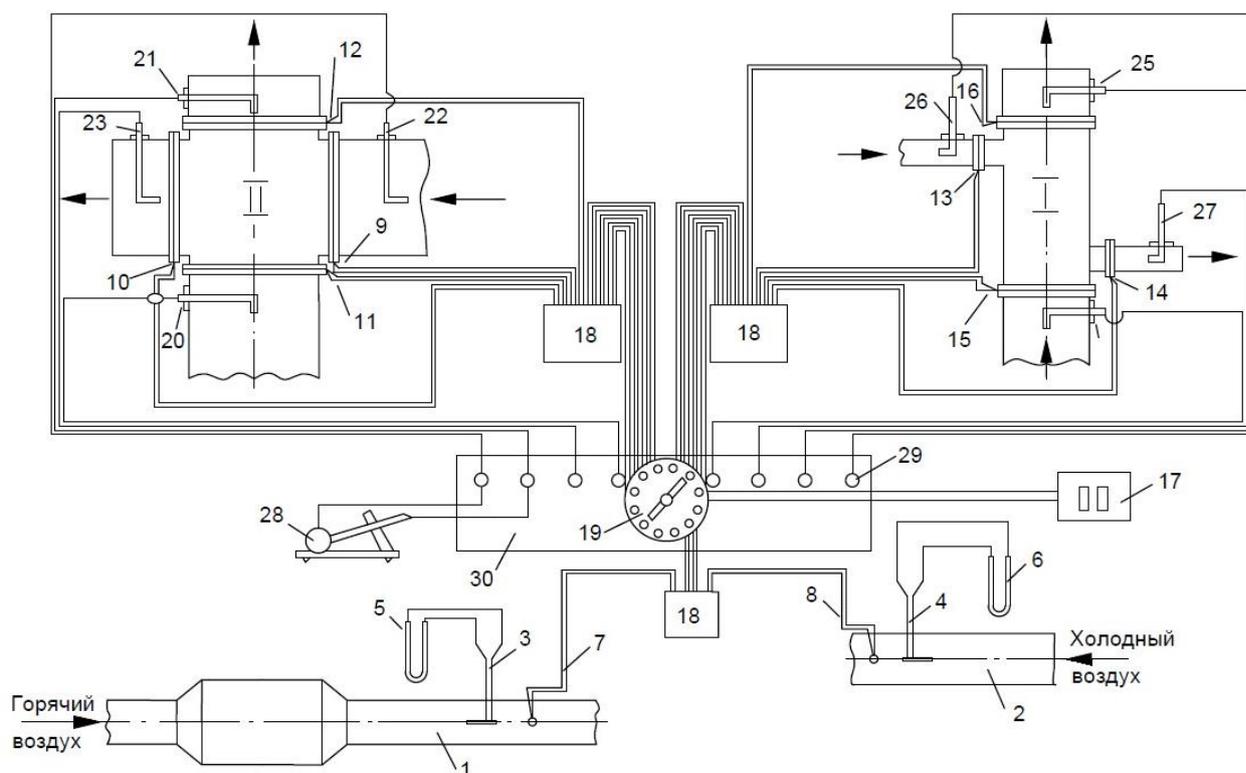


Рис. 6. Принципиальная схема измерений

Сопротивление теплообменных аппаратов определяется по разности статических давлений на входе и выходе соответствующей среды. Разность статических давлений измеряется с помощью трубок статического отбора 20÷27, установленных в подводящих и отводящих коробах, и микроманометра 28 типа ММН с наклонной шкалой. Импульсные шланги трубок статического отбора выведены на штуцеры 29 центрального щита 30.

### Методика обработки результатов эксперимента

*Опытное* значение коэффициента теплопередачи теплообменного аппарата вычисляется из основного закона теплопередачи

$$k_{\text{оп}} = \frac{Q}{F \cdot \Delta t_{\text{cp}}}, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С}),$$

где  $Q$  – количество тепла, воспринятое холодным воздухом, Вт;

$F$  – расчётная поверхность нагрева теплообменного аппарата,  $\text{м}^2$ ;

$\Delta t_{\text{ср}}$  – среднелогарифмический температурный напор,  $^{\circ}\text{C}$ .

Количество тепла, переданного от горячего воздуха к холодному, определяется из уравнения теплового баланса

$$Q = G_{\text{х.в}} \cdot C_{\text{х.в}} \cdot (t_{\text{ввых}}^{\text{х.в}} - t_{\text{вх}}^{\text{х.в}}) = G_{\text{г.в}} \cdot C_{\text{г.в}} \cdot (t_{\text{вх}}^{\text{г.в}} - t_{\text{ввых}}^{\text{г.в}}) - Q_{\text{пот}},$$

где  $G$  – массовый расход воздуха (горячего и холодного), кг/с;

$C$  – теплоемкость воздуха (горячего и холодного), Дж/(кг $\cdot$  $^{\circ}\text{C}$ );

$(t_{\text{ввых}}^{\text{х.в}} - t_{\text{вх}}^{\text{х.в}})$  – изменение температуры холодного воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$(t_{\text{вх}}^{\text{г.в}} - t_{\text{ввых}}^{\text{г.в}})$  – изменение температуры горячего воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$Q_{\text{пот}}$  – потери тепла в окружающую среду, Вт.

Доля потерь тепла в окружающую среду

$$m = \frac{Q_{\text{г.в}} - Q_{\text{х.в}}}{Q_{\text{г.в}}} \cdot 100, \%$$

Массовый расход проходящего через теплообменник воздуха (горячего и холодного) вычисляется из уравнения расхода

$$G = f \cdot \rho \cdot W,$$

при этом скорость воздуха  $W$  определяется в соответствии с измеренным динамическим напором  $\Delta P_{\text{тр}}$  из формулы

$$\Delta P_{\text{тр}} = \rho \frac{W^2}{2},$$

где  $f$  – площадь сечения измерительного участка,  $\text{м}^2$ ;

$\rho$  – плотность воздуха в измерительном участке, кг/ $\text{м}^3$ ;

$\Delta P_{\text{тр}}$  – динамический напор, Па.

Среднелогарифмический температурный напор определяется в соответствии со схемой, приведенной на рис.7:

а) для противоточной схемы движения рабочих сред

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{\Delta t_{\text{г}} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln \frac{\Delta t_{\text{г}}}{\Delta t_{\text{м}}}}, \text{ } ^{\circ}\text{C};$$

б) для схемы движения с перекрёстным током

$$\Delta t_{cp} = \varepsilon_{\Delta t} \cdot \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_{M}}{\ln \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{M}}}, \text{ } ^{\circ}\text{C},$$

где

$$\Delta t_{\delta} = t_{BX}^{Г.В} - t_{ВЫХ}^{Х.В}, \text{ } ^{\circ}\text{C};$$

$$\Delta t_{M} = t_{ВЫХ}^{Г.В} - t_{ВХ}^{Х.В}, \text{ } ^{\circ}\text{C};$$

$\varepsilon_{\Delta t} = f(P, R)$  – коэффициент, учитывающий схему движения теплоносителей.

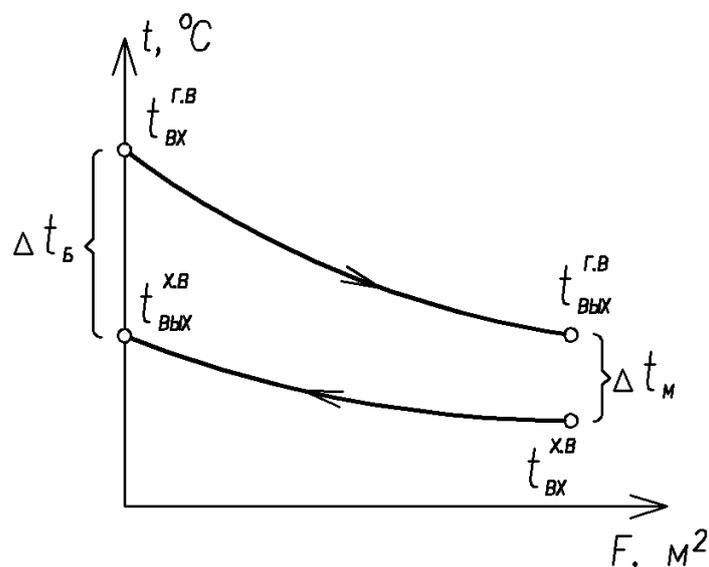


Рис. 7. Схема определения температурного напора

Безразмерные комплексы P и R:

$$P = \frac{t_{ВЫХ}^{Х.В} - t_{ВХ}^{Х.В}}{t_{ВХ}^{Г.В} - t_{ВХ}^{Х.В}}; \quad R = \frac{t_{ВХ}^{Г.В} - t_{ВЫХ}^{Г.В}}{t_{ВЫХ}^{Х.В} - t_{ВХ}^{Х.В}}.$$

Для приближенных расчетов можно принять коэффициент  $\varepsilon_{\Delta t} = 0,98$ .

Расчётный коэффициент теплопередачи для газо-газовых теплообменников определяется по формуле

$$k_p = \frac{\alpha_{Г.В} \cdot \alpha_{Х.В}}{\alpha_{Г.В} + \alpha_{Х.В}}, \text{ } \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}),$$

где  $\alpha_{Г.В}$  – коэффициент теплоотдачи от горячего воздуха к стенке,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ ;

$\alpha_{х.в}$  – коэффициент теплоотдачи от стенки к холодному воздуху, Вт/(м<sup>2</sup>·°С).

Коэффициенты теплоотдачи определяются в зависимости от величины критерия Рейнольдса:

а) при  $Re \leq 3500$

$$\alpha = 0,066 \cdot \frac{\lambda}{d_3} \cdot Re^{0,84}, \quad \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°С}};$$

б) при  $Re > 3500$

$$\alpha = 0,243 \cdot \frac{\lambda}{d_3} \cdot Re^{0,68}, \quad \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°С}};$$

где  $Re = W \cdot d_3 / \nu$  – критерий Рейнольдса;

$W = G / (\rho \cdot f_{т.о})$  – скорость воздуха в теплообменнике, м/с;

$d_3$  – эквивалентный диаметр канала (см. табл. 1, 3), м;

$f_{т.о}$  – площадь проходного сечения теплообменника (см. табл. 2, 4), м<sup>2</sup>;

$\rho$ ,  $\nu$ ,  $\lambda$  – соответственно, плотность, кинематическая вязкость и теплопроводность воздуха – определяются по средней температуре воздуха в теплообменнике (табл. 7).

После определения всех значений *расчётного* и *опытного* коэффициентов теплопередачи строится график  $k_p = f(k_{оп})$  (рис. 8).

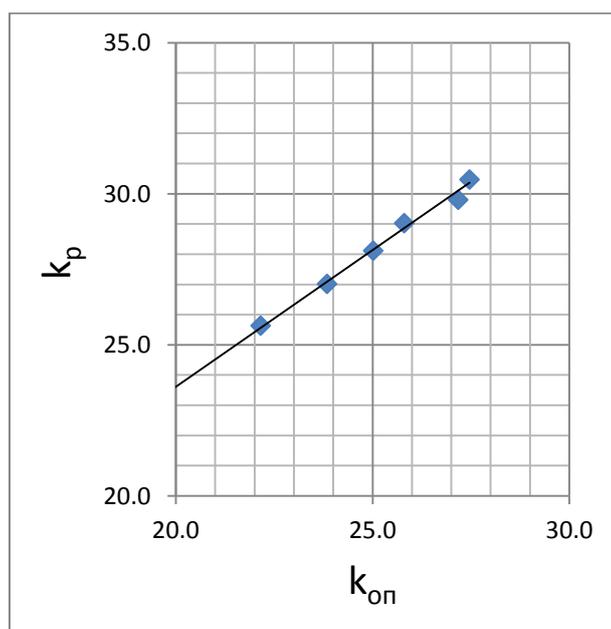


Рис. 8. Сопоставление расчётных и опытных значений коэффициента теплопередачи

*Расчетные* значения гидравлического сопротивления теплообменника для обеих сред определяется по опытным значениям чисел  $Re$  из критериального уравнения

$$Eu_0 = 7,25 \cdot Re^{-0,2}.$$

*Опытные* значения вычисляются для каждой среды отдельно в зависимости от замеренных потерь напора в теплообменнике  $\Delta P_{то}$

$$Eu_0 = \frac{\Delta P_{то}}{\rho \cdot W^2 \cdot n_i}$$

где  $n_i$  – число выступов по ходу потока (см. табл. 2, 4);

$\Delta P_{то}$  – потери напора в теплообменнике, Па;

$\rho$  – плотность воздуха при средней температуре, кг/м<sup>3</sup>;

$W$  – скорость воздуха в теплообменнике, м/с.

По результатам опытных данных в логарифмических координатах строится график зависимости  $\lg Eu_0 = f(\lg Re)$  и для сравнения наносится прямая в соответствии с критериальным уравнением.

Журнал наблюдений и результаты расчётов сводятся в табл. 5 и 6.

Таблица 5

## Журнал наблюдений

№ -	$\Delta P_{тр}^{Г.В}$ , Па	$\Delta P_{тр}^{Х.В}$ , Па	$t_{ВХ}^{Г.В}$ , °C	$t_{ВХ}^{Х.В}$ , °C	$t_{ВЫХ}^{Г.В}$ , °C	$t_{ВЫХ}^{Х.В}$ , °C	$t_{тр}^{Г.В}$ , °C	$t_{тр}^{Х.В}$ , °C	$\Delta P_{ТО}^{Г.В}$ , Па	$\Delta P_{ТО}^{Х.В}$ , Па
1										
2										
3										
...										

Таблица 6

## Результаты расчёта

№ п/п	$G_{Г.В}$ , кг/с	$G_{Х.В}$ , кг/с	$Q_1$ , Вт	$Q_2$ , Вт	$\Delta t$ , °C	$k_{оп}$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·°C)	$W_{Г.В}$ , м/с
1							
2							
3							
...							

Продолжение табл. 6

№ п/п	$Re_{Х.В}$	$\alpha_1$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·°C)	$W_{Х.В}$ , м/с	$Re_{Г.В}$	$\alpha_2$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·°C)	$k_p$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·°C)
1						
2						
3						
...						

Таблица 7

Физические параметры для сухого воздуха при В = 760 мм рт. ст.

t, °C	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$C_p$ , кДж/(кг·°C)	$\lambda \cdot 10^2$ , Вт/(м·°C)	$a \cdot 10^6$ , м <sup>2</sup> /с	$\mu \cdot 10^6$ , Па	$\nu \cdot 10^6$ , м <sup>2</sup> /с
0	1,293	1,005	2,44	18,8	17,2	13,28
10	1,247	1,005	2,52	20,0	17,6	14,16
20	1,205	1,005	2,59	21,4	18,1	15,06
30	1,165	1,005	2,67	22,9	18,6	16,00
40	1,128	1,005	2,76	24,3	19,1	16,96
50	1,093	1,005	2,83	25,7	19,6	17,95
60	1,060	1,005	2,90	27,2	20,1	18,97
70	1,029	1,009	2,96	28,6	20,6	20,02
80	1,000	1,009	3,05	30,2	21,1	21,09
90	0,972	1,009	3,13	31,9	21,5	22,10
100	0,946	1,009	3,21	33,6	21,9	23,13
120	0,898	1,009	3,34	36,8	22,8	25,45
140	0,854	1,013	3,49	40,3	23,7	27,80
160	0,815	1,017	3,64	43,9	24,5	30,09
180	0,779	1,022	3,78	47,5	25,3	32,49
200	0,746	1,026	3,93	51,4	26,0	34,85

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Суслов В.А. Тепломассообмен: учеб.пособие. - 2-е изд., испр. и доп./ ВШТЭ СПбГУПТД. СПб., 2016. Ч.1.

Суслов В.А., Белоусов В.Н., Антуфьев С.В. и др. Тепломассообменное оборудование ТЭС и АЭС: учеб. пособие / СПбГТУРП. СПб., 2015.

Иванов А.Н., Белоусов В.Н., Смородин С.Н. Тепломассообменное оборудование промпредприятий: учеб. пособие/ ВШТЭ СПбГУПТД. СПб., 2016.

Мовсесян В.Л., Мурзич А.Ф., Иванов А.Н. Профильно-пластинчатые теплообменники. СПб.: РИД, 2002.

Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. М.: Энергоатомиздат, 1981.

Антуфьев В.М., Гусев Е.К., Ивахненко В.В. и др. Теплообменные аппараты из профильных листов. Л.: Энергия, 1972.

Антуфьев В.М. Эффективность различных форм конвективных поверхностей нагрева. М.–Л.: Энергия, 1966.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
Исследование теплоаэродинамических характеристик рекуперативных пластинчатых теплообменных аппаратов .....	5
Схема и описание экспериментальной установки.....	5
Конструкция и основные геометрические характеристики опытных пакетов.....	7
<i>Лабораторная работа № 1</i> .....	7
<i>Лабораторная работа № 2</i> .....	10
Подготовка к проведению опытов и методика измерений .....	12
Методика обработки результатов эксперимента .....	14
Библиографический список.....	21

*Учебное издание*

Суслов Вячеслав Александрович  
Белоусов Владимир Николаевич  
Иванов Александр Николаевич  
Антуфьев Сергей Васильевич

**ИССЛЕДОВАНИЕ  
ТЕПЛОАЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК  
РЕКУПЕРАТИВНЫХ ПЛАСТИНЧАТЫХ  
ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ**

Учебно-методическое пособие

Редактор и корректор Н.П.Новикова  
Техн. редактор Л.Я.Титова

Темплан 2017 г., поз. 21

---

Подп. к печати 11.10.17. Формат 60x84/16. Бумага тип. № 1.  
Печать офсетная. Печ.л. 1,5. Уч.-изд. л. 1,5.  
Тираж 100 экз. Изд. № 21. Цена “С”. Заказ

---

Ризограф Высшей школы технологии и энергетики СПбГУПТД,  
198095, СПб., ул. Ивана Черных, 4.