

## Лабораторная работа №7

### Истечение жидкости через насадки

Цель работы: определение коэффициентов расхода, скорости, сжатия и сопротивления при истечении жидкости через насадки и сравнение полученных значений со справочными.

#### 7.1 Общие сведения

**Насадками** называют трубки различной формы, приставляемые к отверстию в стенке резервуара или к концу трубы с целью увеличения расхода (скорости) или для получения более компактной струи (рисунок 7.1).

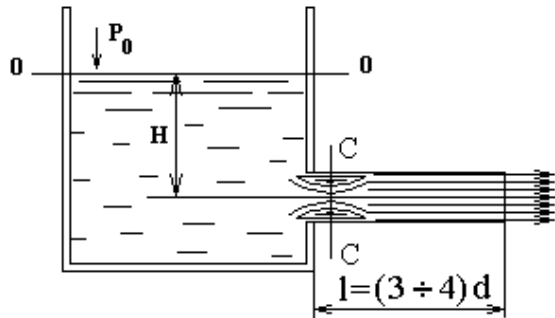


Рисунок 7.1 – Истечение жидкости через насадки

При входе в насадок, благодаря острой входной кромке, струя жидкости сначала сужается, как и при истечении через отверстие, а затем расширяется, заполняя все сечение насадка, и вытекает из него полным сечением (рис. 7.1). В отличие от истечения из отверстий, в насадках струя на сравнительно большой длине взаимодействует с твердой поверхностью. При истечении в атмосферу в сжатом сечении образуется вакуум. В результате возрастает полный действующий напор, складывающийся из напора над центром входного отверстия насадка и величины вакуума в сжатом сечении

$$H_{\Sigma} = H + h_{\text{вак}}.$$

Это приводит к подсасыванию жидкости из резервуара, в результате чего при одинаковом напоре расход жидкости через насадок будет больше, чем через отверстие.

В случае истечения жидкости через насадок скорость и расход определяются по тем же формулам, что и для малого отверстия в тонкой стенке

$$v = \varphi \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}, \quad Q = \mu \cdot S \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H},$$

где  $S$  - площадь выходного отверстия насадка;

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + \zeta_n}} \text{ - коэффициент скорости;}$$

$\zeta_n$  - коэффициент сопротивления насадка

$$\zeta_n = \frac{\zeta_{\text{вх}}}{\varepsilon_c^2} + \zeta_{\text{в.р}} + \zeta_{\text{дл}},$$

где  $\zeta_{\text{вх.}} \approx 0,06$  - коэффициент сопротивления входного отверстия насадка;  
 $\varepsilon_c$  - коэффициент сжатия струи внутри насадка, для внешнего цилиндрического насадка (рис. 7.1)  $\varepsilon_c = 0,64$ .

$\zeta_{\text{в.р}}$  - коэффициент гидравлических сопротивлений на расширение потока за сжатым сечением;

$\zeta_{\text{дл}}$  - коэффициент гидравлического сопротивления по длине насадка, который для цилиндрического насадка определяется по формуле

$$\zeta_{\text{дл}} = \lambda \cdot \frac{l}{d},$$

где  $\lambda$  - коэффициент гидравлического трения;  $l$  - длина насадка;  
 $d$  - диаметр насадка.

Так как истечение из насадка наружу в большинстве случаев происходит полным сечением (струя на выходе не сужается), т.е.  $\varepsilon_{\text{вых.}} = 1$ , то коэффициент расхода насадка  $\mu$  равен коэффициенту скорости  $\varphi$

$$\mu = \varepsilon_{\text{вых.}} \cdot \varphi = \varphi.$$

Теоретическое значение вакуума в сжатом сечении при истечении жидкости через внешний цилиндрический насадок (рис. 7.1) можно определить из уравнения Бернулли для сечений О-О и С-С (сжатое сечение), приняв в сечении О-О скорость жидкости  $v_0 = 0$

$$\frac{p_0}{\gamma} + H = \frac{v_c^2}{2 \cdot g} + \frac{p_c}{\gamma} + \zeta_{\text{вх.}} \cdot \frac{v_c^2}{2 \cdot g},$$

откуда можно выразить разность пьезометрических напоров

$$\frac{p_0 - p_c}{\gamma} = \frac{v_c^2}{2 \cdot g} \cdot (1 + \zeta_{\text{вх.}}) - H.$$

Так как скорость в сжатом сечении определяется по формуле

$$v_c = v / \varepsilon_c,$$

где  $v = \varphi \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$  - скорость жидкости на выходе из насадка.

То из получим 
$$\frac{p_0 - p_c}{\gamma} = H \cdot \left[ \frac{\varphi^2}{\varepsilon_c^2} \cdot (1 + \zeta_{\text{вх.}}) - 1 \right].$$

При истечении из открытого резервуара  $p_0 = p_{\text{ат.}}$  и подставив соответствующие значения коэффициентов:  $\varphi = 0,82$ ;  $\varepsilon_c = 0,64$ ;  $\zeta_{\text{вх.}} = 0,06$ , получим

$$\frac{p_{\text{ат.}} - p_c}{\gamma} \approx 0,74 \cdot H.$$

Следовательно, величина вакуума, выраженная высотой столба жидкости, в сжатом сечении внешнего цилиндрического насадка равна

$$h_{\text{вак.}} = 0,74 H.$$

Уменьшение давления в сжатом сечении насадка (увеличение вакуума  $h_{\text{вак.}}$ ) физически возможно до давления насыщенных паров данной жидкости при данной температуре ( $p_{\text{н.п.}}$ ). Предельное значение вакуума в сжатом сечении определяется по формуле

$$h_{\text{вак.пред.}} = \frac{p_{\text{ат}} - p_{\text{н.п.}}}{\gamma}.$$

Если расчетная величина вакуума превосходит предельное значение, то происходит срыв режима работы насадка (срыв вакуума): струя отрывается от стенок насадка и истекает неполным сечением.

В технике применяют насадки различной формы. В зависимости от способа установки патрубка по отношению к стенке резервуара различают насадки внешние и внутренние, а в зависимости от конфигурации цилиндрические, конические сходящиеся и расходящиеся, коноидальные и другие (рисунк 7.2), средние значения их коэффициентов  $\mu$ ,  $\varphi$ ,  $\zeta$ ,  $\varepsilon$  - в таблице 7.1.

Таблица 7.1

Тип насадка или отверстие	$\varphi$	$\mu$	$\varepsilon$	$\zeta$
Круглое отверстие в тонкой стенке	0,97	0,62	0,64	0,06
Внешний цилиндрический насадок	0,82	0,82	1	0,5
Конический сходящийся насадок при $\theta = 13^\circ$	0,96	0,95	0,98	0,085
Коноидальный насадок (сопло)	0,98	0,98	1	0,04
Конический расходящийся насадок при $\theta = 5^\circ$	0,45	0,45	1	3,94

**Внешний цилиндрический** насадок – это короткая трубка длиной  $l=(3...5) \cdot d$  без закругления кромки (рис. 7.2, а). Потери энергии при истечении через такой насадок примерно на 33 % больше, чем при истечении через отверстие в тонкой стенке.

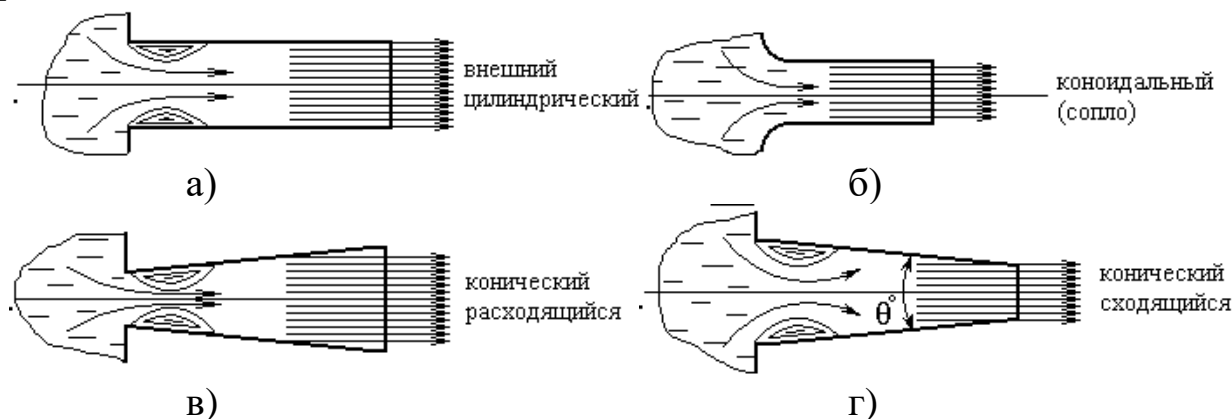


Рисунок 7.2 – Различные виды насадков.

**Коноидальный** насадок (сопло) – это насадок, форма которого соответствует сужению струи и обеспечивает безотрывность течения жидкости внутри насадка и параллельность слоев жидкости в выходном сечении (рис. 7.2, б). Такие насадки дают наибольший коэффициент расхода.

**Конический расходящийся** насадок (диффузор) – это насадок, у которого в области сжатия струи образуется наиболее глубокий вакуум (почти в два раза больше чем во внешнем цилиндрическом), что увеличивает подсасывание жидкости (рис. 7.2, в) и, следовательно через такой насадок

будет протекать наибольший расход при том же диаметре входного отверстия, чем через цилиндрический насадок. Применение такого насадка возможно при напорах 1-4 м, иначе в сжатом сечении возникает кавитация, увеличивается сопротивление и уменьшается пропускная способность.

**Конический сходящийся** насадок (конфузор) – это насадок, у которого происходит дополнительное сжатие струи в выходном сечении и, следовательно, увеличение скорости (рис.7.2, г). применяется в том случае, когда нужно получить компактную и дальнобойную струю с большой кинетической энергией (например, в брансбойтах).

## 7.2 Описание опытной установки

Опытная установка описана в лабораторной работе №6.

## 7.3 Порядок проведения работы

- 1) Измерить геометрические параметры исследуемых насадков (по заданию преподавателя). Данные измерений внести в таблицу 7.2.
- 2) Установить насадок, произвести измерение расхода объемным способом три раза при постоянном напоре. Данные измерений внести в таблицу 7.3.

## 7.4 Обработка опытных данных

- 1) Измерить геометрические параметры насадков.

Таблица 7.2. Геометрические параметры насадков

Тип насадка	Длина $l$ , см	Диаметр входного отв. $d_1$ , см	Диаметр выходного отв. $d_2$ , см	Площадь выходного отв. $S_2$ , см <sup>2</sup>	Угол ко- нусности $\theta^\circ$

- 2) Определить площадь выходного отверстия

$$S_2 = \frac{\pi \cdot d_2^2}{4} = \underline{\hspace{2cm}}, \text{ см}^2.$$

- 3) Определить конусность насадка

$$\Theta = \arctg \frac{d_1 - d_2}{2 \cdot l} = \underline{\hspace{2cm}}.$$

- 4) Определить расход

$$Q = \frac{W}{t} = \underline{\hspace{2cm}}, \text{ см}^3/\text{с}.$$

5) Определить коэффициент расхода

$$\mu = \frac{Q}{S_2 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}} = \underline{\hspace{2cm}},$$

где  $g$  – ускорение свободного падения,  $g=981 \text{ см/с}^2$ ;

Результаты измерений и расчетов внести в таблицу 7.3.

Таблица 7.3. Определение коэффициентов расхода.

Тип насадка	№ оп.	Объем воды в мерном сосуде $W$ , $\text{см}^3$	Время наполнения сосуда $t$ , с	Расход воды $Q$ , $\text{см}^3/\text{с}$	Напор $H$ , см	$\mu$	Среднее значение $\mu_{\text{ср}} = \Sigma \mu_i / 3$
	1						
	2						
	3						
	1						
	2						
	3						
	1						
	2						
	3						

б) Определить коэффициенты скорости и сопротивления насадков по формулам

$$\varphi = \mu_{\text{ср}} = \underline{\hspace{2cm}}, \quad \zeta_{\text{н}} = \frac{1}{\varphi^2} - 1 = \underline{\hspace{2cm}}.$$

Результаты расчетов и справочные данные внести в таблицу 7.4

Таблица 7.4. Сопоставление опытных и справочных значений

<div> <div>Тип насадка</div> <div>Величины</div> </div>						
	Опыт.	Справ	Опыт.	Справ	Опыт.	Справ
Коэффициент расхода $\mu$						
Коэффициент скорости $\varphi$						
Коэффициент сопротивления $\zeta_{\text{н}}$						

Вывод:

## 7.5 Контрольные вопросы

- 1) Что такое насадок?
- 2) Нарисовать истечение жидкости из насадка в общем случае.
- 3) Почему при входе в насадок происходит сжатие струи?
- 4) Почему при истечении из насадка расход больше чем при истечении через отверстие в стенке?
- 5) Формула скорости при истечении через насадок.
- 6) Формула расхода при истечении через насадок.
- 7) Формула коэффициента скорости.
- 8) Формула коэффициента сопротивления насадка.
- 9) Формула коэффициента гидравлического сопротивления по длине цилиндрического насадка.
- 10) Почему при истечении через насадок коэффициент расхода равен коэффициенту скорости?
- 11) Формула разности пьезометрических напоров (конечная).
- 12) Чему равна разность пьезометрических напоров при истечении из открытого резервуара?
- 13) Чему равен вакуумметрический напор в сжатом сечении для внешнего цилиндрического насадка?
- 14) Формула предельного вакуума в сжатом сечении.
- 15) Что происходит, если расчетная величина вакуума превосходит предельное значение?
- 16) Какой насадок называется внешним цилиндрическим?
- 17) Особенности течения жидкости через внешний цилиндрический насадок.
- 18) Нарисовать внешний цилиндрический насадок.
- 19) Какой насадок называется коноидальным?
- 20) Нарисовать коноидальный насадок.
- 21) Какой насадок называется диффузором?
- 22) Особенности течения жидкости через диффузор.
- 23) Нарисовать диффузор.
- 24) Какой насадок называется конфузуром?
- 25) Когда применяют конфузур?
- 26) Нарисовать конфузур.
- 27) Формула коэффициента расхода.