

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П.О.Сухого»

Кафедра «Нефтегазозаготовка и гидропневмоавтоматика»

ОТЧЕТ
по лабораторной работе
по курсу
«Гидро- и пневмопривод и гидропневмоавтоматика»

Выполнил(а) ст. гр. ЗТМ-31

(фамилия И.О.)

Проверил ст.преподаватель
Андреев Ю.А.

Лабораторная работа № 1

Изучение приборов и методов измерения основных параметров гидроприводов

Цель работы: ознакомиться с параметрами состояния гидросистем, методами и приборами для измерения этих параметров, изучить устройство опытной установки, научиться измерять гидростатическое давление и расход жидкости различными измерительными приборами.

1.1 Общие сведения

Жидкость рассматривают как непрерывную среду, заполняющую пространство без пустот и промежутков. Когда жидкость находится в равновесии, то под действием внешних сил в жидкости возникает **гидростатическое давление**.

Величина среднего давления $p_{\text{ср}}$ равна силе F , действующей на единицу площади S

$$p_{\text{ср}} = \frac{F}{S}, \text{ Па.}$$

За единицу давления в принят **Паскаль** – давление, вызываемое силой 1 Н, равномерно распределённой по нормальной к ней поверхности площадью 1 м².

Широко используют также внесистемные единицы:

$$1 \text{ атм} = 1 \text{ кгс/см}^2 = 10000 \text{ кгс/м}^2 = 98100 \text{ Па}; 1 \text{ бар} = 10^5 \text{ Па} = 1,02 \text{ атм}.$$

Давление можно выразить высотой столба жидкости, которая называется **пьезометрической высотой** – это высота столба жидкости, который своим весом способен создать давление, равное гидростатическому давлению в рассматриваемой точке, является мерой избыточного давления

$$h = \frac{p}{\rho \cdot g}, \text{ м}; 1 \text{ атм (тех)} = 736 \text{ мм рт. ст.} = 10 \text{ м вд. ст.}$$

Для измерения давления жидкости применяются различные приборы:

- ✓ манометры — для измерения избыточного (или манометрического) давления,
 - ✓ вакуумметры — для измерения вакуума,
 - ✓ дифференциальные манометры — для измерения разности давлений в двух точках.
- Эти приборы могут быть: жидкостными, пружинными, поршневыми, электрическими, комбинированными.

Наиболее широкое распространение получили жидкостные и пружинные приборы.

Жидкостный манометр (рис. 1.1, а) – пьезометр. Если давление на свободной поверхности жидкости в закрытом сосуде больше атмосферного, то уровень в пьезометрической трубке поднимется на высоту h_p , которая измеряется по установленной строго вертикально линейной шкале.

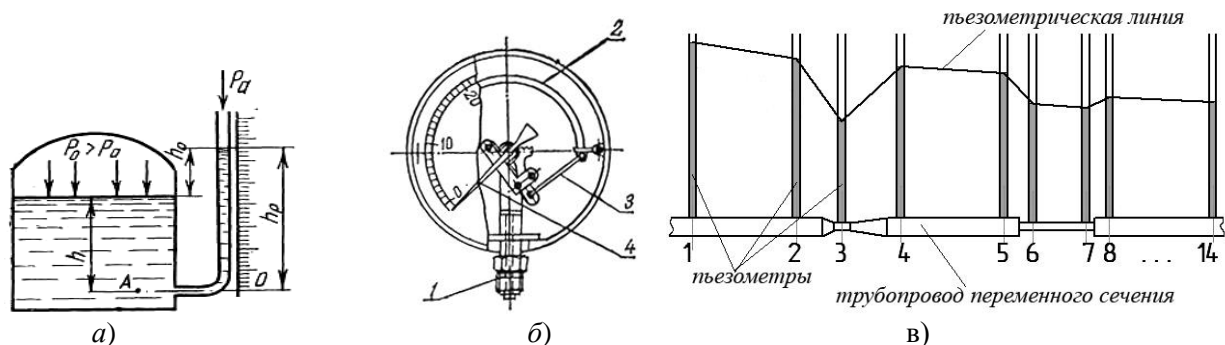


Рисунок 1.1. - Приборы для измерения давления: а) пьезометр; б) пружинный манометр; в) пьезометрическая линия

Если установить несколько пьезометров на одном уровне, то измеряя пьезометрическую высоту в каждом сечении можно получить **пьезометрическую линию** (рис. 1.1, в).

Для измерений больших давлений на практике используются **пружинные манометры** (рис. 1.1, б). Принцип работы: жидкость или газ поступает через штуцер 1 в изогнутую медную или стальную полую трубку-пружину 2. Под действием избыточного давления трубка-пружина стремится разогнуться. Движение ее конца при помощи пластинки 3 передается на зубчатку, приводящую в движение стрелку 4, отклонение которой показывает на шкале прибора величину избыточного (манометрического) давления.

Расход жидкости – количество жидкости, протекающей в единицу времени через живое сечение потока. Если жидкость несжимаема, то уравнение неразрывности для объемного потока (уравнение постоянства расхода) в любом сечении при движении жидкости по трубопроводам гидросистемы имеет вид $Q = v_1 \cdot S_1 = v_2 \cdot S_2 = const$, м³/с (л/мин).

Существуют различные методы измерения расхода жидких сред, однако наиболее распространены:

1) **Объемный метод:** измеряется объем жидкости V и время t , в течение которого этот объем проходит через поперечное сечение $Q = V/t$, м³/с.

Для измерения объема V используется мерный сосуд, объем которого известен, или для механического счетчика объем жидкости прошедший за один оборот стрелки.

Объемный метод измерения расхода точный, но применим для измерения относительно небольших расходов.

Кроме непосредственного измерения объема мерным сосудом объем можно измерить счетчиком (расходомером) с овальными шестернями (рисунок 1.2, а).

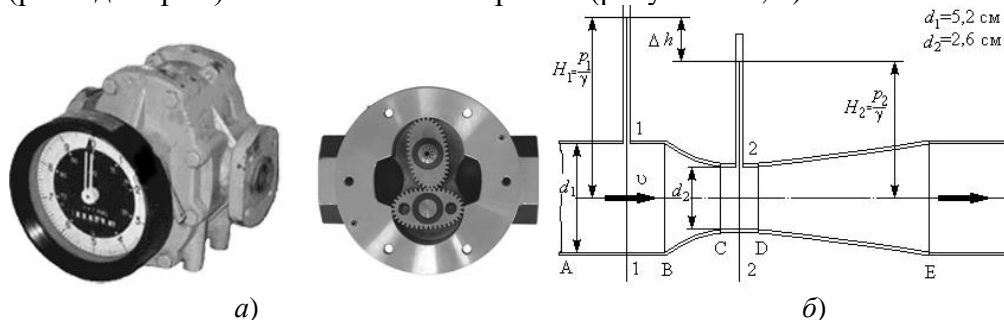


Рисунок 1.2. – Расходомеры: а) с овальными шестернями; б) Вентури

Счетчики с овальными шестернями применяются для измерения умеренных потоков жидкости (от 0,5 до 150 тыс. л/час) и являются приборами высоких классов точности (0,1 – 1,5).

2) **Измерение расхода с помощью искусственно создаваемого перепада давления:** измеряется перепад давления между сечениями трубопровода, возникающий в результате сужения проходного сечения трубопровода. Приборы, которые используют этот метод называются дроселирующие расходомеры, чаще всего применяется расходомер Вентури (рисунок 1.2, б) оказывает наименьшее сопротивление потоку жидкости. Недостаток: сложность изготовления и большие размеры. Расходомер состоит из цилиндрического патрубка CD , соединенного с трубопроводом коническими вставками BC (короткая, конфузор) и DE (длинная, диффузор). Для измерения перепада давления в суженной и широкой частях трубы Вентури применяются пьезометры или дифференциальные манометры.

Зависимость между расходом жидкости в трубопроводе и перепадом давления в трубе Вентури определяется по формуле $Q_T = A \cdot \sqrt{\Delta h}$,

где $A = 242,76 \frac{\text{см}^2}{\text{с}} \cdot \sqrt{\text{см}}$ – константа расходомера.

Теоретический расход определяется расчётом и не учитывает потери при движении. Действительный расход будет меньше теоретического и измеряется объемным методом с помощью счетчика (расходомера) с овальными шестернями. Отношение действительного расхода Q к теоретическому расходу Q_T характеризует коэффициент расхода трубы Вентури

$$\mu = \frac{Q}{Q_T}.$$

1.2 Описание опытной установки

Опытная установка (рис. 1.3) состоит из резервуара 12, заполненного водой, центробежного насоса 13 с электродвигателем, расходомерного устройства (счетчика жидкости) 11, всасывающего 3 и напорного трубопроводов 4.

Напорная труба 4 после вентиля 8 переходит в трубопровод переменного сечения 5, на характерных участках которого установлены пьезометры 1, сливной трубопровод с вентилем 6.

Расходомер 11 служит для измерения расхода. Расходомер Вентури установлен на трубопроводе переменного сечения. Все размеры трубы Вентури приведены на рисунок 1.2, б.

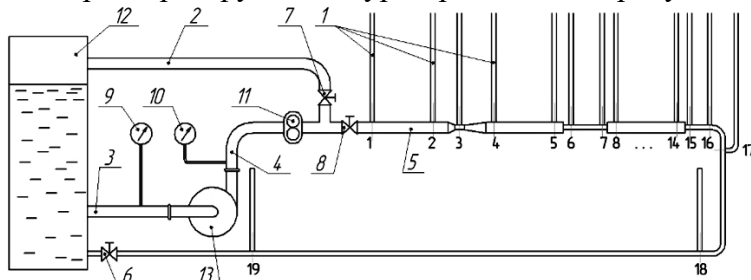


Рисунок 1.3. - Схема опытной установки

Для измерения давления служат вакуумметр 9, манометр 10 и пьезометры 1. Пьезометры определяют избыточное давление в трубопроводе переменного сечения 5, вакуумметр – во всасывающем трубопроводе 3, манометр – в напорном трубопроводе 4.

Вентиль 6 перекрывает подачу жидкости на сливе трубопровода 5 переменного сечения. Вентиль 7 предназначен для регулирования расхода жидкости. Вентиль 8 перекрывает подачу жидкости в трубопровод переменного сечения.

1.3 Порядок проведения работы

- 1) Полностью открыть вентили 6 и 8, вентиль 7 закрыть.
- 2) Включить в работу насос 13.
- 3) Установить уровень жидкости вентилем 8 в пьезометре 1 на максимальном уровне.
- 4) Произвести измерения давления в пьезометрах 1...8. Результаты измерений записать в таблицу 1.1.
- 5) Вентилем 8 в трубопроводе установить несколько (5-6) различных расходов воды, измеряя расход с помощью счетчика и секундомера. Для каждого расхода воды снимают показания пьезометров № 2 и 3.
- 6) Результаты измерений заносят в таблицу 1.2.
- 7) Отключить насос и перекрыть все вентили.

1.4 Обработка опытных данных

- 1) Измерить манометрическое давление $p_{\text{ман}} = \underline{\hspace{2cm}}$ Па.

Определить пьезометрическое давление формуле

$$p = h \cdot \rho \cdot g = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Па}$$

где $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ – плотность воды; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения.

Результаты измерений и вычислений заносятся в таблицу 1.1.

Таблица 1.1 Результаты измерений и расчетов

№ сеч.	Диаметр сечения d , см	Расстояние между сечениями, l , см	Пьезометрический напор h_p , см	Пьезометрическое давление p_p , Па
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				

По данным этой таблицы в масштабе построить пьезометрическую линию $p = f(l)$. За начало отсчета принять первое сечение.

2) Измерение расхода.

Таблица 1.2 - Результаты измерений и расчетов

№ оп.	Показания пьезометра в сечениях		Разность показаний пьезометров Δh	Теоретический расход воды Q_T	Действительный расход воды Q	Коэффициент расхода трубы Вентури μ
	h_2	h_3				
	см	см	см	л/с	л/с	-
1						
2						
3						
4						
5						
6						

Определить разность показаний пьезометров по формуле

$$\Delta h = h_3 - h_2 = \text{_____}, \text{ см}^2.$$

Определить теоретический расход по разности пьезометрических напоров в сечениях 2 и 3 по формуле $Q_T = A \cdot \sqrt{\Delta h} = \text{_____}, \text{ см}^3/\text{с}.$

Определить коэффициент расхода трубы Вентури по формуле

$$\mu = \frac{Q}{Q_T} = \text{_____}.$$

По опытным данным построить график зависимости действительного $Q = f(\Delta h)$ и теоретического $Q_T = f(\Delta h)$ расходов от разности показаний пьезометров.

Цель работы: экспериментальное определение потерь энергии на транспортирование жидкостей по сложному трубопроводу

2.1 Общие сведения

При движении реальных жидкостей часть механической энергии движения необратимо превращается в тепловую. Потери энергии обусловлены существованием сил вязкого трения и определяют потери давления

$$\Delta p_{\text{пот}} = \rho \cdot \Delta E, \text{ Па}$$

и потери напора

$$\Delta h_{\text{пот}} = \frac{\Delta p_{\text{пот}}}{\rho \cdot g} = \frac{\Delta E}{g}, \text{ м}$$

Гидравлические потери давления (напора) обычно делят на два вида:

Потери на трение по длине – это потери, которые возникают в прямых трубах постоянного сечения, и возрастают пропорционально длине трубы, определяются по формуле Дарси

$$h_{\text{тр}} = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}, \text{ м}$$

где l – длина трубопровода, см; d – внутренний диаметр трубопровода; v – средняя скорость течения жидкости в трубопроводе; λ – коэффициент потерь на трение по длине.

Коэффициент потерь на трение в общем случае зависит от режима движения жидкости и от относительной шероховатости стенок канала $\lambda = f(\text{Re}, \Delta/d)$. Эта зависимость называется **законом сопротивления**, проявляется в соотношении величины абсолютной шероховатости Δ и величины ламинарного подслоя δ в потоке жидкости (рис. 2.1).

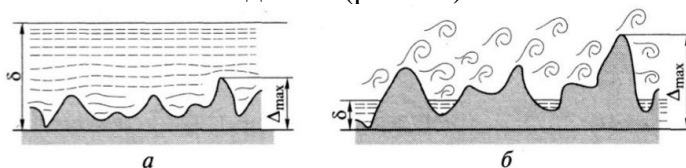


Рисунок 2.1 – Схемы течения жидкости

При $\text{Re} < 2320$ (ламинарный режим), коэффициент гидравлического трения λ определяется по формуле Пуазейля

$$\lambda = 64 / \text{Re}.$$

При $2320 < \text{Re} < \frac{10 \cdot d}{\Delta}$ (область гидравлически гладких труб) выступы шероховатости Δ меньше толщины ламинарного подслоя δ , коэффициент λ определяется по формуле Блазиуса

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

При $\frac{10 \cdot d}{\Delta} < \text{Re} < \frac{500 \cdot d}{\Delta}$ (область докватратичного течения) коэффициент λ определяется по формуле Альтшуля

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{\Delta}{d} + \frac{68}{\text{Re}} \right)^{0,25}.$$

При $\frac{500 \cdot d}{\Delta} < \text{Re}$ (область квадратичного сопротивления) коэффициент сопротивления λ определяется по формуле Никурадзе

$$\lambda = \frac{1}{\left(1,74 + 2 \cdot \lg \frac{d}{2\Delta} \right)^2}.$$

Местные сопротивления — относительно короткие участки русла, в которых происходит значительное изменение эпюры скоростей потока и ее последующее восстановление до

формы, соответствующей равномерному движению. К ним относят: расширяющиеся и сужающиеся участки трубопровода — диффузоры и конфузоры, повороты в виде колен и отводов, диафрагмы, задвижки, краны, вентили, дроссельные заслонки, клапаны и т. п. (рис. 2.2.).

На этих участках русла образуются вихревые зоны, увеличивается интенсивность перемешивания жидкости. В результате возрастают вязкостные и инерционные силы сопротивления, препятствующие движению жидкости и, следовательно, увеличивают потери энергии жидкости, переходящие в тепло.

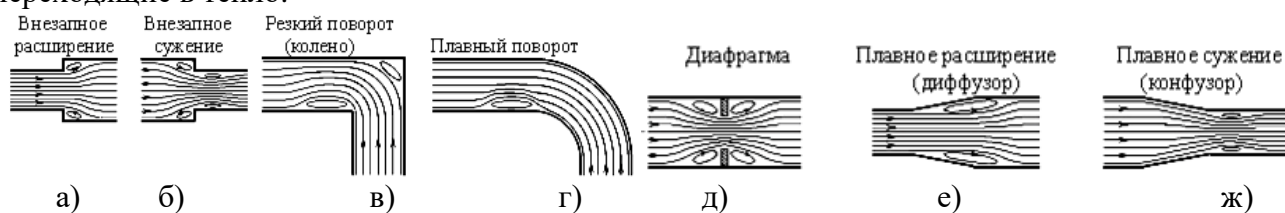


Рисунок 2.2. - Схема типичных местных гидравлических сопротивлений

Местные потери напора определяются по формуле Вейсбаха

$$\Delta h_{м.с} = \zeta \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g},$$

где v — средняя скорость по сечению в трубе, в которой установлено местное сопротивление. Если диаметр трубы и скорость в ней изменяются по длине, то для расчёта принимают большую из скоростей.

ζ — коэффициент местного сопротивления, значение которого постоянно для данной формы местного сопротивления.

Внезапное расширение и сужение, при которых жидкость не течёт по всему контуру стенок, а движется по плавным линиям токов (рисунок 2.2, а, б). Потери энергии определяются по формулам

$$\Delta h_{в.р.} = \left(1 - \frac{S_1}{S_2}\right)^2 \cdot \frac{v_1^2}{2 \cdot g} = \zeta_{в.р.} \cdot \frac{v_1^2}{2 \cdot g}, \quad \Delta h_{в.с} = \zeta_{в.с} \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g} = 0,5 \cdot \left(1 - \frac{S_2}{S_1}\right)^2 \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g}, \text{ м.}$$

Поворот потока может быть плавным и резким (рис. 1.2, в, г). Потери энергии определяются по формуле

$$h_k = \zeta_k \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \text{ м.}$$

При плавном повороте на 90° для приблизительных расчетов можно принимать коэффициент сопротивления $\zeta_k = 0,15$.

Значения коэффициентов сопротивления, как правило, определяются опытным путём и в обобщённом виде содержатся в справочниках в виде эмпирических формул, таблиц, графиков.

Таким образом, полные потери давления или напора определяются выражениями

$$\Delta p_{\text{пот}} = \Delta p_{\text{тр}} + \Delta p_{\text{м}} \quad \text{или} \quad \Delta h_{\text{пот}} = \Delta h_{\text{тр}} + \Delta h_{\text{м}}.$$

2.2 Порядок проведения работы

- 1) Полностью открыть вентили 6 и 8, вентиль 7 закрыть.
- 2) Включить в работу насос 13, подающий воду из водосборного бака 12 в систему.
- 3) Установить уровень жидкости вентилем 8 в пьезометрах.
- 4) Произвести измерения давления в соответствующих сечениях.
- 5) При помощи расходомерного устройства 11 определить расход.

2.2 Обработка опытных данных

- 1) Вычислить расход жидкости по формуле

$$Q = \frac{V}{t} = \text{_____}, \text{ см}^3/\text{с}$$

где V — объем жидкости прошедший через расходомер (1 л = 1000 см³);
 t — время за которое жидкость прошла через расходомер.

2) Вычислить для каждого поперечного сечения площадь

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \text{_____} \text{ см}^2$$

3) Вычислить для каждого сечения значение средней скорости

$$v = \frac{Q_{\text{ср}}}{S} = \text{_____} \text{ см/с.}$$

4) Вычислить потери напора по формуле

$$\Delta h_{\text{пот}} = h_i - h_{i+1} = \text{_____} \text{ см.}$$

5) Вычислить коэффициент гидравлического трения

$$\lambda = \frac{2 \cdot g \cdot \Delta h_{\text{пот}} \cdot d}{l \cdot v^2} = \text{_____}.$$

где g – ускорение свободного падения, $g = 981 \text{ см/с}^2$;

l – длина трубопровода между сечениями, где определяется потери на трение, см.

6) Определить теоретическое значение коэффициента гидравлического трения по советующей формуле (п.2.1)

$$\lambda_{\text{расч}} = \text{_____}.$$

7) Вычислить для каждого местного сопротивления значения коэффициента местных потерь по опыту

$$\zeta_{\text{оп}} = \frac{2 \cdot g \cdot \Delta h_{\text{пот}}}{v^2} = \text{_____}.$$

Определить коэффициенты местных сопротивлений расчетным путем

$$\zeta_{\text{в.р.расч.}} = \left(1 - \frac{S_1}{S_2}\right)^2 = \text{_____}, \quad \zeta_{\text{в.с.расч.}} = 0,5 \cdot \left(1 - \frac{S_2}{S_1}\right)^2 = \text{_____}.$$

8) Определить мощность, затрачиваемую на преодоление каждого из гидравлических сопротивлений по формуле (расчет производить в системе SI)

$$N = \Delta h_{\text{пот}} \cdot Q \cdot \rho \cdot g = \text{_____} \text{ Вт.}$$

Провести сравнительный анализ потерь энергии на каждом из участков сложного трубопровода. Обратить внимание на влияние скорости течения на потери энергии.

Таблица 2.1 - Результаты измерений и расчётов

№ п.п.	Диаметр трубопровода d	Расстояние между сечениями l	Площадь поперечного сечения трубопровода S	Показания пьезометра	Потери напора $\Delta h_{\text{пот}}$	Средняя скорость v	Коэф. гидравлического трения λ	Коэф. местного сопротивления ζ	Мощность N
	см	см	см ²	см	см	см/с	—	—	Вт
Потери по длине									
Пьезометр № 1		—						---	
Пьезометр № 2								---	
Потери на внезапном сужении									
Пьезометр № 5		--					---		
Пьезометр № 6		--					---		
Потери на внезапном расширении									
Пьезометр № 7		--					---		
Пьезометр № 8		--					---		
Потери на плавном повороте									
Пьезометр № 16		--					---		
Пьезометр № 17		--					---		
Потери по длине									
Пьезометр № 18		---						---	
Пьезометр № 19								---	

