# Министерство науки и высшего образования РФ Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова

## Шахтинский автодорожный институт (филиал) ЮРГПУ(НПИ) им. М.И. Платова

ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ КОЛЛЕДЖ



О.Ю. Репина

## ОСНОВЫ ГИДРАВЛИКИ, ТЕПЛОТЕХНИКИ И АЭРОДИНАМИКИ

## Методические указания для практических занятий

для специальности
08.02.08 «Монтаж и эксплуатация оборудования и систем газоснабжения»

Новочеркасск ЮРГПУ(НПИ) 2023 УДК 532+621.1 (076.5)

Рецензент – д-р техн. наук, проф. В.А. Евстратов

#### Репина О.Ю.

Основы гидравлики, теплотехники и аэродинамики: Методические указания для практических занятий: / О.Ю. Репина; Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова. — Новочеркасск: ЮРГПУ(НПИ), 2023.—32 с.

В методических указаниях освещены общие законы гидравлики и теплотехники, темы проведения работ, порядок обработки полученных результатов, список необходимой литературы.

Предназначены для студентов СПО, обучающихся по специальности 08.02.08 «Монтаж и эксплуатация оборудования и систем газоснабжения» всех форм обучения.

УДК 532+621.1 (076.5)

© Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, 2023

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ		4
1.	ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1	5
2.	ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №2	10
3.	ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3	16
4.	ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 4	24
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК		31

## **ВВЕДЕНИЕ**

*Целью изучения дисциплины* является приобретение студентами теоретических и практических знаний в области гидрогазодинамики и навыков, необходимых для выполнения профессиональной деятельности по обеспечению безопасности человека в современном мире.

Задачи при изучении дисциплины:

- изучить основные законы гидрогазодинамики;
- сформировать знания для решения теоретических задачи и проведения гидромеханических расчетов аппаратов и процессов в биосфере;
- освоить современные методы теоретического и экспериментального исследования в гидромеханике.

#### ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ№ 1

**Тема:** Решение задач на использование законов идеальных газов

**Цель занятия:** научиться определять термодинамические параметры идеальных газов и применять газовые законы при решении задач.

Теоретическое введение

К термическим параметрам состояния относят *абсолютное* давление (р), удельный объем (V) и абсолютную температуру (T).

*Термические* параметры входят в термическое уравнение состояния и могут быть непосредственно измерены.

Абсолютное давление

Давление — величина, определяемая отношением силы (ее нормальной составляющей), действующей на поверхность, к площади этой поверхности

$$p = \frac{F_H}{A}$$

где p – давление, Па; Fн – сила, H; A – площадь,  $M^2$ .

Для измерения малых давлений используют высоту столба жидкости (вода, ртуть, спирт и т.д.). Столб жидкости своим весом производит на основание давление:

$$\mathbf{p} = \boldsymbol{\rho} \cdot g$$
 ·h откуда следует, что  $h = \frac{p}{gh}$ ,

где р — давление, Па;  $\rho$  — плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>; g = 9.81 м/с<sup>2</sup> — ускорение свободного падения.

В термодинамических расчетах различают атмосферное давление, избыточное (манометрическое) давление, разрежение (вакуум) и абсолютное давление. При этом за нормальное атмосферное давление принимают давление воздуха на уровне моря при температуре t=0 °C, которое равно 760 мм рт. ст.

*Термодинамическим параметром* состояния служит *абсолютное* давление р, Па.

Используемые в технике приборы, как правило, измеряют не абсолютное давление, а разность давлений - давления в сосуде и давления атмосферного воздуха. При давлении в сосуде больше атмосферного, абсолютное давление рассчитывают по формуле

$$p = B + p_{M},$$

где B — барометрическое давление;  $p_{\scriptscriptstyle M}$  — манометрическое давление или избыточное давление.

Аналогично, при давлении в сосуде меньше атмосферного измеряют *вакуум* или *разрежение* и в этом случае абсолютное давление равно

$$p = B - p_{\scriptscriptstyle B},$$

где  $p_{\scriptscriptstyle B}$  - вакуумметрическое давление или разрежение.

Абсолютная температура

Температура характеризует степень нагретости тела. В настоящее время в практике инженерных расчетов широкое распространение получили две температурные шкалы:

- 1. Термодинамическая шкала температур, которая имеет одну реперную точку тройную точку воды (вода находиться одновременно в трех фазовых состояниях) при t = 0.01 °C (T= 273,16 K) и p = 610 Па. Температуру измеряют по шкале Кельвина, К. Начало отсчета T = 0 K = -273,15 °C.
- 2. Международная практическая шкала температур (МПШТ) имеет две реперные точки: первая точка точка таяния льда при  $t_1$  = 0 °C и p = 760 мм рт. ст.; вторая точка точка кипения воды при  $t_2$  = 100 °C и p = 760 мм рт. ст. МПШТ для измерения температуры использует градусы Цельсия, °C.

Перевод температуры из термодинамической шкалы температур в практическую шкалу температур и наоборот выполняют по формулам:

$$T = t + 273,15K$$
;  $t = T - 273,15 K$ .

Термодинамический параметр – *абсолютная температура*, выражаемая в кельвинах, К.

- В XIX веке экспериментально были установлены следующие соотношения между термическими параметрами для газов, близких по своим свойствам к идеальному газу:
- для изобарного процесса , p=const закон Гей-Люссака; V/T=const;
  - для изохорного процесса, V=const закон Шарля; p/T=const;
- -для изотермического процесса ,T=const закон Бойля-Мариотта; pV=const.

## Примеры решения задач

Задача 1. В сосуде объемом 0,9 м3 находится 1,5 кг окиси углерода (CO). Определить удельный объем и плотность окиси углерода.

#### Решение

Удельный объем 
$$v = \frac{V}{m} = \frac{0.9}{1.5} = 0.6 \frac{M^3}{\kappa z}$$

Плотность . 
$$\rho = \frac{1}{v} = \frac{1}{0.6} = 1.67 \frac{\kappa z}{M^3}$$

Otbet: 
$$0.6 \frac{M^3}{\kappa \epsilon}$$
,  $1.67 \frac{\kappa \epsilon}{M^3}$ 

Задача 2.Найти абсолютное давление пара в котле, если манометр показывает  $p_{\scriptscriptstyle M}=0.13$  МПа. Атмосферное давление по показаниям ртутного барометра составляет B=730 мм рт. ст. при  $t=25~^{0}C$ .

#### Решение

Показание барометра получено при температуре ртути t=25  $^{0}$ С. Это показание необходимо привести к 0  $^{0}$ С по формуле

$$B_0$$
= B·(1-0,000172· t) = 730 (1-0,000172·25) = 726,861 мм рт.ст.= 726,861·133,3 = 96890,57 Па .

Абсолютное давление пара в котле

$$p=B+p_{\rm M}=96890,57+0,13\cdot10^6=226890,75$$
 Па=0,227 МПа. Ответ:  $p=0,227$  МПа.

Задача 3.0,5 м3 воздуха находится в сосуде при температуре 120  $^{0}$ С. Подключенный к сосуду вакуумметр показывает разрежение 700 мм вод.ст. при барометрическом давлении 750 мм рт. ст. Определить массу газа в сосуде.

#### Решение

Абсолютное давление газа p=B- $p_B$ =750·133,3-700·9,81=93108Па Абсолютная температура воздуха

Газовая постоянная 
$$R = \frac{R_{\mu}}{\mu} = \frac{8314}{28.96} = 287,09 \frac{\mathcal{Д} \mathcal{H}}{\kappa \varepsilon \cdot \mathcal{K}}$$

Из уравнения состояния идеального газа, записанного в виде pV=mRT,

выразим массу газа 
$$m=\frac{pV}{RT}=\frac{93108\cdot0,5}{287,09\cdot393,15}=0,41$$
 кг. Ответ:  $m=0,41$  кг.

Задача 4.Какой объем займет кислород при температуре  $150~^{0}$ С и давлении  $0.3~\text{М}\Pi$ а, если при нормальных физических условиях он занимает  $4~\text{m}^{3}$ ?

#### Решение

Под нормальными физическими условиями понимают состояние газа при

$$p = 760$$
 мм рт. ст. и  $t = 0$   $^{0}$ С.

Уравнение состояния идеального газа для нормальных физических условий и для физических условий данной задачи

$$m = \frac{p_1 \cdot V_1}{RT_1} = \frac{p_{Hy} \cdot V_{Hy}}{RT_{Hy}} \Rightarrow V_1 = \frac{T_1 \cdot p_{Hy} \cdot V_{Hy}}{p_1 \cdot T_{Hy}}$$

Абсолютное давление:  $p_{\text{ну}} = 760 \cdot 133,3 = 101308$   $\Pi a = 1,013 \cdot 10^5$   $\Pi a$   $p_1 = 0,3$  М $\Pi a = 0,3 \cdot 106$   $\Pi a$ .

Абсолютная температура:

$$T_{H,y} = 273,15 \text{ K}; T_1 = 150 + 273,15 = 423,15 \text{ K}.$$

Подставим значения в формулу для расчета объема при заданных условиях

$$V_1 = \frac{423,15 \cdot 1,013 \cdot 10^5 \cdot 4}{0,3 \cdot 10^6 \cdot 273,15} = 2,09 \text{ m}^3$$

Otbet:  $V_1 = 2,09 \text{ m}^3$ .

## Практические задания

- 1. Определить давление, при котором 5 кг азота занимают объем в 2 м3, если температура азота равна 70  $^{0}$ C? Ответ: 0,25 МПа.
- 2. В баллоне емкостью  $0.5 \text{ м}^3$  находится азот при температуре  $30 \, ^0\text{C}$  и избыточном давлении  $0.5 \, \text{М}\Pi a$ . Определить массу азота, выпущенного из баллона, если избыточное давление понизилось до  $0.2 \, \text{M}\Pi a$ , а температура до  $20 \, ^0\text{C}$ . Барометрическое давление равно  $750 \, \text{мм}$  рт. ст. Ответ:  $1.61 \, \text{кг}$ .
- 3. Объем воздуха при давлении 0,6 МПа и температуре 100 0C составляет 3 м $^3$ . Какой объем займет воздух при нормальных физических условиях? Ответ: 13 м $^3$ .
- 4. Определить плотность водорода, если он находится в сосуде при температуре  $50~^{0}$ C, а его избыточное давление составляет 50~cm вод.ст. при барометрическом давлении 760~mm рт. ст.

Ответ:  $0,079 \text{ кг/м}^3$ .

5. В цилиндре с подвижным поршнем находится 0,2 м<sup>3</sup> воздуха при давлении 0,1 МПа. Как должен измениться объем, чтобы при повышении давления до 0,2 МПа температура воздуха не изменилась?

Ответ: объем уменьшится в 2 раза.

6. В цилиндре диаметром 0,6 м содержится 0,4 м<sup>3</sup> воздуха при давлении 0,25 МПа и температуре  $t_1 = 35$  °C. До какой температуры ( $t_2$ ) должен быть нагрет воздух при постоянном давлении, чтобы движущийся без трения поршень поднялся на 0,4 м?

Ответ:  $t_2 = 122$   ${}^{0}$ С.

## Контрольные вопросы

- 1. Какие термодинамические параметры характеризуют состояние идеального газа?
- 2. Чем отличается шкала температур Кельвина от шкалы Цельсия?
  - 3. Сформулировать газовые законы.

#### ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 2

**Тема:** Решение задач по определению количества теплоты с помощью значений теплоемкости и удельной теплоты сгорания топлива (2 часа)

**Цель занятия:** научиться определять количество теплоты при решении задач.

Теоретическое введение

При расчете и проектировании теплообменных устройств, требуется рассчитать тепловой поток при конвективной теплоотдаче от флюида к стенке или, наоборот, от стенки к флюиду. В этом случае тепловой поток находят по закону теплоотдачи – закону Ньютона:

$$Q=\alpha \cdot (T_w-T_f)\cdot F$$
,

где Q — тепловой поток, BT;  $\Delta T = T_w - T_f$  — модуль разности температур между стенкой и флюидом, °C (K);  $T_w$  — температура поверхности теплообмена (стенки), °C (K);  $T_f$  — температура текучей среды (флюида) вдали от стенки, °C (K); F — площадь поверхности теплообмена,  $M^2$ ;  $\alpha$  — средний коэффициент теплоотдачи,  $BT/(M^2 \cdot K)$ .

При заданных геометрических размерах системы теплообмена, температурах стенки и текучей среды задача расчета теплового потока сводится к определению коэффициента теплоотдачи ( $\alpha$ ).

Величину коэффициента теплоотдачи находят, решая критериальное подобия или уравнение, которое уравнение обработки получают результате многочисленных В экспериментальных данных. Форма критериального уравнения зависит от вида конвекции (свободная или вынужденная) и режима движения жидкости (ламинарный, переходный или турбулентный режимы). В общем случае уравнение подобия или критериальное уравнение имеет вид

$$Nu=f(Gr,Re,Pr...)$$

где Nu, Gr, Re, Pr – критерии подобия.

*Критерий подобия* — безразмерный комплекс, составленный из физических величин, который *характеризует* отношение физических эффектов.

## Примеры решения задач

Задача 1. Нагреватель, выполненный из трубки диаметром d=25 мм и длиной l=0,5 м, погружен вертикально в бак с водой, имеющей температуру  $T_f=25^{0}$ С. Определить количество теплоты, передаваемое нагревателем в единицу времени, считая температуру его поверхности постоянной по всей длине и равной

$$T_{\rm w} = 55.5^{\circ} \rm C.$$

#### Решение

При заданных значениях температур на поверхности нагревателя и окружающей среды решение задачи сводится к определению коэффициента теплоотдачи. Для расчета α при свободной конвекции около вертикальной поверхности применим формулу М.А. Михеева , по которой за определяющую температуру принята средняя температура пограничного слоя.

$$T_m = (55,5+20)\cdot 0,5 = 37,75$$
 °C.

При этой температуре вода имеет следующие свойства :

$$\lambda$$
=0,63 BT/(M·K); c<sub>p</sub> 4187 Дж/(κΓ·K); v=0,687·10<sup>-6</sup> M<sup>2</sup>/c;  $\rho$ =993,1κΓ/M<sup>3</sup>;  $\beta$ =0,36·10<sup>-3</sup> K<sup>-1</sup>; Pr<sub>f</sub>=4.52; Pr<sub>w</sub>=3,26.

За определяющий размер принимается длина нагревателя  $R_0 = l = 0.5 \text{ м}.$ 

Критерий Грасгофа

$$Gr = (g \cdot l^3/v^2) \cdot \beta \cdot (T_w - T_f)$$

$$Gr = \frac{9,8 \cdot 0,5^3}{(0,687 \cdot 10^{-6})^2} \cdot 0,36 \cdot 10^{-3} \cdot (55,5-20) = 0.33 \cdot 10^{11}.$$

Так как Ra=Gr·Pr=
$$0.33 \cdot 10^{11} \cdot 4,52 = 1,5 \cdot 10^{11} > 2 \cdot 10^{7}$$
,

то режим движения турбулентный и эмпирические коэффициенты принимают следующие значения: C=0,135; n=0,33.

Критерий Нуссельта

$$Nu=0,135\cdot(Gr\cdot Pr)^{0,33}=0,135\cdot(1,5\cdot 10^{11})^{0,33}=711,16.$$

Коэффициент теплоотдачи

$$\alpha = \text{Nu} \cdot \lambda / R_0 = 711,16 \cdot 0,63/0,5 = 896,1 \text{ BT/(M}^2 \cdot \text{K)}$$

Количество теплоты, передаваемое воде в единицу времени

$$Q = \alpha \cdot (T_w - T_f) \cdot \pi \cdot d \cdot l = 896, 1 \cdot (55, 5-20) \cdot 3, 14 \cdot 0, 025 \cdot 0, 5 = 1231 \text{ Bt.}$$

Ответ: 1231 Вт.

Задача 2. По трубе d=60 мм протекает воздух со скоростью 5м/с. Определить значение среднего коэффициента теплоотдачи, если средняя температура воздуха  $T_f$ =100 $^0$ C.

#### Решение

За определяющую температуру принимаем  $T_0 = T_f = 100$   $^{0}$ С. При определяющей температуре воздух имеет свойства:

$$\lambda = 0.0321 \text{ BT/(m} \cdot {}^{0}\text{C}); \ \nu = 23.13 \cdot 10^{-6} \text{ m}^{2}/\text{c}.$$

За определяющий размер принимаем диаметр трубы R=d=0,06м

Критерий Рейнольдса

$$Re = \frac{w \cdot d}{v} = \frac{5 \cdot 0.06}{23.13 \cdot 10^{-6}} = 12973,$$

так как  $Re > 10^4$ , то режим течения турбулентный.

Критерий Нуссельта Nu=0,018·Re<sup>0,8</sup>=0,018·1955=35,2.

$$\alpha = Nu \cdot \lambda / R_0 = 35,2 \cdot 0,0321/0,06 = 18,8 \text{ BT/}(\text{M}^2 \cdot \text{K}).$$

Ответ:  $18,8 \text{ BT/(м}^2 \cdot \text{K})$ .

Задача 3.Через трубу диаметром d=50 мм и длиной l=3м со скоростью 0,8 м/с протекает вода. Определить средний коэффициент теплоотдачи, если средняя температура воды  $T_f=50^0$ C, а температура стенки  $T_w=70^0$ C.

#### Решение

При определяющей температуре  $T_f$ =50 $^0$ C физические свойства воды следующие:  $\lambda$ =0,648 Bt/(м·K);  $\nu$ =5,56·10 $^{-7}$ м $^2$ /c;  $Pr_w$ =3,54.

При  $T_w=70^{\circ}$ С критерий Прандтля для воды  $Pr_w=2,55$ .

Определяющим критерием при вынужденном движении жидкости внутри трубы является критерий Рейнольдса

$$Re = \frac{w \cdot d}{v} = \frac{0.8 \cdot 0.05}{5.56 \cdot 10^{-7}} = 7.2 \cdot 10^4$$

Так как  $Re > 10^4$ , то режим течения турбулентный. В этом случае критериальная формула имеет вид

Nu=0,021·Re<sup>0,8</sup>·Pr<sub>f</sub><sup>0,43</sup>·
$$\varepsilon_t$$
· $\varepsilon_l$ ;  
 $\varepsilon_t$ =(Pr<sub>f</sub>/Pr<sub>w</sub>)<sup>0,25</sup>=(3,54/2,55)<sup>0,25</sup>=1,09;  
Nu=0,021·(7,2·10<sup>4</sup>)<sup>0,8</sup>·3,54<sup>0,43</sup>·1,09=303.

Так как l/d=60>50, то поправка на начальный участок гидродинамической стабилизации  $\varepsilon_l=1$ .

Зная число Нуссельта, находим коэффициент теплоотдачи

$$\alpha = Nu \frac{\lambda}{d} = \frac{303 \cdot 0,648}{0.05} = 3920 \frac{Bm}{M^2 \cdot K}$$

Ответ:  $3920 \, Bm/(M^2 \cdot K)$ 

Задача 4.Электрический нагреватель, выполненный из трубы диаметром d=15 мм и длинойl=1 м , с удельным электрическим сопротивлением  $\rho_{\rm n}=0,2$  (Ом·мм²)/м, обдувается поперечным потоком воздуха со скоростью 1 м/с и температурой  $T_{\rm f}=20^{\rm o}{\rm C}$ . Определить количество теплоты, передаваемое нагревателем воздуху в единицу времени, и допустимую величину тока в нем, если температура поверхности нагревателя не превышает  $T_{\rm w}=80^{\rm o}{\rm C}$ .

Решение

При температуре  $T_f$ = $20^0$ С воздух имеет следующие физические свойства:

$$\lambda = 0.0259 \text{ BT/(M·K)}; \nu = 15.06 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{c}; \text{ Pr}_f = 0.703.$$

Критерий Рейнольдса

$$Re = \frac{w \cdot d}{v} = \frac{1 \cdot 0,015}{15.06 \cdot 10^{-6}} = 996.$$

При Re =996 расчет теплоотдачи при поперечном обтекании трубы можно проводить по уравнению

$$Nu = 0.52 \cdot Re^{0.5} \cdot Pr_f^{0.37} = 0.52 \cdot 996^{0.5} \cdot 0.703^{0.37} = 0.52 \cdot 31.56 \cdot 0.88 = 14.5.$$

Коэффициент теплоотдачи

$$\alpha = Nu\frac{\lambda}{d} = \frac{14,5 \cdot 0,0259}{0,015} = 25\frac{Bm}{M^2 \cdot K}.$$

Количество теплоты, передаваемой от нагревателя воздуху

$$Q = \alpha \cdot (T_w - T_f) \cdot F = 25 \cdot (80 - 20) \cdot \pi \cdot 0.015 \cdot 1 = 70.65 \text{ Bt.}$$

Приравнивая количество теплоты, выделившееся при прохождении электрического тока по нагревателю, к количеству теплоты, переданному окружающему воздуху, находим допустимую величину тока

$$Q=I^{2}\cdot R_{_{3\Pi}};$$
 
$$I=\sqrt{Q/R_{_{9\Pi}}}=$$
 
$$\sqrt{Q/[\rho_{_{\Pi}}\cdot l\cdot 4/(\pi\cdot d^{2})]}=\sqrt{70,65/[0,2\cdot 1\cdot 4/(\pi\cdot 15^{2})]}=249,8~A.$$

Ответ: Q=70,65Вт; I=249,8 А.

## Практические задания

1. Рассчитать потерю теплоты конвекцией в единицу времени с  $1 \ \text{m}^2$  поверхности горизонтального теплообменника, корпус которого имеет цилиндрическую форму и охлаждается свободным потоком воздуха. Наружный диаметр корпуса теплообменника  $d=400 \ \text{мм}$ , температура поверхности  $T_w=160^{0} C$ , температура воздуха в помещении  $T_f=20^{0} C$ .

Otbet: 
$$\alpha = 7.3 \text{ BT/(M}^2 \cdot \text{K}); q = 1025 \text{ Bt/M}^2$$

2. По условию задачи 1 в целях уменьшения тепловых потерь корпус теплообменника покрыт слоем тепловой изоляции. Найти тепловые потери q,  $Bt/m^2$  с поверхности теплообменника, если после наложения слоя тепловой изоляции толщиной 50 мм температура на внешней поверхности изоляции  $T_w$  стала равна 40  $^0$ C, а температура в помещении  $T_f$  осталась прежней +20  $^0$ C.

Ответ:  $q = 86 \text{ Br/м}^2$ .

3. Определить коэффициент теплоотдачи от вертикальной плиты высотой H=1,5 м к окружающему воздуху, если известно, что температура поверхности плиты  $T_w$ =80 $^0$ C , температура окружающего воздуха вдали от поверхности  $T_f$ =20 $^0$ C.

Otbet:  $\alpha = 6 \text{ Bt/(M}^2 \cdot \text{K)}$ 

4. Как изменится коэффициент теплоотдачи от вертикальной плиты к окружающему воздуху в условиях задачи 3, если высоту плиты увеличить в 4 раза, а все другие условия оставить без изменения?

Ответ: .  $\alpha_1 / \alpha_2 = 1$ .

1. Водяной калориметр, имеющий форму трубки, с наружным диаметром d=16 мм помещён в поперечный поток воздуха. Воздух движется со скоростью 3м/спод углом  $90^0$  к оси калориметра и имеет среднюю температу $T_f=20^0$ С. При стационарном тепловом режиме на внешней поверхности калориметра устанавливается постоянная средняя температура  $T_w=80^0$ С. Вычислить коэффициент теплоотдачи от трубки к воздуху и тепловой поток на единицу длины калориметра.

Otbet:  $\alpha = 46.9 \text{ Bt/(m}^2 \cdot \text{K}); q_l = 141.37 \text{ Bt/m}.$ 

## Контрольные вопросы

- 1. Какова формула расчета теплового потока?
- 2.К чему сводится задача расчета теплового потока?
- 3. Что характеризует критерий подобия?

#### ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3

**Тема:** Решение задач по определению коэффициентов теплопроводности и теплоотдачи расчетным путем (2 часа)

**Цель** занятия: научиться определять коэффициенты теплопроводности и теплоотдачи при решении задач.

Теоретическое введение

Теплопередача через плоскую стенку

Расчет теплопередачи через плоскую стенку удобно выполнять, используя поверхностную плотность теплового потока

$$q = \frac{Q}{F}$$

где Q – тепловой поток,  $B_T$ ; F – площадь стенки,  $M^2$ .

В этом случае  $q = \frac{\Delta T}{R_1}$ ,

где  $\Delta T$  — перепад температуры на заданном участке теплообмена, К (°С), который может состоять из одного или нескольких смежных элементарных участков теплообмена: теплоотдачи и теплопроводности;

 $R_t$  — термическое сопротивление теплообмена этого участка или совокупности смежных участков, (м $^2$ ·К)/Вт.

Термическое сопротивление теплоотдачи рассчитывается по формуле

$$R_{t,\alpha}=\frac{1}{\alpha},$$

где  $\alpha$  — коэффициент теплоотдачи,  $BT/(M^2 \cdot K)$ .

Формула для расчета термического сопротивления теплопроводности через і-й слой плоской стенки имеет вид

$$R_{t,i} = \frac{\delta_i}{\lambda_i},$$

где  $\boldsymbol{\delta}_i$  — толщина і-го слоя, м;  $\lambda_i$  — коэффициент теплопроводности і-го слоя многослойной стенки,  $\mathrm{Br}/(\mathrm{m}\cdot\mathrm{K})$ .

Термическое сопротивление теплопередачи равно сумме термических сопротивлений всех элементарных участков теплообмена.

Рекомендуемая последовательность решения:

- а) определяют термические сопротивления всех элементарных участков;
- б) по двум заданным температурам в системе теплообмена находят плотность теплового потока;
- в) по найденному значению q и одной из известных температур рассчитывают остальные неизвестные температуры слоев и жидкостей.

Теплопередача через цилиндрическую стенку

Для расчета теплопередачи через стенку цилиндрической формы используют удельный тепловой поток, который называют линейной плотностью теплового потока  $q_l = \frac{Q}{l}$ 

где Q — тепловой поток, Bт; I— длина цилиндрической стенки, M.

$$q_l = \frac{\pi \cdot \triangle T}{R_l},$$

где  $\Delta T$  — перепад температуры на заданном участке теплообмена, К (°С), который может состоять из ряда элементарных участков теплообмена: теплоотдачи и теплопроводности;  $R_I$  линейное термическое сопротивление теплообмена этого участка, (м·К)/Вт.

Линейное термическое сопротивление теплоотдачи рассчитывают по формуле  $R_{l,\alpha}=\frac{1}{\alpha\cdot d},$ 

где  $\alpha$  — коэффициент теплоотдачи,  $Bt/(m^2 \cdot K)$ ; d — диаметр омываемой поверхности цилиндрической стенки, м.

Линейное термическое сопротивление теплопроводности i-го слоя цилиндрической стенки рассчитывают по формуле

$$R_{l,i} = \frac{1}{2 \cdot \lambda_i} \cdot \ln \frac{d_{i+1}}{d_i},$$

в которой  $\lambda_i$  — коэффициент теплопроводности і-го слоя цилиндрической стенки,  $\mathrm{Br}/(\mathrm{M}\cdot\mathrm{K});$ 

 $d_i u d_{i+1}$  — внутренний и наружный диаметры i-го слоя цилиндрической стенки, м.

Рекомендуемый порядок решения задачи теплопередачи через цилиндрическую стенку полностью совпадает с рассмотренным выше алгоритмом решения для плоской стенки.

## Примеры решения задач

Задача 1.Определить термическое сопротивление теплопроводности  $R_t$  и толщину  $\delta$  плоской однослойной стенки, если при разности температур ее поверхностей  $\Delta T = T_{w1} - T_{w2} = 75^{0} \text{C}$  через нее проходит стационарный тепловой поток плотностью q=3 кBт/ $m^2$ . Коэффициент теплопроводности стенки  $\lambda=2$  Bт/( $m\cdot K$ ).

#### Решение

Поверхностная плотность теплового потока через однослойную стенку

$$q = \Delta T/R_t$$

где  $R_t = \Delta T/q$ 

Определим  $R_t = \Delta T/q$  и  $\pmb{\delta} = \lambda \cdot R_t$ 

По условию задачи q=3 кВт/м $^2=3000$  Вт/м $^2$ , тогда

$$R_t = \Delta T/q = 75/3000 = 0,025 \text{ (M}^2 \cdot \text{K)/BT}, \delta = \lambda \cdot R_t = 2 \cdot 0,025 = 0,05 \text{ M}.$$

Otbet:  $R_t = 0.025 \text{ (m}^2 \text{ K)/Bt; } \delta = 0.05 \text{ m}.$ 

Задача 2.Плоская стенка толщиной  $\delta$ =50 мм с коэффициентом теплопроводности  $\lambda$ =2 Вт/(м·К) пропускает стационарный тепловой поток, имеющий поверхностную плотность q=3 кВт/м². Температура тепловоспринимающей поверхности стенки  $T_{w1}$ =100  $^{0}$ С. Определить термическое сопротивление теплопроводности стенки  $R_{t}$  и температуру теплоотдающей поверхности  $T_{w2}$ .

#### Решение

Поверхностная плотность теплового потока

$$q = \Delta T/R_t = (T_{w1} - T_{w2})/R_t$$
, где  $R_t = \delta / \lambda = 0.05/2 = 0.025 (м2·K)/Bт.$ 

$$T_{w1}$$
- $T_{w2}$ =  $q \cdot R_t$ 

следовательно,  $T_{w1} = T_{w2} - q \cdot R_t = 100 - 3000 \cdot 0.025 = 25$   $^{0}C$ 

Otbet:  $R_t = 0.025 \text{ (M}^2 \cdot \text{K)/BT}$ ;  $T_{w2} = 25 \, {}^{0}\text{C}$ .

Задача 3.Плоская стенка состоит из трёх слоев толщиной  $\delta_1$ =100 мм,  $\delta_2$ =80 мм и  $\delta_3$ =50 мм, коэффициенты теплопроводности слоев соответственно равны  $\lambda_1$ =2 Bt/(м·K),  $\lambda_2$ = = 8 Bt/(м·K) и  $\lambda_3$ =10 Bt/(м·K). Второй слой имеет температуры поверхностей  $T_{1-2}$ =120  $^0$ C и  $T_{2-3}$ =45  $^0$ C. Определить температуры наружных поверхностей  $T_{w1}$  и  $T_{w2}$ .

#### Решение

Полное термическое сопротивление теплопроводности трехслойной стенки равно сумме термических сопротивлений слоев:

$$\begin{split} R_{t1} = & \boldsymbol{\delta}_1/\lambda_1 = 0,1/2 = 0,05 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/BT;} \\ R_{t2} = & \boldsymbol{\delta}_2/\lambda_2 = 0,08/8 = 0,01 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/BT;} \\ R_{t3} = & \boldsymbol{\delta}_3/\lambda_3 = 0,05/10 = 0,005 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/BT;} \\ R_{t} = & R_{t1} + R_{t2} + R_{t3} = 0,05 + 0,010,005 = 0,065 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/BT} \end{split}$$

Поверхностная плотность теплового потока стационарного режима теплообмена постоянна для каждого из слоев и выражается через параметры любого слоя

$$q = \frac{T_{W1} - T_{1-2}}{R_{t1}} = \frac{T_{1-2} - T_{2-3}}{R_{t2}} = \frac{T_{2-3} - T_{W2}}{R_{t3}};$$

$$q = \frac{T_{1-2} - T_{2-3}}{R_{t2}} = \frac{120 - 45}{0.01} = 7500 \frac{Bm}{M^2}.$$

Выразим искомые температуры наружных поверхностей стенок:

$$T_{w1}=T_{1-2}+q\cdot R_{t1}=120+7500\cdot 0,05=495$$
 <sup>0</sup>C;  $T_{w2}=T_{2-3}-q\cdot R_{t3}=45-7500\cdot 0,005=7,5$  <sup>0</sup>C.

Величину q можно выразить также через суммарное термическое сопротивление стенки

$$q = \frac{T_{w1} - T_{w2}}{R_{t1} + R_{t2} + R_{t3}} = \frac{T_{w1} - T_{w2}}{R_t}$$

Это выражение можно использовать для проверки правильности расчетов

Q=
$$(495-7,5)/0,065=7500 \text{ BT/M}^2$$
  
OTBET:  $T_{w1}=495 \, ^{0}\text{C}, T_{w2}=7,5 \, ^{0}\text{C}.$ 

Задача 4.Плоская однослойная стенка толщиной  $\delta$ =80 мм с коэффициентом теплопроводности  $\lambda=8$  BT/(м·K) в процессе теплопередачи имеет температуры  $T_{w1}$ =120 $^{0}$ C и  $T_{w2}$ =45 $^{0}$ C. Определить термические сопротивления, коэффициент теплопередачи и температуры горячей и холодной среды, омывающей поверхности стенки, если коэффициенты теплоотдачи составляют  $\alpha_{1}$ =20 BT/(м $^{2}$ ·K) и  $\alpha_{2}$ =200 BT/(м $^{2}$ ·K) соответственно.

#### Решение

Полное термическое сопротивление процесса тепло- передачи через однослойную, плоскую стенку равно сумме термических сопротивлений следующих слоев:

- теплоотдачи от горячей жидкости к стенке  $R_{t,\alpha_1}=1/\pmb{\alpha}_1=1/20=0,05~(\text{м}^2\cdot\text{K})/\text{Bt};$ 
  - теплопроводности стенки  $R_{t,\alpha_2} = \delta/\lambda = 0.08/8 = 0.01 \text{ (м}^2 \cdot \text{K)/Bt}$
  - -теплоотдачи от стенки к холодной жидкости

$$R_{t,2}=1/\alpha_2=1/200=0,005 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/Bt}.$$

Полное термическое сопротивление

$$R_t = 1/\alpha_1 + \delta/\lambda + 1/\alpha_2 = 0.05 + 0.01 + 0.005 = 0.065 \text{ (M}^2 \cdot \text{K)/BT}$$

Коэффициент теплопередачи

$$k=1/R_t=1/0,065=15,38 \text{ BT/(M}^2\cdot\text{K)}$$

Поверхностная плотность теплового потока при стационарном режиме теплообмена постоянна для каждого из участков (слоев) и выражается через параметры любого слоя.

Например, 
$$q = \frac{T_{f1} - T_{f2}}{R_{t,\alpha 1}}$$
 или $q = \frac{T_{w2} - T_{f2}}{R_{t,\alpha 2}}$ .

Определим температуры горячей и холодной среды:

$$T_{f1}=T_{w1}+q\cdot R_{t,1}=120+7500\cdot 0,05=495^{0}C;T_{f2}=T_{w2}+q\cdot R_{t,\alpha_{2}}=45-7500\cdot 0,005=7,5^{0}C$$

OTBET: 
$$k=15,38$$
 BT/( $M^2\cdot K$ );  $T_{f1}=495$   $^{0}$ C;  $T_{f2}=7,5$   $^{0}$ C.

Задача 5.Вычислить потерю теплоты с 1 м неизолированного трубопровода диаметром  $d_1/d_2=150/165$  мм, проложенного на открытом воздухе, если внутри трубы протекает вода со средней температурой  $T_{f1}=100~^0\text{C}$ , а температура окружающего воздуха  $T_{f2}=-5^0\text{C}$ . Коэффициент теплопроводности материала трубы  $\lambda=50$ 

Вт/(м·К). Коэффициент теплоотдачи от воды к стенке трубы  $\alpha_1$  =1000 Вт/(м²·К) и от трубы к окружающему воздуху  $\alpha_2$  =12 Вт/(м²·К)). Определить также температуры на внутренней и внешней поверхности трубы.

#### Решение

Термическое сопротивление теплоотдачи от горячей жидкости к стенке

$$R_{t,\alpha_1} = 1/(d_1 \cdot \alpha_1) = 1/(0,15 \cdot 1000) = 0,00667 \text{ (M·K)/Bt.}$$

Термическое сопротивление теплопроводности стенки

$$R_{t,\lambda} = \frac{1}{2 \cdot \lambda} \cdot \ln \frac{d_2}{d_1} = \frac{1}{2 \cdot 50} \ln \frac{165}{150} = 0,000953 \text{ (M} \cdot \text{K)/Bm}.$$

Термическое сопротивление теплоотдачи от стенки к воздуху  $R_{t,1}$ =1/  $(d_2\cdot \alpha_2)$ =1/ $(0.165\cdot 12)$ =0,50505 (м·К)/Вт.

Линейная плотность теплового потока

$$q_l = \frac{\pi \cdot (T_{f1} - T_{f2})}{R_{t,\alpha_1} + R_{t,\lambda} + R_{t,\alpha_2}} = \frac{3,14 \cdot (100 - (-5))}{0,00667 + 0,000953 + 0,50505} = 642 \ Bm/m^2.$$

Температуры на внутренней и внешней поверхностях трубы:

$$T_{w1} = T_{f1} - \frac{q_l \cdot R_{t,\alpha 1}}{\pi} = 100 - \frac{643 \cdot 0,00667}{3,14} = 98,63^{\circ}C$$

$$T_{w2} = T_{f2} - \frac{q_l \cdot R_{t,\alpha 2}}{\pi} = -5 - \frac{643 \cdot 0,50505}{3,14} = 98,42^{\circ}C$$

Ответ:  $q_1$ =643 Bт/м;  $T_{w1}$ = 98,63 $^{0}$ C;  $T_{w2}$ =98,42 $^{0}$ C.

## Практические задания

1. Определить линейное термическое сопротивление теплопроводности  $R_1$  и толщину стенки  $\boldsymbol{\delta}$  стальной трубы, внутренний диаметр которой  $d_1$ =8,5 мм, если при разности температур её поверхностей  $\Delta T$ =0,02 $^0$ C с участка трубопровода длинной l=100 м в окружающую среду в течение часа теряется теплота Q = 445 МДж. Режим теплообмена стационарный. Коэффициент теплопроводности материала трубы  $\lambda$ =16 Вт/(м·К).

Ответ:  $R_1 = 5.081 \cdot 10^{-3} \text{ (м·К)/BT; } \delta = 0.75 \text{ мм.}$ 

2. Стены сушильной камеры выполнены из слоя красного кирпича толщиной  $\boldsymbol{\delta}_1$ =250 мм и слоя строительного войлока. Температура на внутренней поверхности кирпичного слоя

 $T_{w1}$ =130 $^{0}$ С, а на внешней поверхности войлочного слоя  $T_{w2}$ =40 $^{0}$ С. Коэффициент теплопроводности красного кирпича 0,7 Вт/(м·К) и строительного войлока 0,0465 Вт/(м·К). Вычислить температуру в плоскости соприкосновения слоев  $T_{1-2}$  и толщину войлочного слоя при условии, что тепловые потери через 1 м $^{2}$  стенки камеры равны q=130 Вт/м $^{2}$ .

Ответ:  $T_{1-2}=83.5^{\circ}C$ ;  $\delta \approx 15.6$  мм.

3. Вычислить потери теплоты через единицу поверхности кирпичной обмуровки парового котла и температуры на поверхностях стенки, если толщина стенки  $\delta$ =250 мм, температура газов  $T_{f1}$ = 720  $^{0}$ C, воздуха в котельной  $T_{f2}$ = 25 $^{0}$  C. Коэффициент теплоотдачи от газов к поверхности стенки  $\alpha_{1}$ = 23 Bt /( $\alpha^{2}$ · K) и от стенки к воздуху  $\alpha_{2}$ = 12 Bt /( $\alpha^{2}$ · K). Коэффициент теплопроводности стенки равен  $\alpha_{1}$ = 0,7 Bt /( $\alpha^{2}$ · K).

Otbet:  $q = 1436,25 \text{ Bt /m}^2$ ;  $T_{w1} = 657,6 \, ^{0}\text{C}$ ;  $T_{w2} = 169,7 \, ^{0}\text{C}$ .

4. Стальной трубопровод диаметром  $d_1/d_2=150/160$  мм с коэффициентом теплопроводности  $\lambda_1=50$  BT /(м K) покрыт изоляцией в два слоя одинаковой толщины  $\delta_2=\delta_3=60$  мм. Температура внутренней поверхности трубы  $T_{w1}=250^0$  С и наружной поверхности изоляции  $T_{w2}=50^0$ С. Определить потери теплоты через изоляцию с 1м трубопровода, и температуру на границе соприкосновения слоёв изоляции, если первый слой изоляции, накладываемый на поверхность трубы, выполнен из материала с коэффициентом теплопроводности  $\lambda_2=0.06$  BT /(м K), а второй слой — из материала с коэффициентом теплопроводности  $\lambda_2=0.12$  BT /(м K).

Otbet:  $q_l = 102,2 \text{ Bt/m}$ ;  $T_{2-3} = 98,22^0 \text{ C}$ .

5. Как изменятся тепловые потери с 1м трубопровода (см. задачу 4), если слои изоляции поменять местами, т.е. слой с большим коэффициентом теплопроводности наложить непосредственно на поверхность трубы? Все другие условия оставить без изменений.

Otbet:  $q_1 = 118,39 \text{ Bt/m}$ ;  $T_{2-3} = 162,1^0 \text{ C}$ .

## Контрольные вопросы

- 1. Как рассчитать теплопередачу через плоскую стенку?
- 2. Что такое термическое сопротивление теплопередачи?
- 3. Как рассчитать теплопередачу через стенку цилиндрической формы?

#### ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 4

**Тема:** Расчеты гидравлических параметров: напор, расход, потери напоров, гидравлических сопротивлений (4 часа)

**Цель занятия:** научиться определять гидравлические параметры: напор, расход, потери напоров, гидравлических сопротивлений при решении задач.

Теоретическое введение

Порядок расчета потерь напора

Вычисляются значения средней скорости потока

$$V = \frac{Q}{A}$$

где Q - расход жидкости через трубопровод,

A - площадь живого сечения,  $A = \pi d^2/4$ ,

d - внутренний диаметр трубы, м число Рейнольдса Re

$$Re = \frac{V \cdot 4R_{\Gamma}}{v}$$

где V - средняя скорость течения жидкости, м/с,

d - диаметр живого сечения, м,  $\nu$  - кинематический коэффициент вязкости, кв.м/с,  $R\Gamma$  - гидравлический радиус, для круглой трубы  $R\Gamma$ =d/4, d - внутренний диаметр трубы, м

Определяется режим течения жидкости и выбирается формула для определения коэффициента гидравлического трения.

Для ламинарного течения Re<2000 используются формула Пуазеля.

$$\lambda_{\rm I} = \frac{64}{\rm Re}$$

Для переходного режима 2000<Re<4000 – зависимость:

$$\lambda_{II} = (1 - \chi) \cdot \lambda_{I} + \chi \cdot \lambda_{III}$$

$$\chi = \sin^{2} \left[ \frac{\pi}{2} \left( \frac{Re}{2000} - 1 \right) \right]$$

Для турбулентного течения Re>4000 универсальная формула Альтшуля.

где к= $\Delta/d$ ,  $\Delta$  - абсолютная эквивалентная шероховатость.

$$\lambda = 0.11(\kappa + \frac{68}{Re})^{0.25}$$

Потери напора по длине трубопровода вычисляются по формуле Дарси — Вейсбаха.

$$\Delta h = \lambda \frac{l}{D} \frac{V^2}{2g}$$

Потери напора и давления связаны зависимостью.

$$\Delta p = \Delta h \rho g$$

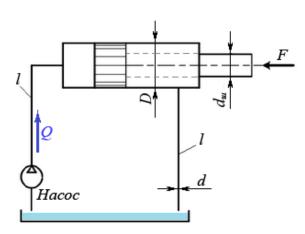
где  $\rho$  - плотность, g - ускорение свободного падения.

Потери давления по длине можно вычислить, используя формулу Дарси — Вейсбаха.

$$\Delta P = \lambda \frac{l}{D} \frac{V^2}{2} \rho$$

## Примеры решения задач

Задача 1.Определить скорость движения жидкости в подводящей линии и скорость поршня, если известны:



диаметр трубопровода d = 0.012 м; диаметр поршня D = 0.07 м; подача насоса  $Q = 1.7x10^{-3} \text{ м}^{3/}c$ .

Потери напора в местных сопротивлениях не учитывать.

#### Решение

Скорость движения жидкости в подводящей линии:

$$v_{\mathcal{K}} = Q/S_T = 4Q/\pi d^2 = (4 \times 1, 7 \times 10^{-3})/(3, 14 \times 0, 012^2) = 15,04 \text{ m/c}.$$

 $\Gamma = \pi d^2/4$  — площадь сечения трубопровода подводящей линии.

Скорость перемещения поршня:

$$v_{II} = Q/S_{II} = 4Q/\pi D^2 = (4 \times 1,7 \times 10^{-3})/(3,14 \times 0,07^2) = 0,44 \text{ m/c}.$$

Ответ: скорость движения жидкости в подводящей линии – 15,04 м/с,

скорость поршня -0.44 м/с.

Задача 2.Определить расход жидкости, вытесняемой из штоковой области и скорость движения жидкости в отводящей линии, если известны:

скорость поршня  $v_{\Pi} = 0.44 \text{ м/c}$ .

диаметр трубопровода  $d = 0.012 \, \text{м}$ ;

диаметр поршня  $D = 0.07 \, M$ ;

Потери напора в местных сопротивлениях не учитывать.

#### Решение

Расход жидкости, вытесняемой из штоковой области:

$$Q_{III} = v_{\Pi}(S_{\Pi} - S_{III}) = v_{\Pi}(\pi D^{2}/4 - \pi d^{2}/4) = \pi v_{\Pi} (D^{2} - d^{2})/4 = 3,14 \times 0,44 \times (0,07^{2} - 0,012^{2})/4 = 1,14 \times 10^{-3} \text{ m}^{3}/c,$$

где $S_{I\!I}$  и  $S_{I\!I\!I}$  — соответственно площадь поршня и площадь штока.

Скорость движения жидкости в отводящей линии:

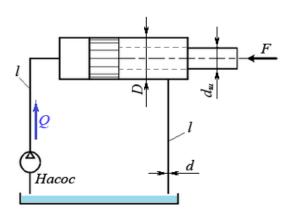
$$v_{\mathcal{K}} = Q_{III}/S_T = 4Q_{III}/\pi d^2 = (4 \times 1,14 \times 10^{-3})/(3,14 \times 0,012^2) = 10,08$$
<sub>M/c</sub>,

где  $\mathbf{S}_T$  – площадь сечения отводящей линии.

Ответ: расход жидкости в отводящей линии -1,14 л/с,

скорость движения жидкости в отводящей линии -10,08 м/с.

Задача 3.Определить режимы движения рабочей жидкости в питающей и отводящей линии изображенного на схеме гидропривода.



Исходные данные:

Скорость движения жидкости в питающей линии

 $v_1 = 15,04 \ \text{м/c}$ , скорость движения жидкости в отводящей линии  $v_2 = 10,08 \ \text{м/c}$ , вязкость жидкости  $v = 0.5 \times 10^{-4}$ , диаметр трубопроводов  $d = 0,012 \ \text{м}$ .

Критическое число Рейнольдса для рабочей жидкости равно $Re_{\kappa p}$ =2320

Потери напора в местных сопротивлениях и трубопроводах не учитывать.

#### Решение

Числа Рейнольдса, характеризующее режим движения жидкости, определяется по формуле:

Re = vd /v, где v - cкорость движения жидкости в трубопроводе,

d — диаметр трубопровода, v — кинематическая вязкость жидкости.

Тогда для питающей и отводящей линии число Рейнольдса будет соответственно равно:

$$Re_1 = v_1 d / v = (15,04 \times 0,012)/(0,5 \times 10^{-4}) = 3610;$$
  
 $Re_2 = v_2 d / v = (10,08 \times 0,012)/(0,5 \times 10^{-4}) = 2419.$ 

Так как, полученные числа  $Re_1$  и  $Re_2$  больше критического  $Re_{\kappa p}$ =2320, то движение жидкости в обоих случаях будет турбулентным.

Ответ: в питающей и отводящей линии режим движения жидкости будет турбулентным.

Задача 4. Вода вытекает через отверстие в тонкой стенке в бак, имеющий объем  $V=1,90~\text{m}^2$ . Площадь отверстия  $S=20~\text{cm}^2$ . Напор

над центром отверстия  $H_1=0.90$  м является постоянным. Коэффициент расхода отверстия  $\mu_S=0.62$ . Определить время t наполнения бака водой.

#### Решение

При истечении жидкости, из малого отверстия в тонкой стенке при постоянном напоре объемный расход определяется по формуле:

$$Q = \mu_S S \sqrt{(2gH)} \quad (M^3/c),$$

где:  $g = 9.81 \text{ м/c}^2$  - ускорение свободного падения.

Приведем исходные данные к системе единиц СИ (S = 0.002  $\text{M}^2$ ), и, подставив известные величины в формулу, получим:

$$Q = 0.62 \times 0.002 \times \sqrt{(2 \times 9.81 \times 0.9)} \approx 0.00521 \text{ m}^3/\text{c}.$$

Чтобы определить время заполнения бака водой необходимо объем бака разделить на полученный объемный расход жидкости:

$$t = V/Q = 1,9/0,00521 \approx 365$$
 сек.

Ответ: время заполнения бака водой составит чуть более 6 минут.

Задача 5. Определите, какова объемная подача двухцилиндрового поршневого насоса, если диаметр его поршней  $d=0,1\,$  м, рабочий ход поршней  $l=0,1\,$  м, частота вращения вала приводного электродвигателя  $n=960\,$  мин $^{-1}$ . Объемные потери не учитывать.

#### Решение

Объемная подача поршневого насоса может быть определена, как рабочий объем всех его цилиндров, умноженный на

количество рабочих циклов за единицу времени. Частота вращения вала насоса  $n = 960 \text{ мин}^{-1} = 16 \text{ c}^{-1}$ , т. е. за одну секунду двухцилиндровый насос совершает  $2 \times 16$  рабочих циклов (каждый цилиндр за один оборот совершает 1 цикл).

Рабочий объем одного цилиндра:  $V_{II} = 1 \pi d^2/4$  (м<sup>3</sup>).

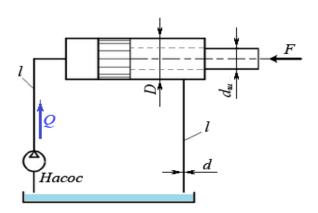
Тогда объемная подача насоса (без учета потерь) при данной частоте вращения составит:

$$Q = 2 \times 16 \times 1 \text{ md}^2/4 = 2 \times 16 \times 0, 1 \times 3, 14 \times 0, 1^2/4 = 0,02512 \text{ m}^3/\text{c}.$$

Ответ: объемная подача насоса составляет чуть более 25 л/с.

## Практические задания

1.Определить скорость движения жидкости в подводящей линии и скорость поршня, если известны:



диаметр трубопровода d = 0.018 м; диаметр поршня D = 0.09 м; подача насоса  $Q = 1.7x10^{-3} \text{ м}^{3/}c$ .

Потери напора в местных сопротивлениях не учитывать.

2.Определить расход жидкости, вытесняемой из штоковой области и скорость движения жидкости в отводящей линии, если известны:

скорость поршня  $v_{\Pi} = 0.56 \text{м/c}$ . диаметр трубопровода d = 0.018 м; диаметр поршня D = 0.09 м;

Потери напора в местных сопротивлениях не учитывать.

3. Определить режимы движения рабочей жидкости в питающей и отводящей линии изображенного на схеме гидропривода.

## Исходные данные:

Скорость движения жидкости в питающей линии

 $v_1 = 17,06 \ \text{м/c},$  скорость движения жидкости в отводящей линии  $v_2 = 11,06 \ \text{м/c},$ 

вязкость жидкости  $v = 0.5 \times 10^{-4}$ , диаметр трубопроводов d = 0.018 M.

Критическое число Рейнольдса для рабочей жидкости равно $Re_{\kappa p}$ =2320

Потери напора в местных сопротивлениях и трубопроводах не учитывать.

4. Вода вытекает из бака через конический сходящийся насадок с минимальным пропускным сечением S=2  $cm^2$  в ведро емкостью V=10 л. Коэффициент расхода насадка  $\mu_S=0.96$ .



Уровень воды в баке поддерживается постоянным от водопроводной сети. Центр сечения насадка расположен на глубине H = 1,2 м от поверхности воды в баке.

Определить время тзаполнения ведра водой.

5. При частоте вращения вала 1000 мин<sup>-1</sup> центробежный насос потребляет 4 кВт энергии, подает 20 литров воды в секунду под напором 10 метров. Определить, как изменятся рабочие параметры насоса, если частоту вращения вала увеличить до 3000 мин<sup>-1</sup>.

## Контрольные вопросы

- 1. Как определить расход жидкости?
- 2. Как определить режим движения рабочей жидкости?
- 3. Каковы рабочие параметры насоса и как их определить.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Лепёшкин, А.В. Гидравлические и пневматические системы: учебник для студ. учреждений сред. проф образования/ А.В. Лепёшкин, А.А. Михайлин.- Москва: Издательский центр «Академия», 2008.
  - 2. Брюханов, О.Н. Основы гидравлики и теплотехники: учебник для сред.проф. образования/ О.Н. Брюханов, А.Т. Мелик-Аракелян.- Москва: Издательский центр «Академия», 2010.

## Учебно-методическое издание

## Репина Олеся Юрьевна

#### ОСНОВЫ ГИДРАВЛИКИ, ТЕПЛОТЕХНИКИ И АЭРОДИНАМИКИ

## Методические указания для практических занятий

Отв. за выпуск Кузнецова И.И. Подписано в печать 19.01. 2023г. Формат 60х841/16. Бумага офсетная. Ризография. Усл.-печ.л.1,86. Уч.-изд. л.2,00. Тираж 50 экз.

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова

Адрес ун-та: 346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132

Отпечатано в Шахтинском автодорожном институте (филиале) ЮРГПУ(НПИ) им. М.И. Платова