

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
КУРГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Энергетика и технология металлов»

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЖИМА ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ

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

Курган 2008

Кафедра: «Энергетика и технология металлов»

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

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

Утверждены на заседании кафедры « 22» декабря 2007 г.

Рекомендованы методическим советом университета
«21» января 2008 г.

Лабораторная работа

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЖИМА ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ

Цель работы: Изучение структуры потока и методики определения режима движения жидкости.

1 ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

1.1 Причины, вызывающие энергетические потери движущейся жидкости

В природе различают два режима движения жидкости: ламинарный (от латинского слова *lamina* – слой) и турбулентный (от латинского слова *turbulentus* – беспорядочный).

При ламинарном режиме частицы жидкости движутся не перемешиваясь, образуя струйчатое (слоистое) движение.

При турбулентном режиме частицы жидкости интенсивно перемешиваются. Траектории движения частиц имеют сложную форму и пересекаются между собой.

Ламинарный режим встречается на практике при движении жидкостей большой вязкости (смазочные масла, мазут, нефть); при фильтрации воды в порах грунта; движении крови в кровеносных сосудах.

Турбулентный режим наблюдается чаще при движении маловязких жидкостей (вода, бензин, керосин, спирт) в трубах, каналах, реках.

Изучение структуры потоков жидкости проводят, наблюдая в прозрачных трубах, каналах за движением меченых частиц (например, алюминиевый порошок) или окрашенных (тушью, краской) струй.

Как показывают опыты, при малых скоростях движения потока жидкости четко выделяется окрашенная струйка или линии окрашенных частичек движущихся по параллельным траекториям, что доказывает слоистое, т.е. ламинарное течение.

При непрерывном увеличении скорости течения, струйки (линии) приобретают сначала волнистый характер, а потом появляются разрывы и вся жидкость в потоке перемешивается. Это свидетельствует о наступлении турбулентного режима (беспорядочного перемещения частичек жидкости).

Скорости, соответствующие смене режимов, называются критическими. Наибольшая скорость перехода ламинарного режима в турбулентный называется верхней критической скоростью $u_{в.кр}$, а наименьшая скорость смены турбулентного режима ламинарным, называется нижней критической скоростью $u_{н.кр}$.

Таким образом, существует некоторый диапазон скоростей (переходная область), в котором может быть или ламинарный режим или турбулентный. Однако ламинарный режим в переходной области неустойчив, достаточно малейшего возбуждения потока, чтобы он перешел в турбулентный.

Результаты исследований о существовании двух режимов и условиях их смены были опубликованы в 1883 г. английским ученым и инженером О. Рейнольдсом.

Критерием для определения режима движения является безразмерное число Рейнольдса. Для труб круглого сечения число Рейнольдса определяется по формуле

$$Re = \frac{vd}{\nu}$$

Для потоков произвольного сечения

$$Ra_{R_{\tilde{a}}} = \frac{\nu R_{\tilde{a}}}{\nu} \text{ или } Ra_{\dot{A}_{\tilde{a}}} = \frac{\nu \dot{A}_{\tilde{a}}}{\nu},$$

где v – средняя скорость жидкости;

d – диаметр трубы;

$R_{\tilde{a}}$ – гидравлический радиус;

$\dot{A}_{\tilde{a}}$ – гидравлический диаметр;

ν – кинематическая вязкость.

Гидравлический диаметр $\dot{A}_{\tilde{a}} = 4R_{\tilde{a}}$.

Гидравлический радиус $R_{\tilde{a}} = \frac{S}{\tilde{\delta}}$,

где S – площадь живого сечения потока;

$\tilde{\delta}$ – смоченный периметр – длина линии, по которой живое сечение потока соприкасается с ограничивающими его стенками

Режим считается ламинарным, если $Ra < Ra_{\tilde{\delta}}$; $Ra_{R_{\tilde{a}}} < Ra_{R_{\tilde{a}, \tilde{\delta}}}$ и турбулентным, если $Ra > Ra_{\tilde{\delta}}$; $Ra_{R_{\tilde{a}}} > Ra_{R_{\tilde{a}, \tilde{\delta}}}$.

$Ra_{\tilde{\delta}}$ и $Ra_{R_{\tilde{a}, \tilde{\delta}}}$ называются критическими числами Рейнольдса. Обычно их принимают 2320 и 580 соответственно.

Исследования показывают, что при числах Рейнольдса $Ra=2000\dots4000$ периодически происходит смена ламинарного и турбулентного режимов, т.е. наблюдается так называемая перемежающаяся турбулентность. Поэтому более точным условием существования ламинарного режима следует считать $Ra < 2000$, а турбулентного $Ra > 4000$. Режимов движения жидкости пределах $Ra = 2000\dots4000$ следует избегать из-за неустойчивости режима течения и возможности колебательных процессов.

Критерий Рейнольдса, с точки зрения физики, можно рассматривать как отношение сил инерции $F_{ин}$ потока к силам трения T

$$Ra = \frac{F_{ei}}{O},$$

сила инерции $F_{ин} = ma$ (второй закон Ньютона) или $F_{ei} = \rho V \frac{dv}{dt}$,

где V – объем жидкости;

$\frac{dv}{dt}$ – ускорение;

ρ – плотность.

Сила трения $O = \mu S \frac{dv}{dy}$,

где S – площадь соприкосновения слоев;

$\frac{dv}{dy}$ – градиент скорости.

$$Ra = \frac{\rho V \frac{dv}{dt}}{\mu S \frac{dv}{dy}} = \frac{\frac{dy}{dt} V}{\nu \cdot S} = \frac{\nu \cdot L}{\nu},$$

где L – характерный размер; для круглых $L = d$; $Re = \frac{\nu d}{\nu}$.

Определение режима движения имеет важное практическое значение. Исследования показывают, что потери энергии движущейся жидкости по длине потока при ламинарном режиме пропорциональны средней скорости течения в первой степени: $h_\ell = k_\ell \nu$, где k_ℓ – коэффициент пропорциональности; при турбулентном режиме пропорциональны средней скорости в степени n : $h_\ell = k_\delta \nu^n$, где k_δ – коэффициент пропорциональности; n – показатель степени, $n = 1,75 \dots 2$.

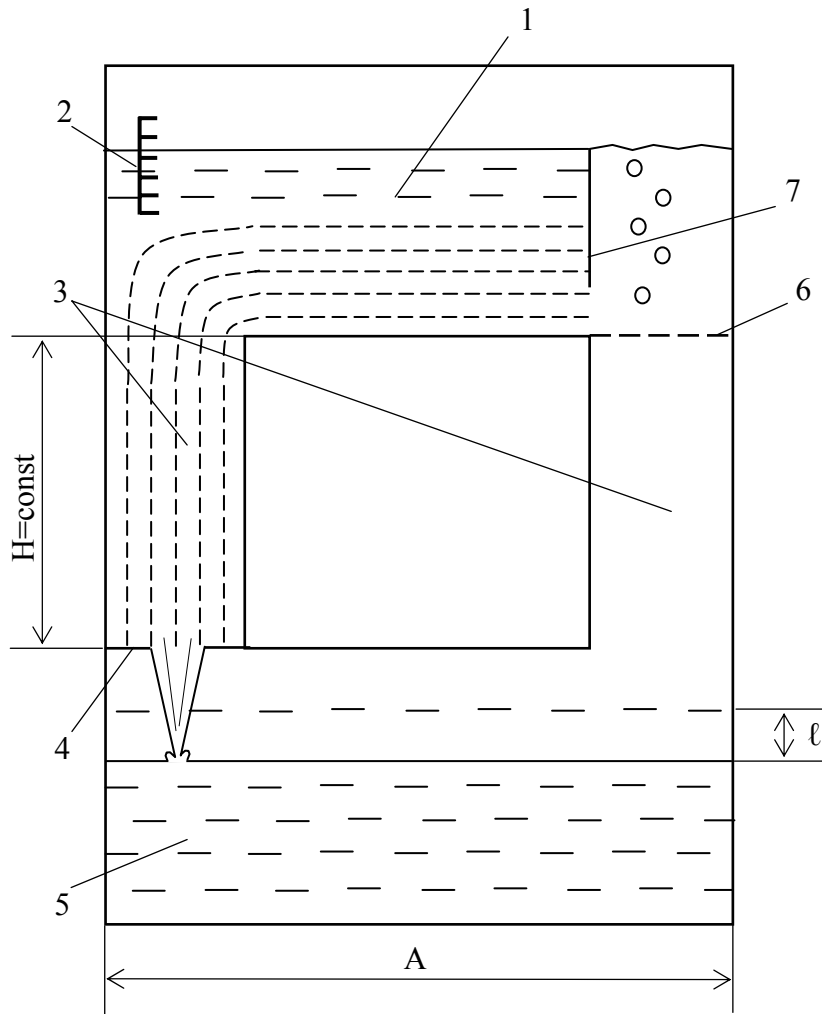
С увеличением турбулентности потока показатель степени возрастает и при развитой турбулентности $n = 2$.

2 СХЕМА ЛАБОРАТОРНОГО УСТРОЙСТВА

Работа выполняется на оборудовании портативной лаборатории «Капелька» (Устройство № 3).

Устройство имеет прозрачный корпус, баки, с успокоительной стенкой для гашения возмущений в жидкости от падения струй и всплывания пузырей воздуха. Баки между собой соединены каналами с одинаковыми сечениями. Конец одного канала снабжен перегородкой со щелью, а другого решеткой. Устройство заполнено водой, содержащей микроскопические части-

цы алюминия для наблюдения за структурой потока жидкости. Уровень воды в баке измеряется мерной шкалой.



1 – верхний бак, 2 – мерная шкала, 3 – наблюдательный канал,
4 – щель, 5 – нижний бак; 6 – решетка, 7 - перегородка
Рисунок 1.1 – Схема лабораторного устройства

3 РАБОТА УСТРОЙСТВА

Устройство работает следующим образом. Поступающая из верхнего бака в нижний вода через левый наблюдательный канал вытесняет воздух в виде пузырей в верхний бак через правый канал. Поэтому давления на входе в левый наблюдательный канал (на дне верхнего бака) и над жидкостью в нижнем баке уравниваются и истечение происходит под действием постоянного напора H , создаваемого столбом жидкости в левом канале. Так обеспечиваются установившееся (с постоянным во времени расходом) движение жидкости. В левом канале устанавливается ламинарный режим, благодаря низким скоростям течения из-за большого сопротивления щели 4.

При наблюдении течения жидкости в правом канале (когда устройство перевернуто на 180°) малое гидравлическое сопротивление решетки обеспечивает получение турбулентного течения за счет больших скоростей. Расход можно изменять наклоном устройства от себя.

4 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 1 Подготовить устройство к работе. Заполнить верхний бак жидкостью перевернув устройство на 180° .
- 2 Поставить устройство нижним баком на стол и наблюдать структуру потока при истечении жидкости в наблюдательном канале.
- 3 Измерить время перемещения уровня воды в нижнем или верхнем баке и величину изменения этого уровня ℓ .
- 4 Снять показания температуры T в помещении лаборатории.
- 5 Перевернуть устройство на 180° и повторить измерения в противоположном канале.
- 6 Результаты измерений занести в протокол испытаний.
- 7 Занести в протокол испытаний размеры поперечного сечения бака $S_0 = A \cdot B$; диаметр d и площадь поперечного сечения наблюдательного канала ω , указанные на корпусе лабораторного устройства.

5 ОБРАБОТКА ОПЫТНЫХ ДАННЫХ

При обработке результатов измерений вычисляются значения следующих величин:

- 1 Кинематическая вязкость жидкости по формуле

$$\nu = \frac{17,9}{1000 + 34\theta + 0,22\theta^2}, [\tilde{m}^2/\tilde{s}],$$

где T – температура воздуха в помещении лаборатории $^\circ C$.

- 2 Объем V воды, поступившей в бак за время τ , $[cm^3]$

$$V = S_0 \cdot \ell, [\tilde{m}^3].$$

- 3 Расход Q через наблюдательный канал

$$Q = \frac{V}{\tau}, [\tilde{m}^3/\tilde{s}].$$

- 4 Средняя скорость v течения воды в наблюдательном канале

$$v = \frac{Q}{\omega}, [\tilde{m}^2/\tilde{s}],$$

где ω - площадь поперечного сечения наблюдательного канала.

- 5 Число Рейнольдса в каждом опыте $Re = \frac{v \cdot d}{\nu}$ и название режима течения.

- 6 Результаты вычислений заносятся в протокол испытаний.

Таблица 1 – Протокол испытаний

№ п/п	Наименование величины	Единица измерения	Величина	
			Опыт №1	Опыт №2
1	Площадь сечения наблюдательного канала устройства ω .	см ²		
2	Диаметр сечения наблюдательного канала d .	см		
3	Площадь сечения бака устройства $S=A \cdot B$.	см ²		
4	Изменение уровня жидкости в баке l .	см		
5	Время наблюдения изменения уровня жидкости в баке τ .	с		
6	Температура жидкости T .	°С		
7	Кинематический коэффициент вязкости жидкости ν .	$\frac{\tilde{\eta} \cdot l^2}{\tilde{\eta}}$		
8	Объем V жидкости, поступившей в бак за время τ .	см ³		
9	Расход жидкости через наблюдательный канал Q .	$\frac{\tilde{\eta} \cdot l^3}{\tilde{\eta}}$		
10	Средняя скорость течения в наблюдательном канале, v .	$\frac{\tilde{\eta} \cdot l}{\tilde{\eta}}$		
11	Число Рейнольдса Re	Re		
12	Название режима течения	Режим		

7 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- 1 Цель работы.
- 2 Схема лабораторного устройства.
- 3 Протокол записей результатов опытов и расчета.
- 4 Примеры расчетов для одного опыта.
- 5 Выводы.

8 СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Гидравлика, гидромашины и гидропневмопривод: Учеб. пособие / Под ред. С.П. Стесина – М.: Академия, 2005.
- 2 Гидравлика, гидромашины и гидропневмопривод / Т.М. Башта, С.С. Руднев, Б.Б. Некрасов и др. – М.: Машиностроение, 1982.
- 3 Вильнер Я.М., Ковалев Я.Т., Некрасов Б.Б. Справочное пособие по гидравлике, гидромашинам и гидроприводам. – Минск: Вышэйшая шк., 1985.

Савельев Виктор Андреевич

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЖИМА ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ

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

Редактор Н.М. Кокина

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.