

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
БОРИСОГЛЕБСКИЙ ФИЛИАЛ  
(БФ ФГБОУ ВО «ВГУ»)

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой  
естественнонаучных и  
общеобразовательных дисциплин

 С.Е. Зюзин

03.07.2019 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Б1.В.ДВ.01.01 Основы технологии производства теплообменного обо-**  
**рудования**

**1. Шифр и наименование направления подготовки:**

15.03.01 Машиностроение

**2. Профиль подготовки:**

Технологии, оборудование и автоматизация машиностроительных производств

**3. Квалификация выпускника:** бакалавр

**4. Форма обучения:** заочная

**5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:** естественнонаучных и общеобразовательных дисциплин

**6. Составитель программы:** И.Г. Ан

**7. Рекомендована:** научно-методическим советом Филиала (протокол № 9 от 19.06.2019 г.)

**8. Семестр:** 6

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины:

**Целью учебной дисциплины** «Основы технологии производства теплообменного оборудования» является формирование знаний об устройстве, принципах действия, основных параметрах и характеристиках современных теплообменных аппаратов.

### Задачи учебной дисциплины:

- рассмотреть конструкции рекуперативных и регенеративных теплообменных аппаратов;
- изучить характеристики и тенденции развития конструкций теплообменных аппаратов;
- освоить на начальном этапе методики теплового, конструктивного расчетов теплообменного оборудования.

## 10. Место учебной дисциплины в структуре образовательной программы:

Дисциплина «Основы технологии производства теплообменного оборудования» входит в блок Б1 «Дисциплины (модули)» и является дисциплиной по выбору вариативной части образовательной программы. Для изучения дисциплины требуется освоение курсов «Физика», «Процессы формообразования и инструмент». Дисциплина является предшествующей для курса «Технология машиностроения».

Условия реализации дисциплины для лиц с ОВЗ определяются особенностями восприятия учебной информации и с учетом индивидуальных психофизических особенностей.

## 11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников):

Компетенция		Планируемые результаты обучения
Код	Название	
ОПК-1	умение использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования	<b>знает:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- основные законы физики, методы математического анализа и моделирования;</li><li>- стандартные методы теоретического и экспериментального исследования физических объектов;</li><li>- основные идеи и методы математики как универсального языка науки и техники, средства моделирования явлений и процессов трения;</li></ul> <b>умеет:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности;</li><li>- применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности;</li><li>- использовать физические приборы, проводить измерения физических величин, грамотно представлять их результаты;</li></ul> <b>владеет:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- навыками проведения экспериментального исследования физических объектов;</li><li>- профессиональной терминологией, используемой при решении задач;</li></ul>
ПК-18	умение применять методы стандартных испытаний по определению физико-механических свойств и технологических показателей используемых материалов и готовых изделий	<b>знает:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- основные характеристики физико-механических свойств производственных материалов;</li><li>- технологические показатели;</li><li>- методы стандартных испытаний по определению физико-механических свойств и технологических показателей используемых материалов и готовых изделий;</li></ul> <b>умеет:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- использовать знания основных характеристик физико-механических свойств и технологических показателей производственных материалов для проведения стандартных испытаний готовых изделий;</li></ul> <b>владеет:</b>

		– методами стандартных испытаний по определению физико-механических свойств и технологических показателей используемых материалов и готовых изделий.
--	--	--

## 12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час. — 4/144

Форма промежуточной аттестации экзамен.

## 13. Виды учебной работы

Вид учебной работы	Трудоемкость (часы)	
	Всего	По семестрам
		сем. 6
Контактная работа, в том числе:	12	12
лекции	4	4
практические занятия	4	4
лабораторные работы	4	4
Самостоятельная работа	123	123
Форма промежуточной аттестации (экзамен - 9 час.)	9	9
Итого:	144	144

### 13.1. Содержание дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
<b>1. Лекции</b>		
1.1	Введение. Основные сведения о теплообменном оборудовании	Классификация теплообменных аппаратов. Теплоносители. Определение физических параметров и скоростей движения теплоносителей.
1.2	Теплообменные аппараты	Рекуперативные теплообменные аппараты непрерывного действия. Проектирование рекуперативных теплообменных аппаратов. Тепловой расчет, конструктивный, поверочный, гидравлический расчеты. Рекуперативные теплообменные аппараты периодического действия. Регенеративные теплообменные аппараты. Теплообменные аппараты смешивающего типа.
1.3	Теплообменные установки	Выпарные установки. Дистилляционные и ректификационные установки. Сушильные установки.
1.4	Ресурсо- и энергосберегающие технологии.	Классификация вторичных энергетических ресурсов. Роль вторичных энергоресурсов в топливо и теплоснабжении различных отраслей промышленности. Источники образования, виды и возможности утилизации вторичных энергетических ресурсов. Оборудование по использованию вторичных энергетических ресурсов. Энергетическая эффективность использования вторичных тепловых ресурсов для теплоснабжения.
1.5	Трансформаторы теплоты.	Термодинамические основы трансформации теплоты. Основные типы установок для трансформации теплоты. Рабочие агенты и хладоносители в трансформаторах теплоты. Холодильные установки
<b>2. Практические занятия</b>		
2.1	Введение. Основные сведения о теплообменном оборудовании	Классификация теплообменных аппаратов. Теплоносители. Определение физических параметров и скоростей движения теплоносителей.
2.2	Теплообменные аппараты	Рекуперативные теплообменные аппараты непрерывного действия. Проектирование рекуперативных теплообменных аппаратов. Тепловой расчет, конструктивный, поверочный, гидравлический расчеты. Рекуперативные теплообменные аппараты периодического действия. Регенеративные теплообменные аппараты. Теплообменные аппараты смешивающего типа.
2.3	Теплообменные установки	Выпарные установки. Дистилляционные и ректификационные установки. Сушильные установки.

2.4	Ресурсо- и энергосберегающие технологии.	Классификация вторичных энергетических ресурсов. Роль вторичных энергоресурсов в топливо и теплопотреблении различных отраслей промышленности. Источники образования, виды и возможности утилизации вторичных энергетических ресурсов. Оборудование по использованию вторичных энергетических ресурсов. Энергетическая эффективность использования вторичных тепловых ресурсов для теплоснабжения.
2.5	Трансформаторы теплоты.	Термодинамические основы трансформации теплоты. Основные типы установок для трансформации теплоты. Рабочие агенты и хладоносители в трансформаторах теплоты. Холодильные установки
<b>2. Лабораторные работы</b>		
3.2	Теплообменные установки	Сушильные установки. Способы сушки. Конструкции сушильных установок
3.4	Ресурсо- и энергосберегающие технологии.	Установки для использования отработавшего и вторичного производственного пара.
3.4	Ресурсо- и энергосберегающие технологии.	Схемы использования теплоты горячей воды
3.5	Трансформаторы теплоты.	Газовые компрессионные холодильные машины
3.5	Трансформаторы теплоты.	Паровые компрессионные холодильные машины.

### 13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1.	Введение. Основные сведения о теплообменном оборудовании	1	1	0	25	27
2.	Теплообменные аппараты	1	1	1	24	27
3.	Теплообменные установки	0,5	0,5	0	24	25
4.	Ресурсо- и энергосберегающие технологии.	1	1	1	25	28
5.	Трансформаторы теплоты.	0,5	0,5	2	25	28
	Контроль (экзамен)					9
	Итого:	4	4	4	123	144

### 14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Приступая к изучению учебной дисциплины, целесообразно ознакомиться с учебной программой дисциплины, электронный вариант которой размещён на сайте БФ ВГУ.

Это позволит обучающимся получить четкое представление о:

- перечне и содержании компетенций, на формирование которых направлена дисциплина;
- основных целях и задачах дисциплины;
- планируемых результатах, представленных в виде знаний, умений и навыков, которые должны быть сформированы в процессе изучения дисциплины;
- количестве часов, предусмотренных учебным планом на изучение дисциплины, форму промежуточной аттестации;
- количестве часов, отведенных на контактную и на самостоятельную работу;
- формах контактной и самостоятельной работы;
- структуре дисциплины, основных разделах и темах;
- системе оценивания учебных достижений;
- учебно-методическом и информационном обеспечении дисциплины.

Знание основных положений, отраженных в рабочей программе дисциплины, поможет обучающимся ориентироваться в изучаемом курсе, осознавать место и роль изучаемой дисциплины в подготовке будущего выпускника, строить свою работу в соответствии с требованиями, заложенными в программе.

Основными формами контактной работы по дисциплине являются лекции, практические занятия и лабораторные работы, посещение которых обязательно для всех студентов (кроме студентов, обучающихся по индивидуальному плану).

Подготовка к практическим занятиям ведется на основе планов практических занятий, которые размещены на сайте филиала. В ходе подготовки к практическим занятиям необходимо изучить в соответствии с вопросами для повторения конспекты лекций, основную литературу, ознакомиться с дополнительной литературой. Кроме того, следует повторить материал лекций, ответить на контрольные вопросы, изучить образцы решения задач, выполнить упражнения (если такие предусмотрены).

При подготовке к лабораторным работам следует заранее ознакомиться с теоретическим материалом, перечнем приборов и оборудования, порядком выполнения работы. Нужно обратить внимание на контрольные вопросы, завершающие описание каждой лабораторной работы. При защите лабораторной работы студент предъявляет преподавателю отчет по установленной форме и отвечает на контрольные вопросы.

При подготовке к промежуточной аттестации необходимо повторить пройденный материал в соответствии с учебной программой. Рекомендуется использовать конспекты лекций и источники, перечисленные в списке литературы в рабочей программе дисциплины, а также ресурсы электронно-библиотечных систем.

Для достижения планируемых результатов обучения используются интерактивные лекции, групповые дискуссии.

## 15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

### а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Приданцев, А.С. Теплообменные аппараты холодильных установок : учебно-методическое пособие / А.С. Приданцев, В.В. Акшинская, Д.Д. Ахметлатьипова ; Министерство образования и науки России, Казанский национальный исследовательский технологический университет. – Казань : Казанский научно-исследовательский технологический университет, 2017. – 120 с. : табл., граф., ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=561194">http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=561194</a> (дата обращения: 09.06.2019). – Библиогр.: с. 110-112. – ISBN 978-5-7882-2247-9. – Текст : электронный.

### б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
2	Расщепкин, А.Н. Теплообменные аппараты низкотемпературной техники : учебное пособие / А.Н. Расщепкин, В.А. Ермолаев ; ред. А.В. Дюмина. – 2-е изд., испр. и доп. – Кемерово : Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 2012. – 169 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=141516">http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=141516</a> (дата обращения: 09.06.2019). – ISBN 978-5-89289-729-7. – Текст : электронный.

### в) информационные электронно-образовательные ресурсы:

№ п/п	Источник
3	Акулич, П.В. Расчеты сушильных и теплообменных установок / П.В. Акулич. – Минск : Белорусская наука, 2010. – 444 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=89349">http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=89349</a> (дата обращения: 09.06.2019). – ISBN 978-985-08-1192-9. – Текст : электронный.
4	Антикайн, П.А. Рекуперативные теплообменные аппараты / П.А. Антикайн, М.С. Аронович, А.М. Бакластов. – Москва ; Ленинград : Гос. энергетическое изд-во, 1962. – 232 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=212711">http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=212711</a> (дата обращения: 09.06.2019). – ISBN 978-5-4458-4119-7. – Текст : электронный.
5	Лукин, С. Физическое моделирование процессов передачи теплоты : учебное пособие / С. Лукин ; науч. ред. Р.А. Юдин ; Череповецкий государственный университет. – Череповец : Издательство ЧГУ, 2016. – 112 с. : ил., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: <a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=434810">http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=434810</a> (дата обращения: 09.06.2019). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-85341-639-0. – Текст : электронный.

## 16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

№ п/п	Источник
1	Методические материалы по дисциплине

## 17. Информационные технологии, используемые для реализации учебной дисциплины, включая программное обеспечение, информационно-справочные системы и профессиональные базы данных

Microsoft Office 2007 (Word, Excel, PowerPoint).

При реализации дисциплины применяется смешанное обучение с использованием онлайн-консультаций; электронной почты, сайта кафедры естественнонаучных и общеобразовательных дисциплин <http://pmii.ru/cumk/uchebnyie-materialyi>

### Информационно-справочные системы и профессиональные базы данных

– Научная электронная библиотека – <http://www.scholar.ru/>;

– Федеральный портал Российское образование – <http://www.edu.ru/>;

– Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» <http://window.edu.ru/>;

– Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов – <http://fcior.edu.ru/>;

– Лекции ведущих преподавателей вузов России в свободном доступе – <https://www.lektorium.tv/>;

– Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека online» – <http://biblioclub.ru/>.

## 18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Мультимедийное оборудование (проектор, ноутбук или стационарный компьютер, экран).

## 19. Фонд оценочных средств:

### 19.1. Перечень компетенций с указанием этапов формирования и планируемых результатов обучения

Код и содержание компетенции (или ее части)	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенции посредством формирования знаний, умений, навыков)	Этапы формирования компетенции (разделы (темы) дисциплины или модуля и их наименование)	ФОС* (средства оценивания)
ОПК-1 умение использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования	Знать: - основные законы физики, методы математического анализа и моделирования; - стандартные методы теоретического и экспериментального исследования физических объектов; - основные идеи и методы математики как универсального языка науки и техники, средства моделирования явлений и процессов обучения;	1 Введение. Основные сведения о теплообменном оборудовании 2 Теплообменные аппараты 3 Теплообменные установки 4 Ресурсо- и энергосберегающие технологии. 5 Трансформаторы теплоты.	Отчет по лабораторным работам
	Уметь: - использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности; - применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности; - использовать физические прибо-	1 Введение. Основные сведения о теплообменном оборудовании 2 Теплообменные аппараты 3 Теплообменные установки 4 Ресурсо- и энергосберегающие технологии.	Отчет по лабораторным работам

	ры, проводить измерения физических величин, грамотно представлять их результаты;	5 Трансформаторы теплоты.	
	Владеть: навыками проведения экспериментального исследования физических объектов; – -профессиональной терминологией, используемой при решении задач;	1 Введение. Основные сведения о теплообменном оборудовании 2 Теплообменные аппараты 3 Теплообменные установки 4 Ресурсо- и энергосберегающие технологии. 1.5 Трансформаторы теплоты.	Отчет по лабораторным работам
ПК-18 умение применять методы стандартных испытаний по определению физико-механических свойств и технологических показателей используемых материалов и готовых изделий	Знать: - основные характеристики физико-механических свойств производственных материалов; -технологические показатели; - методы стандартных испытаний по определению физико-механических свойств и технологических показателей используемых материалов и готовых изделий;	1 Введение. Основные сведения о теплообменном оборудовании 2 Теплообменные аппараты 3 Теплообменные установки 4 Ресурсо- и энергосберегающие технологии. 5 Трансформаторы теплоты.	Отчет по лабораторным работам  Реферат
	Уметь: – использовать знания основных характеристик физико-механических свойств и технологических показателей производственных материалов для проведения стандартных испытаний готовых изделий;	1 Введение. Основные сведения о теплообменном оборудовании 2 Теплообменные аппараты 3 Теплообменные установки 4 Ресурсо- и энергосберегающие технологии. 5 Трансформаторы теплоты.	Отчет по лабораторным работам
	Владеть: – методами стандартных испытаний по определению физико-механических свойств и технологических показателей используемых материалов и готовых изделий.	1 Введение. Основные сведения о теплообменном оборудовании 2 Теплообменные аппараты 3 Теплообменные установки 4 Ресурсо- и энергосберегающие технологии. 5 Трансформаторы теплоты.	Отчет по лабораторным работам
<b>Промежуточная аттестация – экзамен</b>			Вопросы к экзамену

## 19.2 Описание критериев и шкалы оценивания компетенций (результатов обучения) при промежуточной аттестации

Для оценивания результатов обучения на экзамене используются следующие показатели (ЗУНы из 19.1):

- 1) знание учебного материала и владение понятийным аппаратом трибологии;
- 2) умение связывать теорию с практикой;
- 3) умение иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований;

4) умение применять теоретические знания для решения практических задач в области трибологии, решать типовые расчётные задачи.

Для оценивания на экзамене используется 4-балльная шкала: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Соотношение показателей, критериев и шкалы оценивания результатов обучения.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
<i>Обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом трибологии, способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований, применять теоретические знания для решения типовых расчётных задач и практических заданий более высокого уровня сложности в области трибологии.</i>	<i>Повышенный уровень</i>	<i>Отлично</i>
<i>Обучающийся владеет понятийным аппаратом трибологии, способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, применять теоретические знания при решении типовых расчётных задач, допускает незначительные ошибки при решении практических заданий более высокого уровня сложности в области трибологии.</i>	<i>Базовый уровень</i>	<i>Хорошо</i>
<i>Обучающийся владеет частично теоретическими основами трибологии, фрагментарно способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, в ряде случаев затрудняется применять теоретические знания при решении типовых расчётных задач, не всегда способен решить практические задания более высокого уровня сложности в области трибологии.</i>	<i>Пороговый уровень</i>	<i>Удовлетворительно</i>
<i>Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует любым трем из перечисленных показателей. Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки при решении типовых расчётных задач либо не имеет представления о способе их решения.</i>	<i>–</i>	<i>Неудовлетворительно</i>

### 19.3. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

#### 19.3.1 Перечень вопросов к экзамену:

- 1 Классификация теплообменных аппаратов. Теплоносители.
- 2 Определение физических параметров и скоростей движения теплоносителей.
- 3 Рекуперативные теплообменные аппараты непрерывного действия. Проектирование рекуперативных теплообменных аппаратов.
- 4 Тепловой расчет, конструктивный, поверочный, гидравлический расчеты.
- 5 Рекуперативные теплообменные аппараты периодического действия.
- 6 Регенеративные теплообменные аппараты.
- 7 Теплообменные аппараты смешивающего типа.
- 8 Выпарные установки.
- 9 Дистилляционные и ректификационные установки.
- 10 Сушильные установки.
- 11 Классификация вторичных энергетических ресурсов. Роль вторичных энергоресурсов в топливо и теплопотреблении различных отраслей промышленности.
- 12 Источники образования, виды и возможности утилизации вторичных энергетических ресурсов. Оборудование по использованию вторичных энергетических ресурсов.
- 13 Энергетическая эффективность использования вторичных тепловых ресурсов для теплоснабжения.
- 14 Термодинамические основы трансформации теплоты. Основные типы установок для трансформации теплоты.
- 15 Рабочие агенты и хладоносители в трансформаторах теплоты. Холодильные установки

#### 19.3.2 Пример лабораторной работы

##### Лабораторная работа 1.«Исследование пластинчатого теплообменника»



Цель работы: Изучение конструкции и принципов работы пластинчатых теплообменников.

Задачи работы:

1. Закрепление сведений о физической сущности переноса тепла от горячего теплоносителя к холодному и анализ факторов, влияющих на оптимизацию этого процесса.
2. Определение коэффициентов теплоотдачи в рекуперативных теплообменниках при прямоточной и противоточной схемах движения теплоносителя.

Основные сведения

Теплообменными аппаратами (теплообменниками) называются устройства, предназначенные для передачи тепла от одного теплоносителя к другому. По принципу действия теплообменные аппараты подразделяются на три вида: рекуперативные, регенеративные и смешительные.

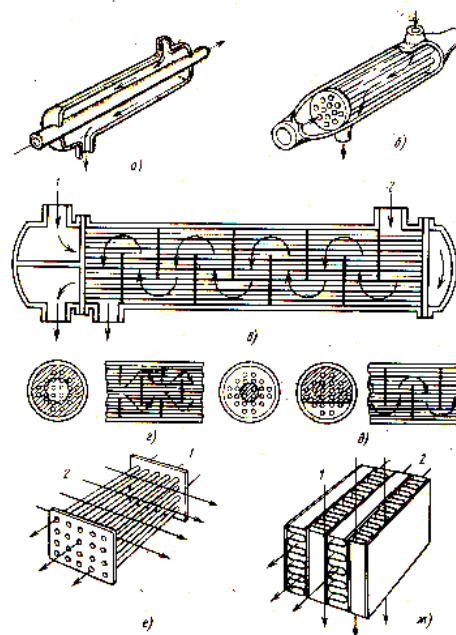
В теплообменных аппаратах рекуперативного типа тепло передается от горячего теплоносителя к холодному через разделяющую их стенку, которая называется поверхностью нагрева теплообменного аппарата.

Интенсивность работы теплообменного аппарата характеризуется количеством тепла, передаваемого через единицу поверхности нагрева в единицу времени. Эта величина зависит от физических свойств теплоносителей (вязкость, теплопроводность, плотность, теплоемкость), от режима их движения, от конструктивных особенностей аппарата (размеры, материал, состояние поверхности нагрева), от средней по поверхности нагрева разности температур между греющей и обогреваемой средой.

При расчете теплообменных аппаратов изменение температур теплоносителей при их движении по теплообменнику учитывается введением в расчетную формулу среднего логарифмического температурного напора  $\Delta t$ . Влияние остальных факторов учитывают введением коэффициента теплопередачи  $k$ , который по физическому смыслу представляет собой количество тепла, передаваемого в единицу времени через единицу поверхности нагрева при разности температур между теплоносителями в один градус. Формула для расчета количества тепла, передаваемого в теплообменном аппарате за единицу времени.

Значение среднего логарифмического напора  $\Delta t$  зависит от начальных  $t_{1н}$ ,  $t_{2н}$  конечных  $t_{1к}$ ,  $t_{2к}$  температур теплоносителей ( $t_1$  – горячий теплоноситель,  $t_2$  – холодный теплоноситель), а также от схемы включения теплообменного аппарата, т.е. от взаимных направлений движения теплоносителей.

Существует три основные схемы включения: прямоточная, противоточная и перекрестная, а также множество смешанных схем, получаемых в результате различных комбинаций основных схем (рис. 1).



наций основных схем (рис. 1).

Рисунок 1 – Типичные конструктивные схемы рекуперативных теплообменных аппаратов  
 а – «труба в трубе» противоток; б – кожухотрубный противоток; в, г, д – кожухотрубный многократный перекрестный ток; е- трубчатый перекрестный ток; ж – пластинчато-ребристый перекрестный ток; 1- горячий поток; 2 – холодный поток

При прямоточной схеме движения горячий и холодный теплоносители движутся вдоль поверхности нагрева в одном направлении так, что на входе в аппарат тепло передается от горячего теплоносителя к холодному при относительно большой разности температур. На выходе из аппарата тепло передается от остывшего горячего теплоносителя к холодному при меньшей разности температур.

Противоточная схема (противоток). При этой схеме движения теплоносители 1 и 2 движутся вдоль поверхности нагрева в противоположных так, что входящий в аппарат горячий теплоноситель отдает тепло уже подогретому теплоносителю.

Коэффициент теплоотдачи  $k$  в теплообменных аппаратах определяют обычно по формулам для плоской стенки, т.к. трубки теплообменников имеют небольшую толщину по сравнению с их диаметром. Полученные формулы позволяют сравнить среднетемпературные напоры при различных схемах движения теплоносителей. Анализ их показывает, что при одинаковых температурах теплоносителей на входе и выходе их теплообменного аппарата, в противоточном теплообменнике температурный напор получается наибольшим. Благодаря большой величине температурного напора рабочая поверхность при противоточной схеме больше.

Для определения коэффициента теплопередачи требуется знать количество тепла, переданного за единицу времени в теплообменном аппарате, среднюю разность температур  $\Delta t$  между горячим и холодным теплоносителями и размер поверхности  $F$ . Количество тепла определяется по расходу теплоносителей, их теплоемкости и изменению их температуры в теплообменном аппарате. В идеальном аппарате, работающем без теплообмена с окружающей средой, количество тепла, отданное горячим теплоносителем  $Q_1$ , должно равняться количеству тепла  $Q_2$ , полученному холодным теплоносителем.

### Описание лабораторной установки

Основными элементами лабораторной установки (рис. 2 и 34) являются пластинчатый теплообменник с движением горячего теплоносителя по внутреннему контуру и холодного теплоносителя по внешнему.

Для измерения температур теплоносителей служат температурные датчики, установленные на входе и выходе теплообменника. Направление потока горячего теплоносителя во всех экспериментах остается постоянным. В рассматриваемом аппарате он направлен слева направо. Минутный расход горячего теплоносителя для аппарата определяется по изменению показаний счетчика за заданный промежуток времени. Холодный теплоноситель может менять направление поочередным изменением переключателя работы насосов прямой и обратной подачи жидкости. За счет этого легко реализуются схемы прямотока и противотока для обоих теплообменников. Расход в системе холодного контура постоянный и равен **0,7 л/мин.**

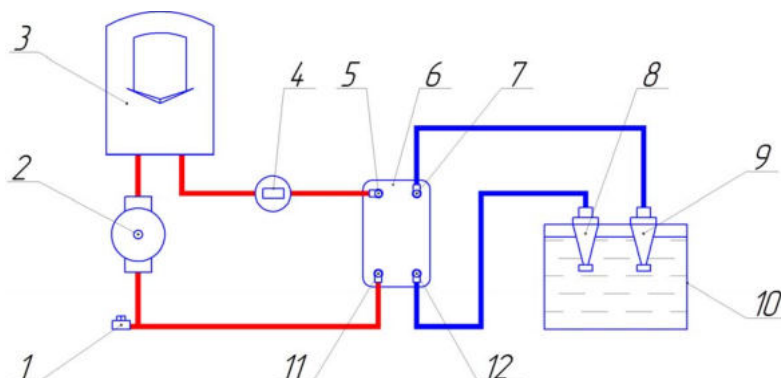


Рисунок 2 – Схема экспериментальной установки

1 – сливной кран горячего теплоносителя, 2 – циркуляционный насос подачи горячего теплоносителя, 3 – водонагреватель со ступенчатым управлением нагревом, 4 – счетчик расхода горячего теплоносителя с импульсным выходом, 5 – датчик температуры горячего теплоносителя на входе в теплообменник Т1, 6 – пластинчатый теплообменник, 7 – датчик температуры



горячего теплоносителя, 7 – датчик температуры холодного теплоносителя Т3, 8 – насос подачи холодного теплоносителя противотоком,

9 – насос подачи холодного теплоносителя прямотоком, 10 – резервуар холодного теплоносителя, 11 – датчик температуры горячего теплоносителя на входе теплообменника Т2, 12 – датчик температуры холодного теплоносителя Т4.

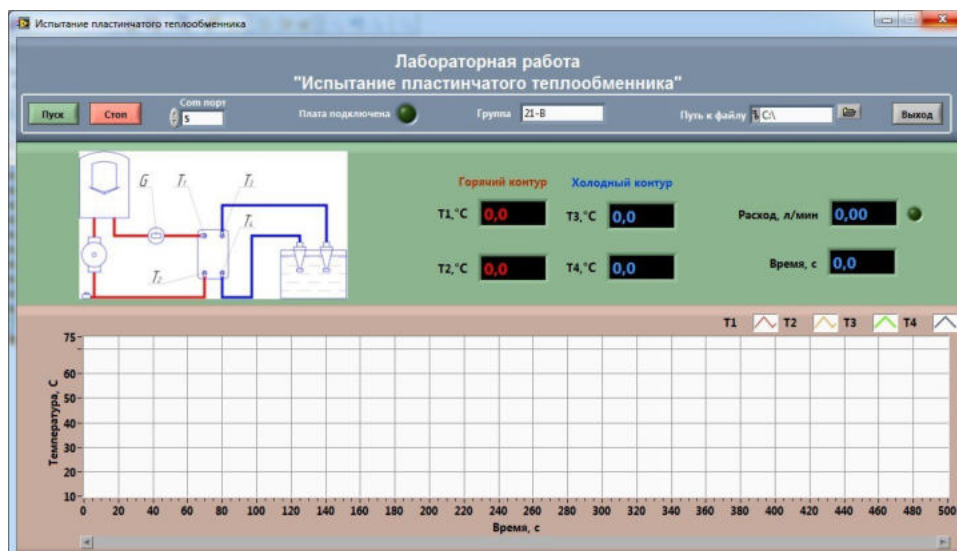
Рисунок 3 – Фотография лабораторной установки

#### Порядок выполнения работы

1. Изучить методические указания, заготовить форму отчета о проведенной работе, в которую внести название и цель работы, основные сведения об изучаемых процессах, схему экспериментальной установки, готовую таблицу 1 для записи результатов измерений и вычислений.
2. Подключить автоматизированный стенд к USB разъему компьютера.
3. Вызвать программу сбора и обработки данных лабораторной работы Пуск → MeasLAB → «Пластинчатый теплообменник»
4. На лицевой панели внесите название сохраняемого файла и запустите программу кнопкой «Пуск» (рисунок 4).
5. Подготовить установку к испытаниям теплообменников. Удостовериться, что уровень воды наблюдается в заливочном устройстве и ниже его середины, в противном случае долить жидкость в систему.
6. Включить питание стенда кнопкой «Сеть»
7. Включить насос BK2 и водонагреватель кнопкой «BK1».  
Установить режим нагрева до 40-50 | С

Рисунок 4 – Лицевая панель компьютерной системы измерения

После выхода на постоянный режим 40-50 | С включить подачу холодного теплоносителя с по-



мощью выключателя тумблера на панели управления стендом (положение вверх режим прямотока, положение вниз - противотока)

8. При установлении стационарного теплового режима занести результаты измерений в табл. 1.
9. Изменить направление подачи холодного теплоносителя (положение тумблера вниз) и повторить эксперимент.
10. Вывести температуру нагревателя на новый уровень, но не более 70 С.
11. Повторить п.п. 8-10 для нового уровня температуры горячего теплоносителя.
12. Определить средний логарифмический температурный напор и коэффициент теплопередачи для испытанных теплообменников в режимах прямотока и противотока.
13. Результаты измерений и вычислений занести в таблицы 1.

Таблица 1. Результаты измерений и вычислений при испытаниях пластинчатого теплообменника

Значения измеренных и вычисляемых параметров												
№№ п/п	T1 °C	T2 °C	T3 °C	T4 °C	Mг кг/с	Mх кг/с	Qг Вт	Qх Вт	Δtr °C	Δtx °C	Δtcp °C	k Вт/(м <sup>2</sup> *К)
Прямоток												
1												
2												
3												
Противоток												
1												
2												
3												

### Контрольные вопросы

1. Назовите преимущества и недостатки испытанных теплообменных аппаратов.
2. Что называется коэффициентом теплопередачи? Каков физический смысл единицы его измерения?
3. Какие факторы и параметры теплообменных аппаратов влияют на величину коэффициента теплопередачи? В чем заключаются преимущества противоточной схемы по

сравнению с прямоточной?

4. Может ли температура горячего теплоносителя на выходе из теплообменника быть меньше температуры холодного теплоносителя на выходе из теплообменника?

5. В каких случаях при расчете теплообменника можно пользоваться средним арифметическим температурным напором?

6. В каких технологических процессах используются теплообменные аппараты?

### **19.3.3 Тестовые задания**

Не предусмотрены

### **19.3.4 Перечень заданий для контрольных работ**

Не предусмотрены

### **19.3.5 Темы курсовых работ**

Не предусмотрены

### **19.3.6 Темы рефератов и докладов**

1. Обоснованность выбора теплообменного оборудования.
2. Способы повышения эффективности теплообменного оборудования
3. Способы повышения эффективности кожухотрубных теплообменных аппаратов.
4. Перспективные конструкции теплообменных аппаратов.
5. Способы повышения эффективности трубчатых теплообменных аппаратов, охлаждаемых воздухом.
6. Способы повышения эффективности змеевиковых теплообменных аппаратов.
7. Интенсификация теплообмена в теплообменниках.
8. Способы повышения эффективности пластинчатых, пластинчато-ребристых теплообменников.
9. Совершенствование технологического процесса изготовления оребренной трубы.

## **19.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций**

Оценка знаний, умений и навыков, характеризующая этапы формирования компетенций в рамках изучения дисциплины осуществляется в ходе текущей и промежуточной аттестаций.

Текущий контроль успеваемости проводится в соответствии с Положением о текущей аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета. Текущий контроль успеваемости проводится в формах: *фронтальных опросов, отчетов по лабораторным работам*. Критерии оценивания приведены выше.

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования.

Контрольно-измерительные материалы промежуточной аттестации включают в себя теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень полученных знаний и практическое задание, позволяющее оценить степень сформированности умений и навыков.

При оценивании используются количественные шкалы оценок. Критерии оценивания приведены выше.