

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
КУРГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Энергетика и технология металлов»

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ И РАСЧЕТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ
ЛИНЕЙНЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ**

**Методические указания
к выполнению лабораторной работы по курсу
гидравлики, гидромашин и гидропневмопривода
для студентов специальностей
190601, 190603, 190201, 190202, 260601, 151001,
151002, 220301, 280101, 140211, 150202, 050502**

Курган 2008

Кафедра: «Энергетика и технология металлов»

Дисциплина: «Гидравлика и гидропневмопривод»
(специальности 190601, 190603, 190201, 190202, 260601,
151001, 151002, 220301, 280101, 140211, 150202, 050502)

Составил: канд. техн. наук, доцент В.А. Савельев

Утверждены на заседании кафедры «14» мая 2008 г.

Рекомендованы методическим советом университета
«23» мая 2008 г.

Лабораторная работа

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ НАПОРА НА ТРЕНИЕ ПО ДЛИНЕ ПОТОКА

Цель работы: Ознакомление с методикой экспериментального и расчетного определения потерь напора по длине.

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ПОТЕРИ

При движении жидкости в русле или трубе возникают силы сопротивления, тормозящие частицы жидкости, прилегающие к поверхности трубы. Такое торможение за счет сил вязкости передается соседним слоям и поэтому скорость течения жидкости по мере удаления от оси трубы постепенно уменьшается.

Для поддержания поступательного движения жидкости необходимо затрачивать энергию. Энергия, необходимая для преодоления сил сопротивления, называется потерянной энергией.

Потери удельной энергии (потери напора) или, как часто их называют гидравлические потери, зависят от формы и размеров русла, скорости течения и вязкости жидкости, шероховатости стенок трубопровода.

Гидравлические потери обычно подразделяют на местные и линейные. Местные потери обусловлены местными гидравлическими сопротивлениями, которые вызываются деформациями потока при изменении формы русла. местные потери напора обозначают h_m .

Потери напора по длине возникают в прямых трубах постоянного сечения, зависят от длины трубопровода, обусловлены силами вязкости и влиянием стенок, ограничивающих поток. Потери напора возникающие по длине потока, обозначают h_e . Полная потеря напора $\Sigma h = h_e + h_i$.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ НАПОРА НА ТРЕНИЕ ПО ДЛИНЕ ПОТОКА

Потери напора на трение по длине вычисляют по формуле Вейсбаха-Дарси

$$h_\ell = \lambda \frac{\ell}{d} \cdot \frac{v^2}{2g},$$

где h_ℓ - потеря напора по длине трубы, м;

ℓ - длина трубы, м;

d - внутренний диаметр трубы, м;

v - средняя скорость жидкости в трубе, м/с;

g - ускорение силы тяжести $9,81 \text{ м/с}^2$;

λ - коэффициент сопротивления трения.

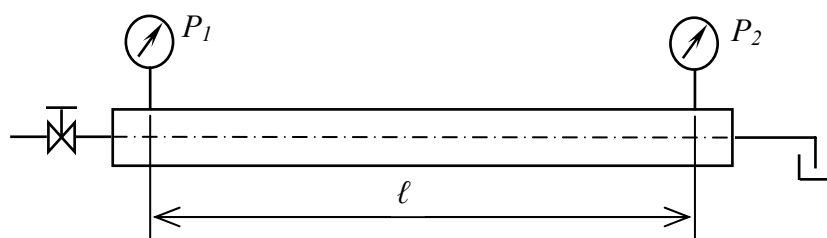
Потерю давления в трубопроводе можно вычислить по формуле

$$\Delta p_\ell = \lambda \cdot \frac{\ell}{d} \cdot \frac{v^2}{2} \rho,$$

где Δp - потеря давления на трение, Па;

ρ - плотность жидкости, кг/м^3 .

Практически потерю давления в трубопроводе постоянного давления (напор) $\Delta p_\ell = p_1 - p_2$ определяют измеряя давление или напор в начале p_1 и на конце трубы p_2 .



ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА СОПРОТИВЛЕНИЯ ТРЕНИЯ λ (КОЭФФИЦИЕНТА ДАРСИ)

При вычислении потерь напора на трение по длине потока наибольшие сложности вызывает определение коэффициента сопротивления трения λ . Значения величин ℓ , d , v в формуле Вейсбаха-Дарси определяются конструкцией трубопровода и потребным расходом жидкости в трубе.

Коэффициент λ зависит от вязкости жидкости, состояния стенок трубопровода. Для ламинарного и турбулентного течения жидкости используются различные формулы нахождения коэффициента гидравлического трения λ .

Расчетное значение коэффициента λ при ламинарном режиме $Re < 2300$

$$\lambda = \frac{64\nu}{vd} = \frac{64}{Re},$$

где v - скорость течения;

ν - кинематическая вязкость жидкости;

d - внутренний диаметр трубы;

$Re = \frac{vd}{\nu}$ - критерий Рейнольдса.

С учетом дополнительных сопротивлений, вызываемых искажениями поперечного сечения трубы и охлаждением наружных слоев жидкости, течения λ в практических расчетах принимают

$$\lambda = \frac{75}{Re}.$$

Таким образом при ламинарном режиме коэффициент гидравлического трения обратно пропорционален числу Re и не зависит от состояния стенок трубопровода, а потери прямо пропорциональны средней скорости.

Турбулентное движение характеризуется непрерывным перемешиванием частиц жидкости. Оно по существу является неустановившимся, так как скорость в любой точке потока непрерывно и постоянно изменяются во времени, т.е. пульсируют относительно среднего значения по величине и направлению.

У стенок русла, ограничивающих поток, пульсации затухают и частицы движутся по извилистым траекториям, почти параллельно стенкам. Этот переходный слой более медленного течения жидкости называют пограничным или вязким.

ТЕЧЕНИЕ ЖИДКОСТИ ВБЛИЗИ СТенок РУСЛА ПРИ ТУРБУЛЕНТНОМ РЕЖИМЕ

Поверхность стенки русла зависит от материала и качества обработки. В зависимости от высоты выступов шероховатости поверхности их делят на гладкие и шероховатые.

Если толщина пограничного слоя значительно больше высоты выступов шероховатости поверхности, то такие поверхности называют гидравлически гладкими. В этом случае возмущения, вызванные шероховатостью гасятся и она не влияет на сопротивление движению.

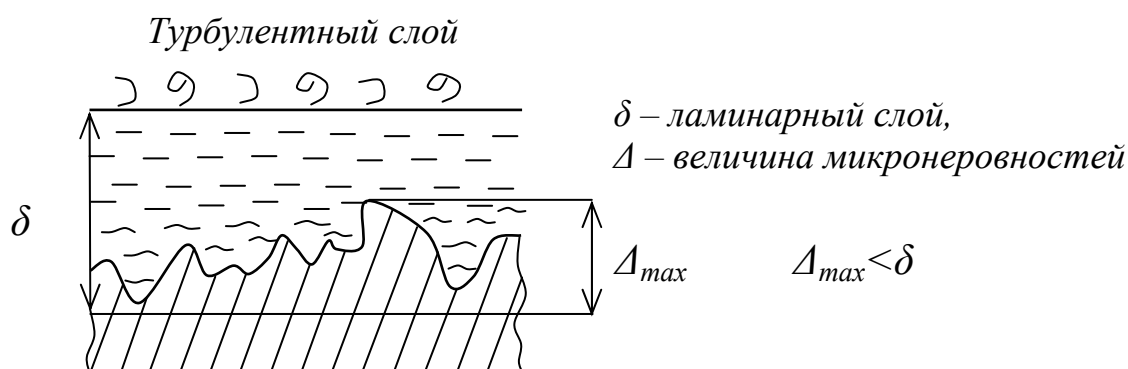


Рисунок 1 – Схема турбулентного течения в гидравлически гладких трубах

Когда толщина пристенного слоя становится меньше выступов шероховатости, тогда поверхности называют шероховатыми и возникающие при обтекании выступов вихри, открываясь способствуют перемешиванию и усиливают турбулентность.

Понятие гладкой и шероховатой поверхности является относительным, так как толщина ламинарного подслоя зависит от числа Рейнольдса и диаметра трубы.

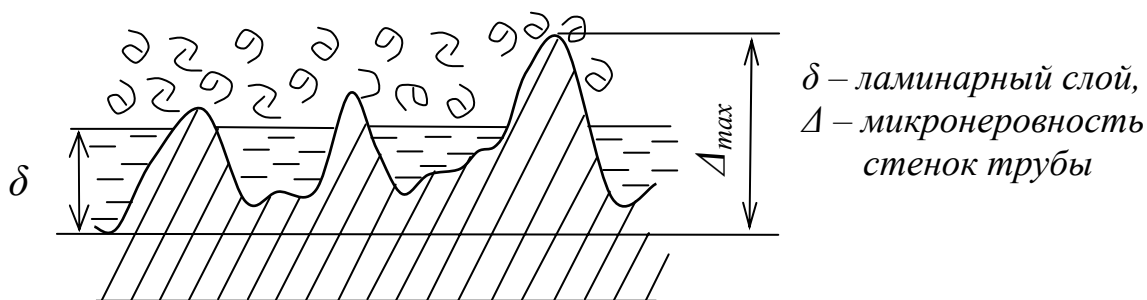


Рисунок 2 – Схема турбулентного течения в шероховатых трубах

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА СОПРОТИВЛЕНИЯ ТРЕНИЯ ПРИ ТУРБУЛЕНТНОМ РЕЖИМЕ

Для определения коэффициента сопротивления в гладких трубах обычно используют формулу Блазиуса при Re от 4000 до 10^5

$$\lambda = \frac{0,316}{\sqrt[4]{Re}}.$$

При большой турбулентности $Re > 10^5$ учитывают шероховатость стенок трубы и используют формулу Альтшуля

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

В квадратичной зоне при больших числах Re для определения коэффициента сопротивления трения применяют формулу Шифринсона

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta_{\text{э}}}{d} \right)^{0,25},$$

где $\Delta_{\text{э}}$ - эквивалентная шероховатость;

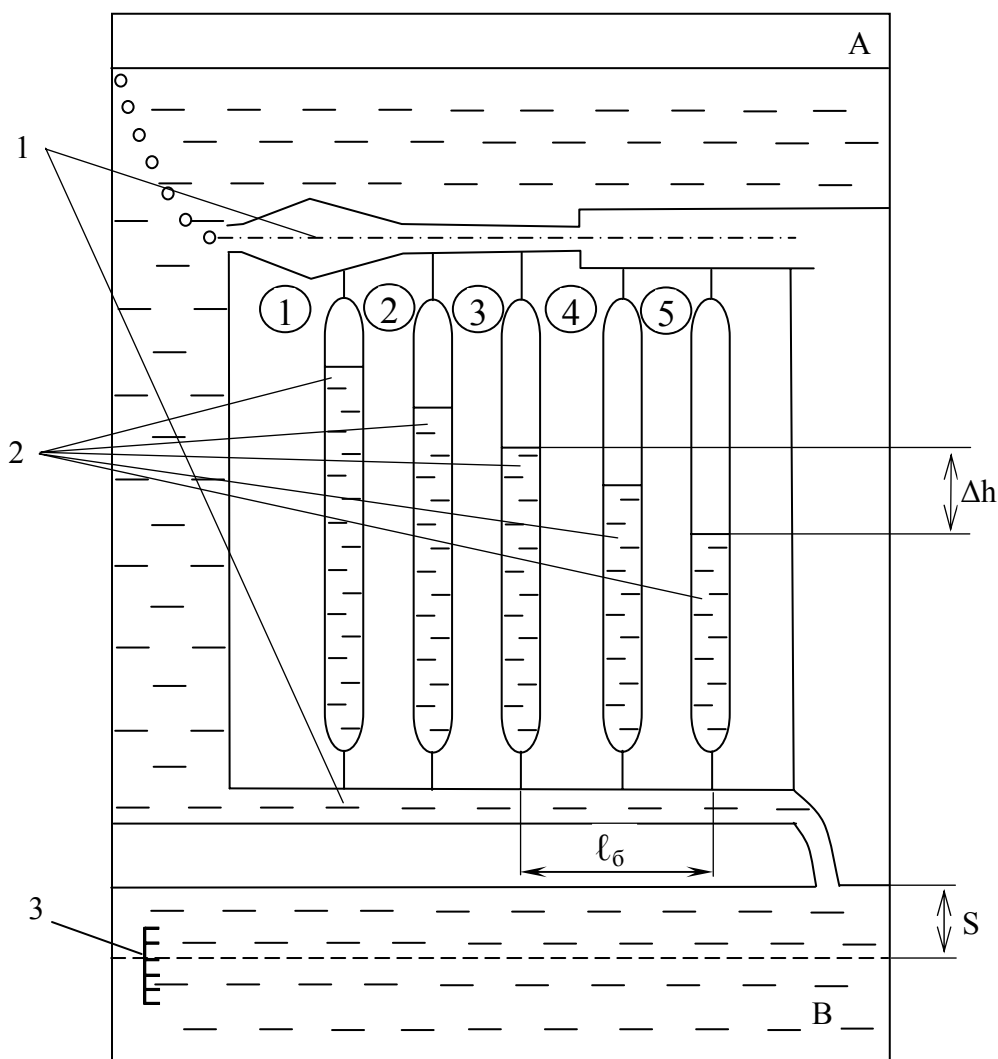
d - внутренний диаметр трубы;

Re - критерий Рейнольдса.

СХЕМА ЛАБОРАТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Устройство состоит из баков А и В, сообщаемых испытательными каналами переменного и постоянного сечения.

Каналы соединены между собой равномерно расположенными пьезометрами для измерения напора. Изменение уровня воды в баке определяется по мерной шкале.



А – верхний бак, В – нижний бак, 1 – испытательные каналы, 2 – пьезометры, 3 – мерная шкала, Δh – перепад уровней жидкости в пьезометрах; ℓ_0 – базовая длина, S – изменение уровня жидкости в баке

Рисунок 3 – Схема лабораторного устройства

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

- 1 При заполненном баке А установить устройство вертикально и наблюдать истечение жидкости из бака А в бак Б.
- 2 Измерить время τ изменения уровня в нижнем баке на заданную величину S по мерной шкале.
- 3 Снять показания пьезометров h и температуру T в помещении.

- 4 На участке с постоянным уклоном определить перепад Δh (обычно перепад пьезометров $h_3-h_5=\Delta h$) соответствующий равномерному течению.
- 5 Определить базовую длину ℓ_6 между осями этих пьезометров.
- 6 Рассчитать скорость течения жидкости в испытательном канале, критерий Рейнольдса, коэффициент сопротивления трения и потерю напора Δh_p .
- 7 Результаты измерений и расчетов занести в протокол испытаний.
- 8 Проанализировать результаты исследования, определить погрешность опытного и расчетного определения потери напора Δh_c на трение по длине потока.

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ

№ п.п	Наименование показателя	Ед. измерения	Величина
A	Измеренные величины		
1	Гидравлический диаметр	d_r , см	0,5
2	Сечение бака	S_6 , см ²	84
3	Сечение канала	ω , см ²	0,25
4	Абсолютная шероховатость стенок канала	Δ , мм	0,001
5	Изменение уровня жидкости в баке	S , см	
6	Время истечения жидкости	τ , с	
7	Базовая длина	ℓ_6 , см	
8	Потеря напора $h_3 - h_5$	Δh , см	
9	Температура	T°C	
B	Рассчитанные показатели		
1	Кинематическая вязкость	ν , см ² /с	
2	Объем перетекшей жидкости	V , см ³	
3	Расход жидкости	Q , см ³ /с	
4	Скорость течения	v , см/с	
5	Режим течения	Re	
6	Коэффициент сопротивления трения	λ	
7	Рассчитанная потеря напора	Δh_p , см	
8	Погрешность	Σ , %	

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОПЫТОВ

При обработке результатов измерений вычисляют значения следующих величин:

- 1 Объем перетекшей жидкости V

$$V=S_6 \cdot S=84 \cdot S, \text{ см}^3.$$

2 Расход жидкость Q

$$Q = \frac{V}{\tau}, \text{ см/с.}$$

3 Скорость течения жидкости в канале

$$v = \frac{Q}{\omega}, \text{ см/с.}$$

4 Кинематическую вязкость

$$\nu = \frac{17,9}{1000 + 34 \cdot T + 0,22T^2}, \frac{\text{см}^2}{\text{с}}.$$

5 Режим течения Re

$$\text{Re} = \frac{v \cdot d_{\Gamma}}{\nu}.$$

6 Коэффициент сопротивления трения λ вычисляют по нижеприведенным формулам в зависимости от режима течения

при $\text{Re} \leq 10^5$ по формуле Блазиуса $\lambda = \frac{0,316}{\sqrt[4]{\text{Re}}},$

при $\text{Re} \geq 10^5$ по формуле Альтшуля $\lambda = 0,11 \left(\frac{68}{\text{Re}} + \frac{\Delta}{d_{\Gamma}} \right)^{0,25},$

при $\text{Re} > 10^5$ по формуле Шифринсона $\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta}{d_{\Gamma}} \right)^{0,25}.$

7 Рассчитываем потерю напора Δh_p в канале на базовой длине ℓ_{σ}

$$\Delta h_p = \lambda \frac{\ell_{\sigma}}{d_{\Gamma}} \cdot \frac{v^2}{2g}, \text{ см.}$$

8 Определяем погрешность Σ

$$\Sigma = \frac{\Delta h - \Delta h_p}{\Delta h} \cdot 100.$$

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЁТА

Результаты проведенных исследований оформляются в виде отчета по работе, включающего:

- 1 название лабораторной работы;
- 2 указание цели исследований;
- 3 схему лабораторного устройства с указанием основных элементов;
- 4 протокол исследований;
- 5 расчетные формы обработки опытных данных с числовым примером;
- 6 выводы с указанием опытной и расчетной потери напора на трение Δh_{ℓ} и погрешностью расчета.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Гидравлика, гидромашины и гидропневмопривод: Учебное пособие для вузов/ Под ред. С.П. Стесина – М.: Академия, 2005.
- 2 Кудинов В.А., Карташев Э.М. Гидравлика: Учебное пособие. – М.: Высш. шк., 2006.
- 3 Методические указания к лабораторным работам на портативной лаборатории «Капелька»/ Г.Д. Слобазанин, Д.Г. Слабожанин. - Томск: Изд-во Томский. архит.-строит. ун-та, 2005.

Виктор Андреевич Савельев

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ И РАСЧЕТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ
ЛИНЕЙНЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ**

**Методические указания
к выполнению лабораторной работы по курсу
гидравлики, гидромашин и гидропневмопривода
для студентов специальностей
190601, 190603, 190201, 190202, 260601, 151001,
151002, 220301, 280101, 140211, 150202, 050502**

Редактор Н.Л. Попова

Подписано к печати
Печать трафаретная
Заказ

Формат 60x84 1/16
Усл.печ.л. 0,75
Тираж 100

Бумага тип. № 1
Уч.-изд. л. 0,75
Цена свободная

Редакционно-издательский центр КГУ.
640669, г. Курган, ул. Гоголя, 25.
Курганский государственный университет.