

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ВИТЕБСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

Инженерно-техническое оборудование

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к практическим занятиям для слушателей
специальности переподготовки 1-27 01 71 «ЭКОНОМИКА И
ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА В ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОМ
ХОЗЯЙСТВЕ»

ВИТЕБСК
2012

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Витебский государственный технологический университет»

УТВЕРЖДАЮ
Первый проректор УО
«ВГТУ»

_____ **С.И. Малашенков**

«_____» _____ **2011 г.**

Инженерно-техническое оборудование

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

**к выполнению практических работ для слушателей
специальности переподготовки 1-27 01 71 «ЭКОНОМИКА И
ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА В ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОМ
ХОЗЯЙСТВЕ»**

РЕКОМЕНДОВАНО
Редакционно-издательским
советом УО «ВГТУ»

«_____» _____ **2011 г.**

протокол № _____

ВИТЕБСК
2011

УДК 621.3(07)

Инженерно-техническое оборудование : методические указания к практическим занятиям для слушателей специальности переподготовки 1-27 01 71 «ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА В ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОМ ХОЗЯЙСТВЕ»

Витебск: Министерство образования Республики Беларусь, УО "ВГТУ", 2011

Составитель: доц. Новиков Ю.В.

Методические указания содержат теоретический материал, необходимый для анализа систем отопления, основных механизмов инженерного оборудования зданий и сооружений. Предложенные для практических занятий задачи соответствуют всем разделам дисциплины. Методические указания составлены в соответствии с требованиями, предъявляемыми к выполнению практических работ.

Одобрено кафедрой «Автоматизация технологических процессов и производств» УО "ВГТУ" 26.10.2011 г., протокол № 3.

Рецензент: доц. Кириллов А.Г.

Редактор: доц. Бувеч А.Э.

Рекомендовано к опубликованию редакционно-издательским советом УО "ВГТУ" 30 ноября 2011 г., протокол № 8

Ответственный за выпуск: Букин Ю.А.

Учреждение образования "Витебский государственный технологический университет"

Подписано к печати_____. Формат_____. Уч.-изд. лист._____.
Печать ризографическая. Тираж_____экз. Заказ №_____. Цена_____руб.

Отпечатано на ризографе учреждения образования «Витебский государственный технологический университет».

Лицензия № 02330/0494384 от 16 марта 2009 г.

210035, г. Витебск, Московский пр-т, 72.

ПАСПОРТ - ХАРАКТЕРИСТИКА

документа (издания) на электронном носителе

1. Автор или составитель _____ доц. Новиков Ю.В. _____

2. Название _____ Инженерно-техническое оборудование _____

3. Дата
создания _____ 2012 _____

4. Вид документа (электронный учебник, учебное пособие, УМК, курс лекций, учебно-методическое издание, рабочая программа, обучающая программа и т.

п. Аналог печатного издания или компьютерная
разработка) _____ учебно-методическое издание _____

5. Вид машиночитаемого носителя (оптический диск или
дискета) _____ СД _____

6. Объем (Кб) _____ 80177 _____

7. Используемые форматы (doc, rtf, pdf, tif, jpeg или
др.) _____ doc _____

8. Рекомендательный гриф (если есть) _____

9. Рекомендовано к изданию
(да/нет) _____ Да _____

дата прохождения через РИО _____ 30 ноября 2011 _____

10. Целевое назначение (код специальности) _____ 1-27 01 71 _____
студентам дневного отделения, курс _____

_____ семестр _____

студентам заочного отделения, курс _____ 1 _____ семестр _____ 1, 2 _____

основной (ое) документ (издание) _____ дополнительный (ое) документ
(издание) _____

11. Дисциплина _____ Инженерно-техническое оборудование _____

12. Кафедра _____ АТПП _____

13. Факультет _____ Механический _____

Зав. кафедрой _____ 16.05.2012 г. _____ Кузнецов А.А.
(дата, подпись, ФИО)

Директор библиотеки _____
(дата, подпись, ФИО)

СОДЕРЖАНИЕ

1 Общие методические указания к практическим занятиям.....	4
2 Крепежные детали	4
3 Трубы, соединительные части	7
4 Системы отопления.....	11
5 Исследование оборудования систем отопления	18
6 Определение давления на преодоление сопротивления по длине тепло- проводов	19
7 Тепловой расчет и охлаждение червячных передач	24
8 Муфты	26
9 Расчет тормоза с приводом от электромагнита.....	29
10 Расчет тормоза с электрогидравлическим приводом.....	30
11 Особые случаи эксплуатации водоводов и сетей.....	33
Литература.....	36

1 Общие методические указания к практическим занятиям.

Программой курса предусмотрено проведение практических занятий для слушателей переподготовки. К решению задач следует приступить только после изучения соответствующего теоретического материала по курсу. Все расчеты выполнять в системе СИ.

Решения необходимо сопровождать краткими пояснениями. При использовании справочных материалов необходимо называть источник, делая ссылку на перечень литературы, приведенной в конце работы.

Решения следует выполнять сначала в общем виде, затем подставлять числовые величины, при наличии значительных однотипных вычислений, приводя два-три расчета в качестве примера, результаты внести в таблицу. Арифметическая правильность вычислений и указания размерности являются обязательными.

Рисунки следует пронумеровать и снабдить подрисуночными подписями, оси координат снабдить размерными подписями.

Графики и схемы необходимо приводить по ходу расчета. Текстовая часть работы должна быть написана аккуратно, четким почерком.

Если преподаватель предложит переделать какой-либо раздел работы, то в этом случае исправления вносятся в текст с тем расчетом, чтобы исправленная работа представляла единое целое.

Листы с большим числом исправлений следует переписать. Все замененные листы обязательно приложить к исправленной работе. Замечания рецензента не разрешается ни стирать, ни заклеивать.

В конце выполненного задания студент проставляет дату и подписывается.

Расчеты производить в абсолютных единицах.

2 Крепежные детали

1.1. Цель работы: изучить крепежные детали и соединения, обозначение крепежных деталей по ГОСТ.

1.2. Выполнить практическое задание по вариантам.

Используя справочник по машиностроительному черчению, изучить типы резьб и выполнить изображение (эскиз) профиля резьбы по заданию с обозначением на нем размеров (в символьной форме).

Изучить условное обозначение и условное изображение резьб, выполнить условное изображение (эскиз) резьбы по заданию с обозначением на нем размера, используя условное обозначение.

Изучить обозначение крепежных деталей, используя справочник по машиностроительному черчению. Записать обозначение крепежных деталей по ГОСТ (болта, гайки, шайбы, штифта, шпильки). ГОСТ выбрать по справочнику самостоятельно.

Таблица1

№ варианта	Выполнить изображение (эскиз) профиля резьбы с обозначением на нем размеров (в символической форме)	Записать обозначение крепежных деталей (ГОСТ выбрать самостоятельно)						
		Записать условное обозначение резьбы	Выполнить условное изображение резьбы					
				Болт	Гайка	Шайба	Штифт	Шпилька
1	Метрической	Трубой, 3/4"	Сквозное отверстие коническая	1 исполнение, M10, L=40	2 исполнение, M12	Диаметр отверстия 11 мм	1 исполнение, $\Phi 10$, L=40	1 исполнение, M10, L=40
2	Трубой	Метрической, диаметр 12 мм, шаг 1 мм	Глухое отверстие цилиндрическая	2 исполнение, M8, L=40	1 исполнение, M6	Диаметр отверстия 15 мм	2 исполнение, $\Phi 8$, L=40	2 исполнение, M8, L=40
3	Упорной	Трубой конической наружной, 1 3/4"	Сквозное отверстие цилиндрическая	2 исполнение, M20, L=60	1 исполнение, M8	Диаметр отверстия 19 мм	2 исполнение, $\Phi 20$, L=60	2 исполнение, M20, L=60
4	Дюймовой	Метрической, диаметр 10 мм, шаг 1 мм, левой	Наружная коническая	1 исполнение, M24, L=60	2 исполнение, M6	Для болта	1 исполнение, $\Phi 24$, L=60	1 исполнение, M24, L=60
5	Метрической	Метрической, диаметр 10 мм, шаг 1,5 мм	Наружная цилиндрическая	2 исполнение M8, L=45	1 исполнение, M16	Под гайку	2 исполнение $\Phi 8$, L=45	2 исполнение, M8, L=45
6	Метрической	Метрической, диаметр 20 мм, шаг 2,5 мм, левой	Сквозное отверстие коническая	1 исполнение, M10, L=40	2 исполнение, M18	Диаметр отверстия 11 мм	1 исполнение, $\Phi 10$, L=40	1 исполнение, M10, L=40

Окончание таблицы 1

7	Труб- ной	Трубной кониче- ской внутрен- ней, 3/4``	Глухое отвер- стие ци- линдри- ческая	1 испол- нение, М24, L=80	исполне- ние, М6	Диаметр отвер- стия 15 мм	1 ис- полне- ние, Φ24, L=80	1 ис- пол- нение, М24, L=80
8	Упор- ной	Метричес- кой, диа- метр 22 мм, шаг 2 мм	Сквоз- ное от- верстие цилинд- рическая	2 испол- нение, М20, L=60	1 испол- нение, М20, L=60	Диаметр отвер- стия 19 мм	2 ис- полне- ние, Φ20, L=60	2 ис- пол- нение, М20, L=60
9	Дюймо- вой	Трубной, 3/4``	Наруж- ная ко- ническая	1 испол- нение, М24, L=60	2 испол- нение, М20	Для болта	1 ис- полне- ние, Φ24, L=60	1 ис- пол- нение, М24, L=60
10	Метри- ческой	Метричес- кой, диа- метр 8 мм, шаг 1 мм , ле- вой	Наруж- ная ци- линдри- ческая	2 испол- нениеМ8, L=45	1 испол- нени- еМ10	Под гайку	2 ис- полне- ние Φ8, L=45	2 ис- пол- нение М8, L=45
11	Метри- ческой	Трубной кониче- ской на- ружной, 1/2``	Сквоз- ное от- верстие кониче- ская	1 испол- нение, М10, L=40	2 испол- нение, М14	Диаметр отвер- стия 11 мм	1 ис- полне- ние, Φ10, L=40	1 ис- пол- нение, М10, L=40
12	Труб- ной	Метричес- кой, диаметр 26 мм, шаг 3 мм 0	Глухое отвер- стие ци- линдри- ческая	2 испол- нение, М12, L=40	1 испол- нение, М18	Диаметр отвер- стия 15 мм	2 ис- полне- ние, Φ12, L=40	2 ис- пол- нение, М12, L=40
13	Упор- ной	Упорной, диаметр 24 мм, шаг 4 мм	Сквоз- ное от- верстие цилинд- рическая	2 испол- нение, М20, L=60	1 испол- нение, М22	Диаметр отвер- стия 19 мм	2 ис- полне- ние, Φ20, L=60	2 ис- пол- нение, М20, L=60
14	Дюймо- вой	Метричес- кой, Φ24 мм, шаг 4 мм	Наруж- ная ко- ническая	1 испол- нение, М24, L=60	2 испол- нение, М28	Для болта	1 ис- полне- ние, Φ24, L=60	1 ис- пол- нение, М24, L=60
15	Метри- ческой	Метричес- кой, диаметр 20 мм, шаг 4 мм,	Наруж- ная ци- линдри- ческая	2 испол- нениеМ8, L=45	1 испол- нение, М14	Под гайку	2 ис- полне- ние Φ8, L=45	2 ис- пол- нение, М8, L=45

		левой						
--	--	-------	--	--	--	--	--	--

Отчет по работе должен содержать: изображение (эскиз) профиля резьбы с обозначением на нем размеров (в символической форме), условное обозначение резьбы, условное изображение резьбы, обозначение крепежных деталей (болта, гайки, шайбы, штифта, шпильки) , ГОСТ выбрать по справочнику самостоятельно. Вывод по работе.

3 Трубы, соединительные части

1.1. Цель работы: параметры и условные обозначения труб и резьбовых соединений.

1.2. Выполнить практическое задание по вариантам.

Используя справочник по машиностроительному черчению, изучить типы труб. Записать условное обозначение одной из труб.

Записать условное обозначение по ГОСТ, выполнить эскиз с размерами проходного или переходного угольника.

Записать условное обозначение по ГОСТ, выполнить эскиз с размерами тройника с двумя переходами или прямого.

Записать условное обозначение по ГОСТ и выполнить эскиз одной из деталей (прямой крест, крест с двумя переходами, колпак, пробка), выполнить эскиз с размерами.

Таблица 2

№ варианта	Записать условное обозначение труб	Записать условное обозначение, выполнить эскиз с размерами						
		Записать условное обозначение, выполнить эскиз с размерами	Записать условное обозначение, выполнить эскиз с размерами	Записать условное обозначение, выполнить эскиз с размерами				
				Прямой крест, Ду	Переходной крест, Ду	Х с двумя переходами Ду X Ду1 X Ду2	Муфты	Колпаки и пробки
1	Обыкновенная, обычной точности изготовления, без муфты, Ф8	Проходной угольник, Гост 8947-75, исполнение 1, условный проход Ду=20, с	Гост 8948-75, условный проход Ду=32	8	-	-	Гост 8954-75, условный проход Ду=20	Гост 8962-75, условный проход Ду=32

		углом 90 градусов						
--	--	----------------------	--	--	--	--	--	--

Продолжение таблицы 2

2	Обыкновенная, обычной точности изготовления, с муфтой, $\Phi 12$	Проходной угольник, Гост 8946-75, исп. 1, условный проход Ду=10, с углом 45°	Гост 8950-75, условный проход Ду X Ду1 X Ду2 32X20X25	-	-	20X15 X15	Гост 8955-75, условный проход Ду=20	Гост 8963-75, условный проход Ду =25
3	Обыкновенная, обычной точности изготовления, длиной 8 метров, $\Phi 50$	Переходной угольник, Гост 8947-75, исп. 1, условный проход ДухДу1 15х10	Гост 8948-75, условный проход Ду=32	10	-	-	Гост 8956-75, условный проход Ду=20	Гост 8962-75, условный проход Ду=32
4	Горячедоформованные бесшовные, с $\Phi 50$, легкая, длина кратна 1500 мм, по группе Д, из Ст 10	Проходной угольник, Гост 8947-75, исполнение 2, условный проход Ду=32, с углом 45°	Гост 8950-75, условный проход Ду X Ду1 X Ду2 32X25X25	15	-	-	Гост 8954-75, условный проход Ду=40	Гост 8963-75, условный проход Ду=25
5	Горячедоформованные бесшовные, наружный $\Phi 8$, легкая, длина кратна 2600 мм, по группе Б, из Ст 40Х	Проходной угольник, Гост 8946-75, исполнение 2, условный проход Ду=32, с углом 90°	Гост 8948-75, условный проход Ду=32	-	20X15	-	Гост 8955-75, условный проход Ду=8	Гост 8962-75, условный проход Ду=80
6	Горячедоформованные бесшовные, $\Phi 20$, легкая, длина кратна 3000 мм, по	Проходной угольник, Гост 8946-75, исполнение 2, условный проход Ду=45, с	Гост 8948-75, условный проход Ду=50	-	-	20X15 X20	Гост 8957-75, условный проход Ду=20 X10	Гост 8963-75, условный проход Ду=50

	группе В, из стали Ст4	углом 45 градусов						
--	------------------------------	----------------------	--	--	--	--	--	--

Продолжение таблицы 2

7	Горяче-деформированные бесшовные, $\Phi 40$, легкая, длина кратна 2500 мм, по группе Д, из Ст4сп	Проходной угольник, Гост 8946-75, исполнение 2, условный проход Ду=10, с углом 90 градусов	Гост 8950-75, условный проход Ду X Ду1 X Ду2 40X25X3 2	-	40X25	-	Гост 8955-75, условный проход Ду=15	Гост 8962-75, условный проход Ду 40
8	Обыкновенная, обычной точности изгот., цинковым покрытием, немерной длины с резьбой, $\Phi 8$	Переходной угольник, Гост 8947-75, исп. 2, условный проход ДухДу1 15х10	Гост 8948-75, условный проход Ду=40	32	-	-	Гост 8954-75, условный проход Ду=32	Гост 8962-75, условный проход Ду=40
9	Обыкновенная, обычной точности изготовления, без муфты, $\Phi 20$	Проходной угольник, Гост 8947-75, исп. 1, условный проход Ду=32, с углом 45°	Гост 8950-75, условный проход Ду X Ду1 X Ду2 20X15X1 5	-	-	25X20 X20	Гост 8948-75, условный проход Ду=32	Гост 8963-75, условный проход Ду 15
10	Обыкновенная, обычной точности изготовления, с муфтой, $\Phi 32$	Проходной угольник, Гост 8946-75, исп. 2, условный проход Ду=50, с углом 90°	Гост 8948-75, условный проход Ду=80	40	-	-	Гост 8955-75, условный проход Ду=25	Гост 8962-75, условный проход Ду=80
11	Обыкновенная, обычной точности изготовления, длиной 15	Проходной угольник, Гост 8947-75, исп. 2, условный проход Ду=45, с	Гост 8948-75, условный проход Ду=20	-	50X32	-	Гост 8957-75, условный проход Ду=25	Гост 8963-75, условный проход Ду=20

	метров, Φ20	углом 90°					X15	
--	----------------	-----------	--	--	--	--	-----	--

Окончание таблицы 2

12	Горячеде- формиро- ванные бесшовные, нар. Φ60, легкая, длина крат- на 4500 мм, по группе Д, из Ст 40Х	Проход- ной угольник, Гост 8946-75, исполне- ние 1, ус- ловный проход Ду=20, с углом 90°	Гост 8948-75, условный проход Ду=8	50	-	-	Гост 8956- 75, ус- лов- ный проход Ду=40	Гост 8962-75, услов- ный проход Ду=8
13	Горячеде- формиро- ванные бесшовные, нар. Φ30, легкая, длина крат- на 5000 мм, по группе Б, из Ст 10	Переход- ной угольник, Гост 8947-75, исп. 2, условный проход ДухДу1 32х25	Гост 8950-75, условный проход Ду Х Ду1 Х Ду2 32Х25Х2 5	-	50Х40	-	Гост 8954- 75, ус- лов- ный проход Ду=65	Гост 8963-75, услов- ный проход Ду Х Ду1 Х Ду2 32Х25Х 25
14.	Горячеде- формиро- ванные бесшовные, нар. Φ50, легкая, длина крат- на 50000 мм, по группе В, из Ст 10	Проход- ной угольник, Гост 8947-75, исполне- ние 2, ус- ловный проход Ду=32, с углом 45°	Гост 8948-75, условный проход Ду=100	-	-	32Х20 Х25	Гост 8955- 75, ус- лов- ный проход Ду=32	Гост 8962-75, услов- ный проход Ду=80
15.	Горячеде- формиро- ванные бесшовные, нар. Φ40, легкая, длина, кратна 6000 мм, по группе Д, из стали марки Ст4	Проход- ной угольник, Гост 8946-75, исполне- ние 1, ус- ловный проход Ду=50, с углом 45°	Гост 8950-75, условный проход Ду Х Ду1 Х Ду2 20Х20Х1 5	-	25Х15	-	Гост 8957- 75, ус- лов- ный проход Ду=32 Х15	Гост 8962-75, услов- ный проход Ду 15

Отчет по работе должен содержать: условное обозначение одной из труб. Условное обозначение по ГОСТ, эскиз с размерами проходного или переходного угольника, тройника с двумя переходами или прямого, одной из деталей (прямой крест, крест с двумя переходами, колпак, пробка). Вывод по работе.

4 Системы отопления

1.1. Цель работы: закрепить знания о системах отопления.

1.2. Выполнить практическое задание по вариантам:

- выписать задание по заданному варианту;
- разработать и изобразить в произвольных размерах пространственную (в учебных целях допускается изобразить плоскую) схему водяного отопления с учетом заданных уровней, количества помещений, отопительных приборов;
- на схеме подписать диаметры и длины труб, вспомогательное оборудование.

На рисунке 1 представлен пример принципиальной схемы блока горячего водоснабжения. Схему водяного отопления необходимо изобразить с использованием условных графических обозначений элементов трубопроводов, трения и местных сопротивлений.

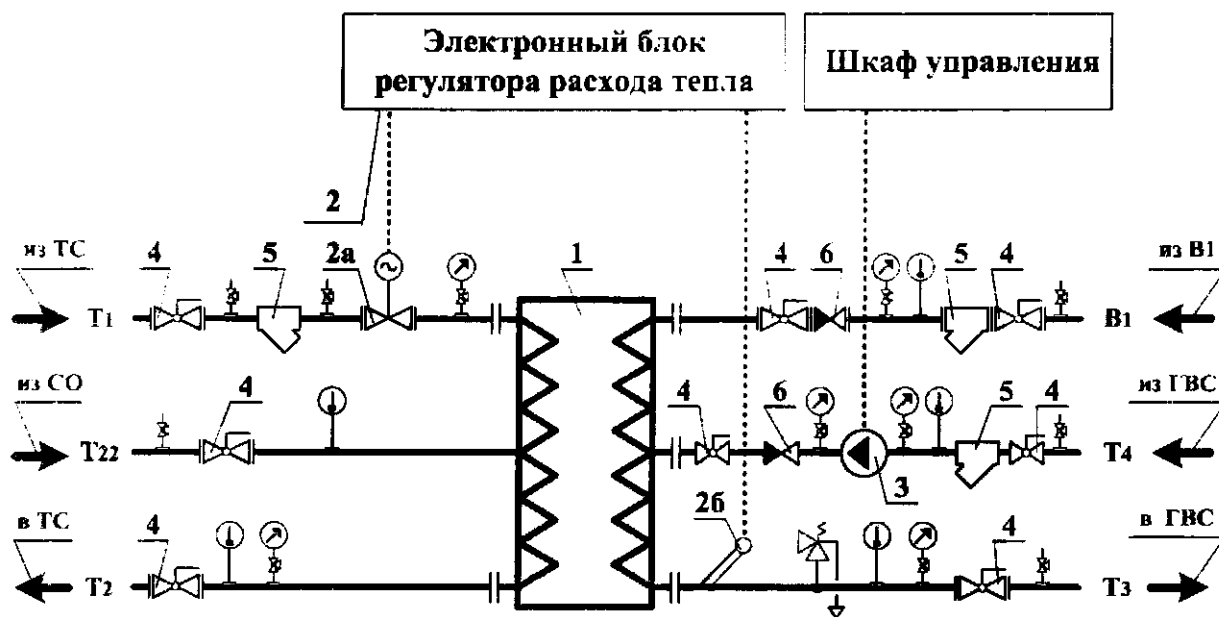


Рисунок 1 – Принципиальная схема блока горячего водоснабжения

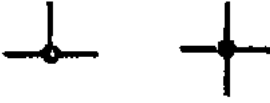
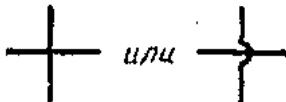
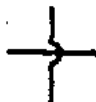
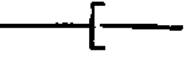
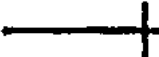
Таблица 3

Спецификация					
Поз.	Наименование	Кол.	Поз.	Наименование	Кол.
1	Теплообменник ГВС	1	3	Насос ГВС	1
2	Регулятор расхода тепла	1	4	Кран шаровой	7

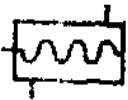
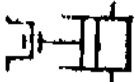
2а	Клапан, регулирующий	1
2б	Датчик температуры	1

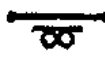
5	Фильтр сетчатый	3
6	Клапан обратный	1

Условные графические обозначения элементов трубопроводов по ГОСТ 2.784—70*

Наименование	Обозначение
Трубопровод всасывания, напора, слива	
Соединение трубопроводов	
Пересечение трубопроводов (без соединения)	 или 
Трубопровод с вертикальным стояком	 
Соединение элементов трубопроводов разъемное: общее обозначение	
фланцевое	
штуцерное резьбовое	
муфтовое резьбовое	
муфтовое эластичное, например дюритовое	
Конец трубопровода под разъемное соединение: общее обозначение	
фланцевое	
штуцерное резьбовое	

Условные графические обозначения гидравлических и пневматических насосов и двигателей

Наименование	Обозначение
Насос: ручной	
шестеренный	
винтовой	
ротацнонный лопастной (пластинчатый)	
радиально-поршневой	
аксиально-поршневой	
кривошипно-поршневой	
лопастной центробежный	
Насос струйный (эжектор, инжектор, элеватор водоструйный и пароструйный): общее обозначение	
насос водоструйный	
насос пароструйный	
Вентилятор: центробежный	
осевой	

Наименование	Обозначение
Конец трубопровода под разъемное соединение: муфтовое резьбовое	
муфтовое эластичное	
Сифоны различные (гидрозатворы)	
Компенсатор: общее обозначение	
П-образный	
лярообразный	
Вставка амортизационная	
Опора трубопровода: неподвижная	
подвижная (общее обозначение)	
шариковая	
направляющая	
скользящая	

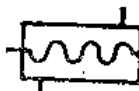
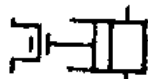
Наименование	Обозначение
Насос: ручной	
шестеренный	
винтовой	
ротационный лопастной (пластинчатый)	
радиально-поршневой	
аксиально-поршневой	
кривошипно-поршневой	
лопастной центробежный	
Насос струйный (эжектор, инжектор, элеватор водоструйный и пароструйный): общее обозначение	
насос водоструйный	
насос пароструйный	
Вентилятор: центробежный	
осевой	

Таблица 4

	Способ циркуляции	Отопительный прибор	Подключение отопительных приборов	Количество уровней	Кол-во комнат на уровнях	Система отопления				
						Разводка	Тип	V котла, л	Φ труб, мм	Φ магистрали, мм
1	С насосным побуждением	Радиаторы чугунные по 4 и 7 секций	Проходное	3	4	Нижняя	Однотрубная	200	10-25	32-50
2	Естественное побуждение	Пластинчатый калорифер	Тупиковое	2	6	Верхняя	Двухтрубная	300	25-32	50-100
3	С насосным побуждением	Конвектор А-12	Проходное	2	7	Нижняя	Двухтрубная	400	32-50	100 - 120
4	Естественное побуждение	Радиаторы стальные по 5 и 8 секций	Тупиковое	3	5	Верхняя	Однотрубная	350	10-50	32-150
5	С насосным побуждением	Ребристые трубы	Проходное	3	5	Нижняя	Двухтрубная	200	25-32	32-50
6	С насосным побуждением	Радиаторы чугунные по 4 и 7 секций	Проходное	3	4	Нижняя	Двухтрубная	200	10-25	32-50
7	Естественное побуждение	Пластинчатый калорифер	Тупиковое	2	6	Верхняя	Однотрубная	300	25-32	50-100
8	С насосным побуждением	Конвектор А-12	Проходное	2	7	Нижняя	Однотрубная	400	32-50	100 - 120
9	Естественное побуждение	Радиаторы стальные по 5 и 8 секций	Тупиковое	3	5	Верхняя	Двухтрубная	350	10-50	32-150
10	С насосным побуждением	Ребристые трубы	Проходное	3	5	Нижняя	Однотрубная	200	25-32	32-50

1.3. Составить список входящих в систему отопления комплектующих.

Контрольные вопросы

1. Разновидности систем отопления.
2. Какая система отопления называется системой с верхней разводкой?
3. Какая система отопления называется системой с нижней разводкой?
4. Какая система водяного отопления называется двухтрубной?
5. Чем отличается насосная система отопления от системы с естественным побуждением?
6. Чем отличается устройство системы парового отопления от системы водяного отопления?
7. Устройство системы пароводяного отопления.
8. Устройство системы воздушного отопления.
9. Как устроено устройство для наполнения и спуска воды из системы отопления?

5 Исследование оборудования систем отопления

1.1. Цель работы: провести исследование разработанной системы отопления.

1.2. Практическое задание, рассчитать:

- объем системы отопления,
- производительность циркуляционного насоса (теплоемкости системы $Q = 1000$ ккал/ч),
- объем перемещаемой воды насосом,
- греющую площадь в эквивалентных квадратных метрах,
- мощность электродвигателя для циркуляционного насоса,
- объем расширительного бачка.

Таблица 5

	Отопитель- ный прибор	Масса, кг	Поверхность нагрева, эсм	Объем воды при перепаде температуры в системе, л	
				95-70	105-70
1	Радиаторы чугу- нные М-140	7,7- 8,3	0,31	10	9,6
2	Пластинчатый калорифер	-	0,3	0,5	0,5
3	Конвектор А-12	5,62	0,6	0,69	0,64
4	Радиаторы стальные	7,5	0,83	7,1	6,7
5	Ребристые тру- бы ЛТ-10-0,3	-	0,265	5,5	5

Контрольные вопросы

1. Виды отопительных приборов.
2. Классификация отопительных приборов по способу теплоотдачи.
3. Классификация отопительных приборов по материалу.
4. Классификация отопительных приборов по конструктивным особенностям.
5. Как устроен конвектор?
6. Устройство чугунных ребристых плит.
7. Конструкции чугунных отопительных радиаторов.
8. Какой вид отопления называют лучистым (конвективным)?

6 Определение давления на преодоление сопротивления по длине теплопроводов

Задачей гидравлического расчета теплопроводов систем отопления является выбор таких сечений теплопроводов для протяженного и нагруженного циркуляционного кольца системы, по которым, при располагаемой разности давления в системе, обеспечивается пропуск заданного расхода тепла.

Располагаемая разность давлений выражает особую энергию, которая при движении теплоносителя по трубам может быть израсходована на преодоление сопротивлений трения и местных сопротивлений.

Для определения потери давления Δp_l (ПА) на преодоление сопротивлений трения на участке теплопровода пользуются известной из курса гидравлики формулой Дарси-Вейсбаха

$$\Delta_{pl} = l \frac{\lambda}{d_B} \cdot \frac{v^2}{2} \rho = l \frac{\lambda}{d_B} p_d, \quad (6.1)$$

где λ – коэффициент гидравлического трения – величина безразмерная, l – длина участка теплопровода, м, d_B – внутренний диаметр теплопровода, м, v – скорость движения теплоносителя, м/с, ρ – плотность (объемная масса) теплоносителя, кг/м³.

Основной величиной, характеризующей потери на преодоление сопротивлений трения, является коэффициент гидравлического трения, значение которого зависит от характера движения теплоносителя и от шероховатости стенок теплопровода.

При современном представлении о движении жидкости в трубах различают четыре наиболее характерные области: область параллельно-струйчатого (ламинарного) течения в гладких трубах, область гидравлически гладких труб, переходную область и область гидравлически шероховатых труб. Три последние области относятся к устойчивому турбулентному режиму движения жидкости.

В технических сооружениях используют только шероховатые трубы. Однако в зависимости от соотношения между толщиной пограничного слоя, присущего любому характеру движения жидкости, и величиной выступов шероховатости в технически шероховатых трубах все четыре области могут иметь место.

Шероховатые трубы при движении по ним жидкости, которое характеризуется числами Рейнольдса от 0 до 2320, по потерям на трение приравниваются к гладким трубам. Величина коэффициента гидравлического трения в этом случае зависит только от числа Рейнольдса и определяется по формуле Пуазейля

$$\lambda = \frac{64}{Re}.$$

В области шероховатых, но еще гидравлически гладких труб, когда выступы шероховатости полностью закрываются пограничным слоем и практически не оказывают влияния на потери, коэффициент гидравлического трения определяют по формуле Блазиуса

$$\lambda = \frac{0,3164}{R_e^{0,25}}.$$

Аналогичные результаты дает и формула Мурина:

$$\lambda = \frac{1,01}{(\lg R_e)^{2,5}}.$$

В переходной области при турбулентном движении начинает сказываться влияние шероховатости, так как толщина пограничного слоя уменьшается и становится сравнимой с высотой отдельных выступов шероховатости. В этой области величина коэффициента гидравлического трения зависит и от числа Рейнольдса и от величины относительной шероховатости $\frac{d_B}{k_\Sigma}$, где k_Σ – величина эквивалентной шероховатости (средняя высота выступов шероховатости, которая для теплопроводов систем отопления выражается величиной $k_\Sigma = 0,2$ мм).

На основе математической обработки исследований, проведенных Г. А. Муриным для труб диаметром до 200 мм, М. И. Кисейным и В.М. Зусмановичем предложена формула

$$\lambda = \frac{0,343}{\left(\frac{d_B}{k_\Sigma}\right) R_e^{0,17}},$$

хорошо согласующаяся с представлением о зависимости коэффициента гидравлического трения в переходной области как от вязкости жидкости, так и от относительной шероховатости труб при значениях числа Рейнольдса $Re > 4000$.

Для области гидравлически шероховатых труб величина коэффициента гидравлического трения определяется по формуле Никурадзе:

$$\lambda = \frac{1}{(1,14 + 2 \lg \frac{d_B}{k_\Sigma})^2} = \frac{1}{(1,74 + 2 \lg \frac{r}{k_\Sigma})^2}$$

Из приведенных формул для определения в каждой из четырех областей не представляется сложным найти предельные значения чисел Рейнольдса, которыми характеризуется переход теплопроводных систем отопления из переходной области в другую.

В результате обработки опытных данных получена следующая формула для определения значений коэффициента гидравлического трения в переходной области:

$$\lambda = \frac{1,42}{(\lg Re \frac{d_B}{k_3})^2} \quad (6.2)$$

Таблица 6 — Значения скоростей движения теплоносителей на границах

Скорость, м/с	Вода при температуре $t = 80^\circ \text{C}$		Насыщенный пар при $p = 0,105 - 0,12 \text{ МПа}$	
	$k_3 = 0,1 \text{ мм}$	$k_3 = 0,2 \text{ мм}$	$k_3 = 0,1 \text{ мм}$	$k_3 = 0,2 \text{ мм}$
v_1	0,04	0,02	2,24	1,12
v_2	1,62	0,81	91	45,5

Заменив в этой формуле число Re его развернутым значением и используя уравнение непрерывности потока, Б. Н. Лобаев получил второе выражение для коэффициента гидравлического трения:

$$\lambda = \frac{1,42}{(\lg 1,274 \frac{V}{k_3 \cdot g})^2}, \quad (6.3)$$

Из которого следует, что для конкретной жидкости и для определенного вида труб коэффициент гидравлического трения зависит только от расхода теплоносителя $V \text{ (м}^3/\text{с)}$.

В качестве граничных условий переходной области, характеризующих пределы применимости формулы (6.2), Б. Н. Лобаевым предложены следующие зависимости:

$$\text{для нижней границы } Re_1 = 11 \frac{d_B}{k_3} \text{ и } v_1 = 11 \frac{v}{k_3}; \quad (6.4)$$

$$\text{для верхней границы } Re_1 = 445 \frac{d_B}{k_3} \text{ и } v_1 = 445 \frac{v}{k_3};$$

(6.5)

Эти выражения также с достаточной точностью отвечают опытным данным.

В таблице приведены значения средних скоростей теплоносителя на верхней и нижней границах переходной области для воды при $t = 80^\circ \text{C}$ и для пара низкого давления ($p = 0,005 - 0,02 \text{ МПа}$). Реальные скорости движения воды и пара по теплопроводам систем отопления располагаются между граничными значениями скоростей, приведенных в таблице, а это еще раз указывает на то,

что гидравлический расчет теплопроводов систем отопления необходимо проводить для условий движения воды или пара в переходной области.

Непосредственное использование формул (6.1) – (6.5) для выявления потерь давления в разветвленной сети теплопроводов требует большой затраты времени. Для облегчения и ускорения расчетов следует пользоваться специальными таблицами, в которых приводятся величины потерь давления на 1 м длины труб в зависимости от диаметра трубы и расхода теплоносителя.

Ориентировочные доли потерь давления на преодоление сопротивлений трения и в местных сопротивлениях иллюстрируются в таблице.

Таблица 7

Системы отопления	Доля потерь χ	
	На трение	В местных сопротивлениях
Системы отопления с естественной циркуляцией воды	0,5	0,5
То же, с искусственной	0,65	0,35
Наружные тепловоды со средним расстоянием от источника теплоснабжения до 50 м	0,8	0,2
То же при расстоянии 100 м и более	0,9	0,1
Паровые системы отопления низкого давления	0,65	0,35
То же, высокого давления	0,8	0,2

Общая потеря 6.1 – 6.7 может быть записана:

$$\Delta p_{\text{вч}} = l \frac{\lambda}{d_B} p_D + \sum \xi \cdot p_D,$$

где $K = \frac{\lambda}{d_B} p_L$ (Па/М) – удельная потеря на трение (потеря давления на трение при длине трубы 1 м). Должны быть известны длины участков, требуемые расходы теплоносителя на участках и местные сопротивления.

Начинают с определения ориентировочного среднего значения удельной потери на трение:

$$R_{CP} = \frac{ax\Delta p_{расч}}{\sum l},$$

где $\Delta P_{расч}$ – общая располагаемая разность давлений для расчетов теплопроводов, Па; а – коэффициент, учитывающий долю располагаемой разности давлений $a = 0,9$; 10 процентов от располагаемого перепада давлений остается в запас на неучтенные потери: х – доля потерь на трение; $\sum l$ – сумма доли рассчитываемых участков для располагаемых разностей давлений.

7 Тепловой расчет и охлаждение червячных передач

1.1. Цель работы: провести тепловой расчет червячных передач.

1.2. Практическое задание, рассчитать:

- количество теплоты (Вт), выделяющееся в червячной передаче W ,
- количество теплоты, отводимой свободной поверхностью корпуса передачи и фундаментной плитой или рамой W , поверхность ребер A_{ω} задать самостоятельно, максимальное количество теплоты, которое может отводиться корпусом передачи W_{1MAX} , температуру масла t_{Mmax} , мощность P_1 .

Червячные передачи работают с большим тепловыделением. Между тем нагрев масла до температуры, превышающей предельную $T_{max}=95^{\circ}\text{C}$, приводит к потере им защитной способности и опасности заедания в передаче. Расчет при установившемся тепловом состоянии производят на основе теплового баланса, т. е. приравнивая тепловыделение теплоотдаче.

Количество теплоты (Вт), выделяющееся в червячной передаче, непрерывно работающей с КПД η , и передают мощность P_1 (кВт):

$$W = 10^3(1 - \eta)P_1,$$

где η – КПД передачи без учета потерь на привод вентилятора.

Количество теплоты, отводимой свободной поверхностью корпуса передачи и фундаментной плитой или рамой:

$$W = K_T 10^3(t_M - t_O)A(1 + \psi),$$

где $A = 20 A_{\omega}^{1,7}$ – поверхность теплоотдачи корпуса передачи, в которую включается 50 % поверхности ребер A_{ω} , M^2 , t_M и t_O – температура масла и температура окружающего воздуха, $^{\circ}\text{C}$; K_T – коэффициент теплоотдачи, равный 18 Вт/($\text{м}^2 \text{ } ^{\circ}\text{C}$) (большие значения придают при благоприятных условиях циркуляции воздуха); в типовых редукторах: $K_T = 16$ Вт/($\text{м}^2 \text{ } ^{\circ}\text{C}$); ψ – коэффициент, учитывающий теплоотвод в фундаментную плиту или раму машины и дохо-

дящий до 0,3 при прилегали корпуса передачи по большой поверхности (при установке редуктора на бетонное основание его дно выключается из теплоотдачи).

Максимальное количество теплоты, которое может отводиться корпусом передачи:

$$W_{1MAX} = K_T ([t_{Mmax}] - t_o) A(1 + \psi) ,$$

где t_{Mmax} – максимально допустимая температура масла.

По тепловому балансу $W = W_1$ можно определить рабочую температуру масла ($^{\circ}\text{C}$) или мощность $[P_1]$, которая может длительно передаваться червячной пересмеей согласно условию, что температура масла не превышает t_{Mmax} :

$$t_M = t_o + \frac{10^3 (1 - \eta) \cdot P_1}{K_T A(1 + \psi)} ,$$

$$[P_1] = \frac{K_T ([t_{Mmax}] - t_o) \cdot A(1 + \psi)}{10^3 (1 - \eta)} .$$

Если $t > [t_{Mmax}]$, т. е. $W > [W_{Mmax}]$, то должен быть предусмотрен отвод избыточной теплоты $W - W_{1max}$. Это достигается ребрением редуктора (если ребра ранее не предусматривались), искусственной вентиляцией, змеевиками с охлаждающей жидкостью в масляной ванне или другими охлаждающими устройствами.

Расположение ребер выбирают согласно условию лучшего их обтекания воздухом. При естественном охлаждении в соответствии с тем, что нагретый воздух поднимается вверх, ребра следует располагать вертикально. При искусственном обдуве ребра располагают вдоль направления потока воздуха от вентилятора, обычно горизонтально.

Искусственный обдув осуществляется вентилятором, устанавливаемым на валу червяка. Воздушное охлаждение значительно проще и дешевле водяного, поэтому оно получило наибольшее распространение. Оно более эффективно при расположении червяка под червячным колесом, так как в этом случае воздушный поток охлаждает масляную ванну. При искусственном обдуве коэффициент теплоотдачи обдуваемых стенок достигает 20 – 30 Вт/(м² °C) и выше.

Водяное охлаждение применяют при необходимости отвода большого количества тепла. Коэффициент теплоотдачи от поверхности труб с охлаждающей жидкостью равен 100 – 200 Вт/(м² °C).

Большинство червячных передач работает с перерывами.

При повторно-кратковременном режиме работы, если время непрерывной работы и паузы малы по сравнению с временем разогрева передачи до устано-

вившейся температуры и передача работает без специального охлаждения, то расчет в первом приближении можно вести по тем зависимостям, что и при постоянном режиме, но по среднему количеству теплоты, выделяющейся за единицу времени.

8 Муфты

1.1. Цель работы: произвести расчет предохранительной муфты.

1.2. Практическое задание, рассчитать:

- диаметр штифта.

Таблица 8

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Кол-во штифтов, z	1	2	3	1	2	3	1	2	3
радиус окружности расположения сечений среза штифтов, R	20	40	60	30	50	70	30	60	90
Штифт	гладкий	с шейкой	гладкий	с шейкой	гладкий	с шейкой	гладкий	с шейкой	гладкий

При опасности перегрузок ударного действия предохранительные муфты ставят, когда применение упругих муфт недостаточно.

По принципу работы механические предохранительные муфты разделяют на:

- а) муфты с разрушающимся элементом;
- б) пружинно-кулачковые;
- в) фрикционные.

После срабатывания предохранительной муфты соединение должно быть восстановлено. По способу восстановления соединения предохранительные муфты разделяют на: а) муфты с неавтоматическим восстановлением соединения – размыкающие цепь и прекращающие поток энергии; б) муфты с автоматическим восстановлением соединения после поворота на один или несколько угловых шагов кулачков (зубьев); в) муфты с автоматическим восстановлением

соединения без прекращения передачи момента при проскальзывании (фрикционные муфты).

При ударных перегрузках предохранительная муфта должна быть расположена возможно ближе к органу, воспринимающему силу удара. При медленно нарастающих перегрузках место расположения предохранительного звена в кинематической цепи большого значения не имеет; в этих случаях часто ограничиваются электрической защитой электродвигателя.

Штифты обычно выполняют из средне - углеродистой улучшенной стали. Их снабжают кольцевой канавкой в месте разрушения, которая повышает точность срабатывания, а также уменьшает опасность повреждения деталей муфты. Штифты устанавливают во втулки, закаленные до высокой твердости, во

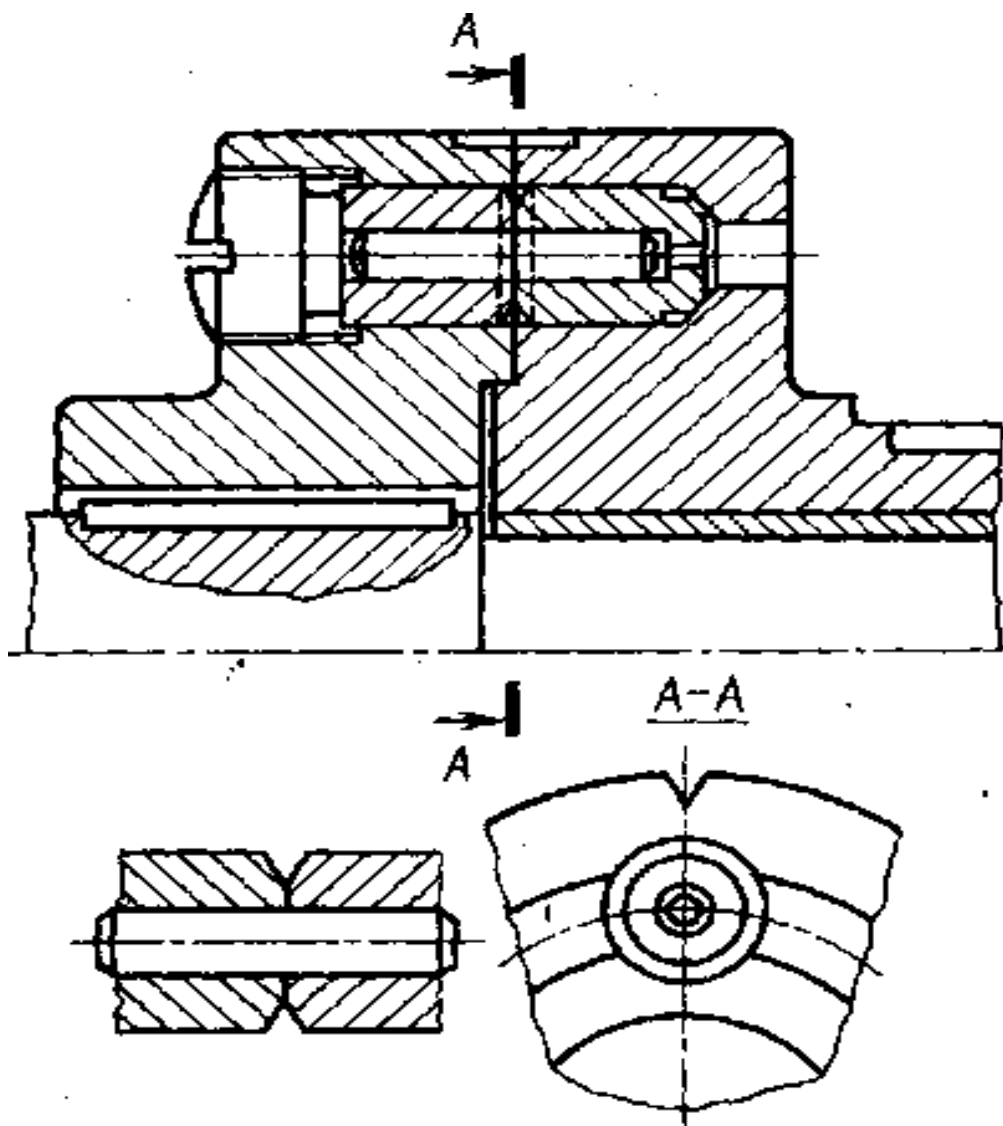


Рисунок 2 – Предохранительная муфта

избежание их повреждений при срезании штифтов.

Штифты должны быть расположены в удобном для замены месте.

Чаще применяют муфты с осевым (рис. 2), реже с радиальным расположением штифтов. Выполняют муфты с одним штифтом и с несколькими штифтами. Муфты с одним штифтом, если трение при проскальзывании муфты невелико, имеют более высокую точность срабатывания, но в муфтах с несколькими штифтами взаимно компенсируются поперечные нагрузки, передаваемые на валы.

Конструкция муфты должна предотвращать возможность выпадания штифта. Расчетный (разрушающий) момент муфты (HxM) равен

$$T_P = \frac{z}{10^3 k} \frac{\pi d^2}{4} \tau_{BCP} R,$$

откуда диаметр штифта в месте разрушения

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 10^3 T_P}{\pi z} \frac{k}{\tau_{BCP} R}},$$

где z – число штифтов; R – радиус окружности расположения сечений среза штифтов, k – коэффициент неравномерности расположения нагрузки (при $z = 1$ и $k = 1$, при $z = 2 - 3$ и $k = 1,2 - 1,3$); τ_{BCP} – предел прочности штифта на срез ($\tau_{BCP} = c\sigma_B$).

По опытным данным для гладких штифтов предохранительных муфт $c = 0,7 - 0,8$; для штифтов с шейкой $c = 0,9 - 1$.

Фрикционные предохранительные муфты

Применяют при частых кратковременных перегрузках, главным образом при перегрузках ударного действия.

По конструкции они аналогичны сцепным фрикционным муфтам. Отличие заключается в отсутствии механизма управления и в постоянном сжатии фрикционных тел пружинами. Кроме того, в предохранительных муфтах в связи с их кратковременным проскальзыванием можно допускать более высокие давления, если эти муфты не рассчитывают на длительные перегрузки.

Основное применение имеют многодисковые муфты (рис. 3). Конусные муфты применяют только при малых моментах (в связи с простотой конструкции). В зависимости от места расположения муфты выполняют работающими без смазочного материала или в масле.

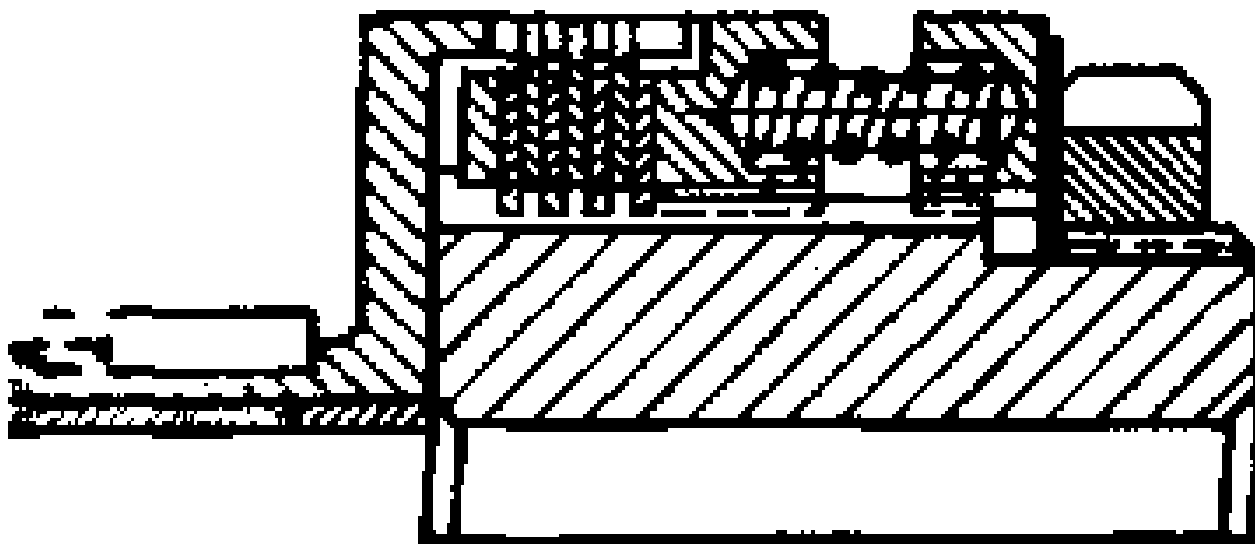


Рисунок 3 – Фрикционная предохранительная муфта

9 Расчет тормоза с приводом от электромагнита

1.1. Цель работы: провести расчет параметров тормоза с приводом от электромагнита.

1.2. Практическое задание, рассчитать:

- силу P_0 сжатия основной пружины, результирующую силу P , максимально допустимый установочный зазор между колодкой и шкивом.

На рисунке 4 изображена расчетная схема колодочного тормоза ТКТ. Закрытие тормоза производится силой P_0 сжатой основной пружины 1. Для обеспечения отхода колодок от тормозного шкива применена вспомогательная пружина 2, сила которой P_B принимается в пределах 20 – 60 Н в зависимости от размера тормоза. При заданном тормозном моменте результирующая сила P основной и вспомогательной пружин, действующая одинаково на оба рычага, определяется из соотношения

$$P = P_0 - P_B = \frac{M_T \cdot l_1}{fD\eta \cdot l},$$

где f – коэффициент трения; η – КПД рычажной системы, учитывающий потери на трение в шарнирах: для тормозов с подводом смазки к шарнирам $\eta = 0,9 - 0,95$; D, l, l_1 – размеры по таблице 9 и 10, рисунку 4.

Таблица 9

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D, М	0,15	0,2	0,25	0,32	0,9	0,4	0,7	0,5	0,6	0,8
l1, М	0,1	0,15	0,2	0,2	0,5	0,32	0,4	0,32	0,4	0,5
l, М	0,25	0,4	0,4	0,5	1	0,6	0,8	0,8	0,9	1
r1, М	0,7	0,8	0,9	0,95	1	0,7	0,8	0,9	0,95	1

Максимально допустимый установочный зазор между колодкой и шкивом

$$\varepsilon = r_1 h_m \frac{l_1}{2 \cdot l},$$

где h_m – ход якоря электромагнита, r_1 – коэффициент возможного использования хода якоря.

10 Расчет тормоза с электрогидравлическим приводом

1.1. Цель работы: провести расчет параметров тормоза с электрогидравлическим приводом.

1.2. Практическое задание, рассчитать:

- необходимая сила сжатия пружины $P_{\text{п}}$, необходимый ход штока толкателя h_T .

При заданном тормозном моменте M_T необходимая сила замыкающей пружины определяется из условия равновесия элементов рычажной системы тормоза. Горизонтальная сила замыкания P , приложенная к верхнему шарниру тормозных рычагов, определяется по той же зависимости, что и для тормоза с приводом от электромагнита.

Из условия равновесия верхнего рычага, соединяющего правый рычаг с замыкающей пружиной и со штоком толкателя, определяется необходимая сила сжатия пружины:

$$P_{\Pi} = \frac{M_T \cdot l_1 \cdot a}{f D c \eta \cdot l}$$

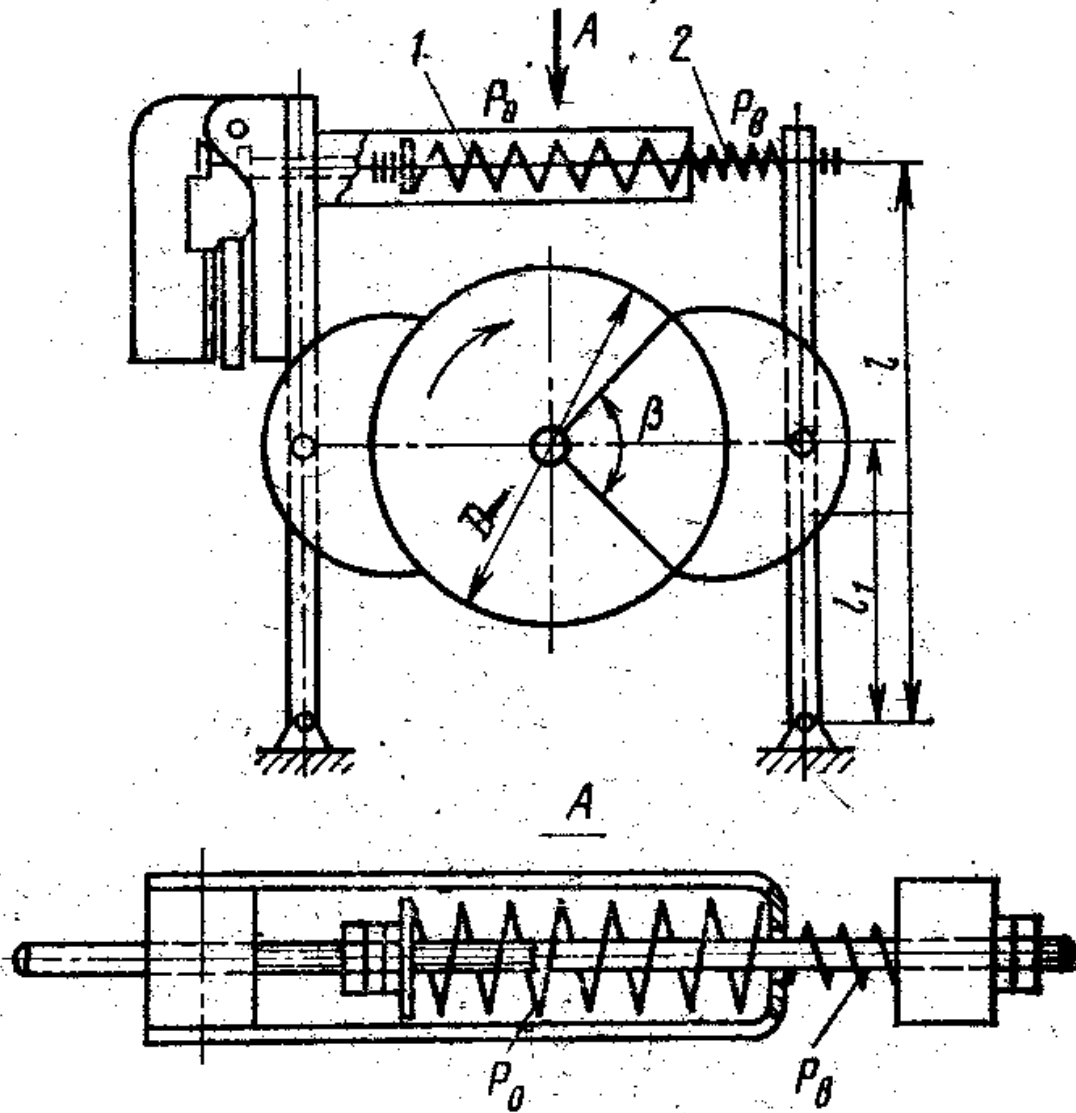


Рисунок 4 – Расчетная схема колодочного тормоза ТКТ с пружинным замыканием

При определении величины P_{II} не учтены вес подвижных элементов толкателя (поршня и штока) и собственный вес верхнего рычага, поскольку их влияние на значение P_{II} незначительно. При размыкании тормоза сила толкателя P_T преодолевает силу сжатия пружины P_{II} ; при этом

$$P_T = P_{II} c / e.$$

Необходимый ход штока толкателя h_T определяется из уравнения

$$2Ns / \eta = P_T h_T k_l.$$

На рисунке размер h_T — полный ход штока, указанный в паспорте; размер h — установочный рабочий ход штока.

Значения минимальных радиальных установочных зазоров между колодкой и шкивом принимают по следующим рекомендациям:

Таблица 10

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Диаметр шкива D, мм	100	160	200	250	320	400	500	630	800	220
Установочный зазор ϵ , мм	0,6	0,8	1	1	1,25	1,25	1,5	1,5	1,75	1,1
Максимальный тормозной момент, НхМ	100	100	300	300	800	1500	2500	4000	5500	
Сила на штоке гидротолкателя, Н	160	200	250	400	500	800	900	1000	1200	
Масса тормоза, кг	<25	<30	<35	<40	<80	<120	<155	<200	<400	

Расчет тормозных рычагов на прочность ведется по изгибающему моменту M от силы P в опасном сечении рычага:

$$\sigma = k_D \frac{M}{W} \leq [\sigma] = 0,6\sigma_T,$$

где W — момент сопротивления изгибу рассчитываемого сечения рычага; k_D — динамический коэффициент, учитывающий характер изменения приложенной силы при замыкании тормоза, и в зависимости от типа привода колодочного тормоза имеет значения, представленные в таблице ($k_T=180$ МПа) [1, стр. 76].

Таблица 11

Привод	k_D	Вариант
Электромагниты переменного тока типа МО-Б	2,5	1, 2
Электромагниты переменного тока типа КМТ и постоянного тока типа МП	2	3, 4
Электромагниты постоянного тока типа КМП	1,5	5, 6
Электрогидравлические и электромеханические толкатели	1,25	7, 8
Ручной привод	1,25	9

11 Особые случаи эксплуатации водоводов и сетей

1.1. Цель работы: провести исследование системы отопления на гидравлический удар.

1.2. Практическое задание, рассчитать:

- ударное повышение давления на трех участках труб разного диаметра (участки выбрать самостоятельно), скорость движения жидкости в трубопроводе в таблице 12,

- рассчитать минимальное время закрытия одного из кранов (по аналогии со временем закрытия клапана).

Таблица 12

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ω , скорость движения жидкости в трубопроводе, м/с;	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7

Если движущийся в трубопроводе поток жидкости мгновенно остановить, (например, перекрыть краном, задвижкой или остановить насос), то в трубопроводе произойдет гидравлический удар. Задача о гидравлическом ударе впервые была решена русским ученым Н. Е. Жуковским.

Масса жидкости, движущаяся по трубопроводу, при резком перекрытии его продолжает движение по инерции. Вначале остановится та часть, которая

придет в непосредственное соприкосновение с препятствием, затем начнут останавливаться последующие слои жидкости, уплотняя слои, остановившиеся впереди. В результате этого уплотнения давление в остановившейся массе жидкости будет возрастать. Когда энергия движения жидкости будет полностью использована в направлении ее движения, сжатая масса жидкости станет расширяться и возникнет обратная, отраженная, волна движения массы жидкости.

Зоны остановившейся жидкости и области повышенного давления распространяются по трубопроводу навстречу движущемуся потоку со скоростью распространения звука в воде.

Для расчета ударного повышения давления может быть применена формула Жуковского:

$$\Delta P = \omega \cdot c \cdot \rho = \omega \cdot c \cdot \frac{\gamma}{g},$$

где ΔP – ударное повышение давления, МПа; ω – скорость движения жидкости в трубопроводе, м/с; c – скорость звука в трубопроводе, т. е. скорость, с которой распространяется в трубопроводе зона уплотнения жидкости, м/с; ρ – плотность жидкости кг/м³; γ – объемная масса жидкости, кг/(м²·с²); g – ускорение свободного падения, м/с².

Скорость звука в трубопроводе определяется по выражению

$$c = \frac{1}{\sqrt{2r_0 \rho_0 / (E \delta) + \rho_0 / \kappa_0}},$$

где r_0 – радиус трубы, м; κ_0 – модуль упругости (сжатия) жидкости, МПа; δ – толщина стенок трубы, м; E – модуль упругости для материала стенок трубы, МПа.

Значение модуля упругости жидкости κ_0 для воды при изменении давления от 0,1 до 50 МПа и при обычной температуре можно приблизительно считать равным 2000 МПа, а для нефтепродуктов – 1350 МПа. Значение E для стали принимается равным 210 000 МПа, для чугуна – 100 000 МПа.

Скорость распространения звука (ударная волна) в чугунных трубах в зависимости от их диаметра и толщины стенок принимают следующей:

диаметр трубы, мм	50; 100; 200; 300; 600
толщина стенок, мм	7,0; 8,5; 10,5; 12,5; 18,0
скорость распространения ударной волны, м/с	1348; 1289; 1209; 1167; 913

Интересно отметить, что скорость распространения ударной волны в резиновых трубках составляет всего 30 м/с.

Проведенные за последние годы исследования показывают, что величина ударного давления зависит не только от скорости воды в трубопроводе, но и от

величины статического давления в первоначальный момент и потерь напора на трение и местные сопротивления.

Опытами установлено, что быстрое закрытие крана или задвижки почти всегда приводит к разрыву сплошности потока воды или отрыву его от затвора с образованием пустот, заполненных паром. Последующее поступление воды в разреженное пространство приводит к ударному повышению давления, и если потери напора невелики, то величина действительного ударного давления ΔP_d близка к величине ΔP , определяемой по формуле Жуковского. При значительных потерях напора на трение ΔP_d будет несколько ниже теоретического, полученного по формуле Жуковского:

$$\Delta P_d < \Delta P.$$

При подаче воды в резервуары, расположенные на более высоких отметках, чем насосная станция, явление гидравлического удара возможно в момент внезапной остановки насоса. При остановке насоса жидкость сначала движется в прежнем направлении и у насоса создается пониженное давление. Дойдя до резервуара, волна поворачивает обратно и к насосу подходит уже с повышенным давлением. Если обратный клапан отсутствует, то вода проходит через насос и начинает вращать его в обратную сторону. Кроме того, при обратном движении воды вымываются случайно попавшие в водовод предметы, которые могут повредить насос. Чтобы не допустить этого явления, после насоса, как правило, ставят обратный клапан, однако обратный клапан закрывается очень быстро, что приводит к созданию повышенных давлений (гидравлического удара). Для предотвращения этого закрывание клапана следует производить медленно, и полное закрывание должно произойти только после возвращения обратной волны.

При длине трубопровода L время на проход волны туда и обратно равно $2L/c$, и, следовательно, время закрывания клапана должно быть несколько больше $2L/c$, чтобы свести удар к минимуму.

Время закрывания обратного клапана можно отрегулировать с помощью клапана – гасителя гидравлических ударов. Роль гасителей удара могут выполнять также гидравлические или электрические задвижки с отрегулированным временем их закрытия, а также пружинные и рычажно-грузовые предохранительные клапаны. Самым простым устройством для предотвращения гидравлических ударов могут служить водяные колонны, но они удобны только при небольших напорах.

Для ослабления гидравлических ударов применяются воздушные котлы, которые могут устанавливаться как у насосов, так и на напорных участках водоводов и сетей, а также вставки из труб, скорость распространения ударной волны в которых значительно ниже.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александров, М. П. Подъемно-транспортные машины : учеб. для машиностроит. спец. вузов. М. П. Александров. – 6 – е изд., перераб. – Москва : Высш. шк., 1985. – 520 с.
2. Терехов, В. М. Системы управления электроприводов / В. М. Терехов, О. Н. Осипов. – Москва : Академия, 2006. – 304 с.
3. Справочник по электрическим машинам : в 2 т. Т. 1 / под общ. ред. И. П. Копылова и Б. К. Клокова. – Москва : Энергоатомиздат, 1988. – 456 с.
4. Справочник по электрическим машинам : в 2 т. Т. 2 / под общ. ред. И. П. Копылова и Б. К. Клокова. – Москва : Энергоатомиздат, 1989. – 688 с.
5. Решетов, Д. Н. Детали машин : учебник для студентов машиностроительных и механических специальностей вузов. Д. Н. Решетов – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва : Машиностроение, 1989. – 496 с.
6. Эксплуатация систем водоснабжения, канализации и газоснабжения : справочник / под. ред. В. Д. Дмитриева, Б. Г. Мишукова. – 3 – е изд. , перераб. и доп. – Ленинград : Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1988. – 383 с.