Disynergy
Страница материала ↗
EXQT
Готовые ответы — на EXQT
Доступ к ответам приобретается отдельно.
Найти ответы ↗

Образовательная автономная некоммерческая организация
высшего образования
«МОСКОВСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»

Актуализированная версия
утверждена на заседании
Ученого совета
ОАНО ВО «МосТех»
протокол № 07 от 12 февраля 2026 г.

УТВЕРЖДАЮ
Ректор
Ю.В. Вепринцева

«12» февраля 2026 г.

ПОТРЕБИТЕЛИ И ИСТОЧНИКИ ПРОИЗВОДСТВА ТЕПЛОТЫ

Методические указания по

написанию и защите курсовых работ

Направление подготовки: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Квалификация выпускника: бакалавр

2026

Помогу с учебным заданием без предоплаты. Оплата после выполнения
Нажмите на мессенджер, чтобы написать
Telegram ↗
WhatsApp ↗
MAX ↗
+7 (924) 305-23-08 · Пишите в мессенджер
disynergy.ru

СОДЕРЖАНИЕ

АННОТАЦИЯ....3
ВВЕДЕНИЕ....3
1. Выбор темы курсовой работы....5
2. Теоретическая часть курсовой работы....5
3. Практическая часть курсовой работы....6
4. Графическая часть....8
5. Общие указания....8
6. Содержание работы....10
7. Подбор и изучение источников....10
8. Требования к оформлению курсовой работы....11
9. Порядок защиты курсовой работы....14
10. Общие сведения о теплообменных аппаратах....16
10.1 Основы выбора теплообменников теплоэнергетических установок....17
10.2 Классификация рекуперативных теплообменников....17
10.3. Секционные теплообменники....19
10.4 Кожухотрубные теплообменники....23
10.5 Пластинчатые теплообменники....28
11. Теплотехнический расчет рекуперативного теплообменного аппарата....32
11.2 Конструктивный расчет рекуператора....33
11.2.2. Определение геометрии поперечного сечения теплообменника....40
11.2.3. Расчет коэффициента теплопередачи и площади поверхности теплообмена....42
11.2.4. Поверочный расчет теплообменника....47
ЗАКЛЮЧЕНИЕ....50
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ....51
ПРИЛОЖЕНИЯ....52

Помогу с учебным заданием без предоплаты. Оплата после выполнения
Нажмите на мессенджер, чтобы написать
Telegram ↗ WhatsApp ↗ MAX ↗
+7 (924) 305-23-08 · Пишите в мессенджер
disynergy.ru

АННОТАЦИЯ

В методических указаниях содержится:

- вся необходимая информация по содержанию и оформлению курсовой работы;
- таблицы по выбору темы теоретической части и вариантов исходных данных для практической части курсовой работы;
- общие сведения о теплообменных аппаратах и алгоритм конструктивного расчета рекуператора.

ВВЕДЕНИЕ

Курсовая работа по направлению подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника (уровень бакалавриат) является формой контроля знаний, навыков и умений обучающегося, изучившего дисциплины, по которым, в соответствии с учебным планом предусмотрено написание курсовой работы.

Целью написания курсовой работы по направлению подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника является углубленное изучение избранной обучающимся темы, на основе рекомендованной основной и дополнительной литературы, самостоятельное изложение освоенного материала, сочетающего теоретические и практические вопросы по актуальным проблемам направленности.

В процессе написания курсовой работы происходит систематизация, закрепление и расширение знаний и навыков, приобретение опыта самостоятельной работы по организации поиска необходимой научной литературы, сбору и обработке информации в пределах конкретной темы исследования, а также изучение зарубежного опыта.

При написании курсовой работы обучающиеся должны показать умение использовать современные методы исследования, работать с источниками литературы, четко и логично излагать материал исследования, формулировать собственные выводы и предложения.

Помогу с учебным заданием без предоплаты. Оплата после выполнения
Нажмите на мессенджер, чтобы написать
Telegram ↗ WhatsApp ↗ MAX ↗
+7 (924) 305-23-08 · Пишите в мессенджер
disynergy.ru

К курсовой работе, которая является самостоятельным научным трудом, предъявляются требования, такие как:

- глубокая теоретическая проработка исследуемых проблем на основе анализа специальной литературы;
- всестороннее использование данных, характеризующих деятельность объекта исследования;
- умелая систематизация цифровых данных в виде таблиц, графиков с необходимым анализом, обобщением и выявлением тенденций развития тех или иных теплоэнергетических систем;
- критический подход к изучаемым фактическим материалам в целях поиска резервов повышения эффективности деятельности объекта исследования;
- аргументированность выводов, обоснованность рекомендаций;
- логически последовательное изложение материала;
- оформление материала в соответствии с требованиями государственных стандартов.

Обучающемуся рекомендуется изучать все доступные ему источники, чтобы ознакомиться со всеми основными источниками по изучаемому вопросу. Следует помнить об огромном разнообразии явлений, их сложности, вследствие чего в процессе работы обучающий неминуемо столкнется со взаимно противоречивыми факторами. Поэтому только глубокий и всесторонний анализ позволит точно отразить основные тенденции развития изучаемого материала.

Структура курсовой работы должна включать следующие разделы:

- титульный лист **(Приложение 1)**;
- содержание;
- введение;
- основная часть (теоретическая и практическая части);
- заключение;
- список использованных источников;
- приложения;

Помогу с учебным заданием без предоплаты. Оплата после выполнения
Нажмите на мессенджер, чтобы написать
Telegram ↗ WhatsApp ↗ MAX ↗
+7 (924) 305-23-08 · Пишите в мессенджер disynergy.ru

- графическая часть.

Выполненную курсовую работу и графическую часть необходимо прикрепить в личном кабинете для проверки.

1. Выбор темы курсовой работы

Тему курсовой работы обучающийся выбирает из перечня, утвержденного факультетом Энергетики, согласно своему варианту.

Курсовая работа по дисциплине «Потребители и источники производства теплоты» **состоит из теоретической, практической и графической частей.**

2. Теоретическая часть курсовой работы

Темы теоретической части курсовой работы выбираются в соответствии с номером договора обучающегося по **Таблице 1** согласно представленному в **Таблице 2** списку тем.

Таблица 1

Выбор темы теоретической части курсовой работы

Предпоследняя цифра договора (без учета слеша и года).	Последняя цифра договора (без учета слеша и года).									
	0	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
0-4	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5-9	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

Таблица 2

Перечень тем для выполнения теоретической части курсовой работы

Номер темы	**Название темы**
1	Автоматизация систем теплоснабжения коттеджей
2	Тепловой расчет тепловых сетей
3	Гидравлический расчет тепловых сетей
4	Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии для нужд теплоснабжения
5	Подбор отопительных приборов

Помогу с учебным заданием без предоплаты. Оплата после выполнения
Нажмите на мессенджер, чтобы написать
Telegram ↗ WhatsApp ↗ MAX ↗
+7 (924) 305-23-08 · Пишите в мессенджер disynergy.ru

6	Расчет мощности системы отопления и вентиляции
7	Способы присоединения отопления, вентиляции и горячего водоснабжения
8	Технико-экономическое сравнение систем отопления
9	Технологическое потребление пара и горячей воды
10	Определение теплопотерь здания через наружные ограждения
11	Разработка схемы теплоснабжения города и промышленных комплексов
12	Экономическая эффективность комбинированной и раздельной схем теплоснабжения
13	Тепловые схемы промышленно-отопительных котельных
14	Сравнительный анализ технико-экономических показателей ТЭС
15	Использование вторичных ресурсов промышленных предприятий для теплоснабжения
16	Источники теплоты автономных систем теплоснабжения
17	Схемы и оборудование тепловых пунктов
18	Организация обслуживания теплотехнического оборудования систем теплоснабжения
19	Обеспечение надежности теплоснабжения
20	Автоматизация абонентских вводов закрытых и открытых систем теплоснабжения

Пример: номер договора обучающегося 5023**53**/18. Две последние цифры: **53** (без учета слеша и года). В соответствии с представленной выше таблицей, студент должен выбрать тему теоретической части курсовой № 14: *Сравнительный анализ технико-экономических показателей ТЭС.*

3. Практическая часть курсовой работы

Практическая часть курсовой работы заключается в выполнении **теплотехнического расчета секционного рекуперативного теплообменника**, в результате проведения которого требуется:

- Разработать конструкцию рекуператора, соответствующую исходным данным;
- Выполнить конструктивный расчет рекуператора с определением его основных геометрических размеров;
- Выполнить поверочный расчет рекуператора;

Помогу с учебным заданием без предоплаты. Оплата после выполнения
Нажмите на мессенджер, чтобы написать
Telegram ↗ WhatsApp ↗ MAX ↗
+7 (924) 305-23-08 · Пишите в мессенджер disynergy.ru

Исходные данные для расчета рекуперативного теплообменника выбираются по номеру договора обучающегося в соответствии с **Таблицей 3**.

Пример: номер договора обучающегося 5023**53**/18. Две последние цифры: **53** (без учета слеша и года). В соответствии с представленной ниже таблицей, студент должен выбрать вариант № 23.

Таблица 3

Выбор варианта исходных данных для расчета рекуперативного теплообменника

Последние цифры ИНС	**№ вар**	**Греющий теплоноситель**	t'_1 **°C**	t''_1 **°C**	**Нагреваемый теплоноситель**	t'_2 **°C**	t''_2 **°C**	G_2 **кг/с**
01, 31, 61, 91	1	Вода	85	65	Вода	14	24	1,5
02, 32, 62, 92	2	Вода	85	67	Вода	14	26	1,4
03, 33, 63, 93	3	Вода	85	69	Вода	14	28	1,3
04, 34, 64, 94	4	Вода	85	71	Вода	14	30	1,2
05, 35, 65, 95	5	Вода	95	80	Вода	12	34	1,55
06, 36, 66, 96	6	Вода	95	78	Вода	12	32	1,6
07, 37, 67, 97	7	Вода	95	76	Вода	12	30	1,65
08, 38, 68, 98	8	Вода	95	74	Вода	12	28	1,7
09, 39, 69, 99	9	Вода	95	72	Вода	12	26	1,75
10, 40, 70, 00	10	Вода	95	70	Вода	12	24	1,8
11, 41, 71	11	Вода	95	68	Вода	12	22	1,85
12, 42, 72	12	Вода	80	58	Вода	10	34	1,4
13, 43, 73	13	Вода	80	60	Вода	10	32	1,5
14, 44, 74	14	Вода	80	62	Вода	10	30	1,6
15, 45, 75	15	Вода	80	64	Вода	10	28	1,7
16, 46, 76	16	Вода	80	66	Вода	10	26	1,8
17, 47, 77	17	Вода	80	68	Вода	10	24	1,9
18, 48, 78	18	Вода	80	70	Вода	10	22	2,0
19, 49, 79	19	Вода	100	88	Вода	15	30	1,35
20, 50, 80	20	Вода	100	86	Вода	15	32	1,3
21, 51, 81	21	Вода	100	84	Вода	15	34	1,25
22, 52, 82	22	Вода	100	82	Вода	15	36	1,2
23, 53, 83	23	Вода	100	80	Вода	15	38	1,1
24, 54, 84	24	Вода	100	78	Вода	15	40	1,05

Помогу с учебным заданием без предоплаты. Оплата после выполнения
Нажмите на мессенджер, чтобы написать
Telegram ↗ WhatsApp ↗ MAX ↗
+7 (924) 305-23-08 · Пишите в мессенджер
disynergy.ru

25, 55, 85	25	Вода	90	80	Вода	20	35	1,35
26, 56, 86	26	Вода	90	78	Вода	20	37	1,3
27, 57, 87	27	Вода	90	76	Вода	20	39	1,25
28, 58, 88	28	Вода	90	74	Вода	20	43	1,2
29, 59, 89	29	Вода	90	72	Вода	20	45	1,1
30, 60, 90	30	Вода	90	70	Вода	20	47	1,2

Таким образом, студент с номером договора обучающегося 5023**53**/18 выбирает тему:

- тему для теоретической части № 14: **Сравнительный анализ технико-экономических показателей ТЭС.**
- в практической части работы студент с номером договора обучающегося 5023**53**/18 выбирает исходные данные для расчета согласно варианту **№ 23**.

4. Графическая часть

Разработать и оформить чертеж продольного и поперечного разреза разработанного рекуператора с указанием полученных в ходе расчета геометрических размеров.

5. Общие указания

Курсовая работа — самостоятельная разработка конкретной темы с элементами научного анализа, отражающая приобретенные студентом теоретические знания и практические навыки, умение работать с литературой, анализировать источники, делать обстоятельные и обоснованные выводы.

Теоретическая и практическая часть курсовой работы (расчетно-пояснительная записка) оформляются в виде единого документа в формате docx.

Графическая часть работы оформляется на формате А1, в масштабе, с заполненным штампом, в двух форматах DWG и PDF. Графическая часть прикладывается отдельными файлами к расчетно-пояснительной записке.

Помогу с учебным заданием без предоплаты. Оплата после выполнения
Нажмите на мессенджер, чтобы написать
Telegram ↗ WhatsApp ↗ MAX ↗
+7 (924) 305-23-08 · Пишите в мессенджер
disynergy.ru

Объем теоретической части курсовой работы не должен превышать 20-25 страниц.

При оформлении расчетно-пояснительной записки и графической части курсовой работы необходимо соблюдать следующие требования:

1. Оригинальность текста теоретической части курсовой работы должна быть не менее 50%, объем сгенерированного текста (текста созданного с помощью искусственного интеллекта) не более 10%. Процент оригинальности и объем сгенерированного текста определяется руководителем курсовой работы с помощью программы Антиплагиат. ВУЗ с модулем МТИ.

2. Содержание теоретической части курсовой работы должно соответствовать теме и полностью ее раскрывать. Все рассуждения нужно аргументировать. Следует стремиться к тому, чтобы изложение было ясным, простым, точным и при этом выразительным, и логичным. Изложение темы должно быть конкретным, насыщенным фактическими данными, сопоставлениями, расчетами. При изложении материала необходимо соблюдать общепринятые правила:

- не рекомендуется вести повествование от первого лица единственного числа (такие утверждения лучше выражать в безличной форме);
- при упоминании в тексте фамилий обязательно ставить инициалы перед фамилией;
- каждая глава (часть работы) начинается с новой страницы, а пункты или подпункты – с новой строки;
- при изложении различных точек зрения и научных положений, цитат, выдержек из литературы, необходимо указывать источники, т.е. приводить ссылки;
- таблицы и рисунки должны иметь нумерацию и название;
- формулы выравниваются «по центру» и должны быть пронумерованы сквозной нумерацией, все входящие в них величины должны быть расшифрованы под ними.

Помогу с учебным заданием без предоплаты. Оплата после выполнения
Нажмите на мессенджер, чтобы написать
Telegram ↗ WhatsApp ↗ MAX ↗
+7 (924) 305-23-08 · Пишите в мессенджер disynergy.ru

3. В практической части курсовой работы должны быть отражены все пункты расчета, приведенного в разделе 11.2 «Конструктивный расчет рекуператора» и методических указаний по выполнению расчета.

Практическая часть курсовой работы должна содержать подробные записи всех выполненных расчетов, включая все необходимые пояснения к используемым формулам.

6. Содержание работы

Курсовая работа по дисциплине «Потребители и источники производства теплоты» должна состоять из следующих разделов:

- содержание;
- введения (с указанием цели и задач работы);
- основной части (теоретическая и практическая части),
- заключения,
- списка использованных источников, включающего 10-15 источников,
- приложения (при наличии),

7. Подбор и изучение источников

Обучающийся подбирает источники из рекомендованной на факультете и в электронной библиотечной системе Института https://e.lanbook.com/, https://biblioclub.ru/. Повышению качества курсовой работы по проблемно-поисковой и дискуссионной тематике способствует знание нормативно - законодательных актов, относящихся к теме исследования.

Обучающийся может воспользоваться перечнем источников монографического характера.

Обучающимся рекомендуется изучить и использовать научные диссертационные исследования в предметной области.

Общее ознакомление с основными источниками (монографиями, статьями, информационно-справочной литературой) должно предшествовать составлению плана курсовой работы.

Помогу с учебным заданием без предоплаты. Оплата после выполнения
Нажмите на мессенджер, чтобы написать
Telegram ↗ WhatsApp ↗ MAX ↗
+7 (924) 305-23-08 · Пишите в мессенджер
disynergy.ru

Целесообразно уделять внимание таким источникам как: электронные версии периодических изданий, учебников, материалов конференций. Имеется много сайтов, посвященных статистическим данным, финансово-экономической информации, электронным версиям журналов, форумам, электронным книгам и пр.

При написании практического раздела курсовой работы рекомендуется обратить особое внимание на материалы, публикуемые в периодических изданиях. Именно там обучающий может найти информацию, касающуюся его вопроса, рассмотренного на примере уже конкретных организаций или предприятий. Это может быть и методика анализа, и система показателей, и пример бизнес-плана, и пр.

Подбирая литературу, необходимо работать только с той информацией, которая относится непосредственно к теме. Основная задача обучающегося на данном этапе - разобраться и понять, что пишут по данной проблеме авторы, на какие аспекты они больше обращают внимание, под каким углом зрения рассматривается данный вопрос и пр.

8. Требования к оформлению курсовой работы

Расчетно-пояснительная записка оформляется в соответствии с «Общими требованиями к текстовым документам» ГОСТ 2.105 - 2019, ГОСТ 3.1127 - 93, ГОСТ Р 7.0.97-2016. Документ должен быть отпечатан на стандартных листах белой бумаги формата А4 (210 х 297 мм). Все листы должны быть пронумерованы. Титульный лист считается первой страницей, но номер на нем не пишется.

Наличие рамки и штампа на листах пояснительной записки не является обязательным.

Ввод текста следует осуществлять со следующими параметрами:

- шрифта Times New Roman;
- размер шрифта основного текста - 14, в таблицах -12;
- межстрочный интервал – 1,5;

Помогу с учебным заданием без предоплаты. Оплата после выполнения
Нажмите на мессенджер, чтобы написать
Telegram ↗ WhatsApp ↗ MAX ↗
+7 (924) 305-23-08 · Пишите в мессенджер disynergy.ru

- выравнивание текста производится по ширине страницы;
- отступ первой строки абзаца (красной строки) устанавливается 1,25 см;
- поля: размер левого поля 30 мм, правого - 10 мм, верхнего 20 мм, нижнего 20 мм;
- таблицы и рисунки выполняются на отдельных страницах или по тексту без «обтекания» текстом.

Разделы (главы) должны быть пронумерованы арабскими цифрами с точкой в пределах всей пояснительной записки (например: **Глава 2. ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ РЕКУПЕРАТИВНОГО ТЕПЛОМАССООБМЕННИКА**).

Подразделы должны иметь порядковые номера в пределах каждого раздела. Номер подраздела состоит из номера раздела и подраздела, разделенных точками (например: **2.1 Порядок составления графиков ППР и ТО**: номер 2.1 означает первый параграф второй главы).

При написании заголовков разделов (глав), подразделов (параграфов) и пунктов в тексте пояснительной записки следует соблюдать следующие правила. Заголовки разделов (глав) пишутся (печатаются) заглавными буквами с абзаца. Если заголовок состоит из двух или более предложений, они разделяются точками. Новый раздел (глава) должен начинаться с новой страницы. В случае если текст разделов небольшой, допустимо размещать на одном листе более одного раздела. Расстояние между заголовком и последующим текстом или названием подраздела (параграфа) должно составлять два межстрочных интервала, а между заголовком и последней строкой предыдущего текста три межстрочных интервала.

Иллюстративный материал может располагаться в работе непосредственно в составе текста, в котором он упоминается впервые, или после него. На все иллюстрации должны быть ссылки в работе. Иллюстрации (чертежи, графики, схемы, документы, рисунки, снимки), должны быть пронумерованы и иметь названия под иллюстрацией. Нумерация иллюстраций должна быть сквозной по всему тексту курсовой работы. Слово «Рисунок» пишется полностью. Каждая

Помогу с учебным заданием без предоплаты. Оплата после выполнения
Нажмите на мессенджер, чтобы написать
Telegram ↗ WhatsApp ↗ MAX ↗
+7 (924) 305-23-08 · Пишите в мессенджер disynergy.ru

иллюстрация помимо номера должна иметь название. Подпись располагают в центре под рисунком без точки в конце. Название начинается с прописной буквы (например: Рисунок 2 – Структура системы управления технического обслуживания электрооборудования).

Таблицы в курсовой работе располагаются непосредственно после текста, в котором они упоминается впервые, или на следующей странице. На все таблицы должны быть ссылки в тексте. Нумерация таблиц должна быть сквозной по всему тексту. Слово «Таблица» и ее порядковый номер (без знака №) пишется сверху самой таблицы в правой стороне.

Заголовок в таблицах указывают, как правило, в именительном падеже единственного числа. Начинаются заголовки с прописных букв, а подзаголовки со строчных, если они составляют одно предложение с заголовком, и начинаются с прописных, если они самостоятельные. Заголовок таблицы не подчеркивается и в кавычки не берется.

При переносе таблицы с громоздким заголовком на следующую страницу допускается не дублировать ее головку. В этом случае графы нумеруют на первой странице, а на последующих — приводят только строку с их номерами. Общее название таблицы повторно не указывается.

Формулы приводятся сначала в буквенном выражении, затем дается расшифровка входящих в них индексов, величин, в той же последовательности, в которой они даны в формуле. **Уравнения и формулы следует выделять из текста в отдельную строку и оформлять в редакторе формул. Не допускается вставлять уравнения и формулы в виде изображений.** Уравнения и формулы нумеруются в круглых скобках справа от формулы. Нумерация уравнений и формул должна быть сквозной по всему тексту курсовой работы.

Нумерация страниц должна быть сквозной: первой страницей является титульный лист, второй оглавление и т. д. Номер страницы проставляется арабскими цифрами в правом нижнем углу. На странице 1 (титульный лист) номер не ставится. Если в документе имеются рисунки и таблицы, которые

Помогу с учебным заданием без предоплаты. Оплата после выполнения
Нажмите на мессенджер, чтобы написать
Telegram ↗ WhatsApp ↗ MAX ↗
+7 (924) 305-23-08 · Пишите в мессенджер disynergy.ru

располагаются на отдельных страницах, их необходимо включать в общую нумерацию. Если рисунок или таблица расположены на листе формата больше А4, их следует учитывать, как одну страницу. Номер страницы в этом случае допускается не проставлять. Список используемых источников и приложения также включаются в сквозную нумерацию.

При выполнении графической части необходимо руководствоваться требованиями и рекомендациями, изложенными в ГОСТ Р 2.105-2019 - Единая система конструкторской документации.

При работе в графических программах, требования к чертежам должны быть заданы обучающимся в компьютере. Листы графической части выполняются с рамкой и угловым штампом (рисунок 1).



Рис. 1 – Образец заполнения штампа чертежа

На проверку преподавателю отправлять расчетно-пояснительная записка в формате docx, чертежи в формате dwg и pdf.

9. Порядок защиты курсовой работы

Завершающим этапом выполнения обучающимся курсовой работы является отзыв руководителя и защита.

Защита КР проводится в соответствии с расписанием. Результат защиты КР обучающегося оценивается по традиционной 100 балльной системе в

Помогу с учебным заданием без предоплаты. Оплата после выполнения
Нажмите на мессенджер, чтобы написать
Telegram ↗ WhatsApp ↗ MAX ↗
+7 (924) 305-23-08 · Пишите в мессенджер
disynergy.ru

соответствии с «Положением о текущем контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся, осваивающих образовательные программы высшего образования в Образовательной автономной некоммерческой организации высшего образования «Московский технологический институт» (ОАНО ВО «МосТех»)». Оценка за выполнение курсовой работы учитывает, как уровень качества подготовки обучающимся самой курсовой работы, так и уровень качества ее защиты:

- оценку "отлично" (100-90 баллов) получают работы, в которых содержатся элементы научного творчества, делаются самостоятельные выводы, дается аргументированная критика и самостоятельный анализ фактического материала на основе глубоких знаний литературы по данной теме;

- оценка "хорошо" (89-70 баллов) ставится тогда, когда в работе, выполненной на достаточном теоретическом уровне, полно и всесторонне освещаются вопросы темы, но нет должной степени творчества;

- оценку "удовлетворительно" (69-50 баллов) имеют работы, в которых правильно освещены основные вопросы темы, но не проявилось умение логически стройного их изложения, самостоятельного анализа источников, содержатся отдельные ошибочные положения;

- оценку "неудовлетворительно" (менее 50 баллов) имеют работы, в которых неправильно освещены основные вопросы темы, имеются серьезные ошибки в расчетной части, серьезные нарушения требований методических указаний, отсутствие графической части курсовой работы.

Обучающийся в течении 5 минут представляет доклад по теме КР и отвечает на вопросы руководителя. Обучающийся должен: логично построить сообщение о выполненной работе, обосновать выводы и предложения: показать понимание теоретических положений, на основе которых выполнена работа, показать самостоятельность выполнения работы, дать правильные ответы на вопросы.

Оценка за курсовую работу выставляется руководителем по результатам защиты в зачетно-экзаменационную ведомость и зачетную книжку

Помогу с учебным заданием без предоплаты. Оплата после выполнения
Нажмите на мессенджер, чтобы написать
Telegram ↗ WhatsApp ↗ MAX ↗
+7 (924) 305-23-08 · Пишите в мессенджер disynergy.ru

обучающегося (неудовлетворительная оценка – только в ведомость).

Текст курсовой работы в формате docx, чертежи в формате dwg и pdf, отзыв с подписью руководителя, должны быть подгружены в Личный кабинет обучающегося в раздел портфолио.

Обучающийся, не представивший в установленный срок курсовую работу или не защитивший ее по неуважительной причине, считается имеющим академическую задолженность.

Обучающийся, не защитивший курсовую работу в установленный срок, должен подготовить и защитить курсовую работу в соответствии с процедурой ликвидации академических задолженностей, установленной в «Положении о текущем контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся, осваивающих образовательные программы высшего образования в Образовательной автономной некоммерческой организации высшего образования «Московский технологический институт» (ОАНО ВО «МосТех»)».

10. Общие сведения о теплообменных аппаратах

ВВЕДЕНИЕ

В самых различных областях техники постоянно возникает необходимость в разработке и создании теплообменных аппаратов, служащих для передачи теплоты от одного теплоносителя к другому. При этом в соответствии с исходными требованиями решаемой задачи необходимо выбрать подходящий вариант конструкции теплообменника; произвести его конструктивный расчет, определив при этом основные геометрические размеры конструируемого аппарата; произвести поверочный расчет проектируемого аппарата, с целью проверки, соответствует ли он исходным требованиям.

Для выполнения указанных работ необходимы знания о существующих вариантах конструкций теплообменников и их технических характеристиках; знания о методах теплотехнического расчета теплообменных аппаратов; умение пользоваться справочной и нормативной литературой; умение выполнять на практике конструирование и расчет теплообменника.

Помогу с учебным заданием без предоплаты. Оплата после выполнения
Нажмите на мессенджер, чтобы написать
Telegram ↗ WhatsApp ↗ MAX ↗
+7 (924) 305-23-08 · Пишите в мессенджер
disynergy.ru

Целью настоящих методических указаний является обучение студентов умению выбирать, соответственно решаемой технической задаче, рациональную конструкцию теплообменного аппарата и выполнять его теплотехнический расчет.

10.1 Основы выбора теплообменников теплоэнергетических установок

При конструировании и эксплуатации теплоэнергетических установок возникает необходимость конструирования нового или выбора и расчета стандартного теплообменного оборудования, предназначенного для работы в составе самой установки, либо для вспомогательных целей.

В соответствии с содержанием задачи, которая должна быть решена, целесообразно использование того, или иного вида теплообменной аппаратуры. Для обоснования подобного выбора, в процессе курсового проектирования, при выполнении дипломных проектов и выпускных квалификационных работ возникает необходимость разработать не только схематические, но и конструктивные элементы систем и установок, включающих стандартную теплообменную аппаратуру. Поэтому в данных методических указаниях приведены примеры конструкций и параметров современных рекуперативных теплообменников необходимых при конструировании и расчете технических данных. Подобные сведения также необходимы и при расчете и конструировании новой теплообменной аппаратуры, для того чтобы сравнить разрабатываемые конструктивные решения теплообменников с уже известными.

10.2 Классификация рекуперативных теплообменников

Теплообменным аппаратом (теплообменником) принято называть устройство для передачи теплоты от одного теплоносителя к другому. Теплообменные аппараты, применяемые на промышленных предприятиях, могут или непосредственно входить в состав технологического оборудования, или служить для вспомогательных целей, например, для подвода теплоты к теплоносителю вне теплоиспользующей установки, или для использования вторичной теплоты отработавших теплоносителей.

Помогу с учебным заданием без предоплаты. Оплата после выполнения
Нажмите на мессенджер, чтобы написать
Telegram ↗ WhatsApp ↗ MAX ↗
+7 (924) 305-23-08 · Пишите в мессенджер disynergy.ru

По цикличности работы теплообменные аппараты подразделяют на теплообменники непрерывного и периодического действия. Для теплообменников непрерывного действия главным является установившийся режим их работы. В этом режиме остаются неизменными по времени расходы обоих теплоносителей, проходящих через теплообменник, а также их начальная и конечная температура.

Для теплообменных аппаратов периодического действия основным является неустановившийся режим. В этом режиме происходит изменение по времени начальной и конечной температуры одного или обоих теплоносителей. Возможно также изменение их расходов.

Рекуперативными (рекуператорами) называют аппараты, в которых передача теплоты от одного теплоносителя к другому происходит через разделяющую их стенку. Процесс теплопередачи при этом складывается из теплоотдачи от греющего теплоносителя к стенке, теплопроводности и теплоотдачи от стенки к нагреваемому теплоносителю. Прямой контакт между теплоносителями отсутствует.

Одним из наиболее важных этапов проектирования теплоэнергетических установок является выбор типа и типоразмера теплообменных аппаратов, входящих в состав установки. Конструктору на самой ранней стадии проектирования следует проанализировать существующие типовые конструкции и выбрать наиболее приемлемую. Если окончательное решение не может быть принято сразу, то на первой стадии проектирования оправдано рассмотрение нескольких более или менее подходящих типов теплообменников. В связи с этим кратко рассмотрим классификацию и наиболее распространенные конструкции стандартных рекуперативных теплообменников.

В зависимости от формы поверхности теплообмена, рекуперативные теплообменники могут быть подразделены на аппараты с поверхностью теплообмена из труб и аппараты с поверхностью теплообмена из листа. Теплообменные аппараты с поверхностью теплообмена из труб, как правило, позволяют допустить значительную разность давлений теплоносителей.

Помогу с учебным заданием без предоплаты. Оплата после выполнения
Нажмите на мессенджер, чтобы написать
Telegram ↗ WhatsApp ↗ MAX ↗
+7 (924) 305-23-08 · Пишите в мессенджер disynergy.ru

Теплообменники с поверхностью теплообмена из листа в ряде случаев более компактны. Вначале проанализируем основные варианты теплообменников с поверхностью теплообмена из труб.

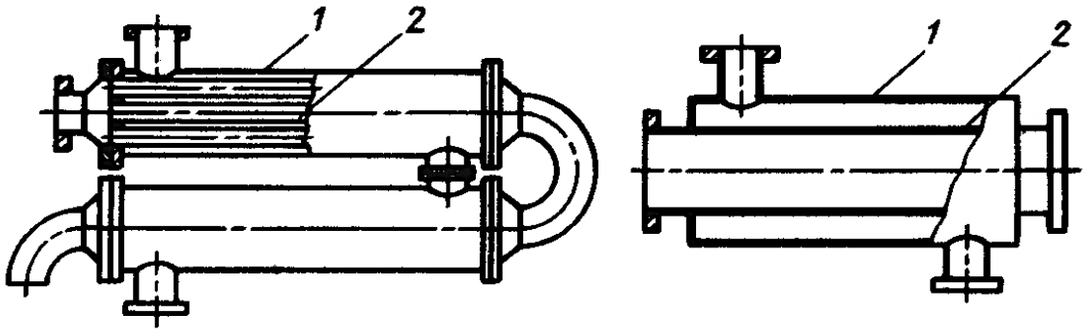
10.3. Секционные теплообменники

Название "секционный" указывает на то, что из таких теплообменников, путем соединения их между собой, может быть набрана требуемая поверхность теплообмена. Секционный теплообменник состоит из одной или нескольких теплопередающих труб, заключенных в общем корпусе. Поверхность теплообмена одной секции используемых в промышленности секционных теплообменников составляет 0,75—30 м^2, а число труб в секции от 4 до 140. Длина трубного пучка в одной секции стандартного теплообменника обычно составляет 2 или 4 м.

К разряду секционных можно отнести и теплообменники типа «труба в трубе». Такой аппарат (рисунок 2б) содержит только одну теплопередающую трубу, коаксиально расположенную внутри корпуса. Теплообменник снабжается патрубками для подвода и отвода теплоносителей. Один из них движется в полости внутренней трубы 2. Другой теплоноситель движется в кольцевом зазоре между внутренней и наружной трубой 1. Внутренняя труба может иметь продольные ребра, приваренные к ней изнутри или снаружи для увеличения поверхности теплообмена со стороны потока с меньшим коэффициентом теплоотдачи.

Секции теплообменника по ходу движения теплоносителя могут быть соединены последовательно или параллельно. На рисунке 2а представлено последовательное соединение секций, как по ходу греющего, так и по ходу нагреваемого теплоносителей.

Помогу с учебным заданием без предоплаты. Оплата после выполнения
Нажмите на мессенджер, чтобы написать
Telegram ↗ WhatsApp ↗ MAX ↗
+7 (924) 305-23-08 · Пишите в мессенджер disynergy.ru



а)

б)

Рисунок 2 - Секционные теплообменники

Преимуществами теплообменников типа «труба в трубе» являются высокие коэффициенты теплоотдачи, пригодность для работы при высоком давлении теплоносителей, простота изготовления, монтажа и обслуживания. К недостаткам относятся: низкая компактность, высокая стоимость из-за большого расхода металла на наружные трубы, не участвующие в теплообмене, сложность очистки кольцевого пространства между трубами.

Теплообменники типа «труба в трубе» используются в основном для нагревания или охлаждения теплоносителя в тех случаях, когда требуются сравнительно небольшие поверхности теплообмена. Они также могут использоваться в процессах, сопровождающихся кипением или конденсацией теплоносителя. Преимущество теплообменника «труба в трубе» заключается в разнообразии компоновок, и, кроме того, они могут быть быстро собраны из стандартных элементов на месте монтажа. При необходимости поверхность теплообмена может быть увеличена за счет установки дополнительных секций.

Упрощается контроль распределения потоков теплоносителя по каждому каналу теплообменника, что особенно важно при охлаждении вязких жидкостей, когда в случае необходимости один насос может быть установлен для группы теплообменников. Главными недостатками теплообменников типа «труба в трубе» являются большой объем и высокая стоимость в расчете на единицу поверхности теплообмена.

Помогу с учебным заданием без предоплаты. Оплата после выполнения
Нажмите на мессенджер, чтобы написать
Telegram ↗ WhatsApp ↗ MAX ↗
+7 (924) 305-23-08 · Пишите в мессенджер
disynergy.ru

Дальнейшее развитие конструкции секционных теплообменных аппаратов представляют собой теплообменники (рисунок 2а), в корпусе 1 которых размещается не одна труба, а пучок труб 2. Такой аппарат компактнее теплообменника типа "труба в трубе" и, в расчете на единицу площади поверхности теплообмена, дешевле. Конструктивное оформление и основные размеры стандартных секционных теплообменников приведены на рисунке 3, а их технические данные — в таблице 4. Общая компоновка секций, соединенных последовательно как по ходу греющего, так и по ходу нагреваемого теплоносителя ясна из рисунка 4. Трубный пучок выполнен из трубок 16 х 1 (первое число – наружный диаметр трубки, второе – толщина стенки трубки). В третьем столбце таблицы 4 приведены отношения наружного диаметра корпуса теплообменника D_* к его внутреннему диаметру $D_в$.

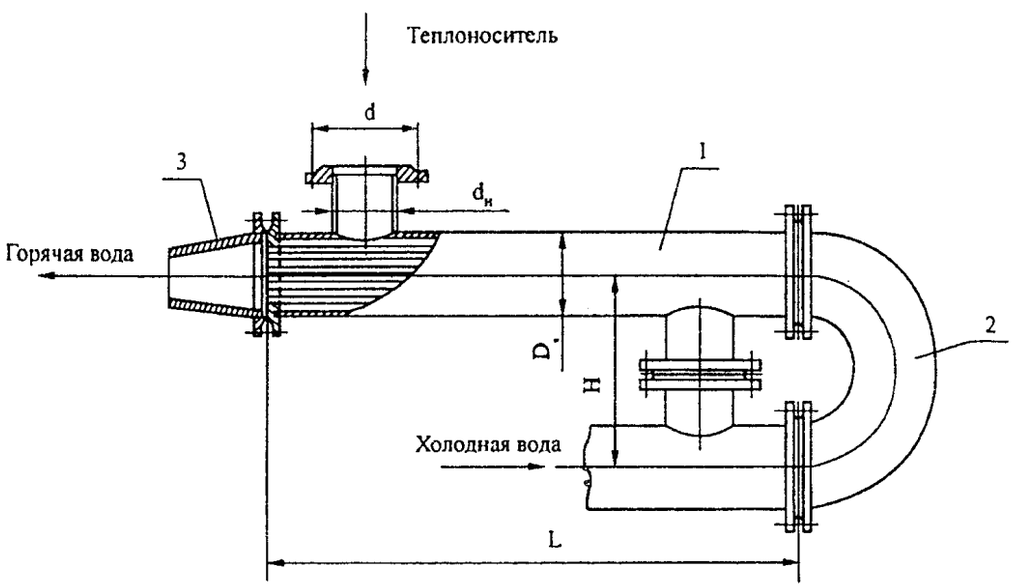


Рисунок 3 - Основные размеры секционных теплообменников без компенсатора температурных удлинений: 1 — секция; 2 — калач с фланцем; 3 — переход с фланцем

Помогу с учебным заданием без предоплаты. Оплата после выполнения
Нажмите на мессенджер, чтобы написать
Telegram ↗ WhatsApp ↗ MAX ↗
+7 (924) 305-23-08 · Пишите в мессенджер
disynergy.ru

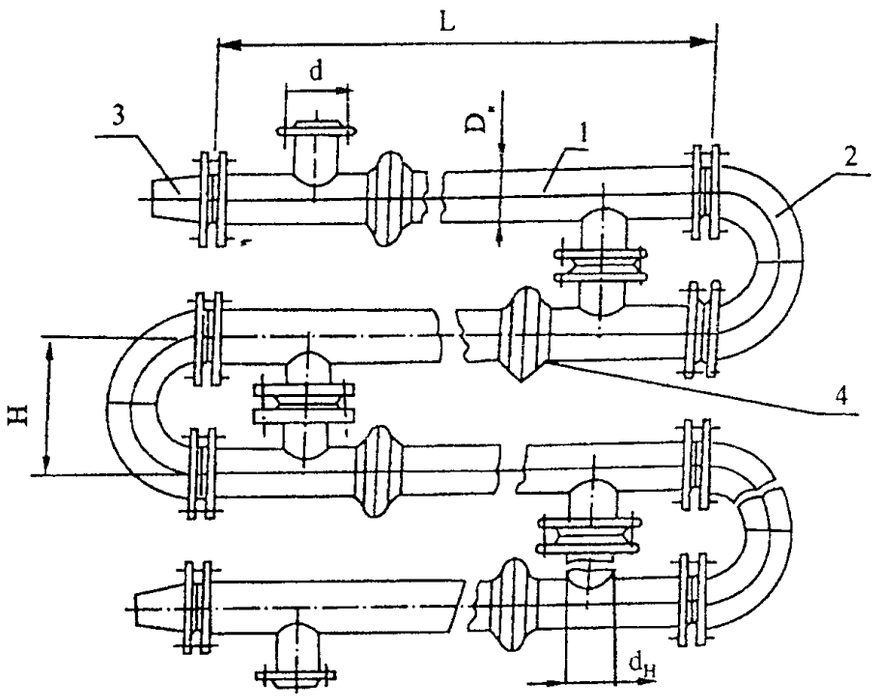


Рисунок 4 - Компоновка секционных теплообменников с компенсатором температурных удлинений: 1 — секция; 2 — калач с фланцем; 3 — переход с фланцем; 4 — компенсатор

Таблица 4

Технические данные секционных теплообменников

Условное обозначение	Размеры, мм					Поверхность нагрева, м^2	Кол-во трубок, шт	Тепловой поток, кВт	Масса секции, кг
	L	D*/Dв	dн	d	H				
1-57x2000-Р	2000	57/51	48	110	200	0,38	4	14	24
2-57x4000-Р	4000					0,75		23,9	37
3-76x2000-Р	2000	76/70	57	125	200	0,65	7	22,5	33
4-76x4000-Р	4000					1,32		38,9	52
5-89x2000-Р	2000	89/82	76	145	240	0,93	10	31,7	40
6-89x4000-Р	4000					1,88		54,9	64
7-114x2000-Р	2000	114/107	89	160	300	1,79	19	63,8	58
8-114x4000-Р	4000					3,58		110	91
9-168x2000-Р	2000	168/159	133	210	400	3,49	37	109	113
10-168x4000-Р	4000					6,98		191	194

Продолжение таблицы 4

Помогу с учебным заданием без предоплаты. Оплата после выполнения
Нажмите на мессенджер, чтобы написать
Telegram ↗ WhatsApp ↗ MAX ↗
+7 (924) 305-23-08 · Пишите в мессенджер
disynergy.ru

11-219x2000-P	2000	219/207	159	240	500	5,75	61	203	173
12-219x4000-P	4000					11,51		349	301
13-273x2000-P	2000	273/259	219	295	600	10,28	109	398	262
14-273x4000-P	4000					20,56		674	462
15-325x2000-P	2000	325/309	273	350	600	14,24	151	549	338
16-325x4000-P	4000					28.49		931	599

Следует отметить, что в секционных теплообменниках длина трубного пучка обычно в десятки раз больше диаметра корпуса. Поэтому в них практически осуществимы лишь две схемы движения теплоносителей: прямоточная и противоточная.

10.4 Кожухотрубные теплообменники

Кожухотрубные теплообменные аппараты, в отличии от секционных, содержат большее количество трубок в трубном пучке, которое обычно составляет от сотен до тысяч. В связи с этим кожухотрубные теплообменники *компактнее секционных, т.е. в единице объема такого аппарата размещается большая поверхность теплообмена.* Кроме того, конструкция кожухотрубных теплообменников позволяет создавать различные схемы движения теплоносителей.

Кожухотрубные теплообменные аппараты могут быть использованы для любой комбинации теплоносителей: жидкость — жидкость, газ — жидкость, газ — газ. Общим для всех кожухотрубных теплообменников является наличие большого числа труб (трубного пучка), концы которых герметично укреплены в отверстиях трубных досок (решеток), и наличие общего кожуха, охватывающего трубный пучок снаружи. Обычно в промышленных кожухотрубных теплообменниках используют трубы с внутренним диаметром не менее 12 и не более 38 мм. Нижнее ограничение обусловлено удобством очистки внутренней поверхности труб, верхнее — снижением удельной площади поверхности теплообменника. Возможная длина трубного пучка обычно составляет 0,9 ... 6 м, толщина стенок труб — 0,5... 2,5 мм. Трубы диаметром менее 12 мм используют

Помогу с учебным заданием без предоплаты. Оплата после выполнения
Нажмите на мессенджер, чтобы написать
Telegram ↗ WhatsApp ↗ MAX ↗
+7 (924) 305-23-08 · Пишите в мессенджер
disynergy.ru

в тех случаях, когда нет опасности загрязнения их внутренней поверхности и когда необходимо увеличить компактность теплообменника.

Теплоносители, способные загрязнять поверхность теплообмена, направляют в полости труб трубного пучка, так как только они доступны для механической очистки.

В кожухотрубных теплообменниках достигаются достаточно большие отношения площади поверхности теплообмена к объему и массе. Размеры поверхности теплообмена легко можно варьировать в широких пределах.

Трубы являются основным элементом, обеспечивающим теплопередачу между теплоносителем, протекающим внутри труб и в межтрубном пространстве. Трубы могут быть либо гладкими, либо с невысокими ребрами снаружи. В последнем случае наружный диаметр ребра выбирается немного меньше, чем наружный диаметр неоребренных концов труб, что позволяет вставлять оребренные трубы через отверстия в трубной доске. Трубы закрепляются в трубных досках на каждом конце (за исключением U—образных труб, которые закрепляются только в одной трубной доске). Трубы либо развальцовываются в трубной доске, либо привариваются к ним снаружи.

Трубная доска представляет собой металлический диск, в котором имеются отверстия для труб с элементами уплотнений.

Кожух имеет вид цилиндра, внутри которого помещены трубы и циркулирует теплоноситель. Он обычно изготовляется вальцовкой металлического листа соответствующего размера и сваркой продольным швом. Кожух малого диаметра (до 0,6 м) можно изготовить из трубы, обрезав ее до желаемой длины.

Теплоноситель поступает в кожух через входной патрубок и удаляется через выходной. Чаще всего патрубки изготавливаются из стандартных труб, которые привариваются к кожуху. В тех случаях, когда в межтрубное пространство подается двухфазный поток или насыщенный пар, внутри кожуха за входным патрубком могут быть установлены отражающие пластины, имеющие несколько большие размеры, чем сечение самого патрубка. Это

Помогу с учебным заданием без предоплаты. Оплата после выполнения
Нажмите на мессенджер, чтобы написать
Telegram ↗ WhatsApp ↗ MAX ↗
+7 (924) 305-23-08 · Пишите в мессенджер disynergy.ru

защищает зону трубного пучка, на которую истекает входящий поток пара, от абразивного износа.

Важным элементом большинства кожухотрубных теплообменников является набор поперечных перегородок в межтрубном пространстве. Они позволяют повысить скорость теплоносителя, движущегося между трубами, а также предохраняют трубы от изгиба, вибрации. Кроме того, перегородки направляют поток теплоносителя поперек труб, что улучшает теплоотдачу, но увеличивает гидравлические потери давления.

Сегментные перегородки являются наиболее простым вариантом конструкции. По форме они представляют собой сегмент круга с отверстиями для трубок трубного пучка. Основные требования к перегородкам заключаются в том, чтобы все трубы были одинаково зафиксированы, и чтобы последующие перегородки частично перекрывали, по крайней мере, один полный ряд труб для обеспечения достаточной жесткости трубного пучка.

Ниже, в качестве примера, приводится анализ конструкции современного типа кожухотрубных теплообменных аппаратов.

Водо-водяные малогабаритные разборные подогреватели сетевой воды типа ПВМР предназначены для котельных промышленных предприятий, тепловых узлов, могут быть использованы и в составе других видов теплоэнергетического оборудования различных отраслей промышленности.

Конструкция подогревателей типа ПВМР, двухходовых по нагреваемой сетевой воде, показана на рисунке 5, а на рисунке 6 приведена схема движения теплоносителей в этом аппарате. Можно заметить, что в теплообменнике предусмотрены два хода теплоносителя, движущегося в трубках. Кроме того, на рисунке 5 показаны пять ходов теплоносителя, движущегося в межтрубном пространстве. Соответственно, изображены 4 сегментные перегородки 7. Если изменить число сегментных перегородок, то изменится и число ходов теплоносителя, движущегося в межтрубном пространстве.

Помогу с учебным заданием без предоплаты. Оплата после выполнения
Нажмите на мессенджер, чтобы написать
Telegram ↗ WhatsApp ↗ MAX ↗
+7 (924) 305-23-08 · Пишите в мессенджер disynergy.ru

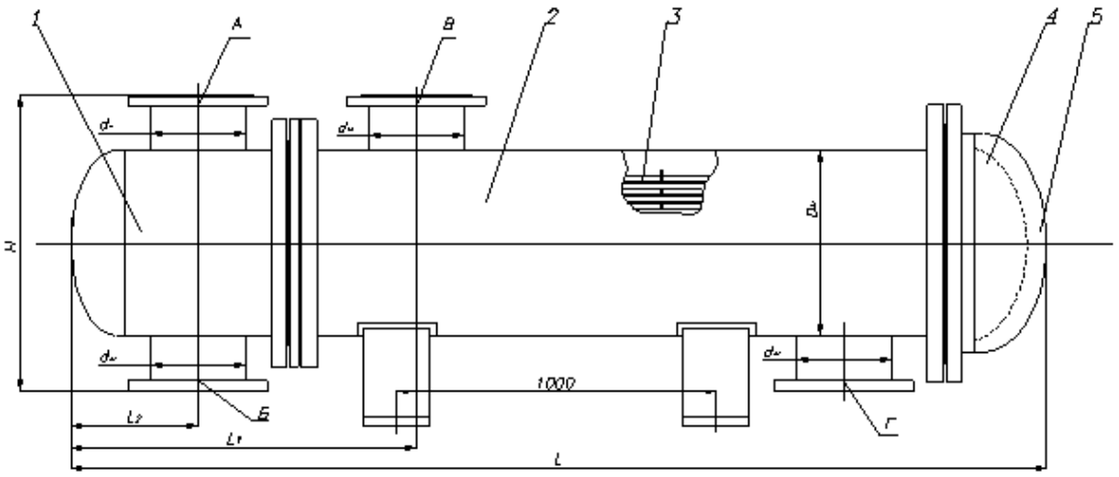


Рисунок 5 - Схема подогревателя ПВМР: 1 – камера распределительная; 2 – корпус; 3 - трубная система; 4 – малая водяная камера; 5 – съемная часть корпуса; А – отвод сетевой воды; Б – подвод сетевой воды; В – подвод греющей воды; Г – отвод греющей воды

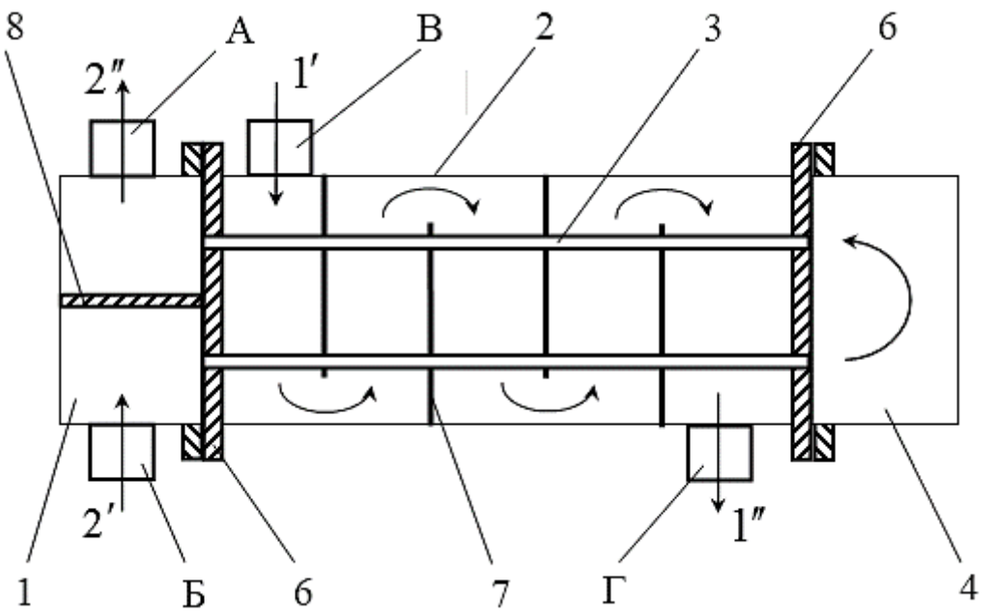


Рисунок 6 - Схема движения теплоносителей в подогревателе ПВМР. Обозначения те же, что и на рисунке 5. Кроме того: 6 —трубная решетка; 7 – сегментная перегородка; 8 – перегородка распределительной камеры

Помогу с учебным заданием без предоплаты. Оплата после выполнения
Нажмите на мессенджер, чтобы написать
Telegram ↗ WhatsApp ↗ MAX ↗
+7 (924) 305-23-08 · Пишите в мессенджер
disynergy.ru

Теплообменник работает следующим образом. Нагреваемая вода через патрубок Б поступает в распределительную камеру 1, снабженную перегородкой 8, и направляется в полости трубок нижней (по рисунку) половины трубного пучка. Затем, пройдя водяную камеру 4, нагреваемая жидкость возвращается по верхней половине трубного пучка в камеру 1 и выходит через патрубок А. Греющая вода поступает в корпус теплообменника через патрубок В и, совершив 5 ходов между сегментными перегородками 7, выходит через патрубок Г.

В таблице 5 приведены основные размеры и характеристики теплообменников типа ПВМР. Для изготовления поверхности теплообмена использованы трубки диаметром 16×1 либо 19×1 мм (по специальному заказу – диаметром 22×1 мм) из латуни, нержавеющей стали или сплава МНЖ—5—1. На рабочее давление 10 кгс/см^2 (1,0 МПа) подогреватели выпускаются с плоскими, а на давление 16 кгс/см^2 (1,6 МПа) - с эллиптическими (рисунок 5) днищами 1,5.

Таблица 5

Размеры и характеристики теплообменников типа ПВМР

Обозначение подогревателя	Основные размеры, мм							Главные характеристики							
	$D_к$	L	L_1	L_2	L_3	H	$d_н$	Площадь поверхности нагрева, м^2		Расход сетевой воды, т/ч		Тепловой поток, кВт, при трубках			
												гладких		профильно-витых	
							А, Б, В, Г	Ø16×1	Ø19×1	Ø16×1	Ø19×1	Ø16×1	Ø19×1	Ø16×1	Ø19×1
ПВМР114*2-1,0	114	2410	458	129	150	300	57	0,97	0,7	6,0	4,9	31	20	37	24
ПВМР114*2-1,6		2420	508	179											
ПВМР159*2-1,0	159	2436	485	145	160	410	57	2,1	2,0	14,0	11,0	94,5	63,3	113	76
ПВМР159*2-1,0		2470	540	198											
ПВМР168*2-1,0	168	2460	510	145	170	410	89	2,9	2,3	18,0	16,2	112	78	134	94
ПВМР168*2-1,6		2480	577	212											
ПВМР219*2-1,0	219	2510	576	167	190	500	133	5,0	4,6	30,0	32,5	189	170	227	204
ПВМР219*2-1,6		2540	656	247											
ПВМР273*2-1,0	273	2525	580	167	193	600	133	9,4	8,2	55,0	58,4	379	330	455	396
ПВМР273*2-1,6		2540	656	247											
ПВМР325*2-1,0	325	2630	713	210	240	600	219	14,2	12,2	82,0	86,0	586	490	703	588
ПВМР325*2-1,6		2680	819	316											
ПВМР377*2-1,0	377	2705	794	237	267	700	273	18,7	16,7	110,0	118,5	786	703	943	844
ПВМР377*2-1,6		2760	913	356											
ПВМР426*2-1,0	426	2730	798	237	267	700	273	25,4	21,6	150,0	152,6	1098	870	1318	1044

Помогу с учебным заданием без предоплаты. Оплата после выполнения
Нажмите на мессенджер, чтобы написать
Telegram ↗ WhatsApp ↗ MAX ↗
+7 (924) 305-23-08 · Пишите в мессенджер
disynergy.ru

Продолжение таблицы 5

ПВМР426*2-1,6		2780	929	368											
ПВМР480*2-1,0	480	2760	800	240	260	800	273	28,8	26,0	170,0	178,0	1275	1150	1530	1380
ПВМР480*2-1,6		2800	940	380											
ПВМР530*2-1,0	530	2750	750	250	250	900	273	36,6	34,2	216,0	224,0	1642	1480	1970	1776
ПВМР530*2-1,6		2850	900	400											
ПВМР630*2-1,0	630	2880	785	230	239	1030	273	62,0	52,0	353,0	365,0	3140	2832	3768	3398
ПВМР630*2-1,6		2947	973	419											
ПВМР720*2-1,0	720	2970	910	245	250	1150	273	92,0	70,0	485,0	500,0	4671	4213	5605	5055
ПВМР720*2-1,6		3070	1100	445											
ПВМР820*2-1,0	820	3063	1022	270	342	1250	325	108,0	85,0	615,0	655,0	6213	5604	7455	6725

Пояснения к таблице 5:

1. Последнее число в обозначении подогревателей означает давление среды в МПа.

2. Характеристики даны для подогревателей с гладкими трубками Ø16х1 и Ø19х1 мм из латуни.

3. Тепловой поток определен при номинальном расходе сетевой воды и разности начальных температур сред 15 ºС.

4. Гидравлическое сопротивление трубного пучка для всех подогревателей при чистых гладких трубках не более 0,015 МПа.

5. При применении в пучке профильно-витых труб приведенные в таблице величины тепловых потоков увеличиваются на 20%, а гидравлическое сопротивление – в 1,5 раза.

6. При применении плоских донышек размер «L» в зависимости от типоразмера уменьшается примерно на величину от 100 до 150 мм.

7. Поверхность теплообмена определена по наружному диаметру труб.

8. При применении труб из нержавеющей стали величины тепловых потоков должны быть снижены на 8-10%.

10.5 Пластинчатые теплообменники

Характерной особенностью пластинчатых теплообменников является наличие параллельных пластин (не считая специальных пластин для

Помогу с учебным заданием без предоплаты. Оплата после выполнения
Нажмите на мессенджер, чтобы написать
Telegram ↗ WhatsApp ↗ MAX ↗
+7 (924) 305-23-08 · Пишите в мессенджер
disynergy.ru

предотвращения деформации канала под действием внешнего давления), которые образуют систему параллельных каналов. Один теплоноситель протекает через одну систему каналов, а другой — через другую. К этому типу теплообменников относятся пластинчато-рамный или пакетно-пластинчатый теплообменник.

Теплообменник пластинчато—рамного типа показан на рисунке 7. Он состоит из ряда параллельных пластин, удерживаемых вместе в раме, в которой для предотвращения утечек имеются прокладки, сжимаемые между пластинами.

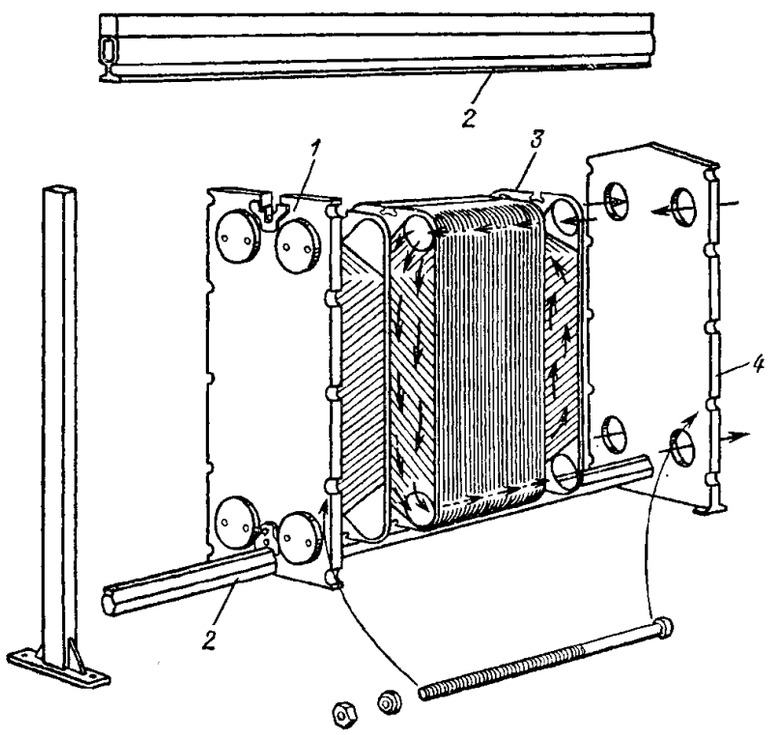


Рисунок 7 - Теплообменник пластинчато-рамного типа: 1 — подвижная крышка; 2 — несущая балка; 3 — пакет пластин; 4 — фиксирующая крышка

Уплотненные отверстия в пластинах образуют каналы, в которых теплоноситель может перетекать из зазора между одной парой пластин в зазор между их другой парой.

Также организовано движение каждого из теплоносителей в пространстве между каждой парой пластин. Конструктивно все оформляется так, чтобы

Помогу с учебным заданием без предоплаты. Оплата после выполнения
Нажмите на мессенджер, чтобы написать
Telegram ↗ WhatsApp ↗ MAX ↗
+7 (924) 305-23-08 · Пишите в мессенджер
disynergy.ru

каждая из теплопередающих пластин омывалась с одной стороны греющим, а с другой стороны — нагреваемым теплоносителем.

Пластины обычно имеют толщину порядка 0,5—1 мм. Поэтому, чтобы выдержать рабочее давление, они должны иметь много точек контакта друг с другом. С этой целью чаще всего используются гофрированные в виде елочки металлические листы. Два таких листа с взаимно противоположной ориентацией гофра устанавливаются по обе стороны пластины. Опорные точки получаются в местах пересечения гофров. Многократное сжатие, расширение и изменение направления потока приводят к его сильной турбулизации и, как следствие, к высокой интенсивности теплоотдачи, большим перепадам давления и касательным напряжениям. Это, в конечном счете, способствует уменьшению отложений на поверхностях пластин.

Пластинчатые теплообменники компактны и отличаются небольшой массой поверхности теплообмена, и поэтому они широко используются в областях промышленности, где существенны ограничения по габаритам и по массе. Пластины могут быть изготовлены, как правило, из любого металла (хотя пластины из низкоуглеродистой стали почти никогда не применяются, потому что в этом случае пластинчатые теплообменники неконкурентоспособны по сравнению с кожухотрубными). Рабочие давления и температуры ограничены сравнительно низкими значениями из-за материалов уплотнений и особенностей конструкции.

Пластинчатые теплообменники обычно используются для теплопередачи между двумя потоками жидкости. Даже вязкие жидкости можно прокачивать по извилистым проходам в турбулентном режиме при низких числах Рейнольдса.

Изредка пластинчатые теплообменники используются как конденсаторы для умеренно плотных паров (например, паров аммиака) или как испарители. Они получили распространение в пищевой промышленности, потому что легко разбираются для чистки и стерилизации.

Помогу с учебным заданием без предоплаты. Оплата после выполнения
Нажмите на мессенджер, чтобы написать
Telegram ↗ WhatsApp ↗ MAX ↗
+7 (924) 305-23-08 · Пишите в мессенджер disynergy.ru

На рисунке 8 приведена конструкция пластинчатого разборного теплообменника компании РИДАН (Россия), а в таблице 6 приведено стандартное расположение входов/выходов.

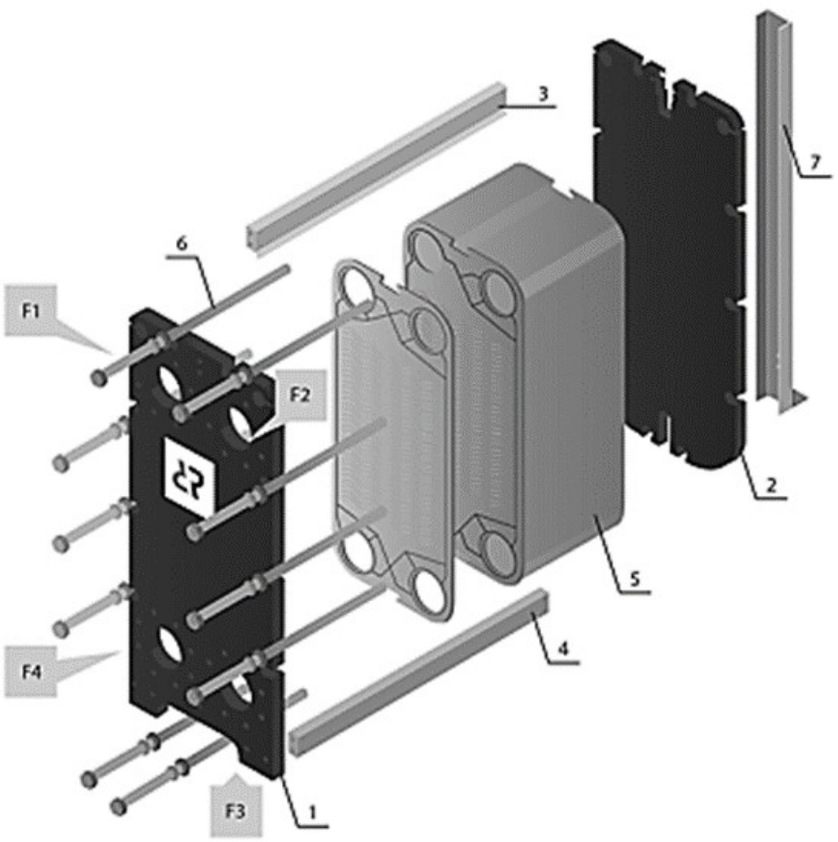


Рисунок 8 - Пластинчатый разборный теплообменник РИДАН

Таблица 6

Стандартное расположение входов/выходов теплообменника РИДАН

F1	Вход греющей среды
F2	Выход греющей среды
F3	Выход нагреваемой среды
F4	Вход нагреваемой среды

Помогу с учебным заданием без предоплаты. Оплата после выполнения
Нажмите на мессенджер, чтобы написать
Telegram ↗ WhatsApp ↗ MAX ↗
+7 (924) 305-23-08 · Пишите в мессенджер
disynergy.ru

Конструктивно разборный пластинчатый теплообменник состоит из рамы и пакета пластин. Рама состоит из неподвижной плиты (1) и прижимной плиты (2), задней стойки (7), которая соединена с неподвижной плитой верхней направляющей (3) и нижней направляющей (4). Рамы разборных теплообменников выпускаются разной длины для обеспечения установки в нее разного количества пластин.

Между неподвижной и прижимной плитами находится требуемое количество пластин (5) с резиновыми уплотнительными прокладками. Пакет прижат к неподвижной плите прижимной плитой с помощью стяжных болтов (6). Степень сжатия достаточна для уплотнения и герметизации внутренних полостей теплообменника.

11. Теплотехнический расчет рекуперативного теплообменного аппарата

Введение в раздел

Для разработки рациональной конструкции теплообменного аппарата, отвечающей исходным требованиям на проектирование, необходимо соблюдать определенную последовательность действий. Для наглядности эта последовательность проиллюстрирована **примером конструирования и расчета секционного теплообменника.** Изложенные принципы можно применить и к расчету других типов рекуперативных теплообменников.

Конструирование и расчет теплообменного аппарата основываются на исходных данных решаемой задачи. В их число обязательно входят сведения о теплоносителях, поступающих в теплообменник: об их расходах, начальных и конечных температурах, теплофизических свойствах. Если теплоноситель изменяет в теплообменнике свое агрегатное состояние, то необходимы сведения о составе двухфазных потоков на входе и выходе из аппарата.

Помогу с учебным заданием без предоплаты. Оплата после выполнения
Нажмите на мессенджер, чтобы написать
Telegram ↗ WhatsApp ↗ MAX ↗
+7 (924) 305-23-08 · Пишите в мессенджер
disynergy.ru

11.1 Исходные данные к расчету секционного рекуперативного теплообменника

При выполнении курсовой работы исходные данные следует брать из таблицы 3, соответственно номеру своего варианта.

Пример оформления исходных данных и соответствующий этим данным пример расчета теплообменника.

Вариант № 40.

Дано:

Греющий теплоноситель – вода;

Нагреваемый теплоноситель – вода;

Температура греющего теплоносителя на входе в теплообменник $t_1^{'}=90\,℃$

Температура греющего теплоносителя на выходе из теплообменника $t_1^{''}=70\,℃$

Массовый расход нагреваемого теплоносителя $G_2=1,05\,\frac{кг}{с}$

Температура нагреваемого теплоносителя на входе в теплообменник $t_2^{'}=20\,℃$

Температура нагреваемого теплоносителя на выходе из теплообменника $t_2^{''}=47\,℃$

Требуется:

1. Разработать конструкцию рекуператора, соответствующую исходным требованиям;

2. Выполнить конструктивный расчет рекуператора с определением его основных геометрических размеров;

3. Выполнить поверочный расчет рекуператора.

4. Разработать чертеж рекуператора с полученными в результате расчета размерами.

Примечания:

1. Все формулы в расчете должны быть оформлены в редакторе формул.

2. Чертежи создаются в графическом редакторе, который поддерживает формат файлов dwg (nanoCAD, AutoCAD и др.).

Помогу с учебным заданием без предоплаты. Оплата после выполнения
Нажмите на мессенджер, чтобы написать
Telegram ↗ WhatsApp ↗ MAX ↗
+7 (924) 305-23-08 · Пишите в мессенджер
disynergy.ru

11.2 Конструктивный расчет рекуператора

11.2.1 Оценка площади поверхности теплообмена и сечений для движения теплоносителей

На основе уравнения теплового баланса определяем тепловой поток, передаваемый в теплообменнике:

$$Q = G_1 \cdot c_1(t_1' - t_1'') = G_2 \cdot c_2(t_2'' - t_2') \quad (1)$$

Правила индексации: индекс 1 – относится к параметрам греющего теплоносителя; индекс 2 – к параметрам нагреваемого теплоносителя; индекс ′ — обозначает параметры любого из теплоносителей на входе в теплообменник; индекс ″ — параметры любого из теплоносителей на выходе из теплообменника; G — массовый расход теплоносителя, кг/с; c — его изобарная теплоемкость, Дж/(кг·К); t — температура теплоносителя, ºС.

Средняя температура нагреваемого теплоносителя:

$$\bar{t}_2 = 0{,}5 \cdot (t_2' + t_2'') = 0{,}5(20 + 47) = 33{,}5°C \quad (2)$$

Среднюю теплоемкость нагреваемого теплоносителя определяем, соответственно, при его средней температуре с помощью таблиц теплофизических свойств воды (таблица 7.): $c_2 = 4{,}17 \cdot 10^3$ Дж/(кг·К).

Соответственно, из тех же таблиц, средняя плотность нагреваемого теплоносителя: $\rho_2 = 995$ кг/м^3.

Требуемые теплофизические свойства для воды или других жидкостей, при необходимости могут быть найдены в [1,2,3] или другой справочной литературе.

Соответственно уравнению (1), передаваемый в теплообменнике тепловой поток:

$$Q = 1{,}05 \cdot 4{,}17 \cdot 10^3(47 - 20) = 118{,}2 \cdot 10^3 \ \text{Вт}$$

Делаем предварительный выбор типа теплообменника. На основании изучения опыта конструирования и эксплуатации рекуператоров для комбинации теплоносителей вода - вода при относительно небольших расходах

Помогу с учебным заданием без предоплаты. Оплата после выполнения
Нажмите на мессенджер, чтобы написать
Telegram ↗ WhatsApp ↗ MAX ↗
+7 (924) 305-23-08 · Пишите в мессенджер disynergy.ru

теплоносителей может быть использована ***конструкция секционного теплообменника.*** Для него возможны два варианта схемы движения теплоносителей: прямоточная или противоточная. Противоточная схема, обычно, предпочтительнее прямоточной, так как позволяет получить больший средний температурный напор между теплоносителями и, тем самым, уменьшить требуемую площадь поверхности теплообмена. Выбираем противоточную схему движения теплоносителей.

Средний температурный напор в теплообменнике удобнее всего определять, имея перед глазами схематическое изображение зависимостей изменения температур теплоносителей по длине поверхности теплообмена — схему температурных напоров. Применительно к решаемой задаче, такая схема изображена на рисунке 9. Показаны зависимости изменения температур греющего и нагреваемого теплоносителя по длине (или площади) поверхности теплообмена.

Таблица 7

Теплофизические свойства воды при атмосферном давлении.

t, °C	ρ, кг/м^3	c_p, Дж/(кг·К)	$\lambda \cdot 10^2$, Вт/(м·К)	$\nu \cdot 10^6$, м^2/с	Pr
	999,9	4212	55,1	1,789	13,67
10	999,7	4191	57,4	1,306	9,52
20	998,2	4183	59,9	1,006	7,02
30	995,7	4174	61,8	0,805	5,42
40	992,2	4174	63,5	0,659	4,31
50	988,1	4174	64,8	0,556	3,54
60	983,2	4179	65,9	0,478	2,98
70	977,8	4187	66,8	0,415	2,55
80	971,8	4195	67,4	0,365	2,21
90	965,3	4208	68,0	0,326	1,95
100	958,4	4220	68,3	0,295	1,75

Помогу с учебным заданием без предоплаты. Оплата после выполнения
Нажмите на мессенджер, чтобы написать
Telegram ↗ WhatsApp ↗ MAX ↗
+7 (924) 305-23-08 · Пишите в мессенджер
disynergy.ru

Примечание по поводу пользования таблицами свойств веществ. Если, например, из таблицы 7 необходимо найти коэффициент теплопроводности воды при температуре 80ºС, то, согласно обозначениям верхней строки:

$\lambda \cdot 10^2 = 67,4\ Вт/(м \cdot К)$.

Следовательно, коэффициент теплопроводности $\lambda = 67,4 \cdot 10^{-2}\ Вт/(м \cdot К)$.

Исходя из построенной схемы, с учетом численных значений температур теплоносителей на входе и выходе из теплообменника, получаем:

Больший температурный напор

$$\Delta t_б = t_1'' - t_2' = 70 - 20 = 50°С \quad (3)$$

Меньший температурный напор

$$\Delta t_м = t_1' - t_2'' = 90 - 47 = 43°С \quad (4)$$

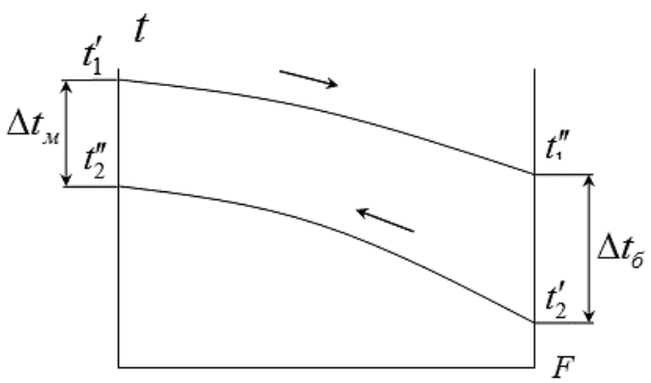


Рисунок 9 – Схема температурных напоров

Средний логарифмический температурный напор

$$\Delta t = \frac{\Delta t_б - \Delta t_м}{\ln(\Delta t_б / \Delta t_м)} = \frac{50-43}{\ln(50/43)} = 46,4°С \quad (5)$$

Площадь поверхности теплообмена может быть определена из уравнения теплопередачи:

$$Q = kF\Delta t \quad (6)$$

где k- коэффициент теплопередачи, Вт/(м^2·К); F - площадь поверхности теплообмена, м^2.

Помогу с учебным заданием без предоплаты. Оплата после выполнения
Нажмите на мессенджер, чтобы написать
Telegram ↗ WhatsApp ↗ MAX ↗
+7 (924) 305-23-08 · Пишите в мессенджер disynergy.ru

На начальном этапе конструирования ни коэффициент теплопередачи в теплообменнике, ни площадь поверхности теплообмена не известны. Поэтому, основываясь на опыте конструирования и расчета теплообменников выбранного типа, величиной коэффициента теплопередачи приходится задаваться. В дальнейшем расчете, когда уже известна предполагаемая геометрия проточной части теплообменника, выполняется расчет коэффициента теплопередачи, в результате чего уточняется величина площади поверхности теплообмена.

Как правило, радиус кривизны поверхности теплообмена рекуператоров во много раз больше ее толщины. В этих условиях коэффициент теплопередачи может быть рассчитан с помощью уравнения для плоской стенки:

$$k = \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}\right)^{-1} \quad (7)$$

где α_1, α_2- соответственно, средние по поверхности теплообмена коэффициенты теплоотдачи от греющего и к нагреваемому теплоносителям, Вт/(м^2·К); δ-толщина теплопередающей стенки, м; λ-коэффициент теплопроводности материала, из которого она изготовлена, Вт/(м·К).

Ориентировочные значения величины коэффициента теплоотдачи приведены в таблице 8. Следует отметить, что в графе «нагревание и охлаждение газов», меньшие значения коэффициента теплоотдачи относятся к условиям естественной конвекции, а большие — характерны для вынужденной конвекции.

Таблица 8

Ориентировочные значения коэффициентов теплоотдачи

Процесс	**Коэффициент теплоотдачи, Вт/(м^{2}К)**
Нагревание и охлаждение: газов перегретых паров масел воды	 1—60 20—120 60—1700 200—10000
Кипение: органических жидкостей воды	 600—10000 6000—50000
Пленочная конденсация: Органических паров	600—2500 5000—20000

Помогу с учебным заданием без предоплаты. Оплата после выполнения
Нажмите на мессенджер, чтобы написать
Telegram ↗ WhatsApp ↗ MAX ↗
+7 (924) 305-23-08 · Пишите в мессенджер disynergy.ru

Водяного пара	

Важно подчеркнуть, что не имеет принципиального значения, какой величиной коэффициента теплопередачи мы задаемся в начале расчета. Если она будет существенно (в несколько раз) отличаться от истинного значения коэффициента теплопередачи, то в процессе конструирования и расчета понадобится сделать больше приближений.

Таким образом, если полагать, что ориентировочное значение коэффициентов теплоотдачи в условиях вынужденного движения воды в конструируемом рекуператоре может быть порядка 4000—8000 Вт/(м^2·К), а поверхность теплообмена, будет иметь толщину 1 мм и выполнена из латуни, можем считать ожидаемый коэффициент теплопередачи равным 2000—4000 Вт/(м^2·К).

Следовательно, оценочное значение площади поверхности теплообмена, соответственно уравнению (6) для k=3000 Вт/(м^2·К) будет равно:

$$F = \frac{Q}{k\Delta t} = \frac{118{,}2 \cdot 10^3}{3000 \cdot 46{,}4} = 0{,}85 \text{ м}^2$$

Средняя температура греющего теплоносителя:

$$\bar{t}_1 = 0{,}5 \cdot (t_1' + t_1'') = 0{,}5(90 + 70) = 80°\text{C} \quad (8)$$

Среднюю теплоемкость греющего теплоносителя определяем, соответственно, при его средней температуре с помощью таблиц теплофизических свойств воды (таблица 7):

c_1=4,195·10^3 Дж/(кг·К).

Соответственно, из той же таблицы, средняя плотность греющего теплоносителя: ρ_1=972 кг/м^3

Массовый расход греющего теплоносителя определяем, исходя из уравнения (1):

$$G_1 = \frac{Q}{c_1(t_1' - t_1'')} = \frac{118{,}2 \cdot 10^3}{4{,}195 \cdot 10^3(90 - 70)} = 1{,}41 \text{ кг/с}$$

Помогу с учебным заданием без предоплаты. Оплата после выполнения
Нажмите на мессенджер, чтобы написать
Telegram ↗ WhatsApp ↗ MAX ↗
+7 (924) 305-23-08 · Пишите в мессенджер disynergy.ru

При конструировании и расчете теплообменного аппарата возникает необходимость выбора скорости движения теплоносителей в элементах конструкции. Повышение скорости теплоносителя приводит к увеличению интенсивности теплообмена, но вызывает рост гидравлических потерь. Рекомендуемые значения скорости различных теплоносителей, полученные на основе опыта конструирования и эксплуатации теплообменных аппаратов, приведены в таблице 9.

Определяем число трубок в трубном пучке теплообменника. Предварительно задаем скорость воды в трубках w_2=1 м/с.

Таблица 9

Рекомендуемые скорости теплоносителей

Теплоносители	Скорость, м/с
Маловязкие жидкости (вода, бензин, керосин)	0,5—3
Вязкие жидкости (масла, растворы солей)	0,2—1
Запыленные газы при атмосферном давлении	6—10
Незапыленные газы при атмосферном давлении	12—16
Газы под давлением (до десятков МПа)	До 15—20
Насыщенный водяной пар	30—50
Перегретый водяной пар	30—75

Для всех вариантов принять, что трубный пучок изготавливается из латунных трубок размером 16×1, т.е. наружным диаметром $d_н = 16\,мм$ **и толщиной стенки** $\delta = 1\,мм$**.** Нагреваемую жидкость будем подавать в полости трубок.

Внутренний диаметр трубки:

$$d_в = d_н - 2\delta = 16 - 2 \cdot 1 = 14\ мм \quad (9)$$

Соответственно, средний диаметр трубки равен

$$d_с = 0{,}5(d_н + d_в) = 0{,}5(16 + 14) = 15\ мм \quad (10)$$

Помогу с учебным заданием без предоплаты. Оплата после выполнения
Нажмите на мессенджер, чтобы написать
Telegram ↗ WhatsApp ↗ MAX ↗
+7 (924) 305-23-08 · Пишите в мессенджер
disynergy.ru

Тогда требуемое число трубок можно определить из уравнения неразрывности:

$$\frac{G_2}{\rho_2} = f_2 w_2 \quad (11)$$

где f_2 - площадь проходного сечения для нагреваемого теплоносителя, м^2;

ρ_2 - средняя плотность нагреваемого теплоносителя, кг/м^3;

w_2 - средняя по сечению трубки скорость нагреваемого теплоносителя, м/с.

В свою очередь, площадь проходного сечения для нагреваемого теплоносителя складывается из проходных сечений трубок трубного пучка:

$$f_2 = n\frac{\pi d_в^2}{4} \quad (12)$$

где n - число трубок в пучке.

В итоге, из совместного решения уравнений (11), (12), можно оценить требуемое число трубок:

$$n = \frac{4G_2}{\pi\rho_2 w_2 d_{вн}^2} = \frac{4 \cdot 1{,}05}{\pi \cdot 995 \cdot 1 \cdot 0{,}014^2} = 6{,}8$$

Принимаем число трубок в пучке n=7 (округляем до ближайшего большего целого числа).

Уточняем значение скорости нагреваемого теплоносителя в трубках

$$w_2 = \frac{G_2}{\rho_2 f_2} = \frac{4G_2}{\pi\rho_2 d_{вн}^2 n} = \frac{4 \cdot 1{,}05}{\pi \cdot 995 \cdot 0{,}014^2 \cdot 7} = 0{,}98\,\frac{м}{с}$$

Так как ожидаемые значения коэффициента теплоотдачи и со стороны греющего, и со стороны нагреваемого теплоносителей должны быть одного и того же порядка, расчет площади поверхности теплообмена ведем по среднему диаметру теплопередающих трубок:

$$F = n\pi d_c l \quad (13)$$

где l - длина трубок в пучке, м.

Откуда получаем

$$l = \frac{F}{n\pi d_c} = \frac{0{,}85}{7 \cdot \pi \cdot 0{,}015} = 2{,}85\ м$$

Помогу с учебным заданием без предоплаты. Оплата после выполнения
Нажмите на мессенджер, чтобы написать
Telegram ↗ WhatsApp ↗ MAX ↗
+7 (924) 305-23-08 · Пишите в мессенджер disynergy.ru

Сравнивая полученную длину трубного пучка с данными стандартных секционных теплообменников (таблица 4) делаем вывод, что полученная длина приемлема.

11.2.2. Определение геометрии поперечного сечения теплообменника

Определяем конструкцию поперечного сечения теплообменника. На рисунке 10 приведен его поперечный разрез. В корпусе 1 расположены трубки 2. Принимаем один из основных вариантов размещения трубок в трубном пучке — по вершинам равносторонних треугольников. Шаг между трубками обычно выбирают в пределах $s=(1,25-1,5)\cdot d_н$.

Чем меньше шаг между трубками, тем меньше площадь сечения для движения теплоносителя в межтрубном пространстве, т.е. тем выше скорость его движения. Однако, с уменьшением шага растут технологические проблемы крепления трубок в трубных решетках.

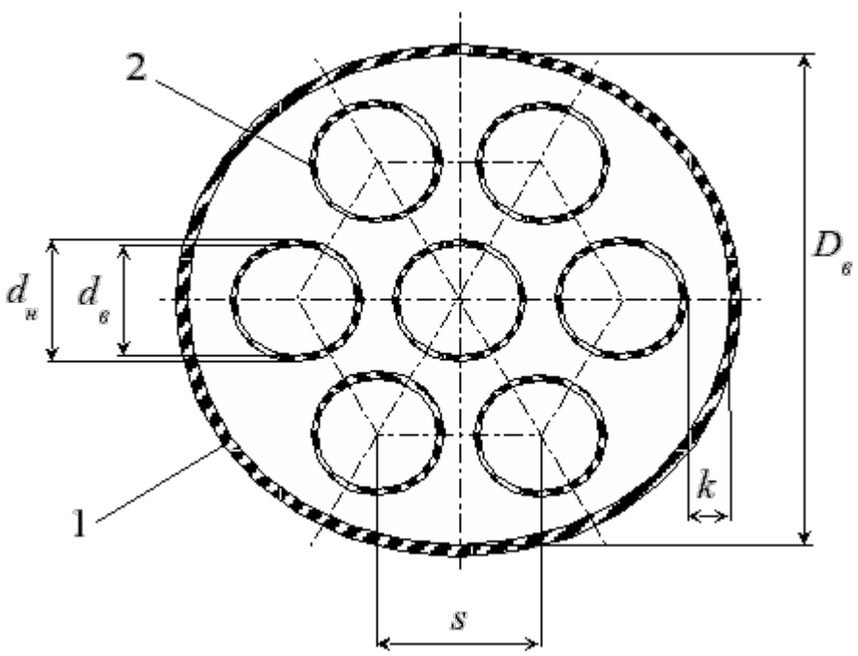


Рисунок 10 – Поперечный разрез теплообменника

Принимаем шаг $s=1,25\,d_н=1,25\cdot 16=20\,мм$

Помогу с учебным заданием без предоплаты. Оплата после выполнения
Нажмите на мессенджер, чтобы написать
Telegram ↗ WhatsApp ↗ MAX ↗
+7 (924) 305-23-08 · Пишите в мессенджер disynergy.ru

Минимальный зазор между крайними трубками и корпусом теплообменника обычно принимается равным $k \geq 5\,мм$. Принимаем $k = 5\,мм$. Тогда, как ясно из рисунка 10, внутренний диаметр корпуса теплообменника будет равен:

$$D_в = 2s + d_н + 2k = 20 \cdot 2 + 16 + 2 \cdot 5 = 60\ мм \quad (14)$$

Определяем площадь сечения теплообменника для движения греющего теплоносителя, т.е. площадь поперечного сечения межтрубного пространства. Эта площадь, соответственно (рисунок 10), равна:

$$f_1 = \frac{\pi D_в^2}{4} - n\frac{\pi d_н^2}{4} = \frac{\pi}{4}(D_в^2 - n d_н^2) \quad (15)$$

Следовательно,

$$f_1 = \frac{\pi}{4}(0{,}066^2 - 7 \cdot 0{,}016^2) = 20{,}1 \cdot 10^{-4}\ м$$

Скорость движения греющего теплоносителя в межтрубном пространстве

$$w_1 = \frac{G_1}{\rho_1 f_1} = \frac{1{,}41}{972 \cdot 20{,}1 \cdot 10^{-4}} = 0{,}72\,\frac{м}{с}$$

По завершению этого этапа расчетов необходимо сделать анализ полученных результатов. Можно заметить, что полученные скорости движения теплоносителей укладываются в рекомендуемый диапазон. Поперечное сечение и оценочная длина теплообменника близки к размерам стандартных секционных рекуператоров (таблица 4). Значит, полученные результаты можно взять за основу дальнейших расчетов.

При неудовлетворительных результатах предварительного расчета, потребовалось бы повторить расчет, изменив геометрию поперечного сечения теплообменника. Например, если бы скорости движения теплоносителей оказались слишком высоки, понадобилось бы увеличить число трубок в трубном пучке и, соответственно, увеличить диаметр корпуса теплообменника.

11.2.3. Расчет коэффициента теплопередачи и площади поверхности теплообмена

Помогу с учебным заданием без предоплаты. Оплата после выполнения
Нажмите на мессенджер, чтобы написать
Telegram ↗ WhatsApp ↗ MAX ↗
+7 (924) 305-23-08 · Пишите в мессенджер
disynergy.ru

Следующий этап расчета заключается в определении коэффициента теплопередачи, площади поверхности теплообмена и длины трубного пучка. Геометрию поперечного сечения теплообменника при этом сохраняем неизменной.

Расчет коэффициента теплопередачи требует нахождения коэффициента теплоотдачи от греющего теплоносителя α_1 и коэффициента теплоотдачи к нагреваемому теплоносителю α_2. Так как температура поверхности теплообмена заранее неизвестна, коэффициенты теплоотдачи приходится рассчитывать методом последовательных приближений. Задаваясь температурой поверхности теплообмена, определяем численные значения коэффициентов теплоотдачи, зная которые уточняем температуру поверхности теплообмена. Затем вновь повторяем расчет коэффициентов теплоотдачи. Цикл расчета повторяется до тех пор, пока не будет получена требуемая сходимость результатов. Ниже рассматривается пример такого расчета, применительно к конструируемому теплообменнику.

Для средней температуры нагреваемого теплоносителя

$$\bar{t}_2 = 0{,}5(t_2' + t_2'') = 0{,}5(20 + 47) = 33{,}5°C$$

из таблиц теплофизических свойств воды (таблица 7), интерполируя, находим: коэффициент теплопроводности $\lambda = 0{,}623$ Вт/(мК); кинематический коэффициент вязкости $\nu = 0{,}756 \cdot 10^{-6}$ м^2/с; число Прандтля $Pr_2 = 5{,}05$.

Поскольку предполагаем изготовить теплопередающие трубки из латуни, изменение температуры по толщине поверхности теплообмена мало. Кроме того, ожидаемые значения коэффициентов теплоотдачи α_1, α_2 имеют один и тот же порядок. Поэтому в первом приближении будем полагать:

$$t = t_c = 0{,}5(\bar{t}_1 + \bar{t}_2) = 0{,}5(80 + 33{,}5) = 56{,}7°C$$

Для этой температуры из таблиц теплофизических свойств воды, интерполируя, находим число Прандтля при температуре стенки со стороны греющего и со стороны нагреваемого теплоносителей: $Pr_c = 3{,}2$.

Помогу с учебным заданием без предоплаты. Оплата после выполнения
Нажмите на мессенджер, чтобы написать
Telegram ↗ WhatsApp ↗ MAX ↗
+7 (924) 305-23-08 · Пишите в мессенджер disynergy.ru

Для расчета коэффициента теплоотдачи в условиях вынужденного движения жидкости в каналах различной геометрии можно использовать различные уравнения, большинство из которых получены на основе обобщения опытных данных. При выборе расчетной формулы руководствуемся следующим:

1. Геометрия канала, по которому движется жидкость в решаемой задаче, должна соответствовать геометрии канала, применительно к которому получено расчетное уравнение;

2. Численные значения определяющих критериев подобия по условиям решаемой задачи должны находиться в диапазоне, в котором расчетная формула применима.

Определяем коэффициент теплоотдачи к нагреваемому теплоносителю, движущемуся в трубках. Для расчета можно использовать формулу для определения среднего коэффициента теплоотдачи при движении жидкости в трубе. В таких формулах определяющим критерием подобия является число Рейнольдса. Применительно к решаемой задаче оно равно

$$\mathrm{Re} = \frac{w d_в}{\nu} = \frac{0{,}98 \cdot 0{,}014}{0{,}756 \cdot 10^{-6}} = 18150 \qquad (16)$$

Так как число Рейнольдса превышает его критическое значение, т.е. $\Re > \Re_{кр} = 2300$, режим течения в трубках турбулентный. Поэтому применима формула М.А. Михеева [1]:

$$\mathrm{Nu} = 0{,}021 \mathrm{Re}^{0{,}8} \mathrm{Pr}_2^{\,0{,}43} \left(\frac{\mathrm{Pr}_2}{\mathrm{Pr}_c}\right)^{0{,}25} \qquad (17)$$

Подставляя в формулу (17) численные значения, находим число Нуссельта:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\alpha_2 d_в}{\lambda} = 0{,}021 \cdot 18150^{0{,}8} \cdot 5{,}05^{0{,}43} \left(\frac{5{,}05}{3{,}2}\right)^{0{,}25} = 120 \qquad (18)$$

В результате из формулы (18) получаем численное значение среднего по поверхности теплообмена коэффициента теплоотдачи от стенки к нагреваемой жидкости:

$$\alpha_2 = \frac{Nu \cdot \lambda}{d_в} = \frac{120 \cdot 0{,}623}{0{,}014} = 5340 \ (\text{Вт/м}^2\,\text{К})$$

Помогу с учебным заданием без предоплаты. Оплата после выполнения
Нажмите на мессенджер, чтобы написать
Telegram ↗ WhatsApp ↗ MAX ↗
+7 (924) 305-23-08 · Пишите в мессенджер disynergy.ru

Далее рассчитываем средний по поверхности теплообмена коэффициент теплоотдачи от греющего теплоносителя, движущегося в межтрубном пространстве. Для средней температуры греющего теплоносителя:

$$\bar{t}_1 = 0{,}5(t_1' + t_1'') = 0{,}5(90 + 70) = 80\ ^\circ\text{C}$$

из таблиц теплофизических свойств воды (таблица 7) находим: коэффициент теплопроводности $\lambda = 0{,}674\ Bm/(м \cdot K)$; кинематический коэффициент вязкости $\nu = 0{,}356 \cdot 10^{-6}$ м^2/с; число Прандтля $Pr_1 = 2{,}21$.

Для каналов сложной геометрии в качестве характерного размера можно использовать эквивалентный диаметр

$$d_э = \frac{4f}{p} \qquad (19)$$

где f - площадь сечения, через которое протекает теплоноситель, м^2; p - смоченный периметр поперечного сечения, м.

Применительно к решаемой задаче, в соответствии с рисунком 10, эквивалентный диаметр канала, по которому движется греющий теплоноситель:

$$D_{1э} = \frac{\left(4\frac{\pi D_в^2}{4} - n\frac{\pi d_н^2}{4}\right)}{\pi D_в + n\pi d_н} = \frac{D_в^2 - n d_н^2}{D_в + n d_н} = \frac{0{,}066^2 - 7 \cdot 0{,}016^2}{0{,}066 + 7 \cdot 0{,}016} = 0{,}0144\ \text{м}$$

Число Рейнольдса для потока греющего теплоносителя

$$Re = \frac{w_1 d}{\nu} = \frac{0{,}72 \cdot 0{,}0144}{0{,}356 \cdot 10^{-6}} = 29120$$

Аналогично уравнению (17), рассчитываем число Нуссельта для греющего теплоносителя:

$$\text{Nu} = 0{,}021\text{Re}^{0{,}8}\text{Pr}_1^{\ 0{,}43}\left(\frac{\text{Pr}_1}{\text{Pr}_c}\right)^{0{,}25}$$

Тогда:

$$\text{Nu} = \frac{\alpha_1 d_{1э}}{\lambda} = 0{,}021 \cdot 29120^{0{,}8} \cdot 2{,}21^{0{,}43}\left(\frac{2{,}21}{3{,}2}\right)^{0{,}25} = 100{,}3$$

Коэффициент теплоотдачи от греющего теплоносителя:

Помогу с учебным заданием без предоплаты. Оплата после выполнения
Нажмите на мессенджер, чтобы написать
Telegram ↗ WhatsApp ↗ MAX ↗
+7 (924) 305-23-08 · Пишите в мессенджер disynergy.ru

$$\alpha_1 = \frac{Nu\lambda}{d_{1э}} = \frac{100{,}3 \cdot 0{,}674}{0{,}0144} = 4695 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$$

С учетом того, что толщина стенки теплопередающих трубок $\partial = 0{,}001\,м$, а коэффициент теплопроводности латуни, из которой они будут изготовлены $\lambda = 107 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$, рассчитываем коэффициент теплопередачи, в соответствии с уравнением (7):

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{4695} + \frac{0{,}001}{107} + \frac{1}{5340}} = 2441 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$$

Так как в рассматриваемом случае

$$\frac{\Delta t_б}{\Delta t_м} = \frac{50}{43} < 1{,}5$$

то, с достаточной точностью можно вести расчет, использую среднюю арифметическую разность температур:

$$\Delta t_a = \bar{t}_1 - \bar{t}_2 = 80 - 33{,}5 = 46{,}5°C \quad (20)$$

Средняя плотность передаваемого теплового потока

$$Q = k\Delta t = 2441 \cdot 46{,}5 = 113510 \frac{Вт}{м^2} \quad (21)$$

Температура наружной поверхности теплопередающей трубки

$$t_н = \bar{t}_1 - \frac{q}{\alpha_1} = 80 - \frac{113510}{4695} = 55{,}8\,°C \quad (22)$$

Температура внутренней поверхности теплопередающей трубки

$$t_{вн} = t_н - \frac{q\delta}{\lambda} = 55{,}8 - \frac{113510 \cdot 0{,}001}{107} = 54{,}7\,°C \quad (23)$$

Из полученных численных значений температур наружной и внутренней поверхностей теплопередающих трубок видно, что они различаются незначительно. Поэтому, число Прандтля при температуре жидкости равной температуре стенки можно взять из таблиц теплофизических свойств воды, полагая, что $t_c \cong 55\,℃$. В результате получаем уточненные значения $Pr_c \cong 3{,}46$.

Помогу с учебным заданием без предоплаты. Оплата после выполнения
Нажмите на мессенджер, чтобы написать
Telegram ↗ WhatsApp ↗ MAX ↗
+7 (924) 305-23-08 · Пишите в мессенджер disynergy.ru

Теперь можно рассчитать уточненное соотношение:

$$\left(\frac{Pr_1}{Pr_c}\right)^{0,25} = \left(\frac{2,21}{3,46}\right)^{0,25} = 0,894$$

(в первом приближении было принято: $\left(\frac{Pr_1}{Pr_c}\right)^{0,25} = \left(\frac{2,21}{3,2}\right)^{0,25} = 0,894$).

Точно так же рассчитываем уточненное соотношение

$$\left(\frac{Pr_2}{Pr_c}\right)^{0,25} = \left(\frac{5,05}{3,46}\right)^{0,25} = 1,1$$

(в первом приближении было принято: $\left(\frac{Pr_2}{Pr_c}\right)^{0,25} = \left(\frac{5,05}{3,2}\right)^{0,25} = 1,12$).

Далее можно повторить расчет коэффициентов теплоотдачи α_1, α_2 подставляя в формулу (17) новые численные значения соотношений $\left(\frac{Pr_2}{Pr_c}\right)^{0,25}$ и $\left(\frac{Pr_2}{Pr_c}\right)^{0,25}$.

В рассматриваемом примере следующее приближение нет смысла выполнять, так как, согласно полученным численным значениям (1,1 и 1,12), различие в результатах расчета не превысит 2%.

Таким образом, теперь можно перейти к заключительной стадии конструктивного расчета — окончательному определению поверхности теплообмена и длины трубного пучка:

$$F = \frac{Q}{k\Delta t} = \frac{118,2 \cdot 10^3}{2441 \cdot 46,4} = 1,044 \text{ м}^2$$

$$l = \frac{F}{n\pi d_c} = \frac{1,044}{7 \cdot \pi \cdot 0,015} = 3,16 \text{ м}$$

После определения основных размеров теплообменника, необходимо в масштабе вычертить его продольный и поперечный разрез. При этом за основу можно взять рисунки 3 и 10. Диаметры патрубков для подвода и отвода теплоносителей следует выбирать так, чтобы скорости движения в них жидкости не превышали значений, рекомендованных в таблице 7.

Помогу с учебным заданием без предоплаты. Оплата после выполнения
Нажмите на мессенджер, чтобы написать
Telegram ↗ WhatsApp ↗ MAX ↗
+7 (924) 305-23-08 · Пишите в мессенджер disynergy.ru

11.2.4. Поверочный расчет теплообменника

Поверочный расчет заключается в том, что для стандартного или вновь разработанного теплообменника при известных расходах греющего и нагреваемого теплоносителей G_1, G_2, их начальных температурах t'_1, t'_2 и площади поверхности теплообмена F требуется определить конечные значения температур теплоносителей t''_1, t''_2, а также передаваемый тепловой поток. Известно [1,2,3], что конечные температуры обоих теплоносителей t''_1 и t''_2 можно рассчитать с помощью уравнений:

$$t_1 = t'_1 - (t'_1 - t'_2) \cdot E \cdot \frac{(G \cdot c)_{min}}{G_1 \cdot c_1} \tag{24}$$

$$t_2 = t'_2 + (t'_1 - t'_2) \cdot E \cdot \frac{(G \cdot c)_{min}}{G_2 \cdot c_2} \tag{25}$$

где E —*эффективность теплообменника,* т.е. отношение теплового потока, передаваемого в теплообменнике, в действительности к его теоретически максимально возможной величине; c_1, c_2 — теплоемкость греющего и нагреваемого теплоносителя; $(G \cdot c)_{min}$ –¿наименьшее из произведений $G_1 \cdot c_1$ и $G_2 \cdot c_2$. В технической литературе эти произведения обычно называют *водяными эквивалентами* и, соответственно, обозначают индексами C_1 и C_2.

В случае прямоточной схемы движения теплоносителей совместное решение уравнений теплопередачи и теплового баланса дает следующее выражение для эффективности теплообменного аппарата:

$$E = \frac{\delta t_1 \cdot G_1 \cdot c_1}{\Delta t_{max} \cdot G_{min}} = \frac{1 - e^{-N\left(1 + \frac{C_{min}}{C_{max}}\right)}}{1 + \frac{C_{min}}{C_{max}}} \tag{26}$$

где $\delta t_1 = t'_1 - t_1$; $\Delta t_{max} = t'_1 - t'_2$; $N = \frac{k \cdot F}{C_{min}}$; N - число единиц переноса; C_{min}, C_{max} - меньший и больший водяной эквивалент теплоносителей.

В случае противоточной схемы движения теплоносителей:

Помогу с учебным заданием без предоплаты. Оплата после выполнения
Нажмите на мессенджер, чтобы написать
Telegram ↗ WhatsApp ↗ MAX ↗
+7 (924) 305-23-08 · Пишите в мессенджер
disynergy.ru

$$E = \frac{1-e^{-N\left(1-\frac{C_{min}}{C_{max}}\right)}}{1-\frac{C_{min}}{C_{max}}\cdot e^{-N\left(1-\frac{C_{min}}{C_{max}}\right)}} \quad (27)$$

Применительно к решаемой задаче имеем:

$$C_1 = C_{max} = c_1 G_1 = 4{,}195 \cdot 10^3 \cdot 1{,}41 = 5915 \frac{\text{Вт}}{\text{К}};$$

$$C_2 = C_{min} = c_2 G_2 = 4{,}17 \cdot 10^3 \cdot 1{,}05 = 4379 \frac{\text{Вт}}{\text{К}};$$

$$N = \frac{k \cdot F}{C_{min}} = \frac{2441 \cdot 1{,}044}{4379} = 0{,}582$$

Сконструированный теплообменник выполнен по противоточной схеме движения теплоносителей. Поэтому, в соответствии с формулой (27), имеем:

$$E = \frac{1-e^{-0{,}582\left(1-\frac{4379}{5915}\right)}}{1-\frac{4379}{5915}\cdot e^{-0{,}582\left(1-\frac{4379}{5915}\right)}} = 0{,}386$$

В результате, как следует из формул (24), (25), температуры греющего и нагреваемого теплоносителей на выходе из теплообменника соответственно равны:

$$t_1 = t_1' - (t_1' - t_2') \cdot E \cdot \frac{(G \cdot c)_{min}}{G_1 \cdot c_1} = 90 - (90-20) \cdot 0{,}386 \cdot \frac{4379}{5915} = 70\ ^\circ\text{C}$$

$$t_2 = t_2' + (t_1' - t_2') \cdot E \cdot \frac{(G \cdot c)_{min}}{G_2 \cdot c_2} = 20 + (90-20) \cdot 0{,}386 \cdot \frac{4379}{4379} = 47\ ^\circ\text{C}$$

Вывод. Результаты поверочного расчета подтверждают соответствие конструктивного расчета исходным требованиям на проектирование рекуператора.

Помогу с учебным заданием без предоплаты. Оплата после выполнения
Нажмите на мессенджер, чтобы написать
Telegram ↗ WhatsApp ↗ MAX ↗
+7 (924) 305-23-08 · Пишите в мессенджер disynergy.ru

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненный анализ основных вариантов конструкций рекуперативных теплообменных аппаратов и сведения об их технических данных позволяют приобрести исходные знания об этом виде теплотехнической аппаратуры и о принципах выбора их типа и типоразмера.

Приведенная методика конструктивного расчета рекуператора дает представление о предпосылках и последовательности определения основных геометрических размеров рекуператора, соответствующих исходным данным на проектирование.

Рассмотренный метод поверочного расчета теплообменника позволяет определить температуры греющего и нагреваемого теплоносителей на выходе из рекуператора, если известны их расходы и начальные температуры, а также основные геометрические размеры теплообменника

Помогу с учебным заданием без предоплаты. Оплата после выполнения
Нажмите на мессенджер, чтобы написать
Telegram ↗ WhatsApp ↗ MAX ↗
+7 (924) 305-23-08 · Пишите в мессенджер
disynergy.ru

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

а) основная литература

1. Малышев В. С., Пантилеев С. П. Тепломассообменное оборудование предприятий: В 2 ч. Ч. 1. Теоретический курс» (Малышев, В. С. Тепломассообменное оборудование предприятий : учебное пособие : в 2 частях / В. С. Малышев, С. П. Пантилеев. — Мурманск: МАУ, 2022 — Часть 1: Теоретический курс — 2022. — ISBN 978-5-907368-46-0. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/318941

2. Лебедев В.М., Приходько С.В. Источники и системы теплоснабжения предприятий (Лебедев, В. М. Источники и системы теплоснабжения предприятий : монография / В. М. Лебедев, С. В. Приходько. — Омск: ОмГУПС, 2010. — ISBN 5-94941-057-2. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/129184

3. Иванова И.В. Справочник по теплотехнике - учебное пособие / И. В. Иванова. — Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2012. — ISBN 978-5-9239-0457-4. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/45370

б) дополнительная литература

4. Малявко В. А. Устройство и эксплуатация тепловых сетей и тепловых пунктов: практ. пособие (Малявко, В. А. Устройство и эксплуатация тепловых сетей и тепловых пунктов: практ. пособие / В. А. Малявко. — Минск: ГИПК «ГАЗ-ИНСТИТУТ, 2019. — ISBN 978-985-6809-71-5. — Текст электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/312146

5. Середкин А. А., Басс М. С., Батухтин С. Г., Кобылкин М. В. Котельные установки и парогенераторы (Котельные установки и парогенераторы: учебное пособие / А. А. Середкин, М. С. Басс, С. Г. Батухтин, М. В. Кобылкин. — Чита: ЗабГУ, 2022. — ISBN 978-5-9293-3038-4. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/363398.

Помогу с учебным заданием без предоплаты. Оплата после выполнения
Нажмите на мессенджер, чтобы написать
Telegram ↗ WhatsApp ↗ MAX ↗
+7 (924) 305-23-08 · Пишите в мессенджер disynergy.ru

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Образовательная автономная некоммерческая организация высшего образования

«МОСКОВСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»

Факультет энергетики

Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

КУРСОВАЯ РАБОТА

По дисциплине: **Потребители и источники производства теплоты**

(название дисциплины)

На тему: _____

_____

(тема работы)

Обучающийся группы

_____

(номер группы)

_____

(фамилия, имя, отчество)

Помогу с учебным заданием без предоплаты. Оплата после выполнения

Нажмите на мессенджер, чтобы написать

Telegram ↗ WhatsApp ↗ MAX ↗

+7 (924) 305-23-08 · Пишите в мессенджер

disynergy.ru

Москва, 202_г.

Помогу с учебным заданием без предоплаты. Оплата после выполнения
Нажмите на мессенджер, чтобы написать
Telegram ↗ WhatsApp ↗ MAX ↗
+7 (924) 305-23-08 · Пишите в мессенджер
disynergy.ru