

## ТЕЧЕНИЕ ЖИДКОСТИ В КАНАЛЕ ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ

Выполнил студент гр. \_\_\_\_\_

Проверил: \_\_\_\_\_

**Ц е л ь:** нахождение закономерности при установившемся движении реальной жидкости в канале переменного сечения и иллюстрация уравнения Бернулли для потока.

### Общие сведения

При установившемся движении реальной капельной жидкости вдоль напорного трубопровода (канала) переменного сечения происходит превращение одной формы ее энергии в другую в зависимости, например, от изменения площади поперечного сечения канала. Так, с ее уменьшением в направлении движения жидкости скоростной напор будет возрастать, а пьезометрический - уменьшаться (при неизменном или увеличивающемся геометрическом напоре). Кроме того, часть энергии потока жидкости будет расходоваться на преодоление гидравлических сопротивлений. В связи с этим полная его энергия не сохраняется постоянной, а уменьшается от сечения к сечению в направлении движения жидкости.

Для любых двух поперечных сечений 1-1 и 2-2 потока реальной капельной жидкости при установившемся его движении уравнение Бернулли имеет вид

$$Z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + \sum h_{1-2}.$$

Здесь  $Z_1$  - удельная потенциальная энергия положения или геометрический напор потока жидкости в соответствующем сечении, равные высоте расположения его центра тяжести сечения относительно выбранной плоскости сравнения;  $P_1/\rho g$  - удельная потенциальная энергия состояния (давления) или пьезометрический напор в соответствующем сечении, равные высоте подъема жидкости относительно его центра тяжести в пьезометрической трубке, установленной в этом сечении;  $\alpha_i V_i^2/(2g)$  - удельная кинетическая энергия или скоростной напор потока в  $i$ -м сечении;  $\sum h_{1-2}$  - суммарные потери напора между выбранными сечениями 1-1 и 2-2;  $\rho$  - плотность жидкости, принятая неизменной;  $\alpha_i$  - безразмерный коэффициент кинетической

энергии, учитывающий неравномерное распределение скорости по сечению. Для ламинарного режима  $\alpha \approx 2$ , турбулентного  $\alpha \approx 1$ ;  $V_i$  - средняя по сечению скорость движения жидкости.

Левая часть и сумма первых трех членов правой части уравнения Бернулли представляют собой полные удельные энергии или полные напоры потока жидкости в выбранных сечениях, т.е. потери энергии между двумя любыми сечениями потока жидкости равны разности полных напоров в них.

Эту связь можно представить и в таком виде:

$$(Z_1 - Z_2) + \frac{p_1 - p_2}{\rho g} + \frac{\alpha_1 V_1^2 - \alpha_2 V_2^2}{2g} = \sum h_{1-2},$$

из которого можно заключить, что сумма этих разностей всегда должна быть положительной.

### Стенд для исследования движения жидкости в канале переменного сечения

В стенд входят (рис. 3.1) сливной 1 и напорный 2 баки, насос 3, трубопровод 4 и 5, переливная трубка 6, горизонтальный канал переменного сечения 7, труба Вентури 8, запорный 9 и регулирующие вентили 10 и 11, пьезометры 12 и трубки полного напора (трубка Пито) 13.

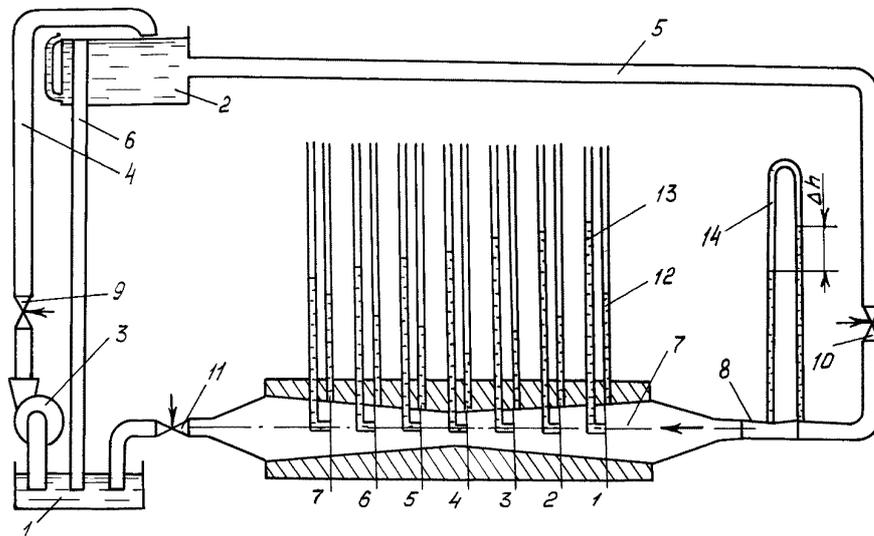


Рис. 3.1. Схема стенда для исследования течения жидкости в канале переменного сечения

В канале 7 с прямоугольной формой поперечного сечения переменной высоты и постоянной ширины выделено семь сечений, в каждом из которых измеряется пьезометрический напор и полный напор соответственно пьезо-

метром и трубкой Пито. Последняя установлена по оси канала и измеряет полный напор при максимальной скорости жидкости.

Расход воды в трубопроводе 5 и канале 7 определяется по показаниям дифференциального пьезометра 14, подключенного к трубе Вентури 8.

При работе стенда вода насоса 3 подается из сливного бака 1 в напорный бак 2, из которого по трубопроводу 5 через регулирующий вентиль 10 и трубу Вентури 8 поступает в канал переменного сечения 7. Далее по трубопроводу и через регулирующий вентиль 11 вытекает в сливной бак 1.

### **Последовательность выполнения работы**

Включить насос 3, открыть вентиль 9 (вентили 10 и 11 закрыты) и наполнить водой напорный бак 2. Посредством регулирующих вентилях 10 и 11 установить необходимый расход воды через канал переменного сечения. Измерить показания пьезометров и трубок полного напора и записать их в таблицу. Закрыть вентили 9, 10, 11 и выключить насос.

### **Обработка результатов измерений**

На основании измеренных величин вычислить параметры, необходимые для нахождения полных расчетных напоров в сечениях канала 7.

Расход жидкости через канал, м<sup>3</sup>/с:

$$Q = 1,1 \cdot 10^{-5} \sqrt{\Delta h},$$

где  $\Delta h$  - показание дифференциального пьезометра, установленного на трубе Вентури (позиция 14 на рис. 3.1.), мм.

Средняя скорость в каждом поперечном сечении канала, м/с

$$V_i = \frac{Q}{S_i},$$

где  $S_i$  - площадь сечения (под номером  $i$ ), м<sup>2</sup>.

Для определения скоростных напоров необходимо знать величины коэффициентов  $\alpha$ , т.е. число Рейнольдса и соответственно режимы движения жидкости в сечениях.

Число Рейнольдса в  $i$  - м сечении находится из выражения:

$$Re_i = \frac{V_i D_{ri}}{\nu},$$

где  $D_{ri} = \frac{4S_i}{\Pi_i}$  - гидравлический диаметр  $i$  - го прямоугольного сечения канала шириной  $b = 1 \cdot 10^{-2}$ , м;  $\Pi_i = 2(a + b)$  - периметр сечения м;  $a = S_i/b$  - высота, м;

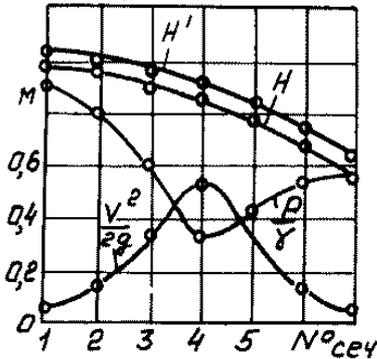
$\nu = 1 \cdot 10^{-6}$ , м<sup>2</sup>/с - кинематическая вязкость воды.

Если в каком-либо сечении режим турбулентный, то можно принимать для него  $\alpha \approx 1$ , если ламинарный, то  $\alpha \approx 2$ .

Когда плоскость сравнения проходит через ось канала, то  $Z_i = 0$  и выражение полного расчетного напора в сечениях примет вид:

$$\frac{P}{\rho g}; \frac{V^2}{2g}; H; H'; m$$

$$H_i = \frac{P_i}{\rho g} + \alpha_i \frac{V_i^2}{2g}$$



По результатам замеров и вычислений, занесенных в таблицу, строят графики изменения пьезометрического, скоростного и полных напоров (измеренного  $H'$  и расчетного  $H$ ) по длине канала, начиная от первого сечения, как это показано на рис.3.2, рационально выбрав масштаб переменных.

Рис. 3.2. График изменений скоростного, пьезометрического и полных напоров по длине канала

Таблица 3.1

Измеренные и расчетные величины

№ сечения	Измеренные величины				Вычисленные величины						
	S	$\frac{P}{\rho g}$	H'	$\Delta h$	Q	V	П	Re	$\alpha$	$\alpha \frac{V^2}{2g}$	H
-	м <sup>2</sup>	м	м	мм	м <sup>3</sup> /с	м/с	м	-	-	м	м
1	0,000275										
2	0,0002										
3	0,00012										
4	0,00007										
5	0,00012										
6	0,0002										
7	0,000275										

### Содержание отчета

Отчет должен содержать наименование и цель работы, схему экспериментальной установки, порядок ее проведения, расчетные формулы, таблицу

измерения и вычисления величин, график вышеуказанных зависимостей и выводы по работе.

### **Контрольные вопросы**

1. Должен ли работать насос 3 (см. рис. 3.1) при выполнении замеров?
2. До какой высоты могут подняться уровни жидкости в трубках 12 и 13?
3. Могут ли быть (и, если да, то когда) показания пьезометров и трубок полного напора одинаковыми для одного или всех сечений?
4. Может ли полный напор в последующем сечении быть большим, чем в предыдущем?
5. Найти из графиков потери напора между вторым и шестым сечениями.
6. Будут ли отличаться показания пьезометров и трубок Пито соответственно друг другу при изменении расхода на одну и ту же величину вентилями 10 и 11?
7. Какова должна быть разность показаний трубок 12 и 13 для первого и седьмого сечений?