

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
20.05.2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
Б1.В.09 Основы технологии производства теплообменного оборудования

1. Код и наименование направления подготовки:

15.03.01 Машиностроение

2. Профиль подготовки:

Технологии, оборудование и автоматизация машиностроительных производств

3. Квалификация выпускника: бакалавр

4. Форма обучения: очная, заочная

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: кафедра естествознания и
общеобразовательных дисциплин

6. Составитель программы: И.Г. Ан

7. Рекомендована: Научно-методическим советом Филиала от 19.05.2025 протокол № 8

8. Учебный год ОФО: 2027-2028

Семестр: 6

ЗФО 2028-2029

Семестр: 8

9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Целью учебной дисциплины 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 ООП:

Дисциплина «Основы технологии производства теплообменного оборудования» входит в блок Б1 Дисциплины (модули), в часть, формируемую участниками образовательных отношений. Для изучения дисциплины требуется освоение курсов «Физика», «Процессы формообразования и инструмент». Дисциплина является предшествующей для курса «Экономика и управление машиностроительным производством».

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) и индикаторами их достижения:

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК-1	Способен осуществлять автоматизацию и механизацию технологических процессов механосборочного производства	ПК-1.2	Осуществляет внедрение средств автоматизации и механизации технологических процессов механосборочного производства	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - принципы выбора, типы, конструктивные особенности и технологические возможности средств автоматизации и механизации технологических операций; - технологические процессы механосборочного производства, используемые в организации; - средства технологического оснащения, контрольно-измерительные приборы и инструменты, применяемые в организации; - ведущих отечественных и зарубежных производителей средств автоматизации и механизации технологических операций; - отечественный и зарубежный опыт автоматизации и механизации технологических операций; - принципы выбора средств автоматизации и механизации технологических операций; - методики расчета экономической эффективности внедрения средств автоматизации и механизации технологических операций; - правила эксплуатации и технического обслуживания средств

				<p>автоматизации и механизации, применяемых в организации.</p> <ul style="list-style-type: none"> - принципы и правила размещения средств автоматизации и механизации на участке; - правила выполнения монтажа средств автоматизации и механизации технологических операций; - виды контроля и испытаний средств автоматизации и механизации технологических операций. <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - рассчитывать эффективность выполнения технологических и вспомогательных операций, определять узкие места в технологических процессах; - формулировать предложения по автоматизации и механизации технологических процессов; - рассчитывать необходимое количество средств автоматизации и механизации и разрабатывать план их размещения; - определять состав и количество работающих при использовании средств автоматизации и механизации технологических процессов; - выбирать модели средств автоматизации и механизации технологических операций; - оформлять техническое задание на создание средств автоматизации и механизации технологических операций; - выполнять технико-экономические расчеты эффективности внедрения и использования средств автоматизации и механизации технологических операций; - проверять конструкторскую документацию на средства автоматизации и механизации технологических операций; - контролировать правильность оформления документации и выполнения работ по монтажу, испытаниям, наладке средств автоматизации и механизации технологических операций; - контролировать правильность эксплуатации работниками организации средств автоматизации и механизации; - консультировать работников организации при освоении новых конструкций средств автоматизации и механизации технологических операций; - уметь выявлять группы риска
--	--	--	--	--

				<p>персонала по уровню травмоопасности.</p> <p>Владеть навыками:</p> <ul style="list-style-type: none"> - разработки предложений по автоматизации и механизации технологических процессов производства; - составления технических заданий на разработку средств автоматизации и механизации технологических процессов; - подготовки технико-экономических обоснований эффективности внедрения средств автоматизации и механизации технологических процессов, обоснований соответствия разрабатываемых средств автоматизации и механизации технологических процессов современному уровню развития техники и технологии; - проверки эскизных и технических проектов, рабочих чертежей средств автоматизации и механизации технологических процессов; - разработки инструкций по эксплуатации и ремонту средств автоматизации и механизации технологических процессов, безопасному ведению работ при их обслуживании; - анализа эффективности и надежности средств автоматизации и механизации технологических процессов.
ПК-2	Способен производить технологическую подготовку и обеспечение производства деталей машиностроения средней сложности	ПК-2.2	Разрабатывает технологические процессы изготовления деталей машиностроения средней сложности	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - критерии качественной оценки технологичности конструкции деталей машиностроения средней сложности; - технологические свойства конструкционных материалов деталей машиностроения; - технические требования, предъявляемые к сырью и материалам; - характеристики видов, методов получения, особенности способов изготовления заготовок деталей машиностроения; - методы и способы контроля технических требований, предъявляемых к деталям машиностроения; средней сложности - принципы выбора технологических баз и схем базирования заготовок; - типовые технологические процессы изготовления деталей машиностроения средней сложности; - технологические факторы, влияющие на точность обработки
		ПК-2.3	Контролирует технологические процессы производства деталей машиностроения средней сложности	

поверхностей деталей машиностроения средней сложности;
- принципы выбора технологического оборудования и технологической оснастки;
- методику расчета экономической эффективности технологических процессов;
- правила эксплуатации технологического оборудования и технологической оснастки, используемых при реализации технологических процессов изготовления деталей машиностроения;
- основное технологическое оборудование рабочих мест механообрабатывающего производства и принципы его работы.

Уметь:

- выявлять нетехнологичные элементы конструкций деталей машиностроения средней сложности;
- разрабатывать предложения по повышению технологичности конструкций деталей машиностроения;
- рассчитывать основные и вспомогательные показатели количественной оценки технологичности конструкции деталей машиностроения;
- устанавливать по марке материала технологические свойства материалов деталей машиностроения средней сложности;
- выявлять конструктивные особенности деталей машиностроения средней сложности, влияющие на выбор способа получения заготовки;
- устанавливать основные требования к проектируемым заготовкам деталей машиностроения средней сложности;
- выбирать схемы контроля технических требований, предъявляемых к деталям машиностроения средней сложности;
- выбирать схемы базирования и закрепления, рассчитывать силы закрепления заготовок деталей машиностроения средней сложности;
- разрабатывать маршрутные технологические операционные технологические процессы

		<p>изготовления деталей машиностроения средней сложности;</p> <ul style="list-style-type: none">- рассчитывать погрешности обработки, припуски на обработку, промежуточные размеры деталей при выполнении операций изготовления деталей машиностроения средней сложности;- рассчитывать технологические режимы технологических операций изготовления деталей машиностроения;- нормировать технологические операции изготовления деталей машиностроения средней сложности;- рассчитывать нормы расхода сырья, полуфабрикатов, материалов, инструментов, технологического топлива, энергии в технологических операциях изготовления деталей машиностроения средней сложности;- рассчитывать экономическую эффективность проектируемых технологических процессов изготовления деталей машиностроения средней сложности;- оформлять технологическую документацию на разработанные технологические процессы изготовления деталей машиностроения.
--	--	--

Владеть навыками:

- качественной и количественной оценки технологичности конструкции деталей машиностроения средней сложности;
- разработки технических заданий на проектирование заготовок деталей машиностроения средней сложности;
- контроля проектов заготовок и технических заданий на проектирование заготовок, подготовленных специалистами более низкой квалификации;
- выявления основных технологических задач, решаемых при разработке технологических процессов изготовления деталей машиностроения средней сложности;
- исследования технологических операций и технологических процессов изготовления деталей машиностроения средней сложности;
- контроля предложений по

			предупреждению и ликвидации брака и изменению в технологических процессах, разработанных специалистами более низкой квалификации; - обследования технического и технологического уровня оснащения рабочих мест; - разработки планировок рабочих мест.
--	--	--	---

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

Форма промежуточной аттестации экзамен.

13. Трудоемкость по видам учебной работы

ОФО

Вид учебной работы	Трудоемкость		
	Всего	По семестрам	
		6 семестр	
Аудиторные занятия	54		54
в том числе:	лекции	18	18
	лабораторные	18	18
	практические	18	18
Самостоятельная работа	54	54	
Форма промежуточной аттестации (экзамен - 36 час.)	36	36	
Итого:	144	144	

ЗФО

Вид учебной работы	Трудоемкость		
	Всего	По семестрам	
		8 семестр	
Аудиторные занятия	16		16
в том числе:	лекции	4	4
	лабораторные	6	6
	практические	6	6
Самостоятельная работа	119	119	
Форма промежуточной аттестации (экзамен – 9 час.)	9	9	
Итого:	144	144	

13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК *
1. Лекции			
1.1	Введение. Основные	Классификация теплообменных аппаратов.	—

	сведения о теплообменном оборудовании	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 смещающего 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 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.	–
1.5	Трансформаторы теплоты.	Термодинамические основы трансформации теплоты. Основные типы установок для трансформации теплоты. Рабочие агенты и хладоносители в трансформаторах теплоты. Холодильные установки	–

2. Практические занятия

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 смещающего 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	–

3. Лабораторные работы

3.1	Теплообменные установки	Сушильные установки. Способы сушки. Конструкции сушильных установок	–
3.2	Ресурсо- и энергосберегающие технологии.	Установки для использования отработавшего и вторичного производственного пара.	–
3.3	Ресурсо- и энергосберегающие технологии.	Схемы использования теплоты горячей воды	–

3.4	Трансформаторы теплоты.	Газовые компрессионные холодильные машины	—
3.5	Трансформаторы теплоты.	Паровые компрессионные холодильные машины.	—

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

ОФО

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1.	Введение. Основные сведения о теплообменном оборудовании	4	4	0	8	16
2.	Теплообменные аппараты	4	4	4	12	24
3.	Теплообменные установки	2	2	0	8	12
4.	Ресурсо- и энергосберегающие технологии.	4	4	6	12	26
5.	Трансформаторы теплоты.	4	4	8	14	30
	Контроль (экзамен)					36
	Итого:	18	18	18	54	144

ЗФО

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
6.	Введение. Основные сведения о теплообменном оборудовании	1	1	1	25	28
7.	Теплообменные аппараты	1	2	1	22	26
8.	Теплообменные установки	0,5	1	1	22	24,5
9.	Ресурсо- и энергосберегающие технологии.	1	1	1	25	28
10.	Трансформаторы теплоты.	0,5	1	2	25	28,5
	Контроль (экзамен)					9
	Итого:	4	6	6	119	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.

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).

В ходе подготовки к лабораторным работам необходимо изучить в соответствии с вопросами для повторения 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 промежуточной аттестации необходимо повторить пройденный материал в соответствии с учебной программой, примерным перечнем вопросов, выносящихся на экзамен. 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, анализ имитационных моделей.

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. Ахметлатыйпов ; 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: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=561194 (дата обращения: 09.01.2020). – 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: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=141516 (дата обращения: 09.01.2020). – 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: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=89349 (дата обращения: 09.01.2020). – ISBN 978-985-08-1192-9. – Текст : электронный.
4	Антиайн, П.А. Рекуперативные теплообменные аппараты / П.А. Антиайн, М.С. Аронович, А.М. Бакластов. – Москва ; Ленинград : Гос. энергетическое изд-во, 1962. – 232 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=212711 (дата обращения: 09.01.2020). – 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: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=434810 (дата обращения: 09.01.2020). – 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

Программное обеспечение:

Win10, OfficeProPlus 2010;

–STDU Viewer version 1.6.2.0;

–7-Zip;

–GIMP GNU Image Manipulation Program;

–Paint.NET;

–браузеры: Yandex, Google, Opera, Mozilla Firefox, Explorer.

–Учебный комплект Компас-3D v17

Информационно-справочные системы и профессиональные базы данных:

–Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU – <http://elibrary.ru/>

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

- Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов – <http://fcior.edu.ru>
- Портал машиностроения – <http://www.mashportal.ru/>
- Информационно-тематический портал «Машиностроение, механика, металлургия» <http://mashmex.ru/mehanika-mashinostroenie.html>
- База данных «Стандарты и регламенты» Росстандарта – <https://www.gost.ru/portal/gost//home/standarts>
- Библиотека технической литературы ТехЛит.ру – <http://www.tehlit.ru/list.htm>
- Библиотека машиностроителя – <https://lib-bkm.ru/index/0-9>
- Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека online» – <http://biblioclub.ru/>
- ООО Политехресурс ЭБС «Электронная библиотека технического вуза» (ЭБС «Консультант студента») – <https://www.studentlibrary.ru/>

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

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

19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства
1	Введение. Основные сведения о теплообменном оборудовании	ПК-1; ПК-2	ПК-1.2; ПК-2.2; ПК-2.3	Опрос, реферат
2	Теплообменные аппараты	ПК-1; ПК-2	ПК-1.2; ПК-2.2; ПК-2.3	Опрос, реферат
3	Теплообменные установки	ПК-1; ПК-2	ПК-1.2; ПК-2.2; ПК-2.3	Опрос, реферат
4	Ресурсо- и энергосберегающие технологии.	ПК-1; ПК-2	ПК-1.2; ПК-2.2; ПК-2.3	Опрос, реферат
5	Трансформаторы теплоты.	ПК-1; ПК-2	ПК-1.2; ПК-2.2; ПК-2.3	Опрос, реферат
6	Теплообменные установки	ПК-1; ПК-2	ПК-1.2; ПК-2.2; ПК-2.3	Лабораторная работа
7	Ресурсо- и энергосберегающие технологии.	ПК-1; ПК-2	ПК-1.2; ПК-2.2; ПК-2.3	Лабораторная работа
8	Ресурсо- и энергосберегающие технологии.	ПК-1; ПК-2	ПК-1.2; ПК-2.2; ПК-2.3	Лабораторная работа
9	Трансформаторы теплоты.	ПК-1; ПК-2	ПК-1.2; ПК-2.2; ПК-2.3	Лабораторная работа
10	Трансформаторы теплоты.	ПК-1; ПК-2	ПК-1.2; ПК-2.2; ПК-2.3	Лабораторная работа
Промежуточная аттестация – экзамен				Вопросы к экзамену

20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

20.1 Текущий контроль успеваемости

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств: опрос, реферат, лабораторные работы.

20.1.1 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 оребреной трубы.

20.1.2 Перечень типовых лабораторных работ

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 смесительные.

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), о режиме 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 Δt . 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 Δt зависит от начальных t_{1H} , t_{2H} конечных t_{1K} , t_{2K} 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).

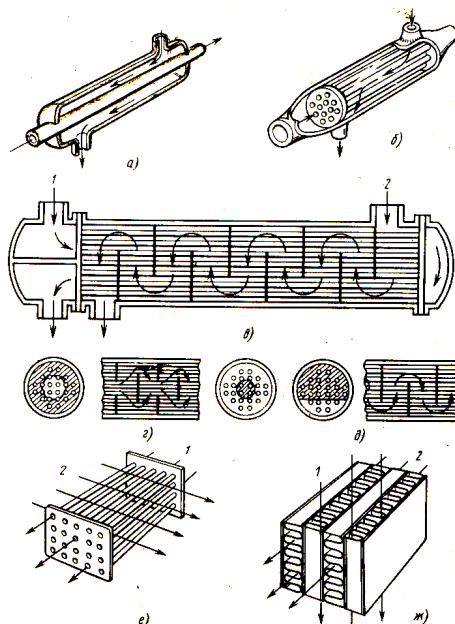


Рис.1. Типичные конструктивные схемы рекуперативных теплообменных аппаратов
 а – «труба в трубе» противоток; б – кожухотрубный противоток; в, г, д – кожухотрубный многократный перекрестный ток; е- трубчатый перекрестный ток;
 ж – пластинчато-ребристый перекрестный ток; 1- горячий поток; 2 – холодный 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 направлениях 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. трубы теплообменников имеют небольшую толщину по сравнению с их диаметром. Полученные формулы позволяют сравнивать среднетемпературные напоры при различных схемах движения теплоносителей. Анализ их показывает, что при одинаковых температурах теплоносителей на входе и выходе из 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 Δt 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,данное горячим теплоносителем Q_1 , должно равняться количеству тепла Q_2 , полученному холодным теплоносителем.

Описание лабораторной установки

Основными элементами лабораторной установки (рис. 2, 3, 4) 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.

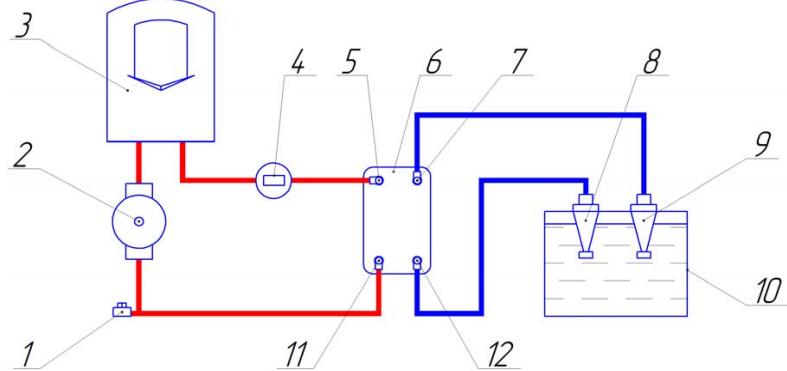


Рис. 2. Схема экспериментальной установки

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 T1, 6 – пластинчатый теплообменник, 7 – датчик температуры горячего теплоносителя, 8 – насос подачи холодного теплоносителя противотоком, 9 – насос подачи холодного теплоносителя прямотоком, 10 – резервуар холодного теплоносителя, 11 – датчик температуры горячего теплоносителя на входе теплообменника T2, 12 – датчик температуры холодного теплоносителя T4.



Рис. 3. Фотография лабораторной установки

Порядок выполнения работы

- 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.
- Подключить автоматизированный стенд к USB разъему компьютера.
- Вызвать программу сбора и обработки данных лабораторной работы Пуск → MeasLAB → «Пластинчатый теплообменник»
- На лицевой панели внесите название сохраняемого файла и запустите программу кнопкой «Пуск» (рис. 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 ВК2 и водонагреватель кнопкой «ВК1».
Установить режим нагрева до 40-50 °C

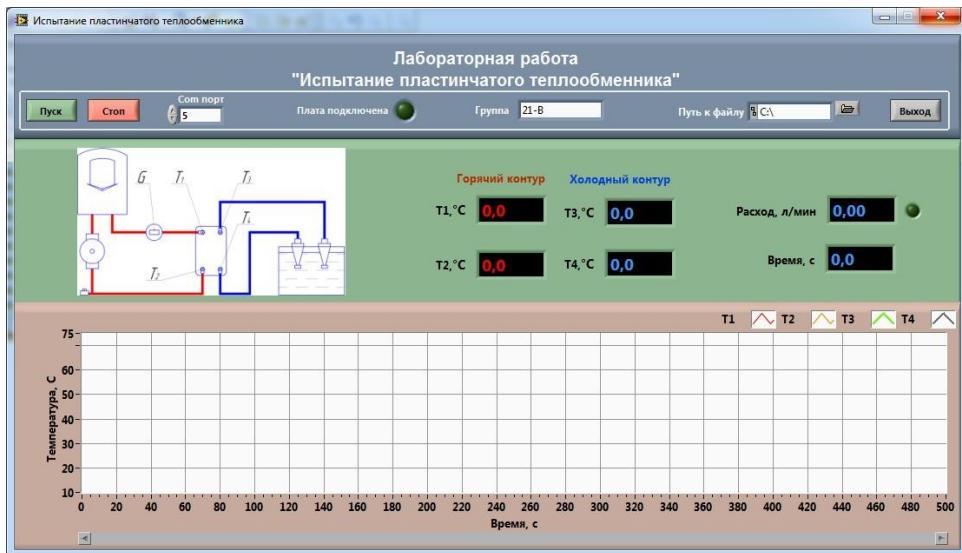


Рис. 4. Лицевая панель компьютерной системы измерения

После выхода на постоянный режим 40-50 °С включить подачу холодного теплоносителя с помощью 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 теплоизменения 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

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?

20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине «Основы технологии производства теплообменного оборудования» осуществляется в соответствии с Положением о проведении промежуточной аттестации обучающихся по образовательным программам высшего образования с помощью следующих оценочных средств: вопросы к экзамену.

20.2.1 Примерный 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 смещающего 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

Критерии и шкалы оценивания компетенций (результатов обучения) при промежуточной аттестации

Для оценивания результатов обучения на экзамене используются следующие показатели:

- 1) знание учебного материала и владение понятийным аппаратом дисциплины;
- 2) умение связывать теорию с практикой;
- 3) умение иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований;
- 4) умение применять теоретические знания для решения практических задач, решать типовые задачи.

Для оценивания результатов обучения на экзамене с оценкой 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 дисциплины «Основы проектирования», способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, сведениями о современном состоянии отрасли. Без затруднений применяет теоретические знания при анализе конкретных задач и вопросов. Знает основную литературу по своему вопросу.</i>	<i>Повышенный уровень</i>	<i>Отлично</i>
<i>Обучающийся владеет понятийным аппаратом дисциплины «Основы проектирования», способен иллюстрировать основные положения ответа примерами. Хорошо владеет профессиональной терминологией, в случае неверного употребления термина может сам исправить ошибку. В основном полно, правильно и логично излагает теоретический материал, может обосновать свои суждения. Допускается 1-2 недочета в изложении и речевом оформлении ответа. Демонстрирует хороший уровень понимания вопросов по теме.</i>	<i>Базовый уровень</i>	<i>Хорошо</i>
<i>Обучающийся владеет частично теоретическими основами дисциплины «Основы проектирования», фрагментарно способен иллюстрировать ответ примерами, фактами. Умеет использовать знания при характеристике фактического материала. В то же время, в ответе могут присутствовать следующие недочеты: а) допускает неточности в определении понятий, терминов (но исправляет их при помощи наводящих вопросов экзаменатора); б) излагает материал недостаточно полно; в) не может достаточно глубоко и доказательно обосновать свои суждения; г) излагает материал недостаточно последовательно; д) допускает ошибки в речи. Проявляет ассоциативные знания лишь при условии наводящих вопросов экзаменатора. Слабо владеет профессиональной терминологией, допускает ошибки и не умеет их исправить самостоятельно.</i>	<i>Пороговый уровень</i>	<i>Удовлетворительно</i>
<i>Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует приведенным выше критериям. Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки. Не владеет терминологией, подменяет одни понятия другими. Не понимает сути наводящих вопросов.</i>	<i>–</i>	<i>Неудовлетворительно</i>