

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

КУРГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Энергетики и технологии металлов»

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ ПОТОКА  
ДВИЖУЩЕЙСЯ ЖИДКОСТИ, ИЛЛЮСТРИРУЮЩЕЕ  
СЛАГАЕМЫЕ УРАВНЕНИЯ БЕРНУЛЛИ**

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

Курган 2010

Кафедра: «Энергетика и технология металлов»

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

Составил: доцент, канд. техн. наук И.М. Иванов

Утверждены на заседании кафедры «18» марта 2010 г.

Рекомендованы методическим советом университета «01» июня 2010 г.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ ПОТОКА ДВИЖУЩЕЙСЯ ЖИДКОСТИ, ИЛЛЮСТРИРУЮЩЕЕ СЛАГАЕМЫЕ УРАВНЕНИЯ БЕРНУЛЛИ

**Цель работы:** Опытное определение уравнения Д. Бернулли, т.е. изменения энергии потока движущейся жидкости по течению и перехода потенциальной энергии в кинетическую и обратно (связи давления со скоростью).

### 1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Полная энергия движущейся жидкости в потоке устанавливается уравнением Д. Бернулли, для элементарной струйки и потока реальной (вязкой жидкости), которое имеет вид

$$Z_1 + \frac{D_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_f.$$

Все слагаемые уравнения Бернулли представляют собой различные виды удельных энергий потока жидкости в соответствующих сечениях. Размерность всех членов уравнения линейная, поэтому их можно изобразить отрезками в соответствующих сечениях, то есть интерпретировать уравнение Бернулли графически.

Умножив на силу тяжести все слагаемые уравнения, мы получим размерность работы или энергии (Н\*м). В поле сил тяжести такой интерпретацией может быть расстояние, отсчитываемое по вертикали от плоскости сравнения. При этом обязательное требование к плоскости сравнения – ее горизонтальность, так как она должна быть нормальной к линиям действия силы тяжести. Отсюда следует, что  $z$  выражает геометрическую высоту. Если она откладывается от плоскости сравнения вверх, то считается положительной, если вниз – отрицательной (это правило знаков применяется ко всем другим слагаемым уравнения Бернулли). В большинстве случаев второе слагаемое определяется по избыточному давлению. Поэтому, величина  $p/\gamma$  называется пьезометрической высотой, а сумма первых двух слагаемых ( $z+p/\gamma=H$ ) соответственно называется пьезометрическим (гидростатическим) напором. Третье слагаемое называют скоростным напором. Все эти отрезки, отложенные последовательно по вертикали, образуют величину, называемую гидродинамическим (полным) напором (рисунок 1).

Линия «1» на рисунке 1, характеризующая изменения вдоль течения пьезометрического напора, называется пьезометрической линией. Её уклон называется пьезометрическим уклоном. Аналогично линия «2», проведенная по отметкам гидродинамического напора, называется напорной линией, а её уклон – гидродинамическим уклоном.

Разность ординат напорной и пьезометрической линией – это скоростной

напор, который определяется уравнением неразрывности. Достаточно только знать изменения площади живого сечения. Для потока реальной жидкости у скоростного напора стоит коэффициент  $\alpha$  (Кариолиса). Физический смысл этого коэффициента – отношение действительной кинетической энергии к кинетической энергии, вычисленной по средней скорости. Поэтому его значение зависит от неравномерности распределения скоростей по живому сечению и находится в интервале  $1 < \alpha < 2$ . Все эти линии и величины показаны на рисунке 1, как для элементарной струйки вязкой жидкости (I), так и для потока (II).

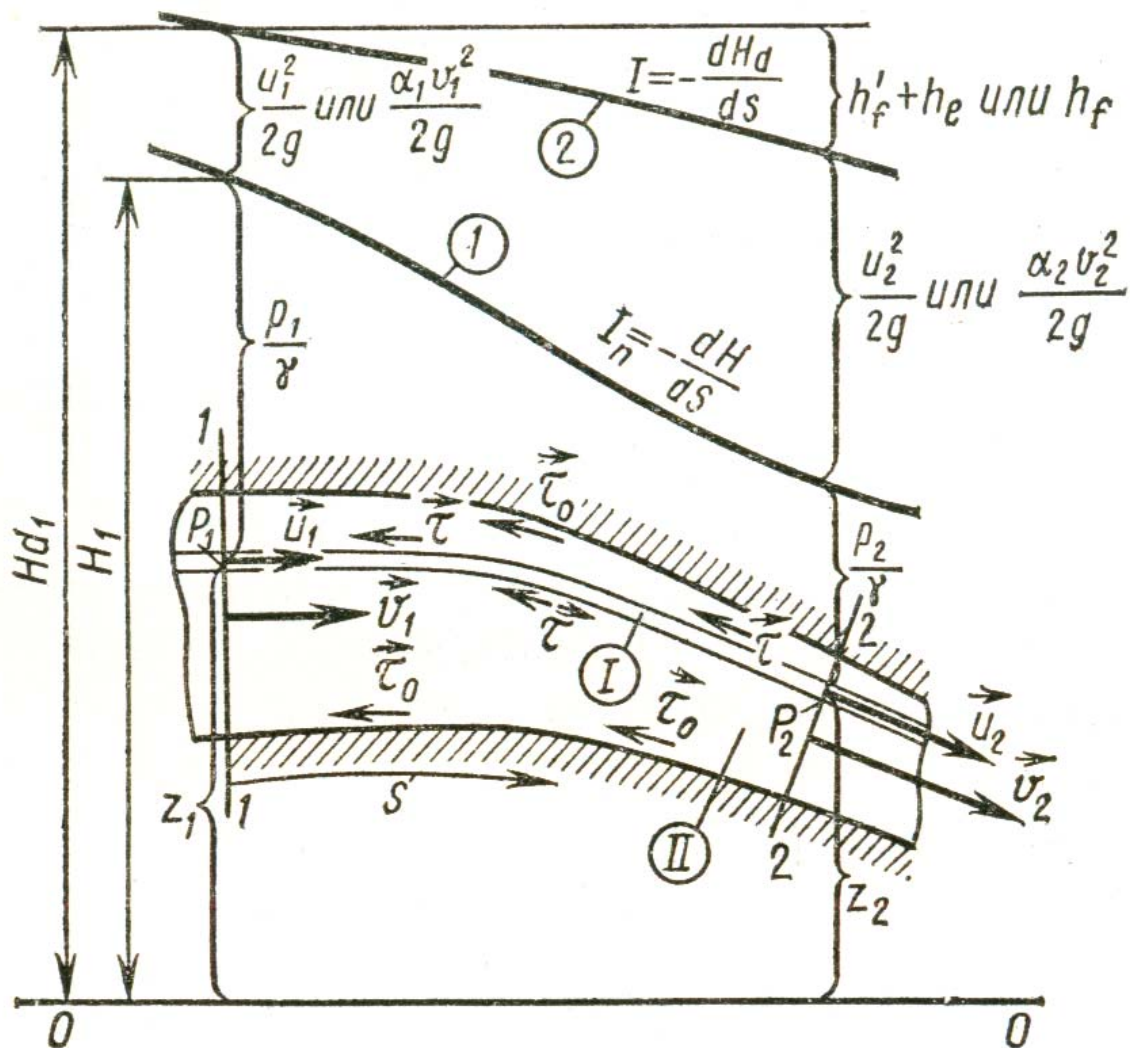


Рисунок 1 – Графическое изображение потока движущейся жидкости:  
 1 – пьезометрическая линия; 2 – напорная линия;  
 I – элементарная струйка вязкой жидкости;  
 II – поток вязкой жидкости

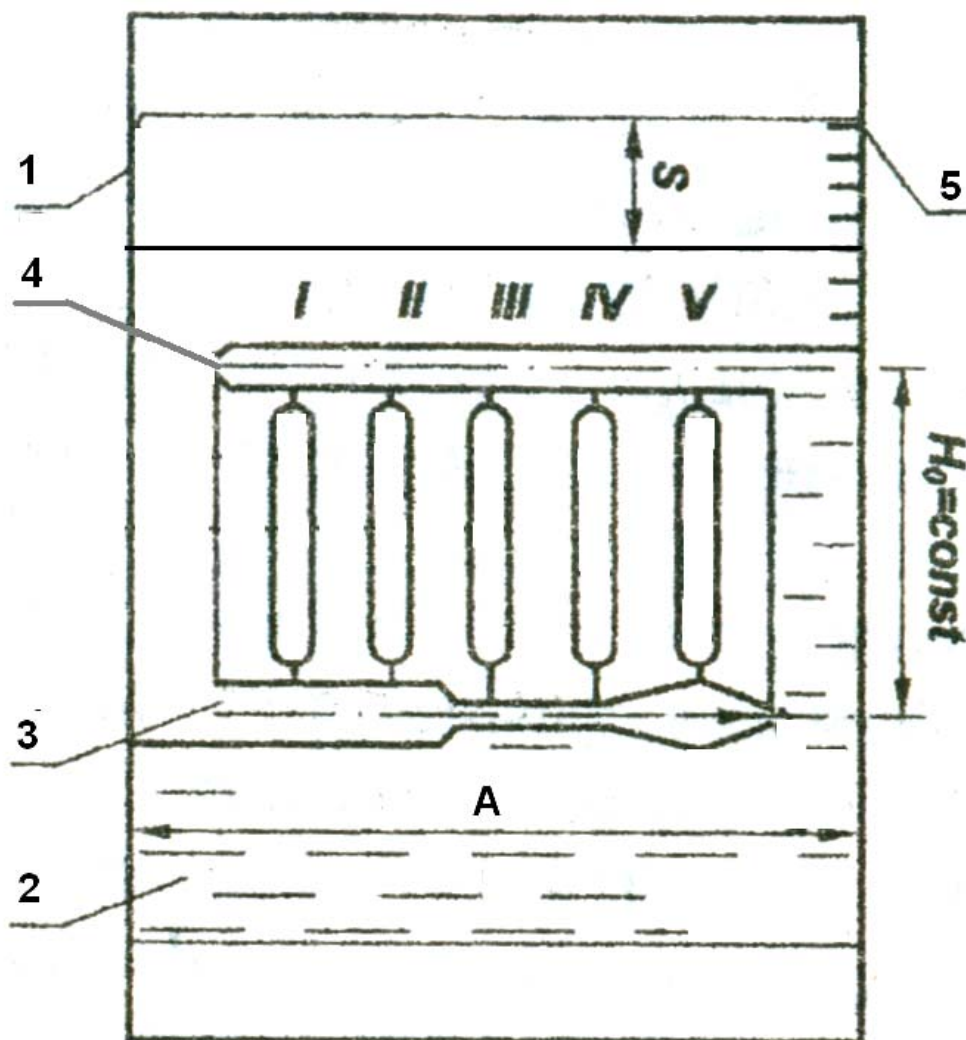
При движении реальной (вязкой) жидкости на преодоление сил вязкости затрачивается часть энергии потока, но это не единственный вид потерь. Большая доля энергии затрачивается на перемешивание, которая не поддается аналитическому определению. Поэтому потери напора оцениваются

интегрально, а формулы для подсчета потерь носят эмпирический характер.

Построение пьезометрической и напорной линий широко применяется при решении многих задач, так как это дает возможность быстро устанавливать основные характеристики движения жидкости, причины и степень их изменчивости.

## 2 ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Устройство для регистрации пьезометрической линии (а также для определения потерь напора по длине) выполнено из прозрачной пластмассы и содержит два бака, сообщающиеся между собой через опытные каналы переменного и постоянного сечения (рисунок 2). Каналы соединены между собой равномерно расположенными пьезометрами (I – V), служащими для измерения пьезометрических напоров в характерных сечениях.



1,2 – баки; 3 – опытный канал переменного сечения;  
4 – канал постоянного сечения; 5 – уровнемерная шкала;  
I-V – пьезометры

Рисунок 2 – Схема лабораторного устройства

Устройство заполнено подкрашенной водой. На одном из баков предусмотрена шкала для измерения уровней воды. При перевертывании устройства благодаря постоянству напора истечения обеспечивается установившееся движение воды в том или ином канале. В другой канал в это время пропускают воздух, вытесняемый жидкостью из нижнего бака в верхний бак. При выполнении данной работы бак с уравномерной шкалой является верхним, т.е. замер расхода идет в режиме опорожнения верхнего бака.

### 3 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

3.1 Предварительно заполнить водой бак (2). При заполненном баке перевернуть устройство для получения течения воды в канале переменного сечения (3), как показано на рисунке 2.

3.2 Снять показания пьезометров по нижним частям менисков воды в них и занести в протокол для каждого пьезометра.

3.3 Замерить время опускания воды в баке (2) на заранее выбранную величину  $S$  в соответствии со шкалой (5).

3.4 По известным размерам  $A$  и  $B$  поперечного сечения бака, перемещения уровня  $S$  и времени  $t$ , определить расход воды в канале.

3.5 Зная расход и площади фиксированных сечений канала, рассчитать скоростные напоры в этих сечениях. Опыт повторить три раза и рассчитать осредненные замеренные величины.

3.6 Замеренные статические напоры и рассчитанные скоростные напоры занести в протокол.

### ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ

Наименование величин	Обозначения и размерность	Сечения канала					
		I	II	III	IV	V	VI
1 Площадь сечения канала	$\omega$ , см <sup>2</sup>						
2 Показания шкалы уровнемера	$S$ , см						
3 Расход	$Q$ , см <sup>3</sup> /сек						
4 Средняя скорость,	$V$ , см/сек						
5 Скоростной напор	$H_C$ , см						
6 Показания пьезометров	$H_{П}$ , см						
7 Полный напор	$H = H_C + H_{П}$ , см						

### 4 ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОПЫТОВ

При обработке результатов измерений вычисляют значения следующих величин:

4.1 Объем перетекшей жидкости, см<sup>3</sup>:

$$W = ABS = 84 * S.$$

4.2 Расход жидкости  $Q$ , см<sup>3</sup>/с:

$$Q = W/t.$$

4.3 Скорость движения жидкости в сечениях, см/с:

$$V = Q/\omega.$$

4.4 Скоростной напор, см:

$$H_C = V^2 / 2g.$$

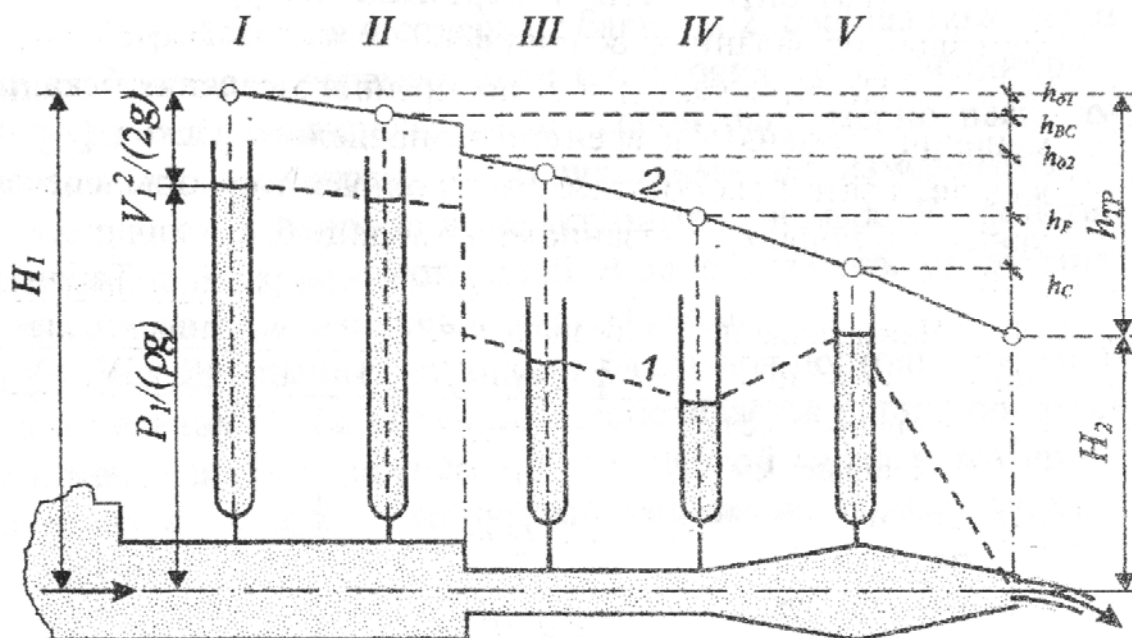
4.5 Полный напор:

$$H = H_C + H_{\Pi}.$$

Расчетные величины заносятся в протокол испытаний.

4.6 Вычертить в масштабе канал с пьезометрами (рисунок 3), и нанести на чертеж данные из протокола. По этим данным построить пьезометрическую и напорную линии.

4.7 Проанализировать полученный результат и его соответствие уравнению Бернулли.



1, 2 – пьезометрическая и напорная линии;

$H_1$ ,  $H_2$  – полные напоры (механические энергии) на входе и выходе из канала;

$h_{тп}$ ,  $h_{д1}$ ,  $h_{д2}$ ,  $h_{вс}$ ,  $h_{р}$ ,  $h_{с}$  – потери напора; суммарные, по длине на 1-ом и 2-ом участках, на внезапное сужение, на плавные расширения и сужения

Рисунок 3 – Иллюстрация уравнения Бернулли

## 5 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Результаты проведенного исследования оформляются в виде отчета по работе, включающего:

1 Название лабораторной работы;

- 2 Указание цели исследования;
- 3 Схема лабораторной установки с указанием основных элементов;
- 4 Протокол исследований;
- 5 Расчетные формулы обработки опытных данных с числовым примером;
- 6 Выводы из проведенной работы.

## **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. – Томского: Изд-во Томского архит.-строит. ун-та, 2005.



Иванов Игорь Михайлович

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ ПОТОКА  
ДВИЖУЩЕЙСЯ ЖИДКОСТИ, ИЛЛЮСТРИРУЮЩЕЕ  
СЛАГАЕМЫЕ УРАВНЕНИЯ БЕРНУЛЛИ**

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

Редактор Н.А. Леготина

---

Подписано к печати	Формат 60x84 1/16	Бумага тип. №1
Печать трафаретная	Усл.печ.л. 0,75	Уч.-изд.л. 0,75
Заказ	Тираж 100	Цена свободная

---

РИЦ Курганского государственного университета.  
640000, г. Курган, ул. Гоголя, 25.  
Курганский государственный университет.