

Министерство образования Российской Федерации  
Томский политехнический университет  
Филиал ТПУ в г. Юрге

---

УТВЕРЖДАЮ  
Зав. кафедрой ТМС  
д. т. н, профессор  
\_\_\_\_\_ С. И. Петрушин  
" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2000 г.

## ИЗМЕРЕНИЕ ПЬЕЗОМЕТРИЧЕСКОГО И СКОРОСТНОГО НАПОРОВ

Методические указания к выполнению лабораторной работы по курсу “Гидравлика и гидропривод” для студентов дневной и вечерней форм обучения всех специальностей

Юрга 2000

УДК 621.62

Измерение пьезометрического и скоростного напоров:  
Методические указания к выполнению лабораторной работы по курсу “Гидравлика и гидропривод” для студентов дневной и вечерней форм обучения всех специальностей. - Юрга: ИПЛ ЮФ ТПУ, 2000. - 8 с.

Составитель  
Рецензент

ассистент А. В. Воробьев  
главный конструктор ОАО "Юрмаш"  
Н. А. Попиральчик

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к изданию методическим семинаром кафедры "Технология машиностроения"  
" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2000 г.

Зав. кафедрой  
профессор, д. т. н.

С. И. Петрушин

## 1. Измерение пьезометрического и скоростного напоров

Цель работы: измерение пьезометрического и скоростного напоров в поперечном сечении потока; определение скорости в точке потока; определение средней скорости потока жидкости в исследуемом сечении трубы.

## 2. Теоретические основы эксперимента

В гидравлике напором принято называть удельную энергию жидкости, т. е. меру энергии, принадлежащей единице веса жидкости. Согласно уравнению Бернулли для элементарной струйки, полный напор  $H$  представляет собой сумму трех членов:

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} = H = \text{const}, \quad (1)$$

где  $z_1, z_2$  - возвышение рассматриваемых сечений струйки над горизонтальной плоскостью 0 - 0 (рис. 1);

$\frac{P_1}{\rho g}, \frac{P_2}{\rho g}$  - данные слагаемые представляют собой пьезометрические высоты (пьезометрические напоры), отвечающие гидродинамическому давлению в рассматриваемых сечениях;

$\frac{v_1^2}{2g}, \frac{v_2^2}{2g}$  - скоростные напоры в рассматриваемых сечениях.

Для измерения пьезометрического напора может использоваться пьезометр. Пьезометр 1 (рис. 1) представляет собой стеклянную трубку, один конец которой сообщен с атмосферой, а второй при помощи гибкой трубки соединяется с приемником замера пьезометрического напора. Пьезометр помещается на щите с миллиметровой шкалой. Шкала необходима для отсчета высоты  $h$  подъема жидкости. Высота  $h$  зависит от удельного веса  $\gamma$  жидкости, при помощи которой производится замер. Пьезометрический напор обычно определяют пьезометром, соединенным с отверстием в стенке трубы. Высота столба жидкости в пьезометре

$$h = P/\rho g. \quad (2)$$

Скоростной напор жидкости можно определить при помощи двух приборов - пьезометра и трубки Пито 2 (рис. 1), у которой нижний конец направлен против течения жидкости. Жидкость в трубке Пито поднимается на дополнительную высоту (по отношению к уровню в пьезометре)

$$h' = v^2/2g. \quad (3)$$

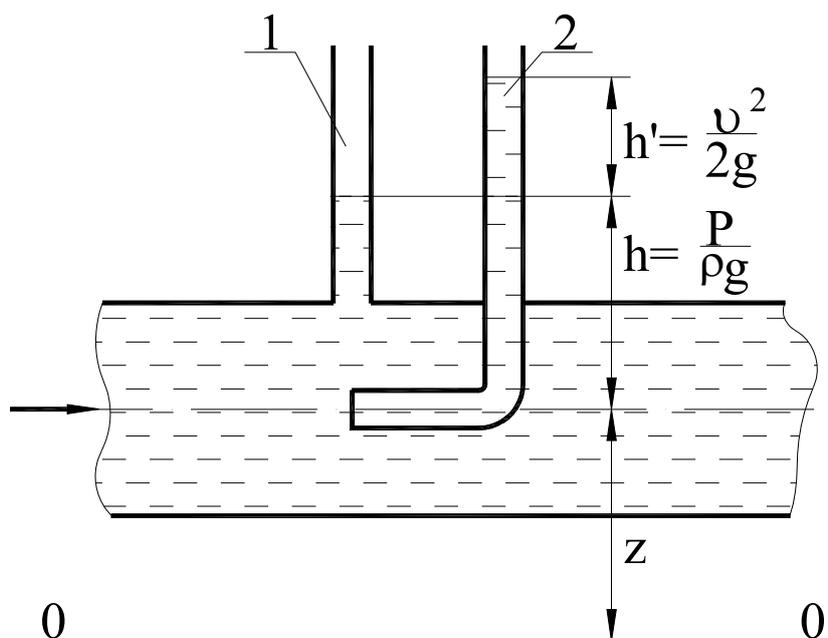


Рис. 1. Схема установки трубок для измерения пьезометрического и скоростного напора

Используя уравнение Бернулли (1), можно определить скорость жидкости в точке потока:

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g}. \quad (4)$$

Выберем два сечения (рис. 2): сечение 1 - 1 на входе в трубку Пито, а сечение 2 - 2 на поверхности жидкости в трубке Пито. Горизонтальную плоскость 0 - 0 проведем через центр потока.

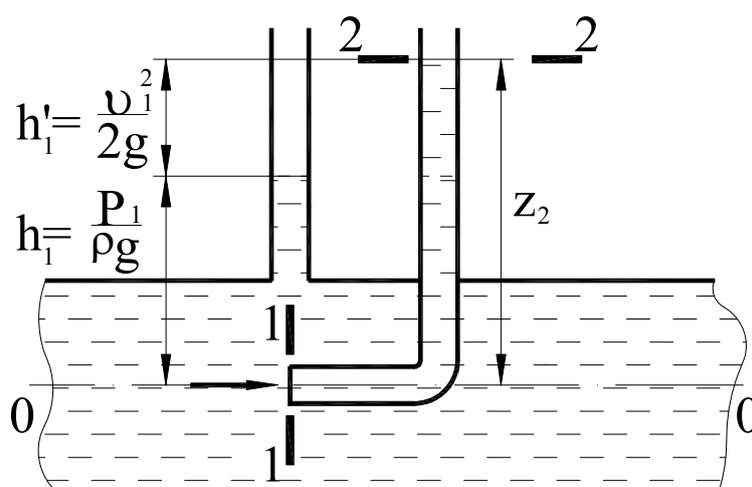


Рис. 2. Схема к определению скорости жидкости в точке потока

Тогда

$z_1 = 0$ ; так как в трубке Пито жидкость не движется,  $v_2 = 0$ ; манометрическое давление на поверхности жидкости в трубке  $P_2 = 0$ .

Подставляя в уравнение (4), получим

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2. \quad (5)$$

После преобразования

$$\frac{v_1^2}{2g} = z_2 - \frac{P_1}{\rho g}, \quad (6)$$

где  $z_2 - \frac{P_1}{\rho g} = h'_1$ .

Следовательно,  $v_1^2/2g = h'_1$ . После преобразования получаем формулу для определения скорости жидкости в точке потока:

$$v_i = \sqrt{2gh'_i}, \quad (7)$$

где  $h'_i$  - скоростной напор в рассматриваемой  $i$ -ой точке.

Как известно, в различных точках поперечного сечения потока вследствие вязкости жидкости скорость ее неодинакова: на оси трубы она максимальная, у стенки равна нулю.

Среднюю скорость несжимаемой жидкости в сечении потока можно определить по измеренному объемному расходу  $Q$  в соответствии с формулой

$$v_{\text{ср}} = \frac{Q}{S}, \quad (8)$$

где  $S$  - площадь сечения потока.

### 3. Описание установки

Рабочий участок гидростенда для данной лабораторной работы представляет собой трубу переменного сечения (рис. 3). В трех ее сечениях (I, II, III) для замера пьезометрического напора установлены трубки, соединенные с пьезометрами.

Для измерения скоростного напора в тех же сечениях установлены изогнутые трубки, соединенные с трубками Пито. Диаметр трубы в исследуемых сечениях  $d_{I,III} = 14\text{мм}$ ;  $d_{II} = 28\text{мм}$ . Схема гидростенда приведена на рис. 4.

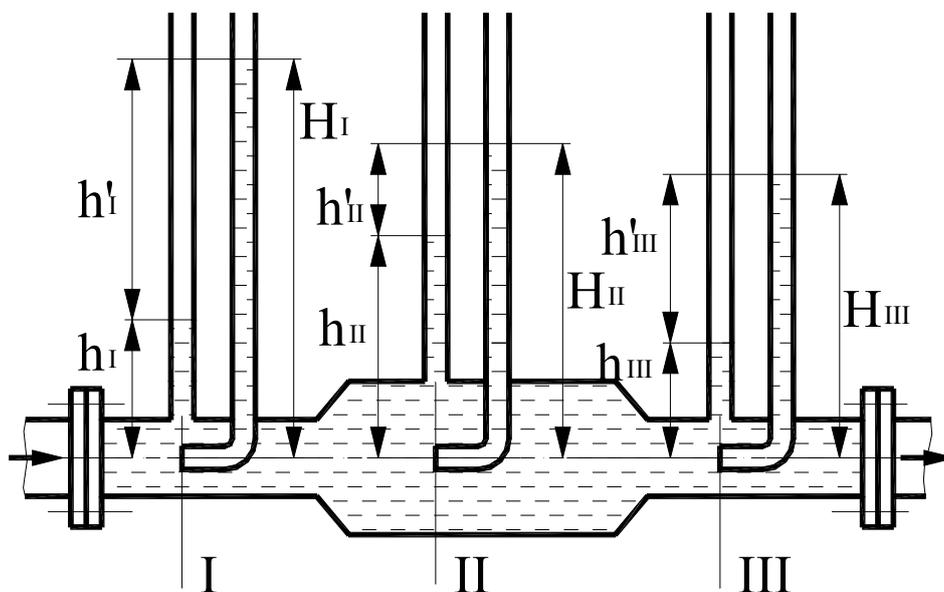


Рис. 3. Экспериментальный участок – труба переменного сечения

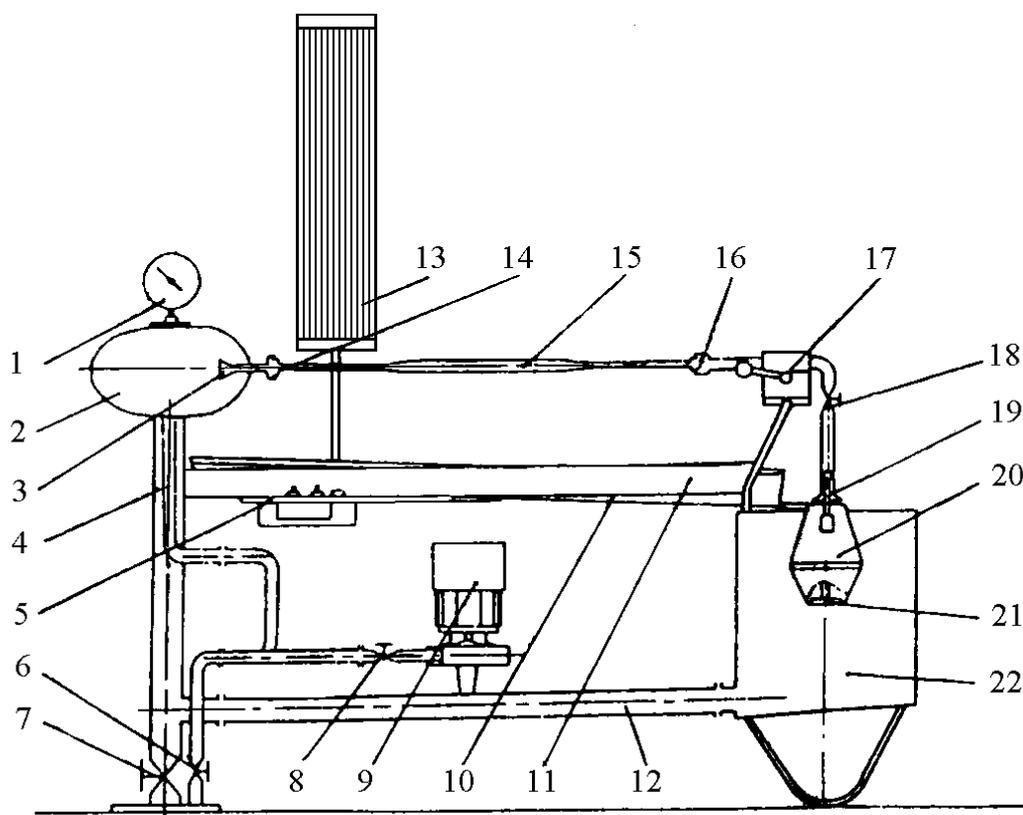


Рис. 4. Конструктивная схема универсального гидростенда ГС – 3

1 – манометр; 2 – расходный бак; 3 – выходной патрубок; 4 - стойка; 5 – пульт управления; 6 – питающий кран; 7 – сливной кран; 8 - кран; 9 – водяной насос; 10 - консоль; 11 - лоток; 12 – сливная магистраль; 13 –пьезометрический щит; 14 - уплотнение; 15 – рабочий участок; 16 – резиновая манжета; 17 – механизм крепления; 18 – регулирующий кран (на выходе) ; 19 – рычажный механизм; 20 – мерный бак; 21 - клапан; 22 – бак

#### 4. Порядок выполнения работы

1. Включить водяной насос 9 и, постепенно открывая кран 8, отрегулировать постоянный уровень в расходном баке 2.

2. При постоянном уровне в расходном баке 2 записать в отчет показания пьезометров  $h_i$  и  $H_i$  для трех исследуемых сечений трубы.

3. Определить расход воды  $Q$ , для чего необходимо закрыть клапан 21. При этом одновременно с закрытием клапана 21 на пульте управления 5 включается секундомер. После заполнения водой заданного объема (3 литра) мерного бачка 20 записать показания секундомера в отчет (см. приложение) и открыть клапан 21.

4. После проведения опытов закрыть кран 8 и выключить насос 9.

Таблица 1

№ сечения	$h$ , мм	$H$ , мм	$h'$ , мм	$S$ , м <sup>2</sup>	$v_{ср}$ , м/с	$v_i$ , м/с	$t$ , с	$Q$ , м <sup>3</sup> /с
I								
II								
III								

### 5. Рабочие формулы

1. Скорость жидкости в точке потока (на оси трубы)

$$v_i = \sqrt{2gh'_i}, \text{ м/с.}$$

2. Объемный расход воды

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

где  $V$  - замеренный объем воды, м<sup>3</sup>;

Объем бака равен 0,003 м<sup>3</sup>

$t$  - время заполнения объема  $V$ , с.

3. Средняя скорость потока жидкости

$$v_{ср} = \frac{Q}{S}, \text{ м/с},$$

где  $S$  – площадь поперечного сечения, м<sup>2</sup>.

### 6. Техника безопасности

При выполнении лабораторной работы необходимо соблюдать общие правила техники безопасности при работе в лаборатории гидравлики.

### 7. Содержание отчета

В отчете должны содержаться:

1. цель работы;
2. схема рабочего участка гидростенда;
3. рабочие формулы;
4. таблица 1 с результатами эксперимента;
5. графики изменения пьезометрического, скоростного и полного напора, а также скорости движения жидкости в точке потока  $U_1$  и средней скорости  $U_{ср}$  в трех рассматриваемых сечениях;
6. выводы по работе.

## 8. Контрольные вопросы

1. Что называется напором? Пьезометрический и скоростной напоры.
2. Как измеряются пьезометрический и скоростной напоры.
3. Объясните характер изменения скорости потока в трех рассматриваемых сечениях.
4. Чем вызван полученный в результате опыта характер изменения пьезометрического, скоростного и полного напоров?

## Литература

1. Башта Т. М. Гидравлика. – М.: Машиностроение, 1970. – 504 с.
2. Большаков В. А., Попов В. Н. Гидравлика. Общий курс : Учебник для вузов. - К. Выща шк. Головное изд-во, 1989. -215 с.
3. Холин К. М., Никитин О. Ф. Основы гидравлики и объемные гидроприводы: Учебник для учащихся средних спец. учеб. заведений. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1989. - 264 с.

## ИЗМЕРЕНИЕ ПЬЕЗОМЕТРИЧЕСКОГО И СКОРОСТНОГО НАПОРОВ

### Методические указания

Составитель Алексей Васильевич Воробьев

Подписано к печати 20.04.2000 г.

Формат 60x84/16. Бумага ксероксная.

Плоская печать. Усл. печ. л. 1,05. Уч. - изд. л. 0,95.

Тираж        экз. Заказ №        . Цена свободная

ИПЛ ЮФ ТПУ. Лицензия ПЛД № 44 - 55 от 04.12.97 г.

Ризограф ЮФ ТПУ. 652000, Юрга, ул. Московская, 17.