

ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ

**Кафедра механизации животноводства и переработки
сельскохозяйственной продукции**

ГИДРАВЛИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА

Часть I. Раздел гидравлика

**рабочая тетрадь
для лабораторных работ**

СТУДЕНТ _____
(Ф.И.О разборчиво)

ГРУППА _____

Новосибирск 2023

Кафедра механизации животноводства и переработки сельскохозяйственной продукции

УДК 621.1

ББК 31.3

Гидравлика и теплотехника. Часть I. Раздел гидравлика: рабочая тетрадь для лабораторных работ / Новосиб. гос. аграр. ун-т. Инженер. ин-т; сост: А.А. Диденко, А.Г. Христенко, Д.С. Рудаков. – Новосибирск, 2023– 34с.

Рецензент, доцент, канд. техн. наук Е. А. Булаев.

Рабочая тетрадь предназначена для студентов очной и заочной формы обучения, по направлениям:

Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов;

Технология транспортных процессов;

Профессиональное обучение (по отраслям);

Утверждены и рекомендованы к изданию методическим советом Инженерного института НГАУ (протокол №8 от 28 марта 2023 г.)

ВВЕДЕНИЕ

Современная гидравлика является технической наукой. Предметом гидравлики служат жидкости и законы, действующие в них и используемые преимущественно при решении разнообразных вопросов инженерной практики, как, например, при расчетах потоков в трубопроводах, гидротехнических сооружений, гидравлических машин и т.д.

Гидравлика делится на 2 части: гидростатику и гидродинамику. Гидростатика изучает законы движения жидкостей и взаимодействие их с соприкасающимися с ними покоящимися или движущимися твердыми телами.

ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ

При проведении лабораторных работ необходимо соблюдать следующие правила безопасности:

- перед пуском убедиться в исправности лабораторных установок, отсутствии посторонних предметов в камерах рабочих органов, надежном креплении откидных крышек и люков;
- подать сигнал о пуске лабораторной установки;
- во время работы один из студентов должен быть рядом с кнопкой «СТОП»;
- запрещается производить запуск установки в отсутствие преподавателя, а также приводить в действие лабораторные установки с ручным приводом;
- при изучении лабораторных установок обязательна надежная фиксация откидных крышек и люков в открытом положении и отключенном рубильнике электросети питающей установку.

Ознакомление с правилами техники безопасности каждый студент подтверждает подписью в журнале инструктажа на рабочем месте.

Занятие № 1

Давление в покоящейся жидкости. Основное уравнение гидростатики.

Задача 1

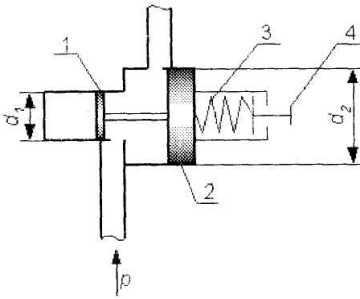


Рисунок 1

Предохранительный клапан имеет запорное устройство, состоящее из двух жестко закрепленных поршней 1 и 2 диаметром $d_1 = 10$ мм и $d_2 = 30$ мм. Клапан открывается, когда запорное устройство перемещается вправо, сжимая пружину 3. Пружина поджимается установочным винтом 4, в зависимости от расчетного давления, при котором клапан открывается. Определить поджатие пружины X , если ее жесткость $C = 10$ кН/мм, а давление $p = 0,5$ МПа.

Решение

Задача 2

В закрытом резервуаре находится жидкость под давлением. В крышке резервуара установлен манометр, который показывает $P_m = 19,6$ кН/м². На глубине $H_0 = 4$ м. подключен ртутный манометр. Определить разность уровней ртути в манометре – h , если удельный вес жидкости $\gamma_{\text{жид}} = 8,83$ кН/м³, ртути 133,4 кН/м³, при этом расстояние $a = 0,2$ м.

Решение

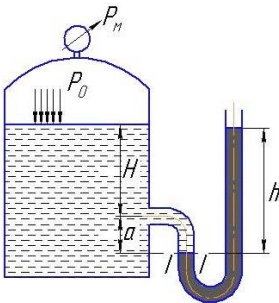


Рисунок 2

Задача 3

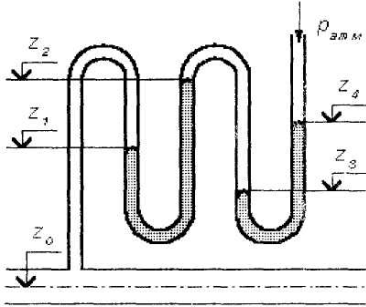


Рисунок 3

Определить избыточное давление воды в трубе по показаниям батарейного ртутного манометра. Уровни ртути относительно оси трубопровода равны: $z_1 - z_0 = 1$ м, $z_2 - z_0 = 1,7$ м, $z_3 - z_0 = 0,8$ м, $z_4 - z_0 = 1,5$ м. Плотность ртути $\rho_{рт} = 13,6$ т/м³.

Решение

Относительный покой жидкости

Задача 4

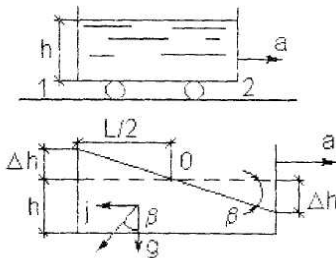


Рисунок 4

Резервуар с прямоугольным основанием наполнен водой до высоты $h = 1,2$ м и движется по горизонтальной поверхности с ускорением $a = 1,4$ м/с². Длина горизонтальной части резервуара равна $L = 5$ м. Определить избыточное давление воды на дно сосуда у передней и задней стенок в точках 1 и 2.

Решение

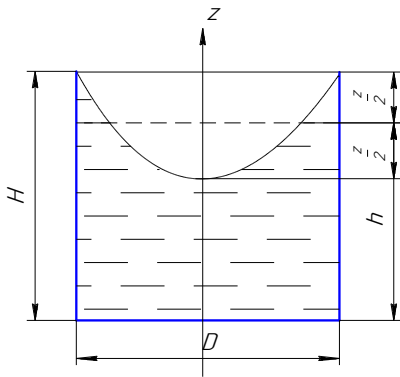


Рисунок 5

Задача 5

Определить частоту вращения n цилиндрического резервуара диаметром $D = 2$ м. Высота стенки резервуара $H = 4$ м. Первоначальный уровень жидкости в резервуаре равен $h = 3$ м.

Решение

Сила давления жидкости и центр давления на плоскую стенку

Определить силу давления воды на вертикальный прямоугольный затвор, центр давления, подъемное усилие. Ширина затвора $b = 3$ м, глубина перед затвором $h_1 = 4$ м, за ним $h_2 = 2$ м. Масса затвора $m = 1000$ кг, коэффициент трения в пазах $f = 0,5$. Расчет сил давления от воды, действующих справа и слева от затвора, произвести графоаналитическим способом.

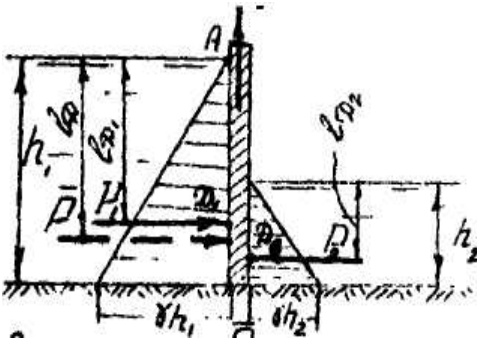


Рисунок 6

Решение

[illegible]

Применение уравнения Бернулли для потока реальной жидкости

Задача 7

К открытому резервуару подсоединен стальной трубопровод, состоящий из участка длиной $l = 15$ м, диаметром $d_1 = 50$ мм, снабженный краном. Истечение воды происходит в атмосферу под постоянным напором H . Определить расход жидкости Q вытекающей из трубы. Коэффициент местного сопротивления при внезапном сужении $\xi_{\text{суж}} = 0,4$; для крана $\xi_{\text{кр}} = 1,5$; для излива $\xi_{\text{изл}} = 0,4$.

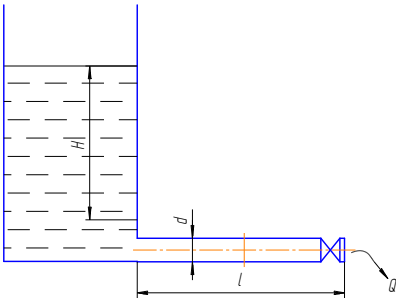


Рисунок 7

Решение

[illegible]

Задача 8

Определить расход Q жидкости через сифон из водоема А в водоем В. Длина трубопровода сифона $l = 4$ м, диаметр соответственно $d = 35$ мм, Разность уровней горизонтов составляет $H = 4$ м.

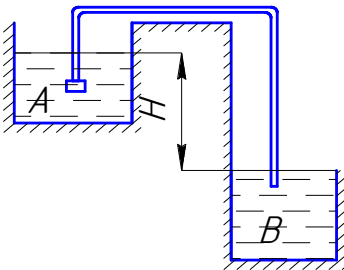


Рисунок 8

Цель работы: определения усилия силового гидроцилиндра домкратисимости от усилия на рычаге рабочего гидроцилиндра (насоса).



Таблица 1.1 – Исходные данные.

№	Р ман, кгс/см ²	Параметры рукоятки		D, мм	d, мм
		a, мм	b, мм		
1	4	28	300	32	11
2	10		350		
3	14		400		

Порядок выполнения работы

1.1 Определим силу давления на рабочем цилиндре из уравнения:

$$P = \frac{F}{S}, \text{ Па} \quad (1.1)$$

где F – сила давления, Н

S – площадь давления, м²

1. F_d = 2. F_d = 3. F_d =

1.2 Определим силу давления на силовом цилиндре из уравнения:

1. F_D = 2. F_D = 3. F_D =

1.3 Определить усилие, прикладываемое к рукоятке F_p из уравнения моментов (см. рисунок 10):

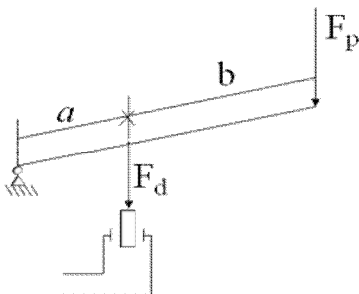


Рисунок 10 – Схема сил действующих на рукоятку.

$$F_p \cdot (a + b) > F_d \cdot a \quad (1.2)$$

где F_p – усилие на рукоятке, Н;

a – расстояние от неподвижной точки до рабочего поршня;

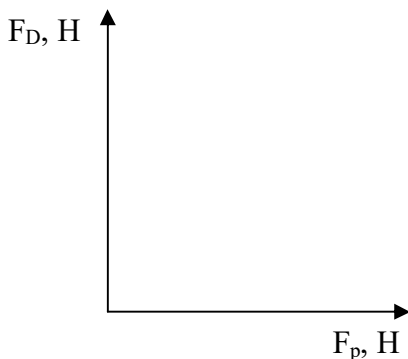
b – расстояние от рабочего поршня до края рукоятки.

1. F_p = 2. F_p = 3. F_p =

Таблица 1.2 – Результаты расчетов.

№	F_D , Н	F_d , Н	F_p , Н
1			
2			
3			

По полученным данным строим график зависимости усилия на силовом цилиндре F_D от усилия на рукоятке F_p .



Вывод: _____

Дата _____

Подпись преподавателя: _____

Контрольные вопросы

1. Устройство лабораторного стенда?
2. Сформулируйте закон Паскаля.
3. Какие гидравлические устройства основаны на законе Паскаля?

Лабораторная работа № 2

Измерение гидростатического давления

Цель работы:

- измерить с помощью пружинного манометра гидростатическое давление для трех уровней жидкости в трубках, находящейся в абсолютном покое под действием силы тяжести;

- найти погрешность теоретических и практических измерений гидростатического давления.

Порядок выполнения работы

Необходимо выполнить три опыта при различных уровнях высоты столба жидкости в цилиндрических трубках данные внести в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Исходные данные

№ п/п	Показания манометра, $P_{\text{ман}}$, кгс/см ²	h, м	Плотность жидкости, ρ , кг/м ³
1.			1000
2.			
3.			

2.1 Определить гидростатическое давление для трех уровней столба жидкости относительно нижнего уровня по уравнению

$$p = \rho \times g \times h, \text{ Па} \quad (2.1)$$

где ρ – плотность жидкости, кг/м³;

g – сила тяжести м/с²;

h – высота столба жидкости, м.

1. $P =$

2. $P =$

3. $P =$

2.2 Сравнить показания манометра M с расчетным значением давления p и определить погрешность Δ

$$\Delta = \frac{M - p}{M} \times 100, \% \quad (2.2)$$

1. $\Delta =$

2. $\Delta =$

3. $\Delta =$

Таблица 2.2 – Результаты измерений и расчетов.

№ п/п	$P_{\text{расчет}}$, Па	$P_{\text{ман}}$, Па	Δ , %
1.			
2.			
3.			

Вывод: _____

Дата _____

Подпись преподавателя: _____

Контрольные вопросы

1. Устройство лабораторного стенда?
2. Дайте определение гидростатического давления?
3. Что называется поверхностью уровня (поверхностью равного давления)?

Лабораторная работа № 3

Исследование относительного покоя жидкости

Цель работы: определение координат свободной поверхности жидкости во вращающемся с постоянной угловой скоростью сосуде.

Случай, когда **жидкость** находится в сосуде, который равномерно вращается вокруг вертикальной оси с постоянной угловой скоростью ω (рисунок 11).

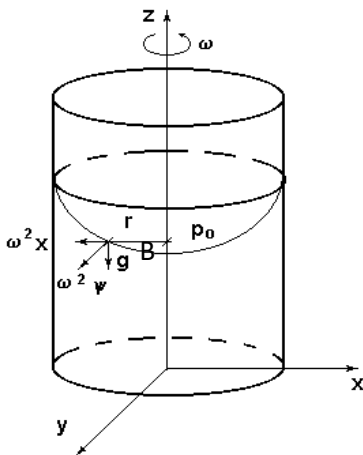


Рисунок 11 – Схема опыта.

$$\frac{\omega^2 \cdot r^2}{2} - g \cdot z = const \quad (3.1)$$

Уравнение (3.1) является уравнением параболоида вращения, который в сечении вертикальными плоскостями дает параболы, а горизонтальными плоскостями – окружности.

Положение любой точки свободной поверхности, например точки B (рисунок 11), определяется координатой

$$z_B = \frac{\omega^2 \cdot r_B^2}{2 \cdot g} \quad (3.2)$$

где r_B – радиус точки B .

По отношению к дну самая высокая точка свободной поверхности находится на расстоянии

$$z_B = \frac{\omega^2 \cdot r_B^2}{2 \cdot g} \quad (3.3)$$

Самой низкой точкой параболоида вращения является точка на оси цилиндра (начало координат). Точка соответствует максимальному понижению свободной поверхности по оси резервуара относительно статического уровня H . Ее расстояние от дна резервуара h_0 равно

$$h_0 = H - \frac{\omega^2 \cdot R^2}{4 \cdot g} \quad (3.4)$$

Порядок выполнения работы

3.1 Определить угловую скорость вращения:

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} \quad (3.5)$$

1. $\omega =$

2. $\omega =$

3. $\omega =$

3.2 Определить расстояние от дна до статического уровня H экспериментально.

3.3 Определить экспериментальное понижение уровня свободной поверхности по оси вращения h_0 .

3.4 Определить теоретическое понижение уровня свободной поверхности по оси вращения

$$h_0 = H - \frac{\omega^2 \cdot R^2}{4 \cdot g} \quad (3.6)$$

где R – радиус цилиндра, м;

g – ускорение свободного падения, $g = 9,80 \text{ м/с}^2$.

1. $h_0 =$

2. $h_0 =$

3. $h_0 =$

3.5 Определить экспериментальное повышение уровня свободной поверхности по оси вращения H_0 теор

3.6 Определить теоретическое повышение уровня свободной поверхности по оси вращения

$$H_0 = H + \frac{\omega^2 \cdot R^2}{4 \cdot g} \quad (3.7)$$

1. $H_0 =$

2. $H_0 =$

3. $H_0 =$

Экспериментальные данные и результаты обработки заносят в таблицу 3.1.

Таблица 3.1. Экспериментальные данные и результаты обработки

№ п/п	Частота вращения	Угловая скорость	Расстояние от дна до статического уровня	Экспериментальное понижение уровня свободной поверхности	Теоретическое понижение уровня свободной поверхности	Относительная погрешность	Экспериментальное повышение уровня свободной поверхности	Теоретическое повышение уровня свободной поверхности	Относительная погрешность
	n , об/мин	ω , с. ⁻¹	H , м	h_0 , м	$h_{0 \text{ теор}}$, м	Δh , %	H_0 , м	$H_{0 \text{ теор}}$, м	ΔH , %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1									
2									
3									

Z, м

R, м

Вывод: _____

Дата _____

Подпись преподавателя: _____

Контрольные вопросы

1. Устройство лабораторного стенда?
2. Написать общее дифференциальное уравнение поверхности уровня?

3. Написать и обосновать уравнение параболоида вращения?

Лабораторная работа № 4

Определение критического значения числа ($Re_{кр}$)

Цель работы:

- наблюдение ламинарного и турбулентного режимов движения воды в стеклянной трубке;
- измерение потерь напора на преодоление трения по длине стеклянной трубки;
- нахождение критического значения скорости $V_{кр}$;
- вычисление критического числа Рейнольдса – $Re_{кр}$ (рисунок 13).

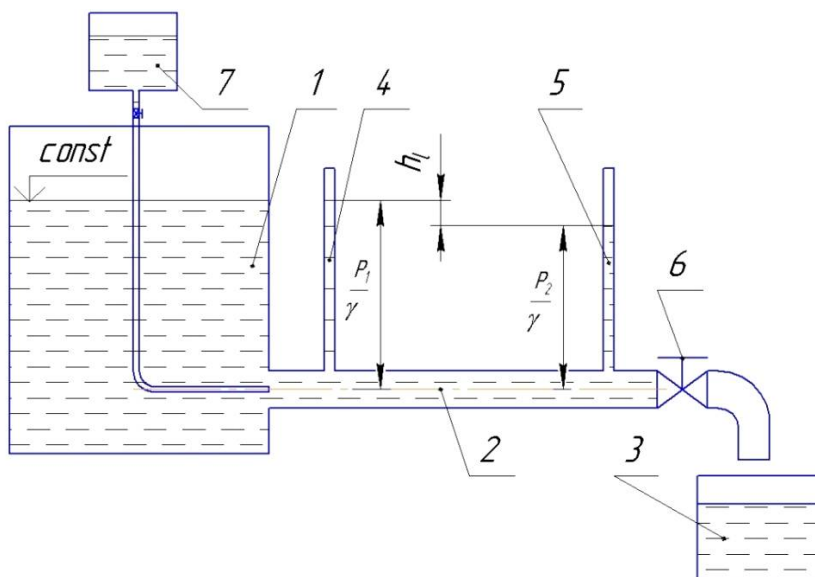


Рисунок 13 – Схема экспериментальной установки: 1 – напорный резервуар; 2 – стеклянная трубка; 3 – мерный бак; 4, 5 – пьезометрические трубки; 6 – регулировочная задвижка; 7 – бакочок с краской; P_1 , P_2 – гидростатическое давление в начале и конце трубки; $\frac{P_1}{\gamma}$, $\frac{P_2}{\gamma}$ – пьезометрические напоры.

Таблица 4.1 – Данные проведенных опытов

Наименование характеристик	№ опыта					
	1	2	3	4	5	6
Время опыта, t, с	60	60	60	40	30	20
Объем воды поступившей в мерный бак, W, см ³						

Температура воды, t, °C	20					
Показания пьезометра 4, $\frac{P_1}{\gamma}$, мм						
Показания пьезометра 5, $\frac{P_2}{\gamma}$, мм						

Порядок выполнения работы

4.1 Величина расхода Q определяется мерным способом при помощи мерного бака 3:

$$Q = \frac{W}{t}, \left[\frac{\text{см}^3}{\text{с}} \right] \quad (4.1)$$

где: W – объем жидкости, поступившей в мерный бак за время опыта, см³.

- | | |
|--------|--------|
| 1. Q = | 2. Q = |
| 3. Q = | 4. Q = |
| 5. Q = | 6. Q = |

4.2 Средняя скорость движения жидкости V определяется по формуле:

$$V = \frac{Q}{\omega}, \left[\frac{\text{см}}{\text{с}} \right] \quad (4.2)$$

где: ω - площадь сечения стеклянной трубки, см².

$$\omega = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 2^2}{4} = 3,14 [\text{см}^2] \quad (4.3)$$

- | | |
|--------|--------|
| 1. V = | 2. V = |
| 3. V = | 4. V = |
| 5. V = | 6. V = |

4.3 Величину потерь напора h_l , затраченные на преодоление трения по длине трубки, определим по формуле:

$$h_l = \frac{P_1 - P_2}{\gamma}, [\text{мм}] \quad (4.4)$$

- | | |
|------------|------------|
| 1. h_l = | 2. h_l = |
| 3. h_l = | 4. h_l = |
| 5. h_l = | 6. h_l = |

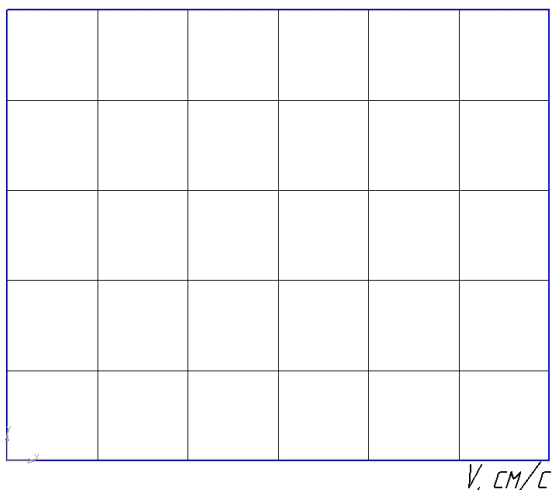
Таблица 4.2 – Расчетные значения.

Наименование характеристик	№ опыта					
	1	2	3	4	5	6
Расход воды в опыте, см ³ /с						

Площадь живого сечения трубки 2, ω , см^2	3,14					
Средняя скорость движения воды, $V_{\text{ср}}$, см/с						
Кинематический коэф. вязкости, ν , $\text{см}^2/\text{с}$	0,010					
Потери напора, мм						

По значениям величин h_l и $V_{\text{ср}}$, строится график $h_l = f(V_{\text{ср}})$, и определяется критическая скорость $V_{\text{кр}}$.

h_l , мм



По значению $V_{\text{кр}}$, определенному по графику $h_l = f(V_{\text{ср}})$, вычисляется $Re_{\text{кр}}$ по формуле:

$$Re = \frac{V_{\text{кр}} \cdot d}{\nu} \quad (4.5)$$

где: ν - коэффициент кинематической вязкости, $\text{см}^2/\text{с}$.

$V_{\text{кр}} =$

Таблица 4.3 – Значения ν воды в зависимости от температуры.

t, °C	5	10	15	20	25	30
ν , $\text{см}^2/\text{с}$	0,015	0,013	0,011	0,010	0,009	0,008

Полученное опытным путем значение $Re_{\text{кр}}$ сравниваем с общеизвестным и делаем вывод.

Вывод: _____

Дата _____

Подпись преподавателя: _____

Контрольные вопросы

1. Устройство лабораторного стенда?
2. Что является критерием движения жидкости, как его определить?
3. Структура ламинарного и турбулентного потока.

Лабораторная работа № 5

Построение напорной и пьезометрической линий трубопровода

Цель работы:

- уяснить физическую сущность полного напора и всех его составляющих: геометрического, пьезометрического и скоростного напоров;
- уяснить физическую сущность закона Бернулли;
- построить напорную и пьезометрические линии трубопровода;
- построить графические зависимости измерения мощности потока по длине трубопровода.

Объектом испытаний в данной работе является стальной трубопровод **abc** (рисунок 14) постоянного диаметра ($d = 8$ мм), трубопровод содержит дроссель (диаметр $d_{др} = 3$ мм). Все размеры на схеме приведены в мм.

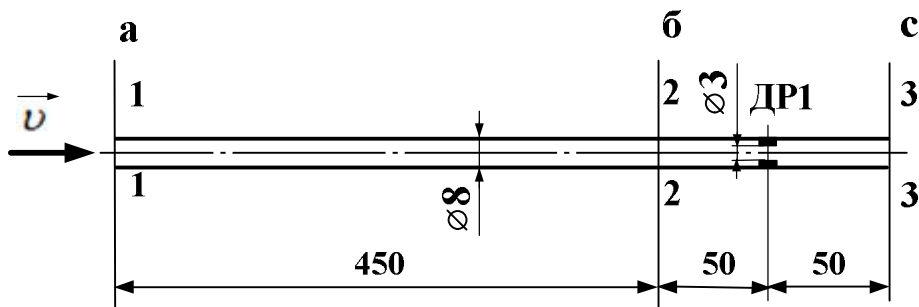


Рисунок 14 – Схема исследуемого трубопровода.

Нумерация сечений трубопроводов соответствует номерам манометров. Трубопровод расположен горизонтально, имеет постоянный диаметр и содержит одно местное сопротивление – гидродроссель ДР1.

Описание устройства лабораторного стенда

До включения стенда необходимо убедиться в том, что регулятор расхода РР настроен на минимальный расход (указатель в полож. «1»), а тумблеры управления гидрораспределителями Р1 и Р2 находятся в положении «Выкл.».

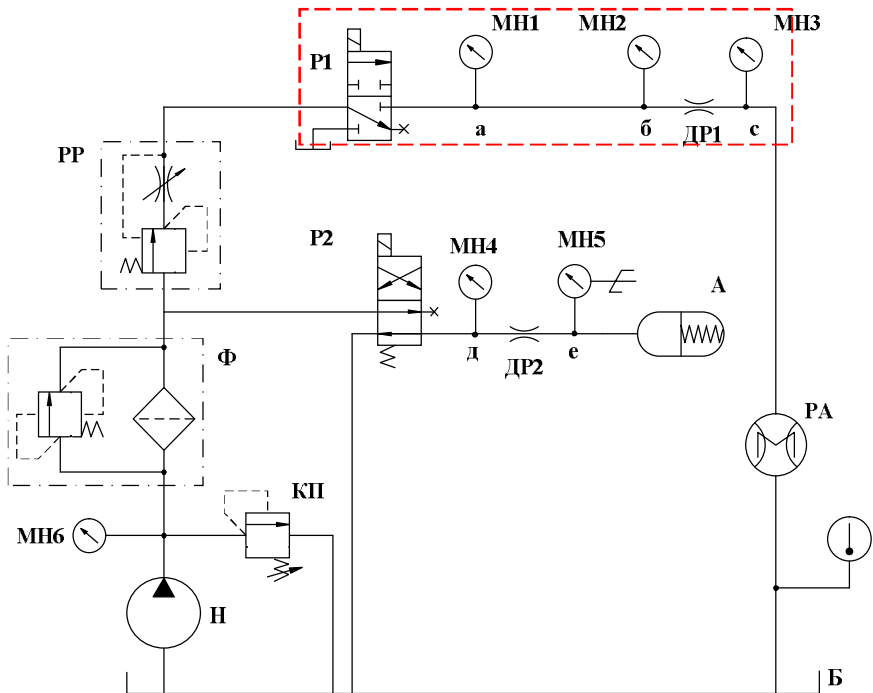


Рисунок 15 – Гидравлическая схема лабораторного стенда.

Далее необходимо при различных расходах провести два опыта. Первый опыт провести при минимальном расходе (при этом показание манометра МН3 должно отличаться от нуля). Второй опыт провести при максимальном расходе (при этом маховик управления РР необходимо повернуть до ограничения по часовой стрелке в положение «4»).

В каждом опыте необходимо измерять:

- давления $p_1 - p_3$ по манометрам МН1–МН3;
 - время t прохождения через расходомер объема жидкости $W_{\text{ж}}$, с. Объемом $W_{\text{ж}}$ необходимо задаться, приняв его, например, равным в обоих опытах $5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ (5 л);
 - температуру рабочей жидкости T , °С (по термометру).
- Результаты измерений занести в таблицу 5.1.

Таблица 5.1 – Результаты исследований

2			1			Номер опыта
3	2	1	3	2	1	i – номер сечения трубопровода
						p_l – величина давления, МПа
						$W_{\text{ж}}$ – объем жидкости, проходящей через расходомер, м ³
						t – время прохождения объема $W_{\text{ж}}$ через расходомер, с
						T – температура жидкости, °C
						\underline{Q} – расход жидкости, м ³ /с
						v – средняя скорость, м/с
						ν – кинематическая вязкость, м ² /с
						Re – число Рейнольдса
						α – коэффициент Кориолиса
						z_i – геометрический напор, м
						$p_i / (\rho \cdot g)$ – пьезометрический напор, м
						$\alpha \cdot v^2 / (2 \cdot g)$ – скоростной напор, м
						$z_i + p_i / (\rho \cdot g)$ – удельная потенциальная энергия потока, м
						H_l – полный напор, м
						N_i – мощность потока, Вт

Обработка результатов

5.1 Расход жидкости в трубопроводе равен:

$$Q = \frac{W_{\text{ж}}}{t}, \quad (5.1)$$

1. Q =

2. $Q =$

5.2 Средняя скорость потока:

$$V = \frac{Q}{S_{\text{tp}}}, \quad (5.2)$$

где $S_{\text{тр}}$ – площадь сечения трубопровода, м^2 ($d = 8 \text{ мм}$).

1. $V =$

$$2. V =$$

5.3 Кинематическая вязкость ν определяется с учетом температуры по графику $\nu = f(T)$ (должен быть в лаборатории для применяемого в гидростанции масла).

5.4 Число Рейнольдса:

$$Re = \frac{V \cdot d}{\nu}, \quad (5.3)$$

1. $Re =$

2. $Re =$

5.5 Коэффициент Кориолиса $\alpha = 2$ при $Re < 2320$, и $\alpha = 1$ при $Re > 2320$.

Геометрические напоры z_i равны значениям вертикальных координат (в выбранной системе координат). В связи с тем, что исследуемый трубопровод расположен горизонтально, для всех сечений $z_i = \text{const}$. Место расположения плоскости сравнения (а, следовательно, и величину z_i) необходимо согласовать с преподавателем. Если ось трубопровода совместить с плоскостью сравнения, то $z_i = 0$.

5.6 Полный напор H_i вычисляются по формуле:

$$H_i = z_i + \frac{p_i}{\rho g} + \frac{\alpha V_i^2}{2g} \quad (5.4)$$

1. $H_1 =$

1. $H_2 =$

2. $H_1 =$

2. $H_2 =$

3. $H_1 =$

3. $H_2 =$

5.7 Мощность потока N_i вычисляются по формуле:

$$N_i = H_i Q_{Gi} = H_i \gamma Q_i, \quad (5.5)$$

1. $N_1 =$

1. $N_2 =$

2. $N_1 =$

2. $N_2 =$

3. $N_1 =$

3. $N_2 =$

Результаты вычислений занести в таблицу 5.1 и построить для **обоих опытов** напорную и пьезометрические линии трубопровода

$$H = f_1(l_{\text{тр}}), \quad z + p/(\rho \cdot g) = f_2(l_{\text{тр}}), \quad \text{а также зависимость}$$

$$N_i = f_3(l_{\text{тр}}).$$

При построении графиков необходимо учитывать, что начало трубопровода находится в сечении 1-1, а конец – в сечении 3-3.

Вывод: _____

Дата _____

Подпись преподавателя: _____

Контрольные вопросы

1. Устройство лабораторного стенда?
2. Что такое пьезометрический и скоростной напор?
3. Что называется полным напором?

Лабораторная работа № 6

Определение значения коэффициента сопротивления трению технически гладких и шероховатых труб в зависимости от числа Рейнольдса

Цель работы:

- определить коэффициент сопротивления трению в трубах опытным путем ($\lambda_{\text{опыт}}$);
- вычислить теоретическое значение коэффициента сопротивления трению данного опыта ($\lambda_{\text{опыт}}$) и сравнить с опытным значением этого коэффициента;
- построить графики $\lambda_{\text{опыт}} = f(Re)$ для каждой трубы.

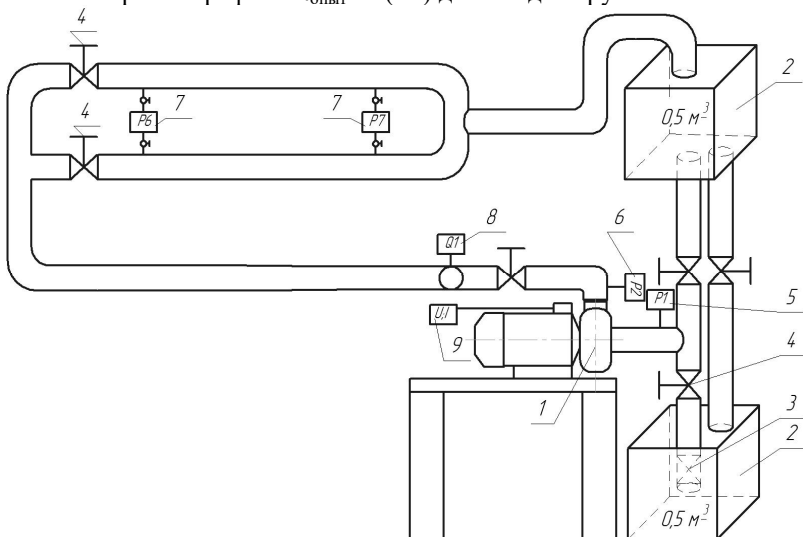


Рисунок 16 - Схема лабораторной установки: 1 – центробежный насос с приводом; 2 – резервуар; 3 – обратный клапан; 4 – кран шаровый; 5 – вакуумметр; 6,7 – манометр; 8 – расходомер; 9 – вольтамперметр.

Таблица 6.1 – Данные проведенных опытов.

Наименование характеристик, их обозначение и размерность	Технически гладкие трубы			Технически шероховатые трубы		
	1-й опыт	2-й опыт	3-й опыт	1-й опыт	2-й опыт	3-й опыт

Расход воды в опыте, $Q \text{ м}^3/\text{с}$						
Показания манометра в начале трубопровода P_1/γ , м в. ст.						
Показания манометра в конце трубопровода P_2/γ , м в. ст.						

Методика проведения работы

6.1 Средняя скорость в трубе, м/с

$$V_{cp} = \frac{Q}{\omega} \quad (6.1)$$

6.2 Потери напора на преодоление трения в трубе, h_l , м в. ст.

$$h_l = \frac{P_1 - P_2}{\gamma} \quad (6.2)$$

6.3 Коэффициент сопротивлению трению опытный, $\lambda_{опыт}$

$$\lambda_{опыт} = \frac{2 \cdot g \cdot d}{l \cdot V^2} \cdot h_l \quad (6.3)$$

6.4 Число Рейнольдса, Re

$$Re = \frac{V \cdot d}{\nu} \quad (6.4)$$

6.5 Толщина пограничного ламинарного слоя, δ , мм

$$\delta = \frac{68,4 \cdot r}{Re^{0,875}} \quad (6.5)$$

6.6 Коэффициент сопротивлению трению, вычисленный по формуле, $\lambda_{теор}$:

- если число Рейнольдса лежит в пределах $2320 < Re < 10^5$, то коэффициент сопротивления трению λ определяется по формуле Блаузиса:

$$\lambda = \frac{0,316}{Re^{0,25}} \quad (6.6)$$

- если число Рейнольдса $Re > 10^5$, то λ определяется по формуле Никурдзе:

$$\lambda = 0,0032 + \frac{0,221}{Re^{0,237}} \quad (6.7)$$

6.7 Область между нижним и верхнем пределом чисел Рейнольдса – область гидравлически не вполне шероховатых труб. В ней пограничный ламинарный слой приближенно равен высоте выступов естественной шероховатости ($\delta \approx \Delta$; $\lambda = f(Re; \Delta)$). Для этой области λ следует определять по частным формулам Шевелева, в зависимости от материала трубопровода:

$$\lambda_{сталь} = \frac{0,0216}{d^{0,3} \cdot V^{0,214}} \quad (6.8)$$

где: d – диаметр трубопровода, м;
 V – скорость движения, м/с.

6.8 Область прямых параллельно оси Рейнольдса – область гидравлически вполне шероховатых труб. В ней пограничный ламинарный слой гораздо меньше выступов естественной шероховатости ($\delta \ll \Delta$; $\lambda = f(\Delta)$).

$$\lambda = \frac{1}{\left(2 \lg \frac{r}{\Delta} + 1,74\right)^2} \quad (6.9)$$

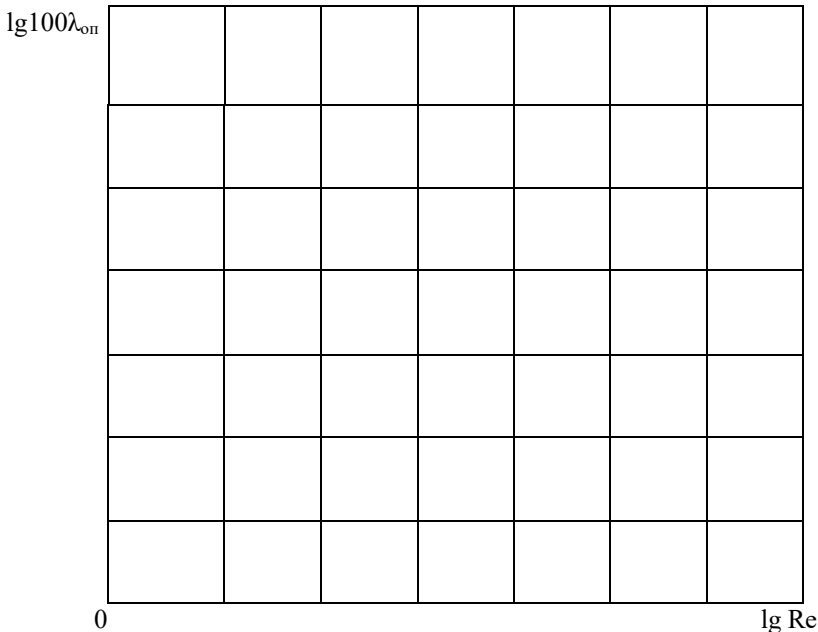
где: r – радиус трубопровода, мм;

Таблица 6.2 – Обработка опытных данных.

Наименование характеристик, их обозначение и размерность	Технически гладкие трубы			Технически шероховатые трубы		
	1-й опыт	2-й опыт	3-й опыт	1-й опыт	2-й опыт	3-й опыт
Средняя скорость в трубе, м/с						
Потери напора на преодоление трения в трубе, h_f , м в. ст.						
Коэффициент сопротивления трению опытный, $\lambda_{\text{опыт}}$						
Число Рейнольдса, Re						
Высота выступов шероховатостей исследуемой трубы, Δ , мм	-	-	-	0,25	0,25	0,25
Толщина пограничного ламинарного слоя, δ , мм						
Коэффициент сопротивления трению, вычисленный по формуле, $\lambda_{\text{теор}}$						
Расхождение: $\lambda_{\text{опыт}}$ и $\lambda_{\text{теор}}$, %						

Таблица 6.3 – Координаты точек для зависимости $\lambda = f(Re)$.

Технически гладкие трубы		Технически шероховатые трубы	
$\lg Re$	$\lg 100\lambda_{\text{опыт}}$	$\lg Re$	$\lg 100\lambda_{\text{опыт}}$



Вывод: _____

Дата _____

Подпись преподавателя: _____

Контрольные вопросы

1. Устройство лабораторного стенда?
2. Как классифицируют трубы в гидравлическом смысле?
3. Потери напора на преодоление трения по длине трубопровода, местные сопротивления.

Лабораторная работа № 7

Исследование работы центробежного насоса

Цель работы: экспериментальное исследование центробежного насоса и построение его характеристик (производительность и напор).

Схема лабораторной установки изображена на рисунке 15.

Методика проведения работы

7.1 Изменение (увеличение) расхода подаваемого насосом достигается путем плавного открытия регулировочного вентиля 3.

7.2 Величина расхода Q [$\text{м}^3/\text{с}$] определяется мерным способом при помощи мерного бака 9 и водомерной трубки 10 по формуле:

$$Q = \frac{W}{\Delta t}, [\text{м}^3/\text{с}] \quad (7.1)$$

где W – объем жидкости, вытекшей из трубопровода 7 в мерный бак 9 за время опыта, равное Δt секунд.

7.3 Для каждого замеренного расхода определяем значение средней скорости во всасывающем - v_1 и v_2 отводящем трубопроводах по формулам:

$$v_1 = \frac{Q}{\omega_1}, [\text{м}/\text{с}] \quad (7.2)$$

$$v_2 = \frac{Q}{\omega_2}, [\text{м}/\text{с}] \quad (7.3)$$

где Q – расход, установленный в опыте, $\text{м}^3/\text{с}$;

$$\omega_1 = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} [\text{м}^2] - \text{площадь живого сечения во всасывающем трубопрово-$$

де диаметром $d_1 = 2$;

$$\omega_2 = \frac{\pi \cdot d_2^2}{4} [\text{м}^2] - \text{то же для отводящего трубопровода диаметром } d_2 = 1.$$

7.4 Полный напор насоса в опыте определяется по следующему уравнению:

$$H = \left(\frac{P_m}{\gamma} + \frac{P_6}{\gamma} \right) + (z_m + z_6) + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g}, [\text{м.вод.ст.}] \quad (7.4)$$

где: $\frac{P_m}{\gamma}$ – показания манометра 6 в метрах водяного столба, м.вод.ст.;

$\frac{P_6}{\gamma}$ – показания манометра вакуумметра 4 в метрах водяного столба, м.вод.ст.;

$(z_m - z_6)$ – расстояние по вертикали между точками присоединений вакуумметра 4 и манометра 6.

7.5 Полезная мощность насоса в опыте определится по формуле:

$$N = \gamma \cdot Q \cdot H \quad (7.5)$$

где $\gamma = 9810 \text{ Н}/\text{м}^3$ – удельная масса воды.

7.6 Мощность на воду насосов определить по формуле:

$$N_g = I \cdot U \cdot \eta_{эл} \cdot \cos \varphi \quad (7.6)$$

где J – показания амперметра

U – показания вольтметра

$$\eta_{эл} = 83\%; \cos \varphi = 0,88$$

7.7 Измеренные в каждом опыте величины заносятся в таблицу экспериментальных данных.

7.8 По данным опытов, указанных в таблице 7.1. строится график $H=f(Q)$, $N=f(Q)$, $\eta=f(Q)$, – характеристика исследованного центробежного насоса.

Таблица 7.1 – Экспериментальные данные для построения характеристики Ц/Б насоса.

№	Наименование	Обозначение	Ед. изм.	Данные опытов		
				1	2	3
1	Показания манометров	М	м.вод.ст.			
2	Показания вакуумметра	В	м.вод.ст.			
3	Время опыта	t	с			
4	Объем жидкости, поступившей за время опыта	W	м ³			
5	Показания амперметра	I,	А			
6	Показания вольтметра	U	В			
7	Напор насоса	H	м.вод.ст.			
8	Производительность насоса	Q	м ³ /с			
9	Полезная мощность насоса	N	Вт			
10	Мощность на валу насоса	N _в	Вт			
11	КПД насоса, $\eta = \frac{N}{N_e} \cdot 100$	η	%			

Вывод: _____

Дата _____

Подпись преподавателя: _____

Контрольные вопросы

1. Устройство лабораторного стенда?
2. Как определить полный напор насоса?
3. Уравнение Бернулли для потока реальной жидкости, его применение к решению различных технических задач?

Лабораторная работа № 8

Исследование нестационарных процессов истечения жидкости через гидродроссель

Цель работы:

- расчетные и экспериментальные исследования нестационарных процессов истечения жидкости через гидродроссель;
- анализ результатов исследований.

Методика проведения работы

Коэффициент местного сопротивления гидродросселя можно определить из следующего выражения:

$$\zeta = \frac{d_k^4}{\mu^2 d_{др}^4} \quad (8.1)$$

где d_k – диаметр канала, в котором установлен дроссель;

μ – коэффициент расхода дросселя, для отверстия круглой формы
 $\mu = 0,62 \dots 0,65$.

Чаще всего встречаются два случая истечения через гидродроссель. В первом случае жидкость от источника энергии через дроссель поступает в торцевую полость подпружиненного золотника или поршня, то есть рассматривается процесс заполнения рабочей полости, в которой перемещается подпружиненный поршень или золотник. Во втором случае рассматривается процесс опорожнения полости через гидродроссель. При этом линия с установленным в нее дросселем подключается к сливу.

Рассматриваемые процессы относятся к нестационарным, так как и при заполнении и при опорожнении полости через гидродроссель изменяются во времени фазовые переменные – давления и расходы (скорости).

На рисунке 17 приведена расчетная схема процессов заполнения и опорожнения через гидродроссель ДР рабочей полости Б пружинного гидроаккумулятора.

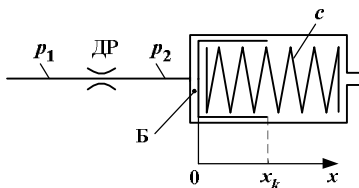


Рисунок 17 – Расчетная схема

При рассмотрении указанных процессов решается задача определения времени заполнения $t_{зап}$ и времени опорожнения $t_{оп}$ полости Б пружинного аккумулятора.

На схеме (см. рисунок 17) приняты следующие обозначения: p_1 и p_2 – давления; c – жесткость пружины; x – координата поршня ($x = x_k$ соот-

ветствует полному заполнению полости Б).

При математическом описании процессов заполнения и опорожнения полости Б принимались следующие допущения: силы трения и инерции, действующие на жидкость и поршень, равны нулю; потери энергии при течении жидкости учитываются только на гидродросселе ДР.

Для процессов заполнения и опорожнения при принятых допущениях были составлены две системы дифференциальных уравнений, в результате решения которых получены следующие выражения:

– процесс заполнения полости Б ($p_1 = \text{const}$)

$$t_{\text{зап}} = \frac{2S_{\Pi}^2}{c \mu S_{\text{др}}^2 \sqrt{\frac{2}{\rho}}} \left(\sqrt{p_1 - \frac{F_0}{S_{\Pi}}} - \sqrt{p_1 - \frac{F_0 + c x_k}{S_{\Pi}}} \right) \quad (8.2)$$

– процесс опорожнения полости Б ($p_1 = 0$)

$$t_{\text{оп}} = \frac{2S_{\Pi}^2}{c \mu S_{\text{др}}^2 \sqrt{\frac{2}{\rho}}} \left(\sqrt{\frac{F_0 + c x_k}{S_{\Pi}}} - \sqrt{\frac{F_0}{S_{\Pi}}} \right) \quad (8.3)$$

где S_{Π} – площадь поршня, $S_{\Pi} = \frac{\pi D_{\Pi}^2}{4}$ (D_{Π} – диаметр поршня);

$S_{\text{др}}$ – площадь проходного сечения дросселя;

ρ – плотность рабочей жидкости;

F_0 – усилие преднатяга пружины (при $x = 0$);

x_k – ход поршня.

Расшифровки остальных обозначений величин, входящих в выражения (8.2) и (8.3), были приведены выше.

8.2 Прежде, чем приступить к выполнению лабораторной работы, необходимо изучить разделы 8.1 и 8.2.

Объектом испытаний в данной работе является подсистема стенда, представленная на рисунке 18.

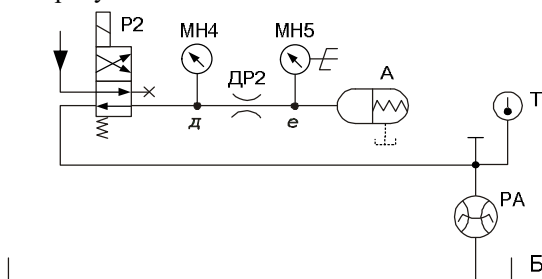


Рисунок 18 – Схема объекта испытаний.

Гидродроссель ДР2 установлен на участке де. Для измерения давления в сечении е используется электроконтактный манометр МН5, используемый для управления электронным секундомером. Для подключения аккумулятора к напорной линии насоса (процесс заполнения) или к сливу жидкости в гидробак Б (процесс опорожнения) служит двухпозиционный гидрораспределитель Р2. Устройство пружинного аккумулятора практически полностью соответствует схеме, представленной на рисунке 17.

На рисунке 19 приведены графики изменения давления p_2 в полости аккумулятора

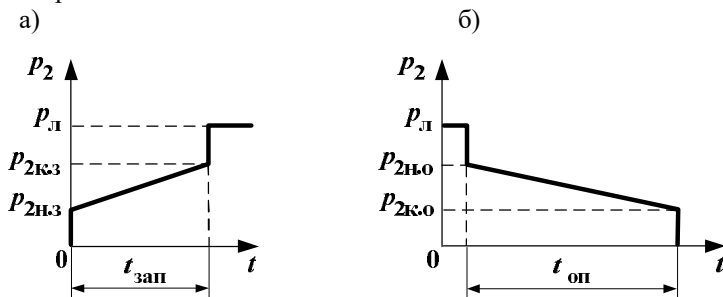


Рисунок 19 – Характеристики процессов функционирования пружинного гидроаккумулятора:

а – процесс заполнения; б – процесс опорожнения.

Процесс заполнения полости аккумулятора (см. рисунок 19, а) начинается при $t = 0$ и достижении давлением величины $p_{2н.з}$ ($p_{2н.з} = F_0 / S_n$). При $p_2 < p_{2н.з}$ включается электронный секундомер. Затем начинается процесс заполнения рабочей полости аккумулятора. При $p_2 = p_{2к.з}$ ($p_{2к.з} = (F_0 + c x_k) / S_n$) поршень касается ограничения хода ($x = x_k$) и давление практически мгновенно возрастает до линейного давления в системе $p_л$. При $p_2 > p_{2к.з}$ выключается электронный секундомер. На цифровом табло секундомера отображается величина $t_{зап}$.

Процесс опорожнения полости аккумулятора (см. рисунок 19, б) начинается после выключения распределителя Р2. При этом давление p_2 резко понижается с $p_л$ до $p_{2н.о}$ ($p_{2н.о} = (F_0 + c x_k) / S_n$). Когда $p_л > p_2 > p_{2н.о}$, включается электронный секундомер. Процесс опорожнения происходит под действием усилия пружины, действующего на поршень аккумулятора. При достижении давлением значения $p_{2к.о}$ ($p_{2к.о} = F_0 / S_n$) поршень касается ограничения хода ($x = 0$) и давление p_2 резко падает. При $p_2 < p_{2к.о}$ отключается электронный секундомер и на табло отображается время опорожнения полости аккумулятора $t_{оп}$.

Перед включением установки необходимо убедиться, что:

– тумблеры управления гидрораспределителями Р1 и Р2 установлены в положение «Выкл»;

– тумблер установки режима работы электронного секундомера установлен в положение «Авт», а тумблер включения питания секундомера установлен в нижнее положение.

Включить электрическое питание стенда («Сеть»), электродвигателя М (кнопка «Пуск»), питание электронного секундомера (тумблер установить в положение «Вкл»). Дать возможность поработать стенду в течение 3...5 мин. Включить тумблер управления секундомером в положение «Счет», а тумблер Р2 в положение «Вкл.».

Таблица 8.1 – Результаты исследований процесса заполнения полости аккумулятора.

Номер опыта	Давление на входе p_1 , МПа	Время заполнения полости $t_{\text{зап}}$, с	Среднее значение времени $t_{\text{зап ср}}$, с	Расчетное значение $t_{\text{зап р}}$, с
1				
2				
3				
4				
5				

После того, как закончился процесс заполнения полости аккумулятора и зафиксировано время $t_{\text{зап}}$, необходимо сбросить (обнулить) показания табло секундомера и перейти к определению времени опорожнения полости аккумулятора. Для этого необходимо тумблер управления гидрораспределителем Р2 установить в положение «Выкл». При этом рабочая полость аккумулятора через дроссель ДР2 будет подключена к сливу. Результаты исследования процессов заполнения и опорожнения необходимо записывать в таблицы 8.1 и 8.2 соответственно.

Таблица 8.2 – Результаты исследований процесса опорожнения полости аккумулятора

Номер опыта	Время опорожнения полости $t_{\text{оп}}$, с	Среднее значение времени $t_{\text{оп ср}}$, с	Расчетное значение $t_{\text{оп р}}$, с
1			
2			
3			
4			
5			

После считывания значения $t_{\text{оп}}$ (по секундомеру) показание табло секундомера обнуляется и может снова переходить к исследованию процесса заполнения полости.

После выполнения всех опытов необходимо тумблер управления гидрораспределителем Р2 установить в положение «Выкл.», отключить электрическое питание секундомера, электродвигателя и стенда.

8.3 Обработка результатов.

Среднее значение времени заполнения полости аккумулятора определяется как среднее арифметическое:

$$t_{\text{зап.ср}} = \left(\sum_{i=1}^n t_{\text{зап.}i} \right) / n, \quad (8.4)$$

где n – количество опытов ($n = 5$).

Аналогично определяется и среднее значение времени опорожнения полости аккумулятора $t_{\text{оп.ср}}$.

Для определения расчетным путем времени заполнения $t_{\text{зап.р}}$ нужно воспользоваться формулой (8.2), а для определения времени опорожнения $t_{\text{оп.р}}$ – формулой (8.3).

При определении $t_{\text{зап.р}}$ в формулу (8.2) нужно подставлять среднее значение p_1 (определенное по результатам измерений в пяти опытах, см. второй столбец таблицы 8.1).

Остальные параметры, необходимые для вычисления $t_{\text{зап.р}}$ и $t_{\text{оп.р}}$, следующие:

- диаметр поршня аккумулятора $D = 0,06$ м (60 мм);
- диаметр дросселя $d_{\text{др}} = 1 \cdot 10^{-3}$ м (1 мм);
- коэффициент расхода дросселя $\mu = 0,62$;
- усилие преднатяга пружины $F_0 = 450$ Н;
- жесткость пружины $c = 8000$ Н/м (8 Н/мм);
- ход поршня $X_k = 0,065$ м (65 мм);
- плотность масла ρ , кг/м³.

Вывод:

Дата _____

Подпись преподавателя: _____

Контрольные вопросы

1. Устройство лабораторного стенда?
2. Назначение, устройство и характеристики гидродросселя?
3. Как определяется коэффициент местного сопротивления гидродросселя?

Составители:
Диденко Александр Александрович
Христенко Александр Геннадьевич
Рудаков Денис Сергеевич

ГИДРАВЛИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА

рабочая тетрадь для лабораторных работ

рабочая тетрадь предназначена для студентов очной и заочной формы обучения, по направлениям:

Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов;
Технология транспортных процессов;
Профессиональное обучение (по отраслям);

Печатается в авторской редакции

Компьютерная вёрстка Христенко А. Г.

Подписано к печати 28 марта 2023 г.
Формат 60x84^{1/16} Объем 2,6 уч.-изд. л.
Тираж 40 экз. Изд. № Заказ №

Отпечатано в минитипографии Инженерного института НГАУ
630039, г. Новосибирск, ул. Никитина 147

