

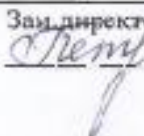
Государственное бюджетное профессиональное
образовательное учреждение
«Кунгурский колледж агротехнологий и управления»



**Методические указания по выполнению
практических работ по дисциплине
ОП.01.02 «Основы гидравлики и теплотехники»**
по специальности 35.02.16 Эксплуатация и ремонт сельскохозяйственной
техники и оборудования.

2023

Рассмотрено на заседании методической комиссии
тех. дисциплин
Протокол №1 от «28» августа 2023г
Председатель МК
 Н.В.Склясова

Зам. директора
 Л.Н.Петрова

Методические указания по дисциплине ОП.01.02. «Основы гидравлики и теплотехники» предназначено для студентов специальности 35.02.16 Эксплуатация и ремонт сельскохозяйственной техники и оборудования для подготовки к практическим работам с целью освоения практических умений и навыков и профессиональных компетенций.

Организация разработчик: ГБПОУ «Кунгурский колледж агротехнологий и управления»

Разработчик: Шахов А.И., преподаватель

Содержание

Введение	4
Практическая работа № 1. Тема: Определение физических свойств жидкости	9
Практическая работа № 2. Определение давления рабочей жидкости	15
Практическая работа № 3. Определение режимов движения жидкостей	22
Практическая работа № 4. Расчет простого трубопровода	32
Практическая работа № 5. Испытание центробежного насоса	40
Практическая работа № 6. Определение параметров пара	46
Практическая работа № 7. Применение первого и второго закона термодинамики	52
Практическая работа № 8. Основные положения теории	57
Практическая работа № 9. Устройство гидропривода ходовых систем сельскохозяйственных машин	66
Практическая работа № 10. Рекуперативные и регенеративные теплообменники.	73

Введение

Методические указания по проведению практических работ предназначены для студентов ГБПОУ «Кунгурский колледжа агротехнологий и управления» для подготовки к практическим работам с целью освоения практических умений и навыков и профессиональных компетенций.

Методические указания по проведению практических работ составлены в соответствии с рабочей программой специальности 35.02.16 Эксплуатация и ремонт сельскохозяйственной техники и оборудования Практические работы по дисциплине ОП.01.02. «Основы гидравлики и теплотехники» предназначены для закрепления теоретических знаний учащихся и приобретения практических навыков в решении различных ситуационных задач, которые могут быть использованы в будущей практической деятельности.

Методические рекомендации дают возможность студентам изучить методы и пути обеспечения безопасных условий труда на производстве, учатся работать с основной и дополнительной литературой и методическими пособиями.

Главная задача данных методических рекомендаций - помочь студентам увязать изучение общих принципов управления безопасностью труда и практическое применение знаний по вопросам охраны труда в отрасли; рассматривает проблему, как добиваться решения задач по обеспечению безопасности труда человека на производстве.

Практическая работа по курсу содержит:

- Номер и наименование практической работы
- Цель практической работы
- Задание
- Порядок выполнения работы
- Контрольные вопросы

Требования по выполнению практических работ:

Перед выполнением практической работы студенты должны повторить материал, относящийся к теме работы.

По каждой практической работе студенты оформляют отчет, необходимо хорошо владеть знаниями, полученными на теоретических занятиях, при необходимости отчет по практическому занятию может быть дополнен устным ответом студента

Критерии оценки:

оценка «отлично» выставляется, если студент:

- а) самостоятельно, тщательно и своевременно выполняет практические работы и аккуратно оформляет ее;
- б) при необходимости умело пользуется справочным материалом.

оценка «хорошо»:

- а) самостоятельно, но с большими затруднениями выполняет работу;

- б) справочным материалом пользуется, но ориентируется в нем с трудом;
в) при выполнении допускает незначительные ошибки, которые исправляет после замечаний и устраняет самостоятельно без дополнительных пояснений.

оценка «удовлетворительно»

- а) выполняет практические работы несвоевременно, небрежно;
б) в процессе деятельности допускает существенные ошибки, которые исправляет с помощью преподавателя.

оценка «неудовлетворительно»

- а) не выполняет обязательные практические работы;
б) при выполнении систематически допускает существенные ошибки.

Практические работы направлены на овладение обучающимися соответствующих профессиональных компетенций (ПК):

ПК 1.1. Выполнять монтаж, сборку, регулирование и обкатку сельскохозяйственной техники в соответствии с эксплуатационными документами, а также оформление документации о приемке новой техники

ПК 1.2. Выполнять регулировку узлов, систем и механизмов двигателя и приборов электрооборудования в соответствии с правилами эксплуатации.

ПК2.7Выполнять контроль качества выполнения операций в рамках технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственной техники и оборудования.

Методические указания по выполнению практических работ направлены на овладение обучающимися следующих результатов:

умения:

У1.Выявлять и эффективно искать информацию, необходимую для решения задачи и/или проблемы;

У2.Применять современную научную профессиональную терминологию;

У3.Определять направления ресурсосбережения в рамках профессиональной деятельности по профессии (специальности), осуществлять работу с соблюдением принципов бережливого производства;

У4.Определять направления ресурсосбережения в рамках профессиональной деятельности по профессии (специальности), осуществлять работу с соблюдением принципов бережливого производства;

У5.Использовать гидравлические устройства и тепловые

установки сельскохозяйственной техники и оборудования.

У6. Осуществлять подбор гидравлических машин, насосов и вентиляторов в соответствии с технологической необходимостью и условиями работы сельскохозяйственной техники и оборудования.

У7. Рассчитывать основные параметры работы гидравлических машин, вентиляторов, теплообменных аппаратов.

знания:

31. Алгоритмы выполнения работ в профессиональной и смежных областях;

32. Современная научная и профессиональная терминология;

33. Пути обеспечения ресурсосбережения

34. Основные законы гидростатики, кинематики и динамики движущихся потоков;

35. Виды и характеристики насосов и вентиляторов; принципы работы теплообменных аппаратов, их применение.

36. Особенности движения жидкостей и газов по трубам (трубопроводам);

37. Принципы работы гидравлических машин и систем, их применение.

38. Основные параметры гидравлических машин и систем

Обязательная аудиторная нагрузка на практическую работу – 2 часа.

Нагрузка на внеаудиторную работу студентов (оформление отчета – написание выводов, подготовка к защите работы) – 1 час.

Методические указания к выполнению практической работы для студентов

1. К выполнению практической работы необходимо подготовиться до начала занятия, используя рекомендованную литературу и конспекты лекций.

2. Студенты обязаны иметь при себе линейку, карандаш, тетрадь для практических работ.

3. Отчеты по практическим работам должны включать в себя следующие пункты:

- название практической работы и ее цель;
- краткий порядок выполнения работы;
- далее пишется «Ход работы» и выполняются этапы практической работы, согласно указанному в работе порядку.

4. При подготовке к сдаче практической работы, необходимо ответить на предложенные контрольные вопросы.

5. Если отчет по работе не сдан вовремя (до выполнения следующей работы) по неуважительной причине, оценка за работу снижается.

Система оценивания практической работы

При оценивании выполнения практической работы студентом учитываются следующие показатели:

- качество выполнения задания работы (выполнение работы в соответствии с заданием, правильность результатов работы);
- качество оформления отчета по работе (оформление отчета в соответствии с требованиями методических рекомендаций, правильность и четкость формулировки выводов по результатам работы);
- качество и глубина устных ответов на контрольные вопросы при защите работы.

Каждый показатель оценивается по 5-ти бальной шкале и выставляется средний балл по всем показателям.

Практическая работа № 1

Тема: Определение физических свойств жидкости.

Цель: Научиться рассчитывать и определять основные физические свойства жидкости.

Методическое обеспечение:

1. Методические указания по выполнению работы.
2. Справочная литература по УД ОП.01.02 «Основы гидравлики, теплотехники»

Порядок выполнения работы:

1. Повторить теоретические положения по теме практической работы.
2. Изучить пример оформления задания.
3. Ознакомиться с индивидуальным заданием.
4. Решить поставленные задачи.
5. Сделать выводы о проделанной работе.
6. Оформить отчет и ответить на контрольные вопросы.

Теоретическая часть

Жидкими телами или жидкостями называют физические тела, легко изменяющие свою форму под действием самой незначительной по величине силы. Можно сказать, что жидкость – это физическое тело, обладающее текучестью, имеющее определенный объем и заполняющая часть пространства (сосуда), равного ее объему.

Различают два вида жидкостей:

- жидкости капельные (малосжимаемые);
- жидкости газообразные (сжимаемые).

Плотность жидкости.

Важнейшими характеристиками механических свойств жидкости являются ее плотность и удельный вес. Они определяют "весомость" жидкости.

Плотность ρ характеризует распределение массы Δm жидкости по объему ΔW . Плотность однородной жидкости равна отношению массы m жидкости к ее объему:

$$\rho = \frac{m}{W} \quad (1.1)$$

где m – масса жидкости, кг;

W – объем жидкости, m^3 .

Плотность ρ во всех точках однородной жидкости одинакова. В общем случае плотность может изменяться в объеме жидкости от точки к точке и в каждой точке объема с течением времени. За единицу плотности в системе СИ принят 1 кг/м^3 .

Вместо плотности в формулах может быть использован также **удельный вес γ** (Н/м^3), то есть вес жидкости G , приходящийся на единицу объема W :

$$\gamma = \frac{G}{W} = \frac{mg}{W} = \rho \cdot g \quad (1.2)$$

Плотность жидкостей и газов зависит от температуры и давления. Все жидкости, кроме воды, характеризуются уменьшением плотности с увеличением температуры. Плотность воды максимальна при $t = 4^\circ \text{C}$ и уменьшается как с уменьшением, так и с увеличением температуры от этого значения. В этом проявляется одно из аномальных свойств воды.

Плотность воды при $t = 4^\circ \text{C}$ составляет 1000 кг/м^3 ;

морской воды - $1020 \dots 1030 \text{ кг/м}^3$;

нефти и нефтепродуктов – $650 \dots 900 \text{ кг/м}^3$;

чистой ртути - 13600 кг/м^3 ;

воздуха при $t = 0^\circ \text{C}$ и атмосферном давлении – $1,29 \text{ кг/м}^3$.

При изменении давления плотность жидкости изменяется незначительно.

Сжимаемость. Это свойство жидкостей изменять объем при изменении давления; характеризуется коэффициентом объемного сжатия (коэффициентом сжимаемости) β_p (Па^{-1}); представляющим собой

относительное изменение объема жидкости W при изменении давления на единицу:

$$\beta_p = -\frac{1}{W} \cdot \frac{\Delta W}{\Delta p}, \quad (1.3)$$

где W – первоначальный объем жидкости, м^3 ;

ΔW – относительное изменение объема жидкости при изменении давления на величину Δp , м^3 .

Знак "—" в формуле (1.3) указывает на то, что при увеличении давления объем жидкости уменьшается.

Величина, обратная коэффициенту объемного сжатия – модуль объемной упругости жидкости E_o , Па:

$$E_o = \frac{1}{\beta_p} \quad (1.4)$$

Физический смысл объемного модуля упругости: величина, обратная изменению объема одного кубического метра жидкости при изменении давления на одну единицу.

Объемный модуль упругости жидкости зависит от типа жидкости, давления и температуры. Однако в большинстве случаев E_o считают постоянной величиной, принимая за нее среднее значение в данном диапазоне температур и давлений.

Различают изотермический и адиабатический модуль упругости. Причем для расчетов обычно используют изотермический модуль упругости $E_{то}$, применяемый для анализа медленных процессов, при которых успевает завершиться теплообмен с окружающей средой. Для быстротечных процессов, при которых теплообмен не успевает завершиться, используют адиабатический модуль упругости $E_{ао}$.

Температурное расширение. Это свойство жидкостей изменять объем при изменении температуры; характеризуется температурным коэффициентом объемного расширения β_t ($1/^\circ\text{C}$), представляющим собой относительное изменение объема жидкости при изменении температуры на единицу (1°C) и при постоянном давлении:

$$\beta_t = \frac{1}{W} \cdot \frac{\Delta W}{\Delta t}, (1.5)$$

где W – первоначальный объем жидкости, м^3 ;

ΔW – относительное изменение объема жидкости при повышении температуры на Δt , м^3 .

Для воды с увеличением давления при температуре до 50°C коэффициент β_t растет, а при температуре выше 50°C уменьшается.

Вязкость. Это свойство жидкости оказывать сопротивление относительному сдвигу ее слоев.

Вязкость проявляется в том, что при относительном перемещении слоев жидкости на поверхностях их соприкосновения возникают силы сопротивления сдвигу, называемые силами внутреннего трения или силами вязкости. Благодаря этим силам слой жидкости, движущийся медленнее, "тормозит" соседний слой, движущийся быстрее. Силы внутреннего трения проявляются вследствие наличия межмолекулярных связей между движущимися слоями.

Кинематическая вязкость ν – отношение динамической вязкости μ к плотности жидкости ρ и определяется формулой:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} (1.6)$$

где μ - динамическая вязкость, $\text{Па} \cdot \text{с}$;

ρ - плотность жидкости, $\text{кг}/\text{м}^3$.

В международной системе единиц (СИ), кинематическая вязкость измеряется в квадратных метрах на секунду.

Пример решения задачи:

Определите массу жидкости, если её занимаемый объем W , а плотность - ρ .

Дано:

$$W = 72 \text{ м}^3$$

$$\rho = 940 \text{ кг}/\text{м}^3$$

Решение:

Воспользуемся формулой (1.1) $\rho = \frac{m}{W}$

В этой формуле нам известные две величины: объем и

m- ? плотность. Тогда наша задача сводится к тому, чтобы выразить неизвестную величину и найти ее. Тогда:

$$m = W \cdot \rho = 72 \cdot 940 = 67680 \text{ кг} \approx 68 \text{ т}$$

Ответ: $m \approx 68 \text{ т}$

Задания для практической работы

Основная часть:

№ 1. В отопительной системе (котел, радиаторы и трубопроводы) небольшого дома содержится объем воды W . Определите сколько воды дополнительно войдет в расширительный сосуд при нагревании с t_1 до t_2 ?

№ 2. Определите удельный объем и удельный вес жидкости, если известна ее плотность ρ , ускорение свободного падения $g=9,81 \text{ м/с}^2$.

№ 3. При гидравлическом испытании внутренних систем водоснабжения допускается падение испытательного давления на Δp . Определите допустимую величину утечки ΔW при гидравлическом испытании системы вместимостью W .

№ 4. По условиям гидравлического испытания водопровода диаметром d и длиной l давление должно быть поднято от атмосферного до p . Определите объем воды, который потребуется дополнительно подать в водопровод. Деформацией труб пренебречь.

№ 5. Определите изменение плотности воды при нагревании ее от t_1 до t_2 .

№ 6. Определите динамическую вязкость жидкости, если ее плотность ρ , а кинематическая вязкость ν .

Дополнительная часть:

№7. Используя справочную литературу нужно построить зависимость W -р сжимаемости различных жидкостей от давления (1- глицерин, 2- вода, 3 – масло, 4- силиконовая рабочая жидкость). Задание оформите в виде графика, выполненного в программном комплексе Microsoft Excel.

Варианты заданий:

№ п/п	W, м ³	t ₁ , °C	t ₂ , °C	ρ, кг/м ³	p, МПа	Δp, кПа	d, мм	l, м	ν, м ² /с
1 вариант	72	13	73	850	3,3	54	100	1980	7,6
2 вариант	73	16	70	840	2,8	50	150	1740	7,7
3 вариант	79	18	86	800	2,6	60	200	850	10
4 вариант	89	18	89	990	3,3	40	100	930	9,9
5 вариант	76	10	88	810	3,7	50	150	2000	9,6
6 вариант	83	10	78	1000	2,9	57	200	1720	8,3
7 вариант	82	10	75	950	3,1	41	100	1040	9,2
8 вариант	88	15	76	1000	3	60	150	1580	7
9 вариант	86	11	87	970	2,1	42	200	1780	7,1
10 вариант	80	15	74	840	3,2	45	100	950	9,3
11 вариант	70	18	77	930	2,8	43	150	910	9,6
12 вариант	80	19	81	890	3,9	59	200	960	9,4
13 вариант	77	11	77	840	4	42	100	1980	9,1
14 вариант	83	16	76	900	2,2	53	150	1600	7
15 вариант	75	15	85	860	2,4	49	200	800	9,6
16 вариант	86	12	71	960	3,7	52	100	1320	7,9
17 вариант	70	13	82	880	2,7	54	150	1480	8
18 вариант	82	13	89	880	3	60	200	1330	8,4
19 вариант	71	18	90	870	3,7	40	100	1300	9,2
20 вариант	82	16	83	1000	3,8	44	150	1370	7,7
21 вариант	88	15	84	800	3,6	60	200	1640	9
22 вариант	73	13	87	1000	4	40	100	980	8,5
23 вариант	74	10	82	1000	2,9	45	150	1770	7,8
24 вариант	88	10	87	970	2	60	200	1010	9,9
25 вариант	88	14	87	900	4	50	100	1190	8,5
26 вариант	75	11	80	950	3,4	40	150	1430	8
27 вариант	79	15	81	1000	3,7	58	200	1070	7,7
28 вариант	90	20	88	900	2,9	59	100	1130	8,3
29 вариант	73	16	84	820	3,8	48	150	1250	8,4
30 вариант	72	18	70	940	3,7	59	200	1280	8,4

Отчёт о работе должен содержать название и цель работы, задание (номер варианта), правильно оформленные решения. По результатам работы необходимо сделать выводы.

Контрольные вопросы:

1. Сформулируйте определение жидкости.

2. Назовите основные физические свойства жидкости.
3. Сформулируйте физический смысл вязкости?
4. Назовите физический смысл объемного модуля упругости?
5. Назовите виды вязкости жидкости?
6. Определите, как изменяется коэффициент β_t с увеличением давления?
7. Назовите, в чем измеряются основные физические свойства жидкости?

Список литературы

1. А.В. Лепешкин, А.А. Михайлин Гидравлические и пневматические системы. – М.: Издательский центр «Академия», 2014.
2. О.Н.Брюханов, В.А.Жила Основы гидравлики, теплотехники и аэродинамики. - М.: Инфра-М, 2010.
3. Калицун В. И. Гидравлика, водоснабжение и канализация – М.: Стройиздат, 2000.
4. В.И.Калицун, Е.В.Дроздов, А.С.Комаров, К.И.Чижик Основы гидравлики, теплотехники и аэродинамики. – М.: Стройиздат, 2005

Интернет-ресурсы:

1. http://firing-hydra.ru/index.php?request=list_category&id=70
2. <http://firing-hydra.ru/index.php?request=kontrolnie&id=757>

Практическая работа № 2

Тема: Определение давления рабочей жидкости

Цель: Ознакомиться с методами определения давления рабочей жидкости. Научиться определять давление жидкости в зависимости от заданных условий.

Методическое обеспечение:

1. Методические указания по выполнению работы.

2. Справочная литература по УД ОП 01.02 «Основы гидравлики, теплотехники и аэродинамики»

Порядок выполнения работы:

1. Повторите теоретические положения по теме практической работы.
2. Изучите пример оформления задания.
3. Ознакомьтесь с индивидуальным заданием.
4. Решите поставленные задачи.
5. Сделайте выводы о проделанной работе.
6. Оформите отчет и ответьте на контрольные вопросы.

Теоретическая часть

Гидростатикой называется раздел гидравлики, в котором рассматриваются законы равновесия жидкости и их практическое применение.

В покоящейся жидкости всегда присутствует сила давления, которая называется гидростатическим давлением. Жидкость оказывает силовое воздействие на дно и стенки сосуда. Частицы жидкости, расположенные в верхних слоях водоема, испытывают меньшие силы сжатия, чем частицы жидкости, находящиеся у дна.

Гидростатическое давление обладает свойствами.

Свойство 1. *В любой точке жидкости гидростатическое давление перпендикулярно площадке касательной к выделенному объему и действует внутрь рассматриваемого объема жидкости.*

Свойство 2. *Гидростатическое давление неизменно во всех направлениях.*

Свойство 3. *Гидростатическое давление в точке зависит от ее координат в пространстве.*

Основное уравнение гидростатики

Рассмотрим распространенный случай равновесия жидкости, когда на нее действует только одна массовая сила - сила тяжести, и получим уравнение, позволяющее находить гидростатическое давление в любой точке

рассматриваемого объема жидкости. Это уравнение называется *основным уравнением гидростатики*.

Пусть жидкость содержится в сосуде (рис.2.1) и на ее свободную поверхность действует давление P_0 . Найдем гидростатическое давление P в произвольно взятой точке M , расположенной на глубине h . Выделим около точки M элементарную горизонтальную площадку dS и построим на ней вертикальный цилиндрический объем жидкости высотой h . Рассмотрим условие равновесия указанного объема жидкости, выделенного из общей массы жидкости. Давление жидкости на нижнее основание цилиндра теперь будет внешним и направлено по нормали внутрь объема, т.е. вверх.

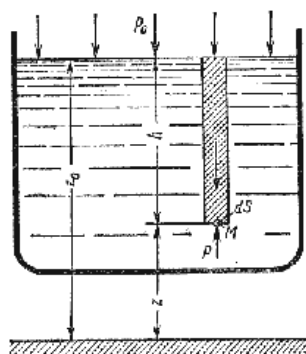


Рисунок 2.1 - Схема для вывода основного уравнения гидростатики

Запишем сумму сил, действующих на рассматриваемый объем в проекции на вертикальную ось:

$$PdS - P_0 dS - \rho \cdot g \cdot hdS = 0 \quad (2.1)$$

Последний член уравнения представляет собой вес жидкости, заключенный в рассматриваемом вертикальном цилиндре объемом hdS . Силы давления по боковой поверхности цилиндра в уравнение не входят, т.к. они перпендикулярны к этой поверхности и их проекции на вертикальную ось равны нулю. Сократив выражение на dS и перегруппировав члены, найдем

$$P = P_0 + \rho \cdot g \cdot h = P_0 + h \cdot \gamma \quad (2.2)$$

где p_0 – давление, действующее на свободную поверхность жидкости, Па;

ρ – плотность жидкости, кг/м^3 ;

g – ускорение свободного падения, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

h – высота столба жидкости, м;

γ – удельный вес Н/м³.

Полученное уравнение называют *основным уравнением гидростатики*. По нему можно посчитать давление в любой точке покоящейся жидкости. Это давление, как видно из уравнения, складывается из двух величин: давления P_0 на внешней поверхности жидкости и давления, обусловленного весом вышележащих слоев жидкости.

Из основного уравнения гидростатики видно, что какую бы точку в объеме всего сосуда мы не взяли, на нее всегда будет действовать давление, приложенное к внешней поверхности P_0 . Другими словами давление, приложенное к внешней поверхности жидкости, передается всем точкам этой жидкости по всем направлениям одинаково. Это положение известно под названием *закона Паскаля*.

Абсолютное давление складывается из двух других: избыточного и внешнего (атмосферного):

$$p = p_{изб} + p_{вн} \quad (2.3)$$

где $p_{изб}$ – избыточное давление в резервуаре, Па;

$p_{вн}$ – внешнее (атмосферное) давление в резервуаре, Па.

Избыточное давление определяется, как произведение удельного веса на высоту столба жидкости:

$$p_{изб} = h \cdot \gamma = \rho \cdot g \cdot h \quad (2.4)$$

где γ – удельный вес, Н/м³;

ρ – плотность жидкости, кг/м³;

g – ускорение свободного падения, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

h – высота столба жидкости, м.

Закон Архимеда.

Тело, погруженное (полностью или частично) в жидкость, испытывает со стороны жидкости суммарное давление, направленное снизу вверх и равное весу жидкости в объеме погруженной части тела.

$$P_{\text{выт}} = \rho_{\text{ж}} \cdot g \cdot V_{\text{погр}} \quad (2.5)$$

где $V_{\text{погр}}$ – объем погруженного в жидкость тела, м^3 ;

$\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкости, кг/м^3 ;

g – ускорение свободного падения, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

Пример решения задачи:

К всасывающей стороне цилиндра присоединен водяной вакуумметр с показанием h . Определите разрежение под поршнем.

Дано:

$h = 95 \text{ м}$

$p_{\text{раз}} = ?$

Решение:

В данной задачи нам нужно найти разрежение под

поршнем, по-другому его можно назвать избыточным

давлением, которое найдем по формуле (2.4) $p_{\text{изб}} = \rho \cdot g \cdot h$

Жидкость, находящаяся в цилиндре это вода, тогда

$\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$, а $g = 9,81 \text{ м/с}^2$

Тогда, $p_{\text{изб}} = 1000 \cdot 9,81 \cdot 95 =$
 $= 931950 \text{ Па} = 0,93 \text{ МПа}$

Ответ: $p_{\text{раз}} = 0,93 \text{ МПа}$

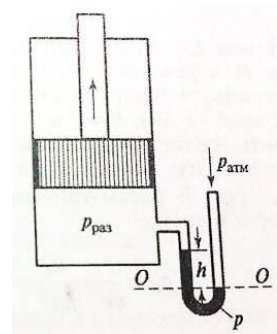


Рисунок 2.2 – Цилиндр к примеру решения задачи

Задания для практической работы

Основная часть:

№ 1. Определите избыточное давление воды в трубе по показаниям батарейного ртутного манометра.

Отметки уровней ртути по оси трубы:

Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 .

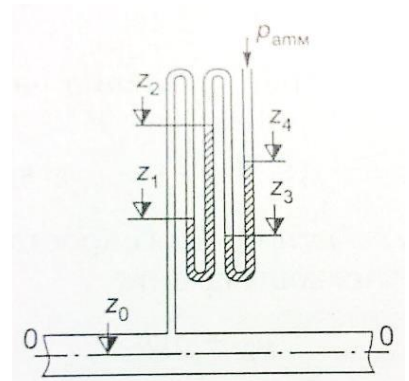


Рисунок 2.3 – Батарейный ртутный
манометр, к задаче №1

№ 2. Определите избыточное давление в забое скважины глубиной h , которая заполнена жидкостью плотностью ρ .

№ 3. Два горизонтальных цилиндрических трубопровода А и В содержат соответственно минеральное масло плотностью 900 кг/м^3 и воду плотностью 1000 кг/м^3 . Высоты жидкостей, представленные на рисунке имеют следующие значения: h_m , $h_{рт}$, h_b . Зная, что гидростатическое давление на оси трубопровода А равно p , определите давление на оси трубопровода В.

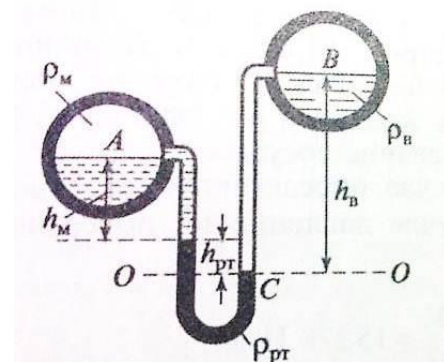


Рисунок 2.4 – Батарейный ртутный
манометр, к задаче №3

№ 4. Избыточное давление воды в океане на глубине h равно p . Определите: плотность морской воды на этой глубине.

Дополнительная часть:

№ 5. В обычных условиях человек поднимает без труда стальную гирию массой m_1 . Проанализируйте, какой массы стальную гирию человек может поднять без труда под водой, если $\rho_в = 10^3 \text{ кг/м}^3$, $\rho_{ст} = 7,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$?

Варианты заданий:

№ п/п	h , м	z_1 , м	z_2 , м	z_3 , м	z_4 , м	h_m , м	$h_{рт}$, м	h_b , м	ρ , кг/м ³	p , МПа	m_1 , кг
1 вариант	97	1,77	3,05	1,66	2,63	0,28	0,48	0,96	1080	0,55	13,5
2 вариант	81	1,94	3,12	1,59	2,69	0,29	0,45	0,96	950	0,56	10,1
3 вариант	84	1,78	3,26	1,68	2,64	0,3	0,44	0,98	820	0,61	11,7
4 вариант	98	1,8	3,09	1,5	2,6	0,3	0,41	0,99	990	0,59	12,9
5 вариант	93	1,87	3,03	1,58	2,61	0,29	0,5	0,92	940	0,64	10,8
6 вариант	91	1,99	3,14	1,62	2,67	0,3	0,44	0,94	1150	0,53	14,5
7 вариант	91	1,95	3,19	1,68	2,7	0,27	0,42	0,92	810	0,62	11,4
8 вариант	92	1,76	3,04	1,7	2,51	0,3	0,45	0,93	880	0,61	13

9 вариант	97	1,94	3,14	1,56	2,66	0,29	0,44	0,91	950	0,59	13,2
10 вариант	99	1,76	3,23	1,56	2,67	0,3	0,48	0,93	1150	0,58	11,8
11 вариант	88	1,97	3,18	1,59	2,58	0,27	0,41	0,94	1100	0,54	12,6
12 вариант	86	1,96	3,04	1,65	2,64	0,23	0,5	0,99	1150	0,5	13,3
13 вариант	95	1,89	3,18	1,68	2,58	0,27	0,48	0,92	800	0,53	13,9
14 вариант	81	1,77	3,09	1,65	2,57	0,25	0,48	0,99	1080	0,57	11,1
15 вариант	89	1,87	3,12	1,59	2,69	0,28	0,48	1	970	0,62	11,3
16 вариант	85	1,83	3,17	1,59	2,66	0,21	0,44	0,96	980	0,69	13
17 вариант	86	1,94	3,27	1,56	2,56	0,2	0,4	0,99	950	0,67	13,6
18 вариант	97	1,82	3,11	1,67	2,56	0,26	0,48	0,9	1200	0,68	14,2
19 вариант	97	1,88	3,29	1,6	2,54	0,29	0,4	0,9	800	0,59	10,6
20 вариант	93	1,97	3,02	1,69	2,58	0,23	0,41	0,95	1160	0,61	13,3
21 вариант	81	1,76	3,13	1,55	2,5	0,22	0,44	0,95	930	0,5	14,9
22 вариант	99	2	3,27	1,51	2,52	0,28	0,48	0,93	1140	0,69	11,9
23 вариант	99	1,75	3,15	1,68	2,68	0,26	0,41	0,98	930	0,52	14,6
24 вариант	84	1,77	3,26	1,5	2,58	0,21	0,5	0,99	830	0,51	13,2
25 вариант	83	1,92	3,17	1,61	2,64	0,22	0,49	1	1180	0,68	14,9
26 вариант	94	1,79	3,02	1,53	2,59	0,28	0,48	0,91	800	0,65	10,1
27 вариант	81	1,76	3,03	1,68	2,64	0,29	0,5	0,95	990	0,55	13,2
28 вариант	99	1,97	3,22	1,67	2,53	0,23	0,45	0,99	1130	0,64	13,4
29 вариант	84	1,78	3,14	1,62	2,58	0,21	0,48	0,95	830	0,54	14,7
30 вариант	95	1,77	3,21	1,66	2,65	0,21	0,49	0,95	970	0,69	12

Отчёт о работе должен содержать название и цель работы, задание (номер варианта), правильно оформленные решения. По результатам работы необходимо сделать выводы

Контрольные вопросы:

1. Назовите определение гидростатического давления?
2. Назовите свойства, которыми обладает гидростатическое давление.
3. Напишите вывод основного уравнения гидростатики.
4. Расскажите сущность закона Паскаля.
5. Сформулируйте закон Архимеда.
6. Назовите известные вам виды давлений?

Список литературы

1. А.В. Лепешкин, А.А. Михайлин Гидравлические и пневматические системы. – М.: Издательский центр «Академия», 2014.
2. О.Н.Брюханов, В.А.Жила Основы гидравлики, теплотехники и аэродинамики. - М.: Инфра-М, 2010.
3. Калицун В. И. Гидравлика, водоснабжение и канализация – М.: Стройиздат, 2000.
4. В.И.Калицун, Е.В.Дроздов, А.С.Комаров, К.И.Чижик Основы гидравлики, теплотехники и аэродинамики. – М.: Стройиздат, 2005

Интернет-ресурсы:

1. http://firing-hydra.ru/index.php?request=list_category&id=70
2. <http://firing-hydra.ru/index.php?request=kontrolnie&id=757>

Практическая работа № 3

Тема: Определение режимов движения жидкостей

Цель: Ознакомиться с режимами движения жидкости. Научиться определять режим движения жидкости в зависимости от заданных условий.

Методическое обеспечение:

1. Методические указания по выполнению работы.
2. Справочная литература по УД ОП 01.02 «Основы гидравлики, теплотехники и аэродинамики»

Порядок выполнения работы:

1. Повторите теоретические положения по теме практической работы.
2. Изучите пример оформления задания.
3. Ознакомьтесь с индивидуальным заданием.
4. Решите поставленные задачи.
5. Сделайте выводы о проделанной работе.
6. Оформите отчет и ответьте на контрольные вопросы.

Теоретическая часть

Гидродинамика – раздел гидравлики, в котором изучаются законы движения жидкости и ее взаимодействие с неподвижными и подвижными поверхностями.

Живым сечением ω (м^2) называют площадь поперечного сечения потока, перпендикулярную к направлению течения. Например, живое сечение трубы - круг (рис.3.1, а); живое сечение клапана - кольцо с изменяющимся внутренним диаметром (рис. 3.1, б).

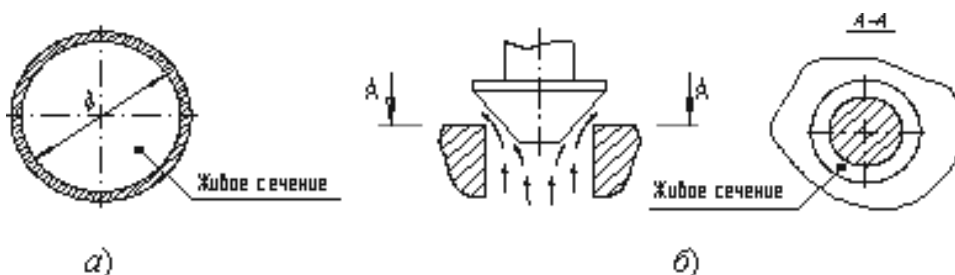


Рисунок 3.1 – Живые сечения: а - трубы, б - клапана

Смоченный периметр χ ("хи") - часть периметра живого сечения, ограниченное твердыми стенками (рис. 3.2, выделен утолщенной линией).

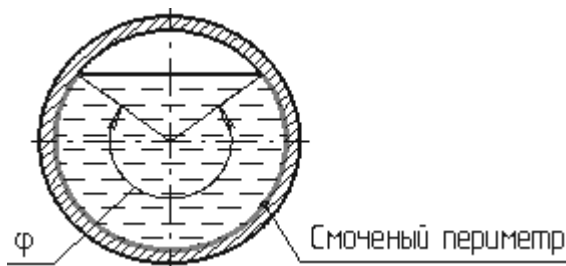


Рисунок 3.2 – Смоченный периметр

Для круглой трубы

$$\chi = \pi D \frac{\varphi}{2\pi} = \frac{D\varphi}{2} \quad (3.1)$$

где D —диаметр трубы, м;

φ —угол наполненности жидкости в трубе, °.

Расход жидкости Q – это объем жидкости V , протекающей за единицу времени t через живое сечение ω .

$$Q = \frac{V}{t}, \quad (\text{м}^3/\text{с}, \text{ литр}/\text{мин}). \quad (3.2)$$

где V —объем жидкости, м^3 ;

t —время, за которое вытекает жидкость, с.

Средняя скорость потока v - скорость движения жидкости, определяющаяся отношением расхода жидкости Q к площади живого сечения ω

$$v_{\varphi} = \frac{Q}{\omega}, \quad (\text{м}/\text{с}) \quad (3.3)$$

Поскольку скорость движения различных частиц жидкости отличается друг от друга, поэтому скорость движения и усредняется. В круглой трубе, например, скорость на оси трубы максимальна, тогда как у стенок трубы она равна нулю.

Гидравлический радиус потока R - отношение живого сечения к смоченному периметру

$$R = \frac{\omega}{\chi}, \text{ (м)} \quad (3.4)$$

Течение жидкости может быть напорным и безнапорным.

Напорное течение наблюдается в закрытых руслах без свободной поверхности. Напорное течение наблюдается в трубопроводах с повышенным (пониженным давлением).

Безнапорное - течение со свободной поверхностью, которое наблюдается в открытых руслах (реки, открытые каналы, лотки и т.п.). В данном курсе будет рассматриваться только напорное течение.

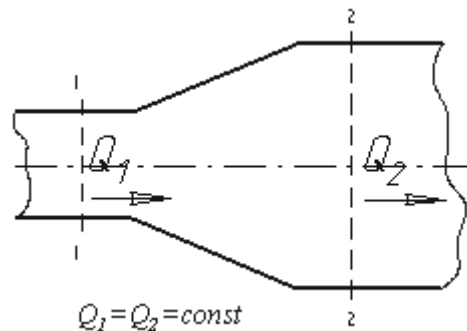


Рисунок 3.3 – Труба с переменным диаметром при постоянном расходе

Из закона сохранения вещества и постоянства расхода вытекает *уравнение неразрывности* течений. Представим трубу с переменным живым сечением (рис.3.3). Расход жидкости через трубу в любом ее сечении постоянен, т.е. $Q_1 = Q_2 = \text{const}$, откуда

$$\omega_1 \cdot v_1 = \omega_2 \cdot v_2 \quad (3.5)$$

Таким образом, если течение в трубе является сплошным и неразрывным, то уравнение неразрывности примет вид:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \text{const} \quad (3.6)$$

где v_1 – скорость жидкости в первом сечении, м/с;

ω_1 – площадь первого живого сечения, м²;

v_2 – скорость жидкости во втором сечении, м/с;

ω_2 – площадь второго живого сечения, м².

Уравнение Бернулли для идеальной жидкости.

Для двух произвольных сечений 1-1 и 2-2 потока идеальной жидкости уравнение Бернулли (рис. 3.4) имеет следующий вид:

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} = H = \text{const} \quad (3.7)$$

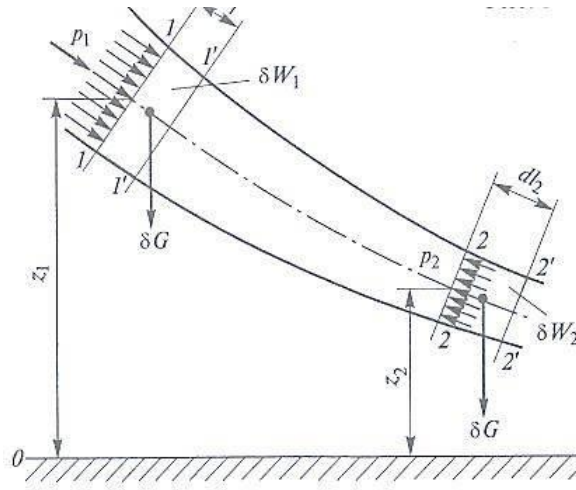


Рисунок 3.4 – Схема струйки идеальной жидкости

Так как сечения 1-1 и 2-2 взяты произвольно, то полученное уравнение можно переписать иначе:

$$z + \frac{P}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} = H = \text{const} \quad (3.8)$$

и прочитать так: сумма трех членов уравнения Бернулли для любого сечения потока идеальной жидкости есть величина постоянная.

С энергетической точки зрения каждый член уравнения представляет собой определенные виды энергии:

z_1 и z_2 - удельные энергии положения, характеризующие потенциальную энергию в сечениях 1-1 и 2-2;

$\frac{P_1}{\rho g}$ и $\frac{P_2}{\rho g}$ - удельные энергии давления, характеризующие потенциальную энергию давления в тех же сечениях;

$\frac{v_1^2}{2g}$ и $\frac{v_2^2}{2g}$ - удельные кинетические энергии в тех же сечениях.

Уравнение Бернулли для реальной жидкости.

Уравнение Бернулли для потока реальной жидкости несколько отличается от уравнения. Дело в том, что при движении реальной вязкой жидкости возникают силы трения, на преодоление которых жидкость затрачивает энергию. В результате полная удельная энергия жидкости в сечении 1-1 будет больше полной удельной энергии в сечении 2-2 на величину потерянной энергии. (рис. 3.5)

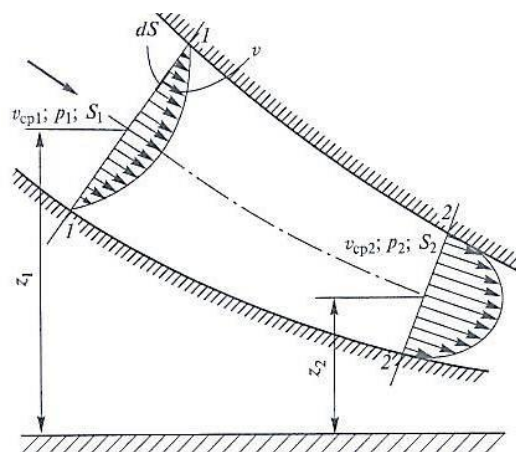


Рисунок 3.5 – Схема потока реальной жидкости

Потерянная энергия или потерянный напор обозначаются $h_{пот}^{1-2}$ и имеют также линейную размерность.

Уравнение Бернулли для реальной жидкости будет иметь вид:

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} + h_{пот}^{1-2} = H = \text{const} \quad (3.9)$$

Кроме этого в уравнении появились еще два коэффициента α_1 и α_2 , которые называются *коэффициентами Кориолиса* и зависят от режима течения жидкости ($\alpha = 2$ для ламинарного режима, $\alpha = 1$ для турбулентного режима).

Потерянная высота $h_{пот}^{1-2}$ складывается из линейных потерь, вызванных силой трения между слоями жидкости, и потерь, вызванных местными сопротивлениями (изменениями конфигурации потока)

$$h_{пот}^{1-2} = h_{лин} + h_{мест} \quad (3.10)$$

С помощью уравнения Бернулли решается большинство задач практической гидравлики. Для этого выбирают два сечения по длине потока, таким образом, чтобы для одного из них были известны величины P , ρ , g , а для

другого сечения одна или величины подлежали определению. При двух неизвестных для второго сечения используют уравнение постоянства расхода жидкости $v_1 \omega_1 = v_2 \omega_2$.

При наблюдении за движением жидкости в трубах и каналах, можно заметить, что в одном случае жидкость сохраняет определенный строй своих частиц, а в других - перемещаются бессистемно. Однако исчерпывающие опыты по этому вопросу были проведены Рейнольдсом в 1883 г. На рис. 3.6 изображена установка, аналогичная той, на которой Рейнольдс производил свои опыты.

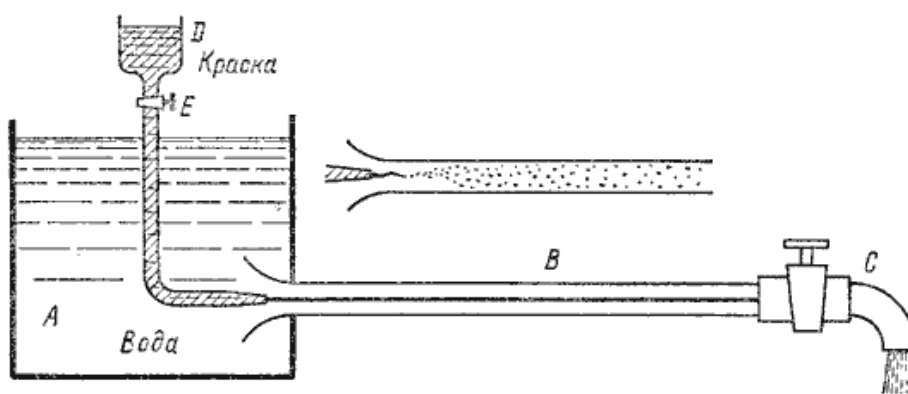


Рисунок 3.6 – Схема установки Рейнольдса

Установка состоит из резервуара *A* с водой, от которого отходит стеклянная труба *B* с краном *C* на конце, и сосуда *D* с водным раствором краски, которая может по трубке вводиться тонкой струйкой внутрь стеклянной трубы *B*.

Первый случай движения жидкости. Если немного приоткрыть кран *C* и дать возможность воде протекать в трубе с небольшой скоростью, а затем с помощью крана *E* впустить краску в поток воды, то увидим, что введенная в трубу краска не будет перемешиваться с потоком воды. Струйка краски будет отчетливо видимой вдоль всей стеклянной трубы, что указывает на слоистый характер течения жидкости и на отсутствие перемешивания. Если при этом, если к трубе подсоединить пьезометр или трубку Пито, то они покажут неизменность давления и скорости по времени. Такой режим движения называется *ламинарный*.

Второй случай движения жидкости. При постепенном увеличении скорости течения воды в трубе путем открытия крана С картина течения вначале не меняется, но затем при определенной скорости течения наступает быстрое ее изменение. Струйка краски по выходе из трубки начинает колебаться, затем размывается и перемешивается с потоком воды, причем становятся заметными вихреобразования и вращательное движение жидкости. Пьезометр и трубка Пито при этом покажут непрерывные пульсации давления и скорости в потоке воды. Такое течение называется *турбулентным* (рис. 3.6, вверху).

Если уменьшить скорость потока, то восстановится ламинарное течение.

Итак, *ламинарным* называется слоистое течение без перемешивания частиц жидкости и без пульсации скорости и давления. При ламинарном течении жидкости в прямой трубе постоянного сечения все линии тока направлены параллельно оси трубы, при этом отсутствуют поперечные перемещения частиц жидкости.

Турбулентным называется течение, сопровождающееся интенсивным перемешиванием жидкости с пульсациями скоростей и давлений. Наряду с основным продольным перемещением жидкости наблюдаются поперечные перемещения и вращательные движения отдельных объемов жидкости. Переход от ламинарного режима к турбулентному наблюдается при определенной скорости движения жидкости. Эта скорость называется *критической* $v_{кр}$.

Критерий, который определяет режим движения жидкости, называется *критическим числом Рейнольдса* $Re_{кр}$ и определяется следующим образом:

$$Re_{кр} = \frac{v_{кр} d}{\nu} \quad (3.11)$$

где $v_{кр}$ – критическая скорость жидкости, м/с;

d – внутренний диаметр трубы, мм;

ν – кинематическая вязкость, м²/с;

ω_2 – площадь второго живого сечения, м².

Как показывает опыт, для труб круглого сечения $Re_{кр}$ примерно равно 2300. Таким образом, критерий подобия Рейнольдса позволяет судить о режиме течения жидкости в трубе. При $Re < Re_{кр}$ течение является ламинарным, а при $Re > Re_{кр}$ течение является турбулентным. Точнее говоря, вполне развитое турбулентное течение в трубах устанавливается лишь при Re примерно равно 4000, а при $Re = 2300 \dots 4000$ имеет место переходная, критическая область.

Пример решения задачи:

Уточните режим течения воды в трубопроводе диаметром d_1 при расходе Q . Коэффициент кинематической вязкости ν .

Дано:	СИ:	Решение:
$d_1 = 150 \text{ мм}$	0,15 м	Воспользуемся формулой (3.11) $Re_{кр} = \frac{v_{кр} d}{\nu}$
$Q = 95 \text{ л/с}$	0,095 м ³ /с	в данной формуле нам не известна только
$\nu = 1,27 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$		величина – это критическая скорость.
$Re - ?$		Скорость можем найти с помощью
		формулы (3.3) $Q = \frac{v}{s}, \quad v = Q \cdot S$
		Теперь нужно найти площадь поперечного
		сечения. Так как в задании сказано, что вода
		движется по трубопроводу, а поперечное
		сечение трубопровода это круг, тогда:
		$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,15^2}{4} = \frac{0,07}{4} = 0,018 \text{ м}^2$
		$v = Q \cdot S = 0,095 \cdot 0,18 = 0,0017 \text{ м/с}$
		$Re = \frac{0,0017 \cdot 0,15}{1,27 \cdot 10^{-6}} = \frac{0,000255}{1,27 \cdot 10^{-6}} \approx 200 < 2300,$
		Следовательно, режим движения ламинарный
		Ответ: режим движения ламинарный, $Re = 200$

Примечание: данную задачу можно решить другим способом, путем подстановки всех формул в исходную формулу.

Задания для практической работы

Основная часть:

№ 1. Труба, по которой течет вода, имеет переменное сечение. Определите скорость во втором сечении, если скорость в первом сечении v_1 , d_1 , d_2 .

№ 2. По полностью заполненному трубопроводу перекачивается жидкость со скоростью v_1 . Определите расход жидкости Q , если гидравлический радиус R .

№ 3. Определите давление p_1 в сечении 1-1 горизонтально расположенного сопла гидромонитора, необходимое для придания скорости воде в выходном сечении 2-2, v_2 , если скорость движения воды в сечении 1-1 – v_1 .

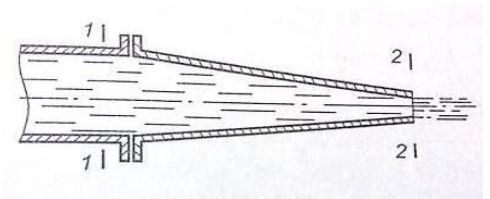


Рисунок 3.7 – Сопло

гидромонитора,

к задаче №3

№ 4. Из напорного бака вода течет по трубе диаметром d_1 , и затем вытекает в атмосферу через насадки с диаметром выходного отверстия d_2 . Избыточное давление воздуха в баке p_0 ; высота H . Пренебрегая потерями энергии, определите скорости течения воды в трубе v_1 и на выходе из насадки.

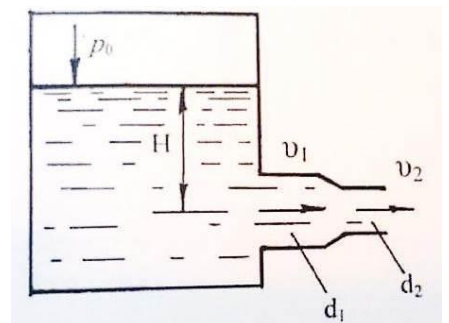


Рисунок 3.8 – Напорный бак,

к задаче № 4

№ 5. Определите число Рейнольдса и режим движения воды в водопроводной трубе диаметром d_1 , если расход Q . Коэффициент кинематической вязкости для воды ν .

Дополнительная часть:

№ 6. Проанализируйте, как изменяется число Рейнольдса при переходе трубопровода от меньшего диаметра к большему при сохранении постоянного расхода?

Варианты заданий:

№ п/п	v_1 , м/с	v_2 , м/с	d_1 , мм	d_2 , мм	R, м	p_0 , МПа	H, м	Q, л/с	v , $\frac{м^2}{с}$ * 10^{-6}
1 вариант	0,06	12	200	100	0,019	0,07	0,9	80	1,32
2 вариант	0,08	13	150	50	0,019	0,1	0,5	88	1,25
3 вариант	0,08	12	200	100	0,018	0,07	0,5	95	1,41
4 вариант	0,07	19	150	100	0,015	0,06	0,9	98	1,39
5 вариант	0,05	19	150	100	0,017	0,09	0,7	100	1,25
6 вариант	0,09	18	150	50	0,019	0,05	0,8	90	1,33
7 вариант	0,07	13	150	50	0,016	0,08	0,7	97	1,4
8 вариант	0,08	17	200	50	0,015	0,06	0,5	79	1,26
9 вариант	0,09	18	200	100	0,016	0,06	0,5	82	1,36
10 вариант	0,08	11	150	50	0,02	0,07	0,9	95	1,43
11 вариант	0,05	18	200	100	0,015	0,07	0,5	79	1,29
12 вариант	0,07	13	150	50	0,015	0,06	0,6	82	1,25
13 вариант	0,07	10	200	100	0,017	0,09	1	81	1,25
14 вариант	0,05	17	150	100	0,02	0,1	0,6	82	1,32
15 вариант	0,07	18	150	100	0,019	0,1	0,7	93	1,29
16 вариант	0,07	16	150	50	0,016	0,09	1	99	1,31
17 вариант	0,06	10	150	50	0,019	0,05	1	90	1,3
18 вариант	0,06	11	200	50	0,017	0,1	0,9	95	1,31
19 вариант	0,06	12	200	100	0,017	0,09	0,5	97	1,3
20 вариант	0,06	14	150	50	0,015	0,1	0,6	79	1,26
21 вариант	0,06	20	200	100	0,02	0,05	1	87	1,33
22 вариант	0,06	18	150	50	0,018	0,05	0,8	93	1,41
23 вариант	0,08	12	200	100	0,019	0,08	1	89	1,42
24 вариант	0,06	19	150	100	0,019	0,05	0,6	88	1,36
25 вариант	0,06	14	150	100	0,018	0,1	0,6	91	1,34
26 вариант	0,07	12	150	50	0,017	0,06	0,5	86	1,32
27 вариант	0,06	11	150	50	0,02	0,09	0,8	97	1,26
28 вариант	0,08	14	200	50	0,016	0,1	1	87	1,41
29 вариант	0,09	17	200	100	0,019	0,09	1	75	1,34
30 вариант	0,07	16	150	50	0,015	0,07	0,8	95	1,27

Отчёт о работе должен содержать название и цель работы, задание (номер варианта), правильно оформленные решения. По результатам работы необходимо сделать выводы.

Контрольные вопросы:

1. Назовите, что является живым сечением потока, покажите на рисунке?
2. Расскажите, что является смоченным периметром сечения?
3. Охарактеризуйте напорное и безнапорное течение жидкости.
4. Напишите уравнение неразрывности потока.
5. Напишите уравнение Бернулли для реальной и идеальной жидкости. Объясните в чем их отличие?
6. Расскажите, какие есть случаи движения жидкости, и с помощью какого критерия они определяются?

Список литературы

1. А.В. Лепешкин, А.А. Михайлин Гидравлические и пневматические системы. – М.: Издательский центр «Академия», 2014.
2. О.Н.Брюханов, В.А.Жила Основы гидравлики, теплотехники и аэродинамики. - М.: Инфра-М, 2010.
3. Калицун В. И. Гидравлика, водоснабжение и канализация – М.: Стройиздат, 2000.
4. В.И.Калицун, Е.В.Дроздов, А.С.Комаров, К.И.Чижик Основы гидравлики, теплотехники и аэродинамики. – М.: Стройиздат, 2005

Интернет-ресурсы:

1. http://firing-hydra.ru/index.php?request=list_category&id=70
2. <http://firing-hydra.ru/index.php?request=kontrolnie&id=757>

Практическая работа № 4

Тема: Расчет простого трубопровода

Цель: Ознакомиться с элементами расчета простого трубопровода в зависимости от заданных условий. Научиться осуществлять расчет.

Методическое обеспечение:

1. Методические указания по выполнению работы.
2. Справочная литература по УД ОП 01.02 «Основы гидравлики, теплотехники и аэродинамики»

Порядок выполнения работы:

1. Повторите теоретические положения по теме практической работы.
2. Изучите пример оформления задания.
3. Ознакомьтесь с индивидуальным заданием.
4. Решите поставленные задачи.
5. Сделайте выводы о проделанной работе.
6. Оформите отчет и ответьте на контрольные вопросы.

Теоретическая часть

При расчетах напорных трубопроводов основной задачей является либо определение пропускной способности (расхода), либо потери напора на том или ином участке, равно как и на всей длине, либо диаметра трубопровода на заданных расходе и потерях напора.

Учитывая гидравлическую схему работы длинных трубопроводов, их можно разделить также на простые и сложные.

Простыми называются последовательно соединенные трубопроводы одного или различных сечений, не имеющих никаких ответвлений.

К сложным трубопроводам относятся системы труб с одним или несколькими ответвлениями, параллельными ветвями и т.д. Жидкость по трубопроводу движется благодаря тому, что ее полная энергия (полная удельная энергия) в начале трубопровода больше, чем в конце. Это может создаваться несколькими способами: работой насоса, разностью уровней жидкости, давлением газа.

При расчете трубопровода принимается ряд допущений, основными из которых являются следующие:

- рабочая жидкость считается несжимаемой;

- температура жидкости, основные физические свойства жидкости
- (плотность, вязкость, модуль объемной упругости и др.)

принимаются

- постоянными;
- рассматривается установившееся движение жидкости;
- коэффициенты гидравлических сопротивлений постоянны;
- разрыва потока жидкости не происходит.

Рассмотрим простой трубопровод постоянного сечения, который расположен произвольно в пространстве (рис. 4.1), имеет общую длину l и диаметр d , а также содержит ряд местных сопротивлений (вентиль, фильтр и обратный клапан). В начальном сечении трубопровода 1-1 геометрическая высота равна z_1 и избыточное давление P_1 , а в конечном сечении 2-2 - соответственно z_2 и P_2 . Скорость потока в этих сечениях вследствие постоянства диаметра трубы одинакова и равна v .

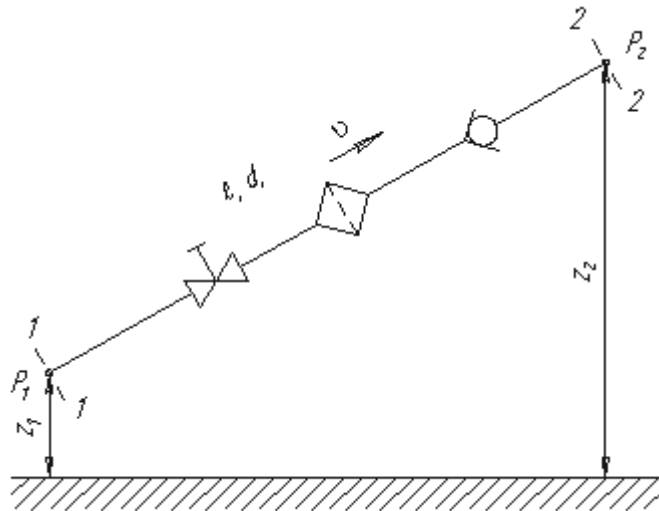


Рисунок 4.1 – Схема простого трубопровода

Запишем уравнение Бернулли для сечений 1-1 и 2-2. Поскольку скорость в обоих сечениях одинакова и $\alpha_1 = \alpha_2$, то скоростной напор можно не учитывать. При этом получим

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \sum h \quad \text{или} \quad \frac{P_1}{\rho g} = z_2 - z_1 + \frac{P_2}{\rho g} + \sum h$$

Пьезометрическую высоту, стоящую в левой части уравнения, назовем *потребным напором* $H_{нотр}$. Если же эта пьезометрическая высота задана, то ее называют *располагаемым напором* $H_{расч}$. Такой напор складывается из геометрической высоты $H_{нотр}$, на которую поднимается жидкость, пьезометрической высоты в конце трубопровода и суммы всех потерь напора в трубопроводе.

Назовем сумму первых двух слагаемых *статическим напором*, который представим как некоторую эквивалентную геометрическую высоту

$$H_{ст} = \Delta z + \frac{P_2}{\rho g} \quad (4.1)$$

а последнее слагаемое Σh - как степенную функцию расхода

$$\Sigma h = K \cdot Q \cdot m$$

где Δz —разница геометрических высот, м;

p_2 —избыточное давление на выходе, Па;

ρ —плотность жидкости, кг/м³;

g —ускорение свободного падения, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

Тогда,

$$H_{нотр} = H_{ст} + KQ^m \quad (4.2)$$

где K - величина, называемая сопротивлением трубопровода;

Q - расход жидкости;

m - показатель степени, который имеет разные значения в зависимости от режима течения.

Для ламинарного течения при замене местных сопротивлений эквивалентными длинами сопротивление трубопровода равно

$$K = \frac{128 \nu l_{расч}}{\pi g d^4} \quad \text{и} \quad m = 1 \quad (4.3)$$

где $l_{расч}$ —расчетная длина трубопровода, $l_{расч} = l + l_{экв}$, м;

ν —кинематическая вязкость жидкости, м²/с;

d —диаметр трубопровода, м;

g —ускорение свободного падения, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

Численные значения эквивалентных длин $l_{\text{экв}}$ для различных местных сопротивлений обычно находят опытным путем.

Для турбулентного течения, используя формулу Вейсбаха-Дарси, и выражая в ней скорость через расход, получаем

$$K = \left(\sum \zeta + \lambda_r \frac{\ell}{d} \right) \frac{16}{2g\pi^2 d^4} \quad \text{и} \quad m = 2 \quad (4.4)$$

где ζ – коэффициент местных сопротивлений;

λ – коэффициент Дарси, коэффициент гидравлического сопротивления.

По этим формулам можно построить кривую потребного напора в зависимости от расхода. Чем больше расход Q , который необходимо обеспечить в трубопроводе, тем больше требуется потребный напор $H_{\text{потр}}$. При ламинарном течении эта кривая изображается прямой линией (рис.4.2, а), при турбулентном – параболой с показателем степени равном двум (рис.4.2, б).

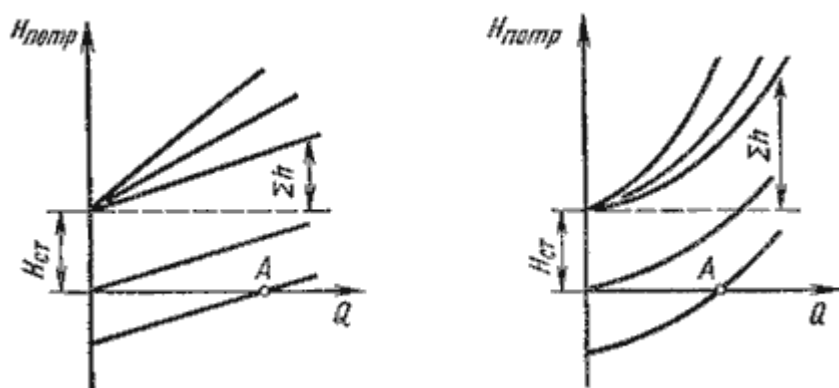


Рисунок 4.2 – Зависимости потребных напоров от расхода жидкости в трубопроводе

Крутизна кривых потребного напора зависит от сопротивления трубопровода K и возрастает с увеличением длины трубопровода и уменьшением диаметра, а также с увеличением местных гидравлических сопротивлений.

Величина статического напора $H_{\text{ст}}$ положительна в том случае, когда жидкость движется вверх или в полость с повышенным давлением, и отрицательна при опускании жидкости или движении в полость с пониженным давлением. Точка пересечения кривой потребного напора с осью

абсцисс (точка *A*) определяет расход при движении жидкости самотеком. Потребный напор в этом случае равен нулю.

Иногда вместо кривых потребного напора удобнее пользоваться характеристиками трубопровода. *Характеристикой трубопровода* называется зависимость суммарной потери напора (или давления) в трубопроводе от расхода:

$$\Sigma^h = f(q) \quad (4.5)$$

Пример решения задачи:

Вариант 30

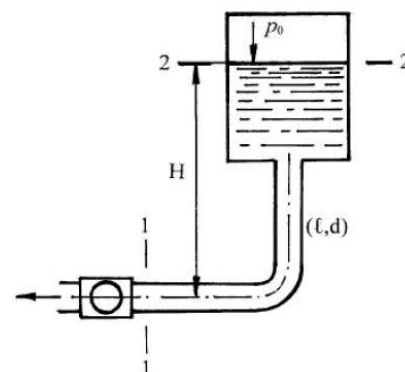
Определите перепад высот в водопроводе, если статический напор равен величине *H*, а давление на выходе равно атмосферному.

Дано:	СИ:	Решение:
$H = 14200 \text{ мм}$	14,2м	Для решения данной задачи воспользуемся формулой
$p_{\text{атм}} = 1 \cdot 10^5 \text{ Па}$		(4.1): $H_{\text{ст}} = \Delta z + \frac{p_{\text{атм}}}{\rho \cdot g}$
$\Delta z - ?$		Отсюда выразим перепад высот, и найдем ответ:
		$\Delta z = H_{\text{ст}} - \frac{p_{\text{атм}}}{\rho \cdot g} = 14,2 - \frac{10^5}{10^3 \cdot 9,81} = 4,006 \text{ м}$
		Ответ: $\Delta z = 4,006 \text{ м}$

Задания для практической работы

Основная часть:

№ 1. На рисунке показан всасывающий трубопровод гидросистемы. Длина трубопровода ℓ , диаметр d , расход жидкости Q , абсолютное давление воздуха в бачке p_0 , высота H , плотность жидкости ρ . Определить абсолютное давление перед входом в насос при температуре рабочей жидкости $t = 25^\circ\text{C}$ ($\nu = 0,2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$). Определите как изменится искомое давление в зимнее время,



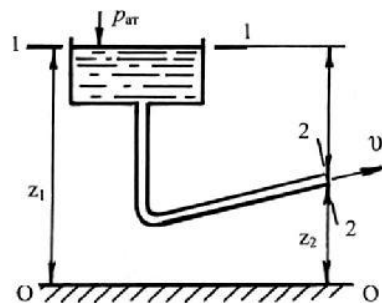
когда при этом же расходе температура жидкости упадет до -35°C ($\nu = 10 \cdot 10^{-4}$ м²/с). Рисунок 4.3 – трубопровод гидросистемы,

к задаче №1

№ 2. Определите действующий напор, если расход истечения жидкости составил Q , при длине трубопровода ℓ , и диаметру трубы d . Кинематическая вязкость воды в трубопроводе ν .

Рисунок 4.4 –

трубопровод, к задаче №2



№3. Определите действующий напор, если расход истечения жидкости составил Q , при длине трубопровода ℓ , и диаметру трубы d . Кинематическая вязкость воды в трубопроводе ν .

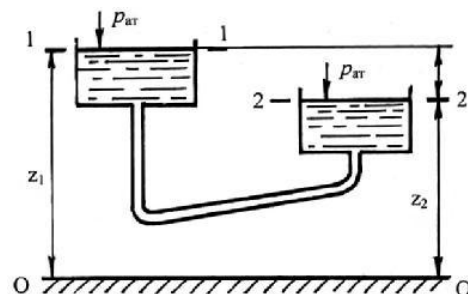


Рисунок 4.5 – трубопровод, к задаче №3

Дополнительная часть:

№ 4. Проанализируйте как изменится статический напор в трубопроводе по которому движется вода, если перепад высот Δz уменьшиться, а давление на выходе увеличится в это же число раз?

Варианты заданий:

№ п/п	ℓ , мм	d , мм	H , мм	Q , л/с	p_0 , кПа	ρ , кг/м ³	ν , м ² /с * 10^{-4}
1 вариант	9100	50	12400	8,8	120	800	0,51
2 вариант	5700	100	15000	13,1	110	890	0,25
3 вариант	9800	150	17000	12,7	130	880	1,05
4 вариант	9400	200	12300	10,6	110	840	0,25
5 вариант	4500	200	13600	14,3	110	820	0,97
6 вариант	7100	200	14900	9,5	110	910	0,95
7 вариант	7700	150	14800	10	120	830	0,33
8 вариант	9100	100	19200	12,2	100	840	0,41
9 вариант	4300	100	19400	14	120	890	0,97
10 вариант	1700	50	13200	9,1	110	820	1,35

11 вариант	3600	50	17400	15,3	130	900	0,33
12 вариант	2500	100	14300	10	100	880	0,43
13 вариант	4700	150	12200	12	110	990	0,67
14 вариант	7300	200	11200	11,3	130	880	0,27
15 вариант	3400	200	11200	13,2	100	860	0,94
16 вариант	6300	200	11900	9	100	930	1,05
17 вариант	4100	150	16800	12	100	910	0,56
18 вариант	5600	100	15700	8,9	130	870	1,14
19 вариант	9500	100	16900	8,9	100	810	0,73
20 вариант	5900	50	18100	14,5	120	800	0,46
21 вариант	1900	50	16000	9,2	100	890	0,98
22 вариант	8700	100	10700	13,6	110	1000	1,32
23 вариант	1300	150	18500	11,3	100	950	0,2
24 вариант	2100	200	18600	13,7	110	990	0,23
25 вариант	8700	200	15500	9,1	110	920	0,73
26 вариант	3200	200	20000	13,2	130	840	1
27 вариант	8200	150	15400	14,4	120	820	0,68
28 вариант	9100	100	10300	12	100	880	0,28
29 вариант	5700	100	13500	8,7	130	810	0,24
30 вариант	1700	50	14200	13,1	120	970	0,69

Отчёт о работе должен содержать название и цель работы, задание (номер варианта), правильно оформленные решения. По результатам работы необходимо сделать выводы.

Контрольные вопросы:

1. Назовите, какие бывают трубопроводы, в чем их отличие?
2. Назовите какие допущения принимаются при расчете трубопроводов?
3. Охарактеризуйте потребный, располагаемый и статический напоры.
4. Постройте графики зависимости потребных напоров от расхода жидкости в трубопроводе.

Список литературы

1. А.В. Лепешкин, А.А. Михайлин Гидравлические и пневматические системы. – М.: Издательский центр «Академия», 2014.

2. О.Н.Брюханов, В.А.Жила Основы гидравлики, теплотехники и аэродинамики. - М.: Инфра-М, 2010.

3. Калицун В. И. Гидравлика, водоснабжение и канализация – М.: Стройиздат, 2000.

4. В.И.Калицун, Е.В.Дроздов, А.С.Комаров, К.И.Чижик Основы гидравлики, теплотехники и аэродинамики. – М.: Стройиздат, 2005

Интернет-ресурсы:

1. http://firing-hydra.ru/index.php?request=list_category&id=70
2. <http://firing-hydra.ru/index.php?request=kontrolnie&id=757>

Практическая работа № 5

Тема: Испытание центробежного насоса.

Цель: Ознакомиться с основными параметрами и характеристиками насосов, научиться их определять.

Методическое обеспечение:

1. Методические указания по выполнению работы.
2. Справочная литература по УД ОП 01.02 «Основы гидравлики, теплотехники и аэродинамики»

Порядок выполнения работы:

1. Повторите теоретические положения по теме практической работы.
2. Изучите пример оформления задания.
3. Ознакомьтесь с индивидуальным заданием.
4. Решите поставленные задачи.
5. Сделайте выводы о проделанной работе.
6. Оформите отчет и ответьте на контрольные вопросы.

Теоретическая часть

Насосом называется гидравлическая машина, в которой происходит преобразование механической работы в энергию потока жидкости, предназначенную для подъема, нагнетания и перемещения жидкости.

Насосы классифицируются по принципу их действия:

1) динамические – работают по принципу силового воздействия на перемещаемую среду:

- лопастные насосы – центробежные, радиальные и осевые;
- насосы трения – струйные, вихревые и дисковые.

2) объемные – работают по принципу вытеснения жидкости:

- поршневые насосы;
- роторные.

Основные технические характеристики центробежного насоса:

1. Подача – это объем перекачиваемой в единицу времени жидкости, $Q[\text{м}^3/\text{ч}], [\text{л}/\text{с}]$.

2. Полный напор:

- для горизонтального насоса:

$$H = H_d - H_s + \frac{v_d^2}{2 \cdot g} - \frac{v_s^2}{2 \cdot g}, \quad (5.1)$$

где H_d – гидростатическое давление на выходе из насоса, измеряемое у выходного патрубка и отнесенное к оси вала насоса, м;

H_s – гидростатическое давление на входе, измеряемое у входного патрубка и отнесенное также к оси вала насоса, м;

v_d – скорость жидкости на выходе из насоса, измеряемое у выходного патрубка, м/с;

v_s – скорость жидкости на входе, м/с;

g – ускорение свободного падения, $g = 9,81 \text{ м}/\text{с}^2$.

- для вертикального насоса:

$$H = H_d + H_s + \frac{v_d^2}{2 \cdot g}, \quad (5.2)$$

где H_d – гидростатическое давление на выходе из насоса, отнесенное к оси напорного колена, м;

H_s – геометрическая высота всасывания (расстояние от уровня жидкости до центра рабочего колеса), м;

v_d – скорость жидкости на выходе из насоса, м/с;

g – ускорение свободного падения, $g = 9,81$, м/с².

3. Коэффициент полезного действия – это степень гидравлического и механического совершенства насоса определяется значением КПД.

Полный КПД насоса:

$$\eta = \frac{\text{полезная мощность насоса}}{\text{мощность на валу}} = \frac{\rho \cdot Q \cdot H}{367 \cdot 10^3 \cdot N} \quad (5.3)$$

где ρ – плотность жидкости, кг/м³;

Q – подача, м³/с;

H – полный напор, м;

N – мощность, подведенная к валу насоса Вт.

4. Характеристики – это зависимости напора от подачи при постоянном числе оборотов.

Законы подобия:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2}; \quad \frac{H_1}{H_2} = \frac{n_1^2}{n_2^2}; \quad \frac{N_1}{N_2} = \frac{n_1^3}{n_2^3}; \quad (5.4)$$

где n_1 – первоначальное число оборотов, об/мин;

n_2 – конечное число оборотов, об/мин;

Q_1 – первоначальная подача жидкости при начальном числе оборотов, м³/с;

Q_2 – конечная подача ж при конченом числе оборотов, м³/с;

H_1 – первоначальный напор жидкости при n , м;

H_2 – конечный напор жидкости при конченом числе оборотов, м;

N_1 – первоначальная мощность при n_1 , Вт;

N_2 – конечная мощность при конченом числе оборотов, Вт.

5. Коэффициент быстроходности:

$$n_s = \frac{3,65\sqrt{Q}}{\sqrt[4]{H^3}}, \quad (5.5)$$

где Q –подача жидкости, м³/с;

H – напор жидкости, м.

6. Кавитационный запас – это разность статического давления на всасывание насоса и упругости насыщенных паров.

Пример решения задачи:

Определите геометрическую высоту всасывания центробежного насоса, если его подача Q , диаметр всасывающего трубопровода d_1 , а сумма потерь напора во всасывающем трубопроводе $\Sigma h_{\text{пот}}$, а допустимая вакуумметрическая высота всасывания насоса $H_{\text{вак}}$.

Дано: СИ: Решение:

$Q = 62$ л/с $0,062$ м³/с Геометрическая высота всасывания определяется

$d_1 = 100$ мм $0,1$ м по формуле: $H_s = H_{\text{вак}} - \frac{v_1^2}{2 \cdot g} - \Sigma h_{\text{пот}}$

$\Sigma h_{\text{пот}} = 1,2$ м Для того, чтобы найти геометрическую высоту

$H_{\text{вак}} = 6,3$ м всасывания насоса, нам нужно определить

H_s - ? скорость жидкости во всасывающем

трубопроводе, скорость мы будем находить из

уравнения расхода: $Q = v \cdot S$

Тогда, $v = \frac{Q}{S}$, так как площадь трубопровода, это

площадь поперечного сечения, т.е. круга: $S = \frac{\pi d^2}{4}$,

Следовательно, $v = \frac{Q}{S} = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 0,062}{3,14 \cdot 0,1^2} = 7,898$ м/с

Тогда, геометрическая высота всасывания насоса:

$$H_s = H_{\text{вак}} - \frac{v_1^2}{2 \cdot g} - \Sigma h_{\text{пот}} = 6,3 - \frac{7,898^2}{2 \cdot 9,81} - 1,2 = 1,9 \text{ м}$$

Ответ: $H_s = 1,9$ м

Задания для практической работы

Основная часть:

№ 1. При частоте вращения вала n_1 , и подаче Q , центробежный насос развивает напор H_d и потребляет мощность N . Определите, как изменятся параметры насоса ($\Delta Q, \Delta H, \Delta N$), если частота вращения снизится до n_2 .

№ 2. Определите геометрическую высоту всасывания центробежного насоса, если его подача Q , диаметр всасывающего трубопровода d_1 , а сумма потерь напора во всасывающем трубопроводе $\Sigma h_{пот}$, а допустимая вакуумметрическая высота всасывания насоса $H_{вак}$.

№ 3. Определите коэффициент быстроходности вертикального центробежного насоса, если подача жидкости Q , давление на выходе из насоса H_d , геометрическая высота всасывания H_s , а диаметр всасывающего трубопровода d_2 .

Дополнительная часть:

№ 4. Определите напор насоса, если его подача Q ; диаметр всасывающего трубопровода d_1 ; диаметр нагнетательного трубопровода d_2 , показания манометра соответствуют напору H_d , показания вакуумметра H_s ; расстояние по вертикали между центрами вакуумметра и манометра Δh .

Варианты заданий:

№ п/п	Q , л/ с	d_1 , мм	d_2 , мм	$\Sigma h_{п}$ от м	$H_{вак}$, м	H_d , м	H_s , м	Δh , м	n_1 , мин ⁻¹	n_2 , мин ⁻¹	N , кВт
1 вариант	33	50	50	1	7,1	67	-9	0,1	2749	904	81
2 вариант	66	100	50	1,2	6,3	66	-5	0,2	2754	854	72
3 вариант	48	150	100	1,7	6,5	55	-7	0,2	2836	870	71
4 вариант	39	200	150	1	5,5	52	-10	0,2	2875	914	81
5 вариант	36	50	50	0,9	7,5	54	-4	0,3	2820	935	95
6 вариант	41	100	50	1,4	7	67	-7	0,3	2907	922	72
7 вариант	42	150	100	1,5	5,9	45	-3	0,3	2739	949	96
8 вариант	40	200	150	1,1	5,3	55	-7	0,3	2742	922	71
9 вариант	62	50	50	1,7	6,2	42	-4	0,3	2865	898	103
10 вариант	39	100	50	1,4	5,1	62	-9	0,2	2779	910	81
11 вариант	65	150	100	1,2	7,6	59	-10	0,1	2973	931	92

12 вариант	45	200	150	0,9	5,4	51	-4	0,2	2711	969	98
13 вариант	48	50	50	1,1	5,8	70	-4	0,1	2822	976	84
14 вариант	31	100	50	1,2	5,5	43	-10	0,3	2919	941	76
15 вариант	37	150	100	1,6	6,5	69	-6	0,3	2870	934	106
16 вариант	31	200	150	1	7,8	41	-5	0,1	2780	969	110
17 вариант	63	50	50	0,8	5,8	57	-8	0,3	2995	960	89
18 вариант	67	100	50	1,6	7,4	57	-9	0,1	2756	910	81
19 вариант	40	150	100	0,8	6,5	47	-5	0,2	2846	866	87
20 вариант	52	200	150	1,5	5,2	48	-5	0,1	2813	914	104
21 вариант	30	50	50	1,6	6,2	52	-4	0,3	2729	848	84
22 вариант	39	100	50	1,6	7,5	64	-9	0,3	2974	875	78
23 вариант	60	150	100	1,2	7,2	59	-7	0,2	2994	977	118
24 вариант	67	200	150	0,9	6,2	49	-3	0,2	2991	940	98
25 вариант	59	100	50	1,7	7,5	65	-3	0,1	2968	885	106
26 вариант	34	50	50	1,7	5,9	64	-3	0,1	2710	890	73
27 вариант	52	100	100	1,5	5,2	40	-9	0,3	2920	956	112
28 вариант	49	150	150	1,3	7,2	53	-9	0,1	2900	863	75
29 вариант	66	200	50	0,9	5,4	69	-10	0,2	2761	879	78
30 вариант	62	100	50	1,2	6,3	54	-6	0,3	2793	895	93

Отчёт о работе должен содержать название и цель работы, задание (номер варианта), правильно оформленные решения. По результатам работы необходимо сделать выводы.

Контрольные вопросы:

1. Сформулируйте, что называется насосом?
2. Назовите основное назначение насосов и их виды.
3. Назовите основные технические характеристики центробежного насоса.
4. Поясните физический смысл коэффициента быстроходности.
5. Объясните, что такое КПД насоса, и зачем он нужен?
6. Опишите, как найти полный напор для вертикального и горизонтального насоса, в чем их отличие?

Список литературы

1. А.В. Лепешкин, А.А. Михайлин Гидравлические и пневматические системы. – М.: Издательский центр «Академия», 2014.

2. О.Н.Брюханов, В.А.Жила Основы гидравлики, теплотехники и аэродинамики. - М.: Инфра-М, 2010.

3. Калицун В. И. Гидравлика, водоснабжение и канализация – М.: Стройиздат, 2000.

4. В.И.Калицун, Е.В.Дроздов, А.С.Комаров, К.И.Чижик Основы гидравлики, теплотехники и аэродинамики. – М.: Стройиздат, 2005

Интернет-ресурсы:

1. http://firing-hydra.ru/index.php?request=list_category&id=70
2. <http://firing-hydra.ru/index.php?request=kontrolnie&id=757>

Практическая работа № 6

Тема: Определение параметров пара.

Цель: Научиться определять основные параметры пара и законы идеального газа. Понять в чем их отличие.

Методическое обеспечение:

1. Методические указания по выполнению работы.
2. Справочная литература по УД ОП 01.02 «Основы гидравлики, теплотехники и аэродинамики»

Порядок выполнения работы:

1. Повторите теоретические положения по теме практической работы.
2. Изучите пример оформления задания.
3. Ознакомьтесь с индивидуальным заданием.
4. Решите поставленные задачи.
5. Сделайте выводы о проделанной работе.
6. Оформите отчет и ответьте на контрольные вопросы.

Теоретическая часть

Теплотехника – это наука, изучающая процесс перехода теплоты в механическую работу.

Идеальный газ – это такой газ, в котором молекулы находятся на большом расстоянии друг от друга, не взаимодействуют между собой.

Основные параметры состояния идеального газа:

1) Давление:

$$p_{абс} = p_б + p_{изб} \quad (6.1)$$

где $p_б$ – атмосферное (барометрическое давление Па, мм рт. ст., бар;

$p_{изб}$ – избыточное давление Па, мм рт. ст., бар.

1 бар = 750 мм рт. ст.

2) Температура:

$$T = t + 273, K \quad (6.2)$$

где t – температура по шкале Цельсия $^{\circ}C$.

3) Удельный объем:

$$v = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho} \quad (6.3)$$

где V – объем, занимаемый газом, m^3 ;

m – масса газа, кг;

ρ – плотность газа, $кг/м^3$.

Основные законы идеального газа:

Закон Бойля – Мариотта:

$$p \cdot v = const, \text{ при } t = const \quad (6.4)$$

где v – удельный объем, m^3 ;

p – абсолютное давление, Па, мм рт. ст., бар;

t – температура, $^{\circ}C$, К.

Закон Гей-Люссака:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{T_1}{T_2} = const, \text{ при } p = const \quad (6.5)$$

где v – удельный объем, m^3 ;

t – температура, К;

p – абсолютное давление, Па, мм рт. ст., бар.

Закон Шарля:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2} = \text{const}, \text{при } v = \text{const} \quad (6.6)$$

где p – абсолютное давление, Па, мм рт. ст., бар;

v – удельный объем, м³;

t – температура, К.

Закон Авогадро:

$$\frac{\mu_1}{\rho_1} = \frac{\mu_2}{\rho_2} = \text{const}, \text{при } p = \text{const} \text{ и } t = \text{const} \quad (6.7)$$

где μ – молярная масса, кг/моль;

p – абсолютное давление, Па, мм рт. ст., бар;

ρ – плотность газа, кг/м³;

t – температура, °С, К.

Уравнение состояния идеального газа, или уравнение Клайперона:

$$p \cdot V = m \cdot R_0 \cdot T, \quad (6.8)$$

где V – объем, занимаемый газом, м³;

p – абсолютное давление, Па, мм рт. ст., бар;

ρ – плотность газа, кг/м³;

m – масса газа, кг;

R_0 – газовая постоянная, для каждого газа имеет свое значение, Дж/(кг*К);

T – температура, К.

Уравнение Менделеева-Клайперона:

$$p \cdot V = \frac{m}{\mu} \cdot R \cdot T, \quad (6.9)$$

где V – объем, занимаемый газом, м³;

p – абсолютное давление, Па, мм рт. ст., бар;

ρ – плотность газа, кг/м³;

m – масса газа, кг;

μ – молярная масса, кг/моль;

R – универсальная газовая постоянная, $R=8,314$ Дж/(моль*К);

T – температура, К.

Пример решения задачи:

Определите, как изменится объем жидкости при повышении температуры от t_1 до t_2 , если изначально объем жидкости составлял V , давление осталось неизменным.

Дано:	Решение:
$V = 0,8 \text{ м}^3$	Так как $p = \text{const}$, то для нахождения изменения объема
$t_1 = 15^\circ\text{C}$	мы применим закон Гей-Люссака: $\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$
$t_2 = 43^\circ\text{C}$	Для этого сначала переведем температуру в Кельвин:
$\Delta V - ?$	$T_1 = 273 + 15 = 288 \text{ К}$
	$T_2 = 273 + 43 = 316 \text{ К}$
	Т.к. $\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$, то $V_2 = \frac{V_1 \cdot T_2}{T_1} = \frac{0,8 \cdot 316}{288} = 0,878 \text{ м}^3$
	Тогда $\Delta V = V_2 - V_1 = 0,878 - 0,8 = 0,078 \text{ м}^3$
	Следовательно, при изменении температуры объем увеличился на $0,078 \text{ м}^3$.
	Ответ: $\Delta V = 0,078 \text{ м}^3$

Задания для практической работы.

Основная часть:

№ 1. Манометр, установленный на паровом котле, показывает давление $p_{\text{изб}}$. Определите давление пара в котле, если атмосферное давление $p_{\text{атм}}$.

№ 2. В баллоне содержится кислород массой m при давлении p и температуре t_1 . Вычислите вместимость баллона V .

№ 3. Давление воздуха, измеренное ртутным барометром, равно p_6 при температуре ртути t_1 . Выразите это давление в барах.

№ 4. В баллоне объемом V содержится аргон при определенных условиях массой m . Определите плотность и удельный объем аргона при этих условиях.

№ 5. Резервуар вместимостью V заполнен углекислым газом. Избыточное давление в резервуаре $p_{\text{изб}}$, температура t_1 , а барометрическое давление $p_{\text{атм}}$. Определите:

- а) массу газа
- б) вес газа
- в) удельный объем газа

№6. Определите, как изменится давление жидкости при повышении температуры от t_1 до t_2 , если изначально давление жидкости составляло p , удельный объем остался неизменным.

Дополнительная часть:

№7. В баллоне объемом V находится гелий под давлением p при температуре t_1 . После того, как из баллона был израсходован гелий массой m , температура в баллоне понизилась на Δt . Определите давление p_2 гелия, оставшегося в баллоне. Молярная масса гелия $\mu = 0,004$ кг/моль.

Варианты заданий:

№ п/п	p , МПа	$p_{\text{изб}}$, кПа	$p_{\text{атм}}$, кПа	p_0 , мм рт.ст.	t_1 , $^{\circ}\text{C}$	t_2 , $^{\circ}\text{C}$	Δt , $^{\circ}\text{C}$	V , м^3	m , кг
1 вариант	3,9	1,4	100	696	20	53	10	1,3	0,91
2 вариант	10,4	2,2	94	665	15	49	9	0,7	1,04
3 вариант	7,4	1,9	102	655	10	55	7	0,9	0,6
4 вариант	1,4	1,6	96	661	15	50	5	0,6	0,9
5 вариант	10,8	1	107	704	30	42	20	1,8	0,53
6 вариант	3,9	1,2	119	665	25	44	15	1,3	0,5
7 вариант	7,1	1,8	115	671	20	49	9	0,8	0,99
8 вариант	2	2,2	88	697	15	58	8	1,4	1,03
9 вариант	7	1,5	96	670	15	51	7	1,5	0,82
10 вариант	4,3	2	112	689	10	57	5	0,8	0,62
11 вариант	6,3	2,2	80	702	25	41	20	0,6	0,46
12 вариант	7,5	0,9	114	660	10	55	7	0,8	0,71
13 вариант	7,2	1,9	92	692	30	49	17	0,7	0,75
14 вариант	10,5	1,4	83	703	10	43	8	0,7	0,73
15 вариант	1,3	1,4	107	690	15	54	9	1,8	0,58
16 вариант	1,8	1,1	86	660	15	41	4	1,2	0,66
17 вариант	4,6	1,2	115	717	25	58	22	1,4	1,03

18 вариант	3,2	1,6	106	659	10	57	7	1,2	0,86
19 вариант	9,7	1,6	116	681	25	51	11	1,1	0,76
20 вариант	2,7	1	85	647	30	40	10	1,8	0,89
21 вариант	5,3	1,5	111	718	30	55	14	1,4	0,51
22 вариант	9,8	1,4	90	681	15	54	9	0,6	0,7
23 вариант	8,5	2,1	88	652	20	44	14	1,3	0,8
24 вариант	8,6	1,7	84	710	25	41	8	1	0,56
25 вариант	2,5	2,3	97	665	30	57	7	1,5	0,62
26 вариант	4	1,5	92	710	15	44	10	1,4	0,47
27 вариант	2,9	1,3	83	645	10	58	4	1,5	0,56
28 вариант	7,6	1,2	118	685	20	55	19	1,8	0,59
29 вариант	1,3	1,3	102	676	30	51	15	1,3	0,88
30 вариант	10,9	1,2	106	655	15	43	7	0,8	0,53

Отчёт о работе должен содержать название и цель работы, задание (номер варианта), правильно оформленные решения. По результатам работы необходимо сделать выводы.

Контрольные вопросы:

1. Назовите, что изучает теплотехника?
2. Сформулируйте, какой физический смысл лежит в основе термодинамики?
3. Назовите, что такое термодинамическая система?
4. Назовите какие бывают термодинамические состояния?
5. Объясните отличие реального газа от идеального.
6. Назовите какие две температурные шкалы применяют для измерения температуры?
7. Назовите основные параметры состояния идеального газа?
8. Сформулируйте закон Бойля-Мариотта
9. Назовите, что утверждает закон Гей-Люссака?
10. Сформулируйте закон Шарля.
11. Объясните, какие параметры связывают уравнение идеального газа Клайперона?

Список литературы

1. О.Н. Брюханов, В.А. Жила Основы гидравлики, теплотехники и аэродинамики. - М.: Инфра-М, 2010.
2. В.И. Калицун, Е.В. Дроздов, А.С. Комаров, К.И. Чижик Основы гидравлики, теплотехники и аэродинамики. – М.: Стройиздат, 2005

Интернет-ресурсы:

1. http://firing-hydra.ru/index.php?request=list_category&id=573

Практическая работа № 7

Тема: Применение первого и второго закона термодинамики.

Цель: Научиться применять 1 и 2 закон термодинамики для решения конкретных прикладных задач, изучить термодинамические процессы, и их особенности, понять, в чем заключается особенность цикла Карно, и что такое прямой и обратный циклы.

Методическое обеспечение:

1. Методические указания по выполнению работы.
2. Справочная литература по УД ОП 01.02 «Основы гидравлики, теплотехники и аэродинамики»

Порядок выполнения работы:

1. Повторите теоретические положения по теме практической работы.
2. Изучите пример оформления задания.
3. Ознакомьтесь с индивидуальным заданием.
4. Решите поставленные задачи.
5. Сделайте выводы о проделанной работе.
6. Оформите отчет и ответьте на контрольные вопросы.

Теоретическая часть

Полная энергия системы:

$$E = E_k + E_n + U, \quad (7.1)$$

где E_k – кинетическая энергия системы, Дж;

$E_{\text{п}}$ – потенциальная энергия системы, Дж;

U – внутренняя энергия, Дж.

Внутренняя удельная энергия вещества:

$$u = \frac{U}{m}, \text{ Дж/кг} \quad (7.2)$$

где U – внутренняя энергия системы, Дж;

m – масса вещества, кг.

Изменение внутренней энергии:

$$\Delta U = \frac{i}{2} \cdot \frac{m}{\mu} \cdot R \cdot \Delta T, \text{ Дж} \quad (7.3)$$

где i – число степеней свободы;

R – универсальная газовая постоянная, $R = 8,314 \text{ Дж/}(\text{моль} \cdot \text{К})$;

m – масса вещества, кг;

μ – молярная масса, кг/моль;

ΔT – изменение температуры, К.

Удельная теплоемкость при постоянном давлении:

$$c_p = \frac{1}{m} \cdot \frac{\Delta Q}{\Delta T}, \text{ Дж/кг} \cdot \text{К} \quad (7.4)$$

где ΔQ – количество теплоты, Дж;

m – масса вещества, кг;

ΔT – изменение температуры, К.

Удельная теплоемкость при постоянном объеме:

$$c_v = \frac{1}{m} \cdot \frac{\Delta Q}{\Delta T} \quad (7.5)$$

где ΔQ – количество теплоты, Дж;

m – масса вещества, кг;

ΔT – изменение температуры, К.

Показатель адиабаты:

$$k = \frac{c_p}{c_v} \quad (7.6)$$

где c_p – удельная теплоемкость при постоянном давлении, Дж/кг*К;

c_v – удельная теплоемкость при постоянном объеме, Дж/кг*К.

Молярная теплоемкость:

$$c_\mu = c_p \cdot \mu, \text{ Дж/моль} \cdot \text{К} \quad (7.7)$$

где c_p – удельная теплоемкость при постоянном давлении, Дж/кг*К;

μ – молярная масса, кг/моль.

Первый закон термодинамики:

$$Q = \Delta U + A \quad (7.8)$$

где ΔU – изменение внутренней энергии системы, Дж;

A – работа, Дж.

Второй закон термодинамики:

$$\Delta S \geq \frac{\Delta Q}{T} \quad (7.9)$$

где ΔQ – количество теплоты, Дж;

T – температура, К.

КПД тепловой машины:

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad (7.10)$$

Холодильный коэффициент:

$$\varepsilon = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2} = \frac{T_2}{T_1 - T_2} \quad (7.11)$$

Пример решения задачи:

Вариант 30

Найдите среднюю удельную теплоемкость кислорода при постоянном давлении при повышении его температуры от t_1 до t_2 .

Дано:

$t_1 = 20^\circ\text{C}$

146°C

c_p – ?

Решение:

Так как давлении постоянно $p = \text{const}$, то будем находить t_2 = среднюю удельную теплоемкость при постоянном

давлении c_p .

Искомую теплоемкость принимаем равной истинной

Удельной изобарной теплоемкости при средней арифметической температуре $\bar{t}$.

Так как, в условии задачи нам даны t_1 и t_2 , то сначала найдем среднюю температуру: $\bar{t} = t_1 + t_2 = 20 + 146 = 83 \text{ } ^\circ\text{C}$

Затем из приложения 13 (справочные данные), находим истинную удельную изобарную теплоемкость для кислорода при $\bar{t} = 83 \text{ } ^\circ\text{C}$: $c_p = 0,929 \text{ кДж/(кг*К)}$

Это значение теплоемкости равно средней удельной теплоемкости кислорода в интервале температур от 20 до 146 $^\circ\text{C}$.

Ответ: $c_p = 0,929 \text{ кДж/(кг*К)}$

Задания для практической работы

Основная часть:

№ 1. Определите внутреннюю энергию азота массой m , который вначале находится при температуре T_1 . Затем азот изобарно нагрели до T_2 . Определить изменение внутренней энергии газа. Молярная масса азота равна $\mu = 0,028 \text{ кг/моль}$.

№ 2. Определите расход воздуха в системе охлаждения дизеля Q , и массу m , мощностью N , если отводимая теплота составляет 75% полезной мощности двигателя, а температура охлаждающего воздуха повышается до Δt .

№ 3. В резервуаре емкостью V_1 находится воздух при давлении p_1 и температуре t_1 . Определите, как изменится температура t_2 и давление p_2 воздуха, если к нему подвести теплоту в количестве Q ?

№ 4. Найдите среднюю киломолярную изобарную теплоемкость углекислого газа (CO_2) при повышении его температуры от t_1 до t_2 .

№ 5. Определите КПД обратимого цикла теплового двигателя, если температуры теплоотдачи t_1 , а теплоприемника t_2 .

№ 6. Тепловая машина работает по некоторому обратимому прямому циклу, КПД которого η . Вычислите величину холодильного коэффициента этой машины, если она будет совершать тот же цикл в обратном направлении?

Дополнительная часть:

№ 7. Кислород, занимающий объем V_1 под давлением P_1 , нагрели сначала при постоянном давлении до объема V_2 , а затем при постоянном объеме до давления P_2 . Постройте графики процессов в $P - V$ координатах в *программном комплексе Microsoft Excel*. Определите: 1) изменение внутренней энергии U газа; 2) совершенную им работу A ; 3) количество тепла Q , переданное газу. Молярная масса кислорода = 0,032 кг/моль.

Варианты заданий:

№ п/п	$t_1, ^\circ\text{C}$	$t_2, ^\circ\text{C}$	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	$m, \text{кг}$	$N, \text{кВт}$	$V_1, \text{м}^3$	$V_2, \text{м}^3$	$p_1, \text{МПа}$	$p_2, \text{МПа}$	$\eta, \%$	$Q, \text{Дж}$
1 вариант	56	105	52	0,85	65,00	0,70	3,60	0,80	6,80	17,00	240
2 вариант	45	180	27	0,63	40,00	1,90	4,30	0,70	5,20	39,00	235
3 вариант	42	300	48	0,43	42,00	1,40	3,30	1,10	4,70	23,00	258
4 вариант	43	135	26	0,80	62,00	0,90	3,40	0,70	5,80	18,00	299
5 вариант	70	291	49	0,45	53,00	1,70	4,10	1,00	4,30	38,00	302
6 вариант	60	114	60	0,57	38,00	1,30	5,50	1,90	5,00	24,00	304
7 вариант	53	117	82	0,42	33,00	2,10	5,20	1,40	4,70	41,00	308
8 вариант	56	254	58	0,58	36,00	1,00	5,00	1,70	4,10	37,00	325
9 вариант	51	243	27	0,84	48,00	1,90	4,80	0,50	4,70	16,00	242
10 вариант	62	249	96	0,90	65,00	2,50	4,20	0,50	4,30	16,00	309
11 вариант	44	127	21	0,57	62,00	0,60	5,40	1,10	6,00	24,00	195
12 вариант	34	190	28	0,58	33,00	2,20	4,10	1,80	6,10	18,00	290
13 вариант	12	205	22	0,90	34,00	0,50	5,30	1,40	6,40	35,00	313
14 вариант	64	116	43	0,56	35,00	0,50	5,00	1,60	6,60	23,00	350
15 вариант	17	145	71	0,65	37,00	0,80	3,70	1,50	5,70	25,00	390
16 вариант	23	120	52	0,55	58,00	1,90	3,10	0,70	4,50	38,00	380
17 вариант	56	234	28	0,90	50,00	0,90	5,10	0,70	5,90	16,00	372
18 вариант	30	178	83	0,80	71,00	2,30	3,70	0,70	6,20	24,00	350
19 вариант	13	228	13	0,92	43,00	2,30	4,60	1,70	5,70	20,00	375
20 вариант	59	211	20	0,56	48,00	0,90	3,00	1,70	4,00	23,00	198
21 вариант	68	230	68	0,58	70,00	1,00	4,60	1,40	5,70	35,00	171
22 вариант	54	159	62	0,70	70,00	1,50	5,30	1,10	4,00	27,00	153
23 вариант	16	153	77	0,80	50,00	2,40	4,60	1,60	5,70	35,00	203
24 вариант	66	193	75	0,90	50,00	1,80	5,50	1,60	4,00	39,00	231

25 вариант	11	102	97	0,86	63,00	1,90	3,60	0,60	7,00	24,00	255
26 вариант	52	279	71	0,49	43,00	0,80	5,00	1,20	5,30	20,00	281
27 вариант	27	174	29	0,53	67,00	1,90	3,80	1,80	6,20	39,00	292
28 вариант	18	215	45	0,68	72,00	2,00	3,60	1,00	4,80	35,00	300
29 вариант	68	297	86	0,63	57,00	2,30	5,20	1,80	5,70	27,00	302
30 вариант	20	146	95	0,57	55,00	0,70	5,50	0,60	6,80	24,00	307

Отчёт о работе должен содержать название и цель работы, задание (номер варианта), правильно оформленные решения. По результатам работы необходимо сделать выводы.

Контрольные вопросы:

1. Назовите из чего складывается полная внутренняя энергия системы?
2. Объясните, что такое удельная внутренняя энергия?
3. Объясните, как определить энтальпию газа?
4. Назовите, что такое энтропия газа, в чем заключается ее физический смысл?
5. Назовите определение теплоемкости газов. Виды.
6. Сформулируйте первый закон термодинамики.
7. Запишите уравнение изохорного процесса.
8. Запишите основное уравнение для изобарного процесса.
9. Объясните физическую сущность изотермического процесса.
10. Запишите основное уравнение для адиабатического процесса.
11. Объясните в чем сущность политропного процесса?
12. Назовите, как определить термический КПД?
13. Сформулируйте, что означает «холодильный коэффициент»?
14. Назовите, в чем заключается сущность идеального цикла Карно?
15. Назовите, какой процесс называют обратным, а какой прямым?
16. Назовите известные вам трактовки второго закона термодинамики.

Список литературы

1. О.Н. Брюханов, В.А. Жила Основы гидравлики, теплотехники и аэродинамики. - М.: Инфра-М, 2010.

2. В.И. Калицун, Е.В. Дроздов, А.С. Комаров, К.И. Чижик Основы гидравлики, теплотехники и аэродинамики. – М.: Стройиздат, 2005

Интернет-ресурсы:

1. http://firing-hydra.ru/index.php?request=list_category&id=573

Практическая работа № 8

Тема: Основные положения теории теплообмена.

Цель: научиться определять интенсивность излучения стенки, тепловой поток от газов к воздуху через кирпичную обмуровку и необходимую толщину тепловой изоляции.

Методическое обеспечение:

1. Методические указания по выполнению работы.
2. Справочная литература по УД ОП 01.02 «Основы гидравлики, теплотехники и аэродинамики»

Порядок выполнения работы:

1. Повторите теоретические положения по теме практической работы.
2. Изучите пример оформления задания.
3. Ознакомьтесь с индивидуальным заданием.
4. Решите поставленные задачи.
5. Сделайте выводы о проделанной работе.
6. Оформите отчет и ответьте на контрольные вопросы.

Теоретическая часть

Согласно второму закону термодинамики самопроизвольный процесс переноса теплоты в пространстве возникает под действием разности температур и направлен в сторону уменьшения температуры.

Теория теплообмена изучает процессы распространения теплоты в твердых, жидких и газообразных телах. Перенос теплоты может передаваться тремя способами:

- теплопроводностью;

- конвекцией;
- излучением (радиацией).

Процесс передачи теплоты *теплопроводностью* происходит непосредственно при контакте тел или частицами тел с различными температурами и представляет собой молекулярный перенос передачи теплоты. При нагревании тела, кинетическая энергия его молекул возрастает и частицы более нагретой части тела, сталкиваясь с соседними молекулами, сообщают им часть кинетической энергии.

Конвекция- это перенос теплоты при перемещении и перемешивании всей массы неравномерно нагретых жидкости и газа. При этом, перенос теплоты зависит от скорости движения жидкости или газа прямо пропорционально. Это вид передачи теплоты сопровождается всегда теплопроводностью. Одновременный перенос теплоты конвекцией и теплопроводностью называется *конвективным теплообменом*.

В инженерных расчетах часто определяют конвективный теплообмен между потоками жидкости или газа и поверхностью твердого тела. Это процесс конвективного теплообмена *называют конвективной теплоотдачей или теплоотдачей*.

Процесс передачи теплоты внутренней энергии тела в виде электромагнитных волн называется *излучением (радиацией)*. Этот процесс происходит в три стадии: превращение части внутренней энергии одного из тел в энергию электромагнитных волн, распространение электромагнитных волн в пространстве, поглощение излучения другим телом. Совместный теплообмен излучением и теплопроводностью *называют радиационно-конвективным теплообменом*.

Интенсивность переноса теплоты характеризуется *плотностью теплового потока*, т.е. количеством теплоты, передаваемой в единицу времени через единичную площадь поверхности. Эта величина измеряется в $Вт/м^2$ и обычно обозначается q .

Явление теплопроводности состоит в переносе теплоты структурными частицами вещества- молекулами, атомами, электронами- в процессе их теплового движения. В жидкостях и твердых телах- диэлектриках- перенос теплоты осуществляется путем непосредственной передачи теплового движения молекул и атомов соседним частицам вещества. В газообразных телах распространение теплоты теплопроводностью происходит вследствие обмена энергией при соударении молекул, имеющих различную скорость теплового движения. В металлах теплопроводность осуществляется главным образом вследствие движения свободных электронов.

В основной закон теплопроводности входит ряд математических понятий, определения которых, целесообразно напомнить и пояснить.

Температурное поле — это совокупности значений температуры во всех точках тела в данный момент времени.

Согласно основному закону теплопроводности — закону *Фурье* (1822 г.), вектор плотности теплового потока, передаваемого теплопроводностью, пропорционален градиенту температуры:

$$q = - \lambda \operatorname{grad} t, \quad (8.1)$$

где λ — коэффициент теплопроводности вещества; его единица измерения, Вт/(м·К).

Знак минус в уравнении (8.1) указывает на то, что вектор q направлен противоположно вектору $\operatorname{grad} t$, т.е. в сторону наибольшего уменьшения температуры.

ПЕРЕНОС ТЕПЛОТЫ ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬЮ

Однородная плоская стенка.

Простейшей и очень распространенной задачей, решаемой теорией теплообмена, является определение плотности теплового потока, передаваемого через плоскую стенку толщиной δ , на поверхностях которой поддерживаются температуры t_{w1} и t_{w2} . (рисунок 8.1).

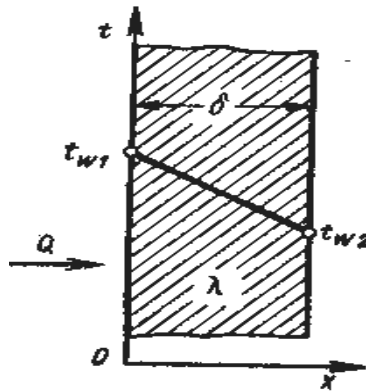


Рисунок 8.1 - Стационарное распределение температуры по толщине плоской стенки.

Температура изменяется только по толщине пластины - по одной координате x . Такие задачи называются одномерными, решения их наиболее просты, и в данном курсе мы ограничимся рассмотрением только одномерных задач. Учитывая, что для одномерного случая:

$$\text{grad } t = dt/dx, \quad (8.2)$$

и используя основной закон теплопроводности:

$$q = \frac{Q}{F} = \frac{Q_{\tau}}{\tau \cdot F}, \quad (8.3)$$

получаем дифференциальное уравнение стационарной теплопроводности для плоской стенки:

$$q = -\lambda \frac{dt}{dx}, \quad (8.4)$$

Тогда, плотности теплового потока, будет иметь следующий вид:

$$q = \frac{t_{w1} - t_{w2}}{\delta} \lambda, \quad (8.5)$$

или мощность теплового потока (тепловой поток):

$$Q = qF = \frac{(t_{w1} - t_{w2})\lambda F}{\delta}, \quad (8.6)$$

При расчете плотности теплового потока q и температуры поверхностей стенки, можно получить уравнение теплопередачи:

$$q = \frac{T_{ж1} - T_{ж2}}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} = K \cdot \Delta T \quad (8.7)$$

где $K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$ - коэффициент теплопередачи.

Конвективный теплообмен

Понятие конвективного теплообмена включает процессы теплообмена между жидкостью (газом) и твердым телом при их непосредственном соприкосновении.

Тепловой поток при конвективном теплообмене определяется по формуле Ньютона:

$$Q = \alpha \cdot F \cdot (t_{жс} - \tau), \quad (8.8)$$

где α – коэффициент пропорциональности, называемый коэффициентом теплоотдачи, Вт/(м²·°C);

$t_{жс}$ – температура жидкости, °C;

τ – температура поверхности тела, °C;

F – площадь поверхности теплообмена, м².

Если принять $F=1\text{м}^2$, получим величину удельного теплового потока (плотность теплового потока) q , Вт/м².

В тепловых расчетах также используются различные критерии подобия.

Наиболее важным из них является критерий (или число) Нуссельта Nu . Это безразмерная величина, характеризующая процесс конвективного теплообмена. При известном числе Нуссельта Nu может быть легко вычислен коэффициент теплоотдачи:

$$\alpha = \frac{\lambda}{l} \cdot Nu \quad (8.9)$$

где l – характерный размер поперечного сечения потока жидкости (газа).

Число Прандтля Pr – это критерий подобия, характеризующий процессы обмена энергией между частицами жидкости (газа). Его также называют критерием физических свойств вещества, так как он не зависит от внешних факторов, а определяется только свойствами жидкости (газа).

Число Прандтля вычисляется по значениям кинематической вязкости ν и коэффициента температуропроводности a :

$$Pr = \nu/a, \quad (8.10)$$

Коэффициент температуропроводности a – это комплексный показатель, равный отношению коэффициента теплопроводности жидкости λ к ее удельной теплоемкости при постоянном давлении c_p и плотности ρ :

$$a = \frac{\lambda}{c_p \cdot \rho} \quad (8.11)$$

Теплообмен излучением

Под теплообменом излучением понимается перенос энергии посредством фотонов или электромагнитных колебаний. Количество излучаемой энергии поверхностью тела в единицу времени называется потоком излучаемой энергии $\Phi_{\text{изл}}$, или лучистым потоком, измеряемым в ваттах (Вт).

Если тепловой луч на своем пути встречает какое-нибудь тело, то часть лучистой энергии $\Phi_{\text{изл}}$ проникает в это тело, а часть отражается в окружающее пространство. Некоторая доля энергии, проникающая в тело, превращается в тепловую энергию, а остальная проходит сквозь него. Итак, падающий на тело лучистый поток $\Phi_{\text{пад}}$ может разделиться на три части: отраженную $\Phi_{\text{отр}}$, поглощенную $\Phi_{\text{погл}}$ и пропущенную $\Phi_{\text{пр}}$. Для количественной оценки каждой из этих частей вводят следующие понятия.

Отношение отраженной энергии $\Phi_{\text{отр}}$ к энергии $\Phi_{\text{пад}}$, падающей на поверхность тела, называют *отражательной способностью тела*:

$$R = \frac{\Phi_{\text{отр}}}{\Phi_{\text{пад}}}, \quad (8.12)$$

Отношение поглощенной энергии $\Phi_{\text{погл}}$ к энергии $\Phi_{\text{пад}}$, падающей на поверхность тела, называют *поглощательной способностью тела*:

$$A = \frac{\Phi_{\text{погл}}}{\Phi_{\text{пад}}}, \quad (8.13)$$

Отношение энергии $\Phi_{\text{пр}}$, прошедшей сквозь тело, к падающей энергии $\Phi_{\text{пад}}$, называют *пропускательной способностью тела*:

$$D = \frac{\Phi_{\text{пр}}}{\Phi_{\text{пад}}}, \quad (8.14)$$

Тогда, в соответствии с законом сохранения энергии $A+R+D=1$.

Пример решения задачи:

Определить сопротивление стенки чугунной трубы, если ее толщина δ , а теплопроводность чугуна $\lambda = 39 \text{ Вт/(м}^{\circ}\text{C)}$

Дано:	СИ:	Решение:
$\delta = 2 \text{ мм}$	$0,002 \text{ м}$	Сопротивление стенки:
$\lambda = 39 \text{ Вт/(м}^{\circ}\text{C)}$		$R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,002}{39} = 0,00005 \text{ }^{\circ}\text{C}$
$R - ?$		Ответ: $R = 0,00005 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Задания для практической работы.

Основная часть:

№ 1. Определить сопротивление стенки чугунной трубы, если ее толщина δ , а теплопроводность чугуна $\lambda = 39 \text{ Вт/(м}^{\circ}\text{C)}$

№ 2. Определить тепловой поток при конвективном теплообмене, если коэффициент теплоотдачи α_2 , площадь поверхности составляет F . Температура жидкости $t_{\text{ж}}$, а температура поверхности стенки t .

№ 3 Определить тепловой поток от газов к воздуху через кирпичную обмуровку котла площадью F и толщиной δ' , если температура газов t_1 , температура воздуха t_2 , коэффициент теплообмена на внутренней поверхности α_1 и коэффициент теплообмена на наружной поверхности α_2 и коэффициент теплопроводности обмуровки $\lambda = 0,81 \text{ Вт/(м}^{\circ}\text{C)}$. Определить также температуры обеих поверхностей обмуровки.

№ 4. Определить критерии подобия Прандтля и Нуссельта, если в трубе длиной l течет вода (коэффициент теплопроводности воды $\lambda = 0,6 \text{ Вт/(м}^{\circ}\text{C)}$, и коэффициент теплоотдачи $\alpha = 340 \text{ Вт/(м}^2\text{ }^{\circ}\text{C)}$), а удельная теплоемкость

составляет $c_p = 1,87 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$. Коэффициент кинематической вязкости воды $\nu = 96 \text{ м}^2/\text{с}$.

№ 5. Падающий на стену лучистый поток с энергией $\Phi_{\text{пад}}$, разделился на энергии: отраженную $\Phi_{\text{отр}}$, поглощенную $\Phi_{\text{погл}}$ и пропущенную. Определить:

- 1) отражательную способность тела
- 2) Поглощательную способность тела
- 3) Пропускательную способность тела
- 4) Проверить соответствие закона сохранения энергии.

Дополнительная часть:

№6. Определить интенсивность излучения стенки с коэффициентом излучения стенки C , если температура поверхности стенки t_1 . Определить также степень черноты стенки.

Варианты заданий.

№ п/п	δ , мм	α_1 , Вт/($\text{м}^2 \cdot \text{°C}$)	α_2 , Вт/($\text{м}^2 \cdot \text{°C}$)	F , м^2	$t_{\text{ж}}$, К	τ_0 , С	δ , мм	t_1 , °C	t_2 , °C	l , км	$\Phi_{\text{пад}}$, кал/ см^2	$\Phi_{\text{отр}}$, кал/ см^2	$\Phi_{\text{погл}}$, кал/ см^2	c , Вт/($\text{м}^2 \cdot \text{°C}$)
1 вариант	5	20	7,5	14 2	28 0	5	29 5	57 0	34	1,2	1007	436	473	4,2
2 вариант	3	24,6	7	12 3	29 3	6	24 0	56 1	27	1,6	1025	447	475	4,3
3 вариант	2	22,9	7,8	14 9	28 3	5	23 6	57 7	38	1,4	1026	430	472	4,8
4 вариант	2	22,1	7,4	12 2	29 6	5	29 5	60 0	30	1,1	1029	405	460	4,4
5 вариант	4	24,4	8	14 7	29 1	3	25 8	53 8	31	1,4	1014	441	479	4,5
6 вариант	2	20,1	7,8	12 5	28 3	4	28 8	50 3	24	1,5	1015	425	479	4,6
7 вариант	2	20,4	7,1	11 1	29 7	3	29 1	51 0	30	1,3	1019	427	473	4,2
8 вариант	3	21,2	7	12 1	29 6	3	24 2	57 2	40	1,4	1027	420	476	4,7
9 вариант	3	21,3	7,9	13 0	29 3	5	25 1	52 5	30	1,4	1011	422	453	4,3
10 вариант	5	21,5	7,8	11 5	29 5	4	24 5	60 0	28	1,6	1006	409	463	4,6
11 вариант	3	21,4	7,8	13 9	28 0	3	29 5	50 1	39	1,6	1007	426	456	4,3
12 вариант	4	22,2	7,3	12 4	29 4	3	22 5	57 1	22	1,1	1050	416	476	4,2

13 вариант	4	23,8	6,8	12 1	29 0	3	23 2	53 6	32	1,3	1038	420	452	4,3
14 вариант	5	20,3	8,1	12 2	28 7	6	22 2	53 6	26	1,3	1017	433	467	4,5
15 вариант	5	23,1	8,3	11 4	28 9	3	24 6	52 0	31	1,2	1031	418	454	4,8
16 вариант	5	22,7	8,2	14 1	29 5	6	29 6	56 4	31	1,3	1041	413	459	4,1
17 вариант	5	20,1	8,3	13 4	29 9	3	20 8	59 8	27	1,1	1001	450	454	4,7
18 вариант	4	24,3	6,9	12 2	29 4	6	25 2	51 9	38	1,2	1034	407	461	4,8
19 вариант	4	24	7,5	13 3	29 1	3	25 0	52 0	33	1,6	1009	447	459	4,8
20 вариант	3	20,9	7,5	12 4	28 1	6	24 0	58 1	24	1,2	1004	434	459	4,8
21 вариант	4	22,6	6,8	13 7	28 5	6	21 6	53 7	40	1,6	1039	436	455	4,6
22 вариант	4	23,3	7,3	14 1	29 6	6	28 4	50 6	34	1,3	1017	425	463	4,2
23 вариант	2	22,7	8,2	12 4	30 0	5	22 6	50 2	32	1,4	1002	406	469	4,3
24 вариант	2	24,5	7,5	15 0	28 0	6	24 8	54 0	39	1,3	1029	449	462	4,6
25 вариант	3	21,5	7,8	11 8	28 5	6	27 8	52 8	25	1,4	1006	436	453	4,2
26 вариант	4	24,3	7	13 7	28 0	5	20 0	55 1	36	1,1	1015	442	479	4,5
27 вариант	5	21,7	7,6	10 6	28 9	4	23 9	55 1	20	1,5	1037	416	452	4,3
28 вариант	3	20,9	7,6	10 9	29 4	6	29 9	58 8	21	1,5	1004	408	478	4,8
29 вариант	2	22,4	7,7	13 8	28 0	4	22 1	57 0	33	1,3	1042	415	450	4,2
30 вариант	2	22,4	7,8	15 0	28 4	6	23 6	59 4	30	1,5	1013	428	455	4,2

Отчёт о работе должен содержать название и цель работы, задание (номер варианта), правильно оформленные решения. По результатам работы необходимо сделать выводы.

Контрольные вопросы:

1. Назовите три основные виды теплообмена.
2. Объясните механизм обмена энергии в процессе теплопроводности.
3. Объясните процесс теплового излучения.
4. Какой процесс называется теплопередачей?
5. Дайте определение теплового потока.
6. Запишите математическое выражение закона Фурье.
7. Дайте определение конвективного теплообмена.

8. От каких критериев подобия зависит число Нуссельта в случае конвективного теплообмена?

9. Объясните понятие лучистой энергии?

10. Объясните следующие понятия способности тела: поглощательная, отражательная и пропускательная.

Список литературы

1. О.Н. Брюханов, В.А. Жила Основы гидравлики, теплотехники и аэродинамики. - М.: Инфра-М, 2010.

2. В.И. Калицун, Е.В. Дроздов, А.С. Комаров, К.И. Чижик Основы гидравлики, теплотехники и аэродинамики. – М.: Стройиздат, 2005

Интернет-ресурсы:

1. http://firing-hydra.ru/index.php?request=list_category&id=573

Практическая работа № 9

Тема: Устройство гидравлических машин и систем в сельскохозяйственной технике

Цель выполнения практической работы: Изучить устройство гидропривода ходовых систем сельскохозяйственных машин на примере ГСТ-90.

Гидравлический привод (гидропривод) — совокупность устройств, предназначенных для приведения в движение машин и механизмов посредством гидравлической энергии. Рассмотрим устройство гидропривода на примере ГСТ-90. Гидропривод ГСТ–90 (гидростатическая трансмиссия с рабочим объемом 90 см /об) применяется для передачи мощности от двигателя к ходовым колесам сельскохозяйственных машин с бесступенчатым регулированием скорости движения и силы тяги. ГСТ–90 широко применяются на различных мобильных машинах: комбайнах, погрузчиках, автогрейдерах, экскаваторах, катках, траншеекопателях, тракторах и т. д.

Применение ГСТ обеспечивает ряд существенных преимуществ:

– бесступенчатое регулирование реверсированием скорости движения и силы тяги во всем диапазоне передачи;

– широкие возможности по автоматизации управления с обеспечением оптимального режима работы;

- высокое быстродействие, низкая инерционность;
- низкая металлоемкость;
- широкая унификация гидравлического оборудования при простой компоновке на машинах.

Реализация данных преимуществ при эксплуатации машин с ГСТ–90 позволяет, по сравнению с машинами, оснащенными механическими приводами, повысить производительность машин, снизить расход топлива и т. п.

ГСТ–90 состоит из следующих основных узлов.

1. Регулируемый насос высокого давления (входное звено).
2. Нерегулируемый гидромотор (выходное звено).
3. Гидроаппаратура управления.
4. Вспомогательные устройства (фильтры, теплообменники, резервуары, трубы, шпонки и т. п.).

Гидропривод ГСТ–90 (рисунок 8. 1) включает аксиально-плунжерные агрегаты: регулируемый гидронасос с шестеренным насосом подпитки и гидрораспределителем; нерегулируемый гидромотор в сборе с клапанной коробкой, фильтр тонкой очистки с вакуумметром, трубопроводы и шланги, а также бак для рабочей жидкости.

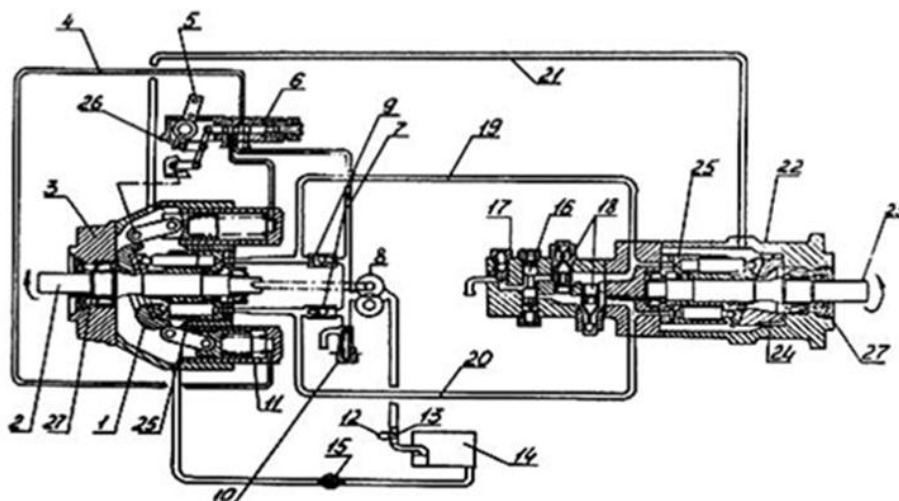


Рисунок 2. 1 – Схема гидропривода ГСТ–90: 1 — шайба; 2 — выходной вал насоса; 3 — реверсивный регулируемый насос; 4 — гидролиния управления; 5 — рычаг управления; 6 — золотник управления положением люльки; 7 — гидролиния низкого давления; 8 — насос подпитки; 9 — обратный клапан; 10 — предохранительный клапан системы подпитки; 11 — сервоцилиндр; 12 — фильтр; 13 — вакуумметр; 14 — гидробак; 15 — теплообменник; 16 — золотник; 17

— переливной клапан; 18 — главный предо-хранительный клапан высокого давления; 19 — гидролиния низкого давления; 20 — гидролиния высокого давления; 21 — дренажная гидролиния; 22 — нере-гулируемый мотор; 23 — выходной вал гидромотора; 24 — наклонная шайба гидромотора; 25 — блок цилиндров; 26 — тяга связи; 27 — торцевое уплотнение

Вал 2 гидронасоса вращается в двух роликовых подшипниках. На шлице вала посажен блок цилиндров 25, в отверстиях которого перемещаются плунжеры. Каждый плунжер сферическим шарниром соединен с пятой, которая упирается на опору, расположенную на наклонной шайбе 1. Шайба соединена с корпусом гидронасоса при помощи двух роликовых подшипников, и благодаря этому может быть изменен наклон шайбы относительно вала насоса. Изменение угла наклона шайбы происходит под действием усилий одного из двух сервоцилиндров 11, поршни которых соединены с шайбой 1 при помощи тяг.

Внутри сервоцилиндров находятся пружины, воздействующие на поршни и устанавливающие шайбу так, чтобы расположенная в ней опора была перпендикулярна к валу. Вместе с блоком цилиндров вращается приставное дно, скользящее по распределителю, закрепленному на задней крышке. Отверстия в распределителе и приставном дне периодически соединяют рабочие камеры блока цилиндров с магистралями, связывающими гидронасос с гидромотором. Сферические шарниры плунжеров и скользящие по опоре пяты смазываются под давлением рабочей жидкостью.

Внутренняя плоскость каждого агрегата заполнена рабочей жидкостью и является масляной ванной для работающих в ней механизмов. В эту полость поступают и утечки из сопряжений гидроагрегата.

К задней торцевой поверхности гидронасоса крепятся насос подпитки 8 шестеренного типа, вал которого соединен с валом гидронасоса.

Насос подпитки всасывает рабочую жидкость из бака 14 и подает ее:

- в гидронасос через один из обратных клапанов;
- в систему управления через гидрораспределитель в количествах, ограниченных жиклером.

На корпусе насоса подпитки 8 расположен предохранительный клапан 10, который открывается при повышении давления, развиваемого насосом.

Гидрораспределитель 6 служит для распределения потока жидкости в системе управления, то есть для направления ее к одному из двух сервоцилиндров, в зависимости от изменения положения рычага 5 или запираения жидкости в сервоцилиндре.

Гидрораспределитель состоит из корпуса, золотника с возвратной пружиной, расположенной в стакане, рычага управления с пружиной кручения, а также рычага 5 и двух тяг 26, которые связывают золотник с рычагом управления и наклонной шайбой.

Устройство гидромотора 22 аналогично устройству насоса. Основные отличия заключаются в следующем: пяты плунжеров при вращении вала скользят по наклонной шайбе 24, имеющей постоянный угол наклона, а поэтому механизм ее поворота с гидрораспределителем отсутствует; вместо насоса подпитки к задней торцевой поверхности гидромотора крепится клапанная коробка. Гидронасос с гидромотором связаны с двумя трубопроводами (магистралями «гидронасос-гидромотор»). По одной из магистралей поток рабочей жидкости под высоким давлением движется от гидронасоса к гидромотору, по другой — под низким давлением возвращается обратно.

В корпусе клапанной коробки находятся два клапаны высокого давления, переливной клапан 17 и золотник 16.

Система подпитки включает насос подпитки 8, а также обратные 9, предохранительный 10 и переливной клапаны.

Система подпитки предназначена для снабжения рабочей жидкостью системы управления, обеспечения минимального давления в магистралях «гидро-насос-гидромотор», компенсирования утечек в гидронасосе и гидромоторе, постоянного перемешивания рабочей жидкости, циркулирующей в гидронасосе и гидромоторе, с жидкостью в баке, отвода от деталей тепла.

Клапаны высокого давления 18 предохраняют гидропривод: от перегрузок, перепуская рабочую жидкость из магистрали высокого давления в магистраль низкого давления. Так как магистралей две и каждая из них в процессе работы может быть магистралью высокого давления, то и клапанов высокого давления тоже два. Переливной клапан 17 должен выпускать излишки рабочей жидкости из магистрали низкого давления, куда она постоянно подается насосом подпитки. Золотник 16 в клапанной коробке подключает переливной клапан к той магистрали «гидронасос-гидромотор», в которой давление будет меньше. При срабатывании клапанов системы подпитки (предохранительного и переливного) вытекающая рабочая жидкость попадает во внутреннюю полость агрегатов, где, смешавшись с утечками, по дренажным трубопроводам поступает в теплообменник 15 и далее в бак 14. Благодаря дренажному устройству, рабочая жидкость отводит тепло от трущихся деталей гидроагрегатов. Специальное торцевое уплотнение вала предотвращает вытекание рабочей жидкости из внутренней полости агрегата. Бак служит резервуаром для рабочей жидкости, имеет внутри перегородку, разделяющую его на сливную и всасывающую полости, снабжен указателем уровня.

Фильтр тонкой очистки 12 с вакуумметром задерживает посторонние частицы. Фильтрующий элемент выполнен из нетканого материала. О степени загрязненности фильтра судят по показаниям вакуумметра.

Двигатель вращает вал гидронасоса, а, следовательно, связанные с ним блок цилиндров и вал насоса подпитки. Насос подпитки всасывает рабочую жидкость из бака через фильтр и подает ее в гидронасос.

При отсутствии давления в сервоцилиндрах пружины, расположенные в них, устанавливают шайбу так, чтобы плоскость находящейся в ней опоры (шайбы) была перпендикулярна к оси вала. В этом случае при вращении блока цилиндров пяты плунжеров будут скользить по опоре, не вызывая осевого перемещения плунжеров, и гидронасос не будет посылать рабочую жидкость в гидромотор.

От регулируемого гидронасоса в процессе работы можно получить различный объем жидкости (подачу), подаваемый за один оборот. Для изменения подачи гидронасоса необходимо повернуть рычаг гидрораспределителя, который кинематически связан с шайбой и золотником. Последний, переместившись, направит рабочую жидкость, поступающую от насоса подпитки в систему управления, в один из сервоцилиндров, а второй сервоцилиндр соединится с полостью слива. Оказывающийся под действием давления рабочей жидкости поршень первого сервоцилиндра начнет движение, поворачивая шайбу, перемещая поршень во втором сервоцилиндре и сжимая пружину. Шайба, поворачиваясь в положение, заданное рычагом гидрораспределителя, будет перемещать золотник, пока не возвратит его в нейтральное положение (при этом положении выход рабочей жидкости из сервоцилиндров закрыт поясками золотника).

При вращении блока цилиндров пяты, скользя по наклонной опоре, вызовут перемещение плунжеров в осевом направлении, и вследствие этого произойдет изменение объема камер, образованными отверстиями в блоке цилиндров и плунжерами. Причем половина камер будет увеличивать свой объем, другая половина — уменьшать. Благодаря отверстиям в приставном дне и распределителе эти камеры поочередно соединяются с магистралями «гидронасос-гидромотор».

В камере, увеличивающей свой объем, рабочая жидкость поступает из магистрали низкого давления, куда подается насосом подпитки через один из обратных клапанов. Вращающимся блоком цилиндров рабочая жидкость, находящаяся в камерах, переносится к другой магистрали и вытесняется в нее плунжерами, создавая высокое давление. По этой магистрали жидкость попадает в рабочие камеры гидромотора, где ее давление передается на торцевые поверхности плунжеров, вызывая их перемещение в осевом направлении и, благодаря взаимодействию пят плунжеров с наклонной шайбой, заставляет блок цилиндров вращаться. Пройдя рабочие камеры гидромотора, рабочая жидкость выйдет в магистраль низкого давления, по которой часть ее возвратится к гидронасосу, а излишки через золотник и переливной клапан вытекут во внутреннюю полость гидромотора. При перегрузке гидропривода высокое давление в магистрали «гидронасос-гидромотор» может возрасти до тех пор, пока не откроется клапан высокого давления, который перепустит рабочую жидкость из магистрали высокого давления в магистраль низкого давления, минуя гидромотор.

Объемный гидропривод ГСТ–90 позволяет бесступенчато изменить передаточное отношение: на каждый оборот вала гидромотор потребляет 89 см³ рабочей жидкости (без учета утечек). Такое количество рабочей жидкости гидронасос может выдать за один или несколько оборотов своего приводного вала в зависимости от угла наклона шайбы. Следовательно, меняя подачу гидронасоса, можно изменить скорость движения машин.

Для изменения направления движения машины достаточно наклонить шайбу в противоположную сторону. Реверсивный гидронасос при том же вращении его вала изменит направление потока рабочей жидкости в магистралях " гидронасос-гидромотор" на обратное (то есть магистраль низкого давления станет магистралью высокого давления, а магистраль высокого давления — магистралью низкого). Следовательно, для изменения направления движения машины необходимо рычаг гидрораспределителя повернуть в противоположную сторону (от нейтрального положения). Если же снять усилие с рычага гидрораспределителя, то шайба под действием пружин возвратится в нейтральное положение, при котором плоскость находящейся в ней опоры станет перпендикулярной к оси вала. Плунжеры не будут перемещаться в осевом направлении. Подача рабочей жидкости прекратится. Самоходная машина остановится. В магистралях «гидронасос-гидромотор» давление станет одинаковым.

Золотник в клапанной коробке под действием центрирующих пружин займет нейтральное положение, при котором переливной клапан не будет подключен ни к одной из магистралей. Вся жидкость, подаваемая насосом подпитки, через предохранительный клапан будет стекать во внутреннюю полость гидронасоса. При равномерном движении самоходной машины в гидронасосе и гидромоторе необходимо только компенсировать утечки, поэтому значительная часть рабочей жидкости, подаваемая насосом подпитки, окажется лишней, и ее надо будет

выпускать через клапаны. Чтобы излишки этой жидкости использовать для отвода тепла, через клапаны выпускают нагретую, прошедшую гидромоторжидкость, а охлажденную — из бака. С этой целью переливной клапан системы подпитки, расположенный в клапанной коробке на гидромоторе, настроен на несколько меньшее давление, чем предохранительный на корпусе насоса подпитки.

Благодаря этому при превышении давления в системе подпитки откроется переливной клапан и выпустит нагретую жидкость, вышедшую из гидромотора. Далее жидкость из клапана попадает во внутреннюю полость агрегата, откуда по дренажным трубопроводам через теплообменник направляется в бак.

Контрольные вопросы:

1. Запишите что называется гидроприводом.
2. Запишите основные узлы изученного гидропривода.
3. Запишите для чего предназначен и как устроен гидрораспредлитель.
4. Запишите назначение и устройство фильтра в гидросистеме.
5. Запишите назначение переливного клапана в гидросистеме

Отчет по работе. В конце занятия студент представляет преподавателю письменно выполненное задание с ответами на поставленные вопросы

Практическая работа № 10

Тема: Рекуперативные и регенеративные теплообменники.

Цель работы: Изучение устройств теплообменной аппаратуры.

Порядок выполнения работы:

- 1.. Записать в тетради тему практической работы.
2. Ознакомиться с конструкцией и принципом действия теплообменной аппаратуры.
3. Произвести сравнительный анализ кожухотрубного теплообменника и погружного змеевикового теплообменника.
4. Записать вывод о проделанной практической работе.
5. Ответить на контрольные вопросы.

Содержание работы: Теплоиспользующие аппараты, применяемые в пищевых производствах для проведения теплообменных процессов, называют теплообменниками.

Теплообменники характеризуются разнообразием конструкций, которое объясняется различным назначением аппаратов и условиями проведения процессов.

По принципу действия теплообменники делятся на рекуперативные, регенеративные и смесительные (градирни, скрубберы, конденсаторы смешения). В рекуперативных теплообменниках теплоносители разделены стенкой и теплота передается от одного к другому через разделяющую их стенку.

В регенеративных теплообменниках одна и та же теплообменная поверхность омывается попеременно горячим и холодным теплоносителями. При смывании горячим теплоносителем поверхность нагревается за счет его теплоты, при смывании поверхности холодным теплоносителем она охлаждается, отдавая тепло. Таким образом, теплообменная поверхность аккумулирует теплоту горячего теплоносителя, а затем отдает ее холодному теплоносителю.

В смесительных аппаратах передача теплоты происходит при непосредственном взаимодействии теплоносителей.

Рекуперативные теплообменники в зависимости от конструкции разделяются на кожухотрубные, типа «труба в трубе», змеевиковые, пластинчатые, спиральные, оросительные и аппараты с рубашками. Особую группу составляют трубные выпарные аппараты.

Кожухотрубные теплообменники наиболее широко распространены в пищевых производствах.

Кожухотрубный вертикальный одноходовой теплообменник с неподвижными трубными решетками (рис. 1,а) состоит из цилиндрического корпуса (1), который с двух сторон ограничен приваренными к нему трубными решетками (2) с закрепленными в них греющими трубами (3). Пучок труб делит весь объем корпуса теплообменника на трубное пространство, заключенное внутри греющих труб, и межтрубное. К корпусу прикреплены с помощью болтового соединения два днища (5). Для ввода и вывода теплоносителей корпус и днища имеют патрубки (4). Один поток теплоносителя, например жидкость, направляется в трубное пространство, проходит по трубкам и выходит из теплообменника через патрубок в верхнем днище. Другой поток теплоносителя, например пар, вводится в межтрубное пространство теплообменника, омывает снаружи греющие трубы и выводится из корпуса теплообменника через патрубок.

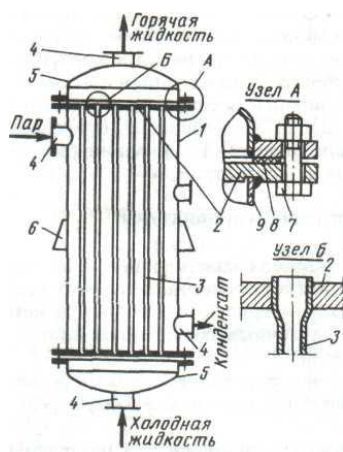


Рис. 1. Схема вертикального одноходового кожухотрубного теплообменника с неподвижными трубными решетками и размещение труб в трубной решетке:

1— корпус; 2 — трубная решетка; 3 — греющая труба; 4 — патрубок; 5 — днища; 6 — опорная лапа; 7— болт; 8 — прокладка; 9 — обечайка

Теплообмен между теплоносителями осуществляется через стенки труб.

Греющие трубы соединены с трубной решеткой сваркой либо развальцованы в ней (см. узел Б). Греющие трубы изготавливают из стали, меди или латуни.

Размещают греющие трубы в трубных решетках несколькими способами: по сторонам и вершинам правильных шестиугольников в (шахматном порядке), по сторонам и вершинам квадратов (коридорное) и по концентрическим окружностям. Такие способы размещения обеспечивают создание компактной конструкции теплообменника.

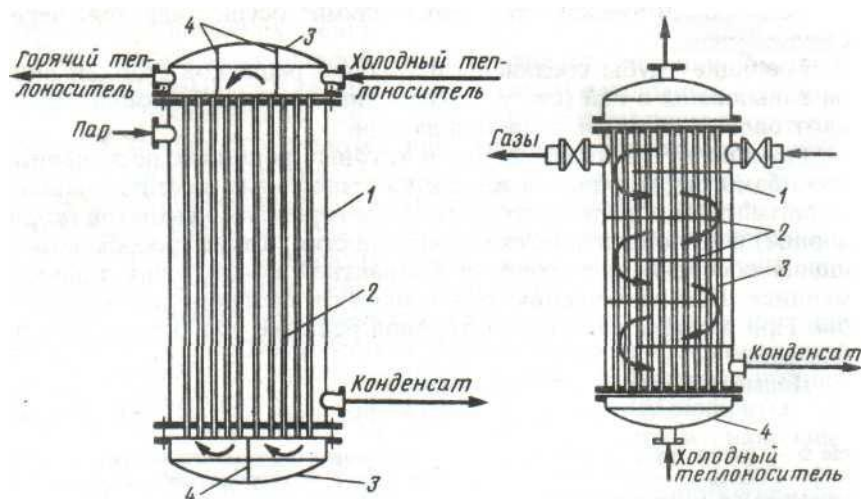
С целью интенсификации теплообмена в кожухотрубных теплообменниках пучок труб секционируют, т. е. разделяют на несколько секций (ходов), по которым теплоноситель проходит последовательно. Разбивка труб на ряд ходов достигается с помощью перегородок в верхнем и нижнем днищах.

На рис. 2 показан такой многоходовой теплообменник, в котором теплоноситель проходит трубное пространство за четыре хода. Этим достигается повышение скорости теплоносителя, что приводит к увеличению коэффициента теплоотдачи в трубном пространстве. Целесообразно увеличивать скорость того из теплоносителей, который имеет большее термическое сопротивление.

Секционировать можно и межтрубное пространство за счет установки направляющих перегородок (рис. 3).

Приведенные на рис. 14.11... 14.13 кожухотрубные теплообменники надежно работают при разностях температур между корпусом и трубами 25...30°C. При более высоких разностях температур между корпусом и трубами возникают значительные температурные напряжения, которые могут привести к выходу теплообменника из строя. Поэтому при больших разностях температур применяют конструкции теплообменников, в которых

Горячий теплоноситель



Пар

Рис. 2 Рис. 3.

Рис. 2. Схема многоходового теплообменника (по трубному пространству):

1 — корпус; 2 — греющая труба; 3 — днище; 4 — перегородки

Рис. 3. Схема многоходового теплообменника (по межтрубному пространству):

1 — корпус; 2 — перегородки; 3 — греющая труба; 4 — днище

предусмотрена компенсация температурных удлинений.

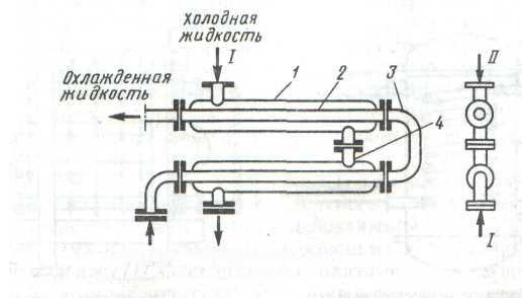
Кожухотрубные теплообменники используют для теплообмена между конденсирующимся паром и жидкостью. Жидкость пропускается по трубам, а пар — в межтрубном пространстве.

Преимущества кожухотрубных теплообменников заключаются в компактности, невысоком расходе металла, легкости очистки труб изнутри.

Недостатки этих теплообменников: сложность достижения высоких скоростей теплоносителей, за исключением многоходовых теплообменников; трудность очистки межтрубного пространства и малая доступность его для осмотра и ремонта; сложность изготовления из материалов, не поддающихся развальцовке и сварке, например из чугуна и ферросилида.

Теплообменники типа «труба в трубе» состоят из ряда наружных труб (1) большего диаметра и расположенных внутри их труб меньшего диаметра (2) (рис.4). Внутренние и внешние трубы элементов соединены друг с другом последовательно с помощью колен (3) и патрубков (4). Один из теплоносителей – I – движется по внутренней трубе, а другой — II — по кольцевому каналу, образованному внутренней и внешней трубами. Теплообмен осуществляется через стенку внутренней трубы. В этих теплообменниках достигаются высокие скорости теплоносителей как в трубах, так и в межтрубном пространстве. При

необходимости создания больших площадей поверхностей теплопередачи теплообменник составляют из нескольких секций, получая батарею.



Горячая

жидкость II Нагретая жидкость

Рис. 4. Теплообменник типа «труба в трубе»: 1 — наружная труба; 2 — внутренняя труба; 3 — колено; 4 — патрубок; I, II — теплоносители.

Преимущества теплообменников типа «труба в трубе»: высокий коэффициент теплопередачи вследствие большой скорости обоих теплоносителей, простота изготовления.

Недостатки этих теплообменников заключаются в громоздкости, высокой металлоемкости, трудности очистки межтрубного пространства.

Теплообменники типа «труба в трубе» применяют при небольших расходах теплоносителей для теплообмена между двумя жидкостями и между жидкостью и конденсирующимся паром.

Погружные змеевиковые теплообменники представляют собой трубу, согнутую в виде змеевика и погруженную в аппарат с жидкой средой (рис. 5). Теплоноситель движется внутри змеевика. Змеевиковые теплообменники изготавливают с плоским змеевиком или со змеевиком, согнутым по винтовой линии.

Преимущество змеевиковых теплообменников — простота изготовления. В то же время такие теплообменники громоздки и трудно поддаются очистке. Погружные теплообменники применяют для охлаждения и нагрева конденсата, а также для конденсации паров.

Оросительные теплообменники используют для охлаждения жидкостей, газов и конденсации паров. Состоят они (рис. 6) из нескольких расположенных одна над другой труб (2), соединенных коленами (3). По трубам протекает охлаждаемый теплоноситель. Охлаждающая вода поступает в распределительный желоб (1) с зубчатыми краями, из которого равномерно перетекает в верхнюю трубу теплообменника и на расположенные ниже трубы.

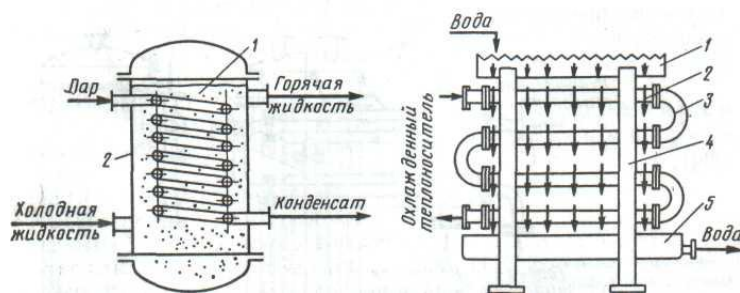
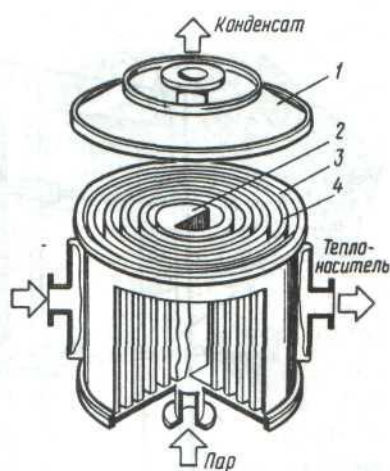


Рис. 5. Рис. 6.

Рис. 5. Погружной змеевиковый теплообменник: 1 — змеевик; 2 — корпус

Рис. 6. Оросительный теплообменник:



Теплоноситель

Рис. 7. Спиральный теплообменник: 1 — крышка; 2 — перегородка; 3, 4 — металлические листы

Спиральные теплообменники состоят из двух спиральных каналов прямоугольного сечения, образованных металлическими листами (3,4)

(рис.7). Внутренние концы спиралей соединены перегородкой (2). С торцов каналы закрыты крышками (1) и уплотнены прокладками. У наружных концов каналов предусмотрены патрубки для входа и выхода теплоносителей, два других патрубка приварены к плоским боковым крышкам.

Такие теплообменники используют для теплообмена между жидкостями и газами. Эти теплообменники не забиваются твердыми частицами, взвешенными в теплоносителях, поэтому их применяют для теплообмена между жидкостями со взвешенными частицами, например для охлаждения бражки на спиртоперегонных заводах.

Спиральные теплообменники компактны, позволяют проводить процесс теплопередачи при высоких скоростях теплоносителей с высокими коэффициентами теплопередачи; гидравлическое сопротивление спиральных теплообменников ниже сопротивления многоходовых аппаратов при тех же скоростях теплоносителей.

Недостаток спиральных теплообменников — сложность изготовления, ремонта и очистки.