

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования «Барановичский государственный университет»

ГИДРАВЛИКА. ГИДРО- И ПНЕВМОПРИВОД И ГИДРО- И ПНЕВМОАВТОМАТИКА

Лабораторный практикум
для студентов инженерных специальностей

Барановичи
БарГУ
2017

УДК 62-82 (076)
ББК 30.123я73
Б24

Рецензенты:

кандидат технических наук, заведующий кафедрой технологии машиностроения БарГУ М. В. Нерода, старший преподаватель кафедры оборудования и автоматизации производства БарГУ Н. М. Федосов

Б24 Барышников, В. Ф. Гидравлика. Гидро- и пневмопривод и гидро- и пневмоавтоматика : лаборатор. практикум для студентов инженер. специальностей / В. Ф. Барышников ; М-во образования Респ. Беларусь, Баранович. гос. ун-т. — Барановичи : БарГУ, 2017. — 10 с.
ISBN 978-985-498-754-5.

Даются рекомендации и указания по исследованию режимов движения жидкости в цилиндрической трубе при постоянном напоре, экспериментальному определению местных потерь напора при постепенном сужении и расширении трубопровода при постоянном напоре.

Предназначено для студентов III курса специальностей 1-36 01 01 «Технология машиностроения», 1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства», 1-74 06 01 «Техническое обеспечение процессов сельскохозяйственного производства».

УДК 62-82 (076)
ББК 30.123я73

Учебное издание

Барышников Виктор Федорович

**ГИДРАВЛИКА,
ГИДРО- И ПНЕВМОПРИВОД
И ГИДРО- И ПНЕВМОАВТОМАТИКА**

**Лабораторный практикум
для студентов инженерных специальностей**

Ответственный за выпуск С. А. Березнюк
Технический редактор А. Ю. Сидоренко
Компьютерная вёрстка С. М. Глушак
Корректор Н. Н. Колодко

Подписано в печать 20.02.2017. Формат 60 × 84 ¹/₁₆. Бумага газетная. Отпечатано на копировально-множительной технике. Усл. печ. л. 0,70. Уч.-изд. л. 0,40. Тираж 27 экз. Заказ 107.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования «Барановичский государственный университет». Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий № 1/424 от 02.09.2014. Ул. Войкова, 21, 225404 г. Барановичи

ISBN 978-985-498-754-5

© БарГУ, 2017

ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящее время роль лабораторных работ в учебном процессе существенно возрастает. Они должны помочь приобрести навыки для выполнения научно-исследовательских работ.

Основными задачами выполнения лабораторных работ является экспериментальное подтверждение лекционного материала, развитие способностей к самостоятельной работе с приборами и инструментами, умение обобщать полученные результаты.

Для успешного усвоения материала лекционных курсов по дисциплинам «Гидравлика» и «Гидро- и пневмопривод и гидро- и пневмоавтоматика» студенты должны изучить режимы движения жидкостей в цилиндрических трубах, теоретические зависимости определения потерь напора в гидравлических устройствах.

Репозиторий БарГУ

Лабораторная работа 1

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТНЫХ ПОТЕРЬ НАПОРА ПРИ ПОСТЕПЕННОМ СУЖЕНИИ ТРУБОПРОВОДА (КОНФУЗОР) ПРИ ПОСТОЯННОМ НАПОРЕ

Цели работы: определить экспериментальное значение местных потерь напора при постепенном сужении трубопровода; рассчитать теоретическое значение местных потерь напора и сопоставить с экспериментальным значением.

1.1 Общие теоретические сведения

Когда труба постепенно сужается по цилиндрическому конусу, она называется **конфузором** (рис. 1.1). Течение жидкости в конфузоре сопровождается увеличением скорости и падением давления; так как давление жидкости в начале конфузора выше, чем в конце, причин к возникновению вихреобразований и срывов потока (как в диффузоре) нет. В конфузоре имеются лишь потери на трение. В связи с этим сопротивление конфузора всегда меньше, чем сопротивление такого же диффузора.

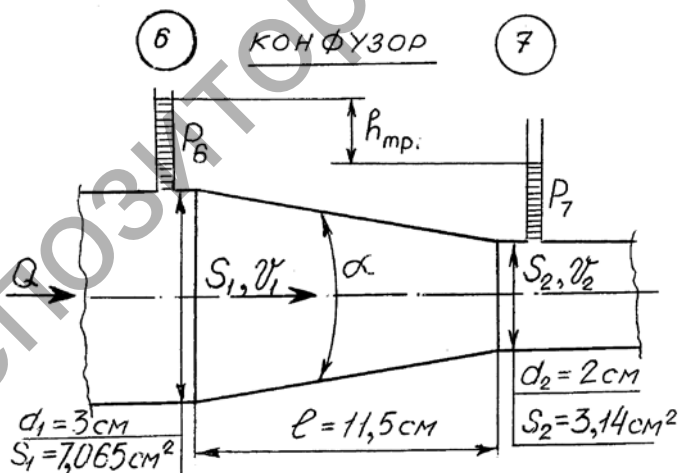


Рисунок 1.1 — Фрагмент лабораторной установки при постепенном сужении трубопровода (конфузор)

Потерю напора на трение в конфузоре ($h_{\text{тр}}$) можно подсчитать так же, как для диффузора, т. е. сначала выразить потерю напора для элементарного отрезка (используя зависимость Дарси—Вейсбаха), а затем выполнить интегрирование. В результате получим формулу

$$h_{\text{тр}} = \frac{\lambda_{\text{тр}}}{8 \sin \frac{\alpha}{2}} \left(1 - \frac{1}{n^2} \right) \frac{v_2^2}{2g}, \quad (1.1)$$

где $\lambda_{\text{тр}}$ — коэффициент гидравлического трения (коэффициент Дарси);

α — угол сужения конфузора, град.;

n — степень сужения конфузора ($n = S_1 / S_2$, где S_1 — площадь входного сечения конфузора, см²; S_2 — площадь выходного сечения конфузора, см²);

v — средняя скорость движения воды, см / с;

g — ускорение свободного падения, м / с².

Небольшое вихреобразование и отрыв потока от стенки с одновременным сжатием потока возникает лишь на выходе из конфузора в месте соединения конической трубы с цилиндрической.

Для ликвидации вихреобразования и связанных с ним потерь напора рекомендуется коническую часть плавно сопрягать с цилиндрической или коническую часть заменить криволинейной, плавно переходящей в цилиндрическую. При этом можно допустить значительную степень сужения при небольшой длине вдоль оси и небольших потерях [1; 2].

Коэффициент сопротивления такого плавного сужения, называемого **соплом**, изменяется примерно в пределах $\xi = 0,03 \dots 0,1$ в зависимости от степени и плавности сужения и числа Рейнольдса Re (большим Re соответствуют малые значения коэффициента сопротивления ξ и наоборот).

1.2 Описание экспериментальной установки

Работа по экспериментальному определению местных потерь напора при постепенном сужении трубопровода проводится на трубопроводе переменного сечения лабораторной установки (лабораторная работа № 2), описанной в практическом руководстве [3]. Приведём фрагмент лабораторной установки с постепенным сужением трубопровода (см. рис. 1.1).

1.3 Порядок выполнения работы

1. Проверьте отсутствие воздуха в пьезометрах и наличие воды в рабочей камере центробежного насоса.
2. Включите насос, подающий воду в напорный бак. Постоянный уровень воды в баке (напор) поддерживается.
3. Откройте шаровой кран на трубопроводе переменного сечения и установите некоторый постоянный расход воды.
4. Замерьте секундомером время наполнения мерного бака 10 литрами воды ($10\,000\text{ см}^3$), t , с.
5. Снимите показания пьезометров 6 и 7 и занесите их в таблицу (рис. 1.2).

Таблица __ — Результаты опыта

Вид сопротивления	Параметры				
	P_6 , см	P_7 , см	$h_{тр}$, см	V , л	t , с
Постепенное сужение трубопровода					

Рисунок 1.2 — Образец для заполнения

1.4 Обработка экспериментальных данных

1. По замеренному объёму воды в мерном баке (V , см^3) и времени его заполнения (t , с) найти расход воды в трубопроводе (Q , $\text{см}^3/\text{с}$) по формуле $Q = V/t$.
2. Рассчитать среднюю скорость движения воды на выходе из конфузора (v_2 , $\text{см}/\text{с}$) по формуле $v_2 = Q/S_2$.
3. Определить режим течения жидкости в конфузоре по формуле Рейнольдса: $Re = \frac{v_2 \cdot d_2}{\nu}$, где d — диаметр трубы, см; ν — коэффициент кинематической вязкости воды, $\text{см}^2/\text{с}$.

Он выбирается из таблицы приложения [3] в зависимости от температуры воды в напорном баке.

4. В зависимости от полученного числа Рейнольдса и установленного режима течения жидкости рассчитать гидравлический коэффициент трения $\lambda_{\text{тр}}$ (коэффициент Дарси):

– при ламинарном режиме по формуле Пуазейля ($\lambda_{\text{тр}} = 64 / Re$);

– при турбулентном режиме ($Re > Re_{\text{кр}}$) по формуле П. К. Конакова

$$\left(\lambda_{\text{тр}} = \frac{1}{(1,8 \cdot \log Re - 1,5)^2} \right).$$

5. На основании геометрических размеров конфузора вычислить степень сужения (n) и угол сужения (α , град.) конфузора.

6. Полученные расчётные данные подставить в формулу (1.1) и определить местные потери напора на трение в конфузоре ($h_{\text{тр}}$).

7. Вычислить ошибку опыта — отклонение значений потерь напора на трение опытного и теоретического:

$$\text{Отклонение} = \left(1 - \frac{h_{\text{тр}} \triangleleft}{h_{\text{тр}} \triangleright} \right) \cdot 100\% .$$

1.5 Контрольные вопросы

1. Каким путём можно уменьшить потери напора в конфузоре?
2. В каких отраслях народного хозяйства нашёл применение конфузор?
3. Назовите синоним конфузора.

Лабораторная работа 2

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТНЫХ ПОТЕРЬ НАПОРА ПРИ ПОСТЕПЕННОМ РАСШИРЕНИИ ТРУБОПРОВОДА (ДИФфуЗОР) ПРИ ПОСТОЯННОМ НАПОРЕ

Цель работы: определить экспериментальное значение местных потерь напора при постепенном расширении трубопровода.

2.1 Общие теоретические сведения

Трубопровод, где расширение русла (трубы) происходит постепенно, называется **диффузором** (рис. 2.1). Течение жидкости в диффузоре сопровождается уменьшением скорости и увеличением давления, а следовательно, преобразованием кинетической энергии жидкости в энергию давления. Частицы движущейся жидкости преодолевают нарастающее давление за счёт своей кинетической энергии, которая уменьшается вдоль диффузора и, что особенно важно, в направлении от оси к стенке.

Слои жидкости, прилегающие к стенкам, обладают столь малой кинетической энергией, что иногда оказываются не в состоянии преодолеть повышение давления, они останавливаются или даже начинают двигаться обратно.

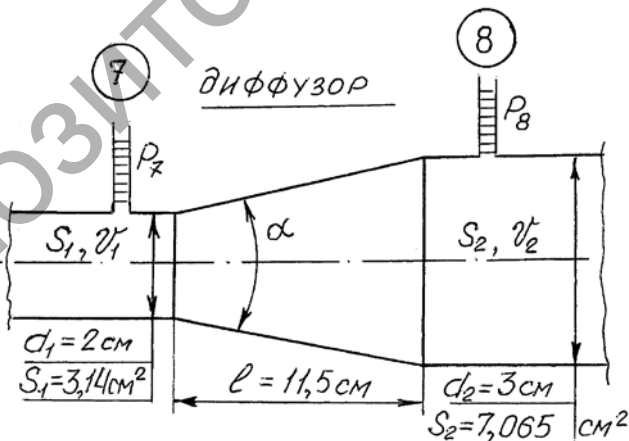


Рисунок 2.1 — Фрагмент лабораторной установки при постепенном расширении трубопровода (диффузор)

Обратное движение (противоток) вызывает отрыв основного потока от стенки и вихреобразования в диффузоре.

Интенсивность этих явлений возрастает с увеличением угла расширения диффузора, а вместе с этим растут потери напора на вихреобразование в нём.

Кроме того, в диффузоре имеются обычные потери на трение, подобные тем, которые возникают в трубах постоянного сечения.

Полную потерю напора в диффузоре ($h_{\text{диф}}$) условно рассматриваем как сумму двух слагаемых:

$$h_{\text{диф}} = h_{\text{тр}} + h_{\text{расш}}, \quad (2.1)$$

где $h_{\text{тр}}$ — потери напора на трение, см;

$h_{\text{расш}}$ — потери напора на расширение (вихреобразование), см.

Потери напора на трение можно приближённо подсчитать следующим образом. Сначала выражается потеря напора для элементарного отрезка (используется зависимость Дарси—Вейсбаха), а затем выполняется интегрирование. В результате получается формула

$$h_{\text{тр}} = \frac{\lambda_{\text{тр}}}{8 \sin \frac{\alpha}{2}} \left(1 - \frac{1}{n^2}\right) \frac{v_1^2}{2g}.$$

Второе слагаемое — потеря напора на расширение (вихреобразование) — имеет в диффузоре ту же природу, что и при внезапном расширении, но меньшее значение, поэтому оно обычно выражается по той же формуле Борда, но с поправочным коэффициентом $K < 1$:

$$h_{\text{расш}} = K \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g} = K \left(1 - \frac{S_1}{S_2}\right)^2 \frac{v_1^2}{2g} = K \left(1 - \frac{1}{n}\right)^2 \frac{v_1^2}{2g}.$$

Так как в диффузоре торможение потока как бы смягчённое, то коэффициент K называют коэффициентом смягчения, равным $\sin \alpha$.

В результате получается формула

$$h_{\text{диф}} = \left[\frac{\lambda_{\text{тр}}}{8 \sin \frac{\alpha}{2}} \left(1 - \frac{1}{n^2}\right) + K \left(1 - \frac{1}{n}\right)^2 \right] \frac{v_1^2}{2g} = \xi_{\text{диф}} \frac{v_1^2}{2g},$$

где α — угол расширения диффузора, град.;

n — степень расширения диффузора ($n = S_2 / S_1$, где S_2 — площадь выходного сечения диффузора, см^2 ; S_1 — площадь входного сечения диффузора, см^2);

v_1 — скорость жидкости на входе в диффузор, $\text{см} / \text{с}$ [1; 2].

2.2 Описание экспериментальной установки

Работа по определению местных потерь напора при постепенном расширении трубопровода проводится на трубопроводе переменного сечения лабораторной установки (лабораторная работа № 2), описанной в практическом руководстве [3]. Приведём фрагмент лабораторной установки с постепенным расширением трубопровода (см. рис. 2.1).

2.3 Порядок выполнения работы

1. Проверьте отсутствие воздуха в пьезометрах и наличие воды в рабочей камере центробежного насоса.

2. Включите насос, подающий воду в напорный бак. Постоянный уровень воды в баке (напор) поддерживается.

3. Откройте шаровой кран на трубопроводе переменного сечения и установите некоторый постоянный расход воды.

4. Замерьте секундомером время наполнения мерного бака 10 литрами воды ($10\,000\text{ см}^3$), t , с.

5. Снимите показания пьезометров 7 и 8 и занесите их в таблицу (рис. 2.2).

Таблица _ — Результаты опыта

Вид сопротивления	Параметры			
	P_7 , см	P_8 , см	V , л	t , с
Постепенное расширение трубопровода				

Рисунок 2.2 — Образец для заполнения

2.4 Обработка экспериментальных данных

1. По замеренному объёму воды в мерном баке (V , см³) и времени его заполнения (t , с) найти расход воды в трубопроводе (Q , см³/с) по формуле $Q = V / t$.

2. Рассчитать среднюю скорость движения воды на входе и на выходе из диффузора (v_1 и v_2 , см/с) по формулам $v_1 = Q / S_1$, $v_2 = Q / S_2$.

3. Определить режим течения жидкости в диффузоре по формуле Рейнольдса $Re = \frac{v_1 \cdot d_1}{\nu}$.

4. В зависимости от полученного числа Рейнольдса и установленного режима течения жидкости рассчитать гидравлический коэффициент трения $\lambda_{тр}$ (коэффициент Дарси):

– при ламинарном режиме по формуле Пуазейля ($\lambda_{тр} = 64 / Re$);

– при турбулентном режиме ($Re > Re_{кр}$) по формуле П. К. Конакова

$$\left(\lambda_{тр} = \frac{1}{(1,8 \cdot \log Re - 1,5)^2} \right).$$

5. На основании геометрических размеров диффузора вычислить степень расширения (n) и угол расширения (α , град.), а также коэффициент смягчения диффузора K , равный $\sin \alpha$.

6. Полученные расчётные данные подставить в формулу (2.1) и определить потери напора в диффузоре ($h_{диф}$) и коэффициент сопротивления диффузора ($\xi_{диф}$).

2.5 Контрольные вопросы

1. Как получают значения коэффициентов местных потерь напора?
2. Какая труба называется диффузором?
3. Почему в диффузоре имеет место «противоток»?
4. Что включает полная потеря напора в диффузоре?
5. Какую форму поверхности диффузора лучше принимать при больших углах его расширения?
6. Чем сопло отличается от диффузора?

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы : учеб. для машиностроит. вузов / Т. М. Башта [и др.]. — М. : Машиностроение, 1982. — 423 с.

2. *Барышников, В. Ф.* Гидропривод и гидропневмоавтоматика. Курс лекций для студентов инженерных специальностей учреждений высшего образования / В. Ф. Барышников. — 2-е изд., с изм. — Барановичи : РИО БарГУ, 2014. — 178 с.

3. *Барышников, В. Ф.* Гидравлика. Гидро- и пневмопривод технологического оборудования : практ. рук. по выполнению лаборатор. работ для студентов III курса инженер. специальностей / В. Ф. Барышников, Н. М. Федосов. — Барановичи : РИО БарГУ, 2014. — 59 с.

Репозиторий БарГУ

ОГЛАВЛЕНИЕ

<i>Предисловие</i>	3
<i>Лабораторная работа 1</i> Экспериментальное определение местных потерь напора при постепенном сужении трубопровода (конфузор) при постоянном напоре	4
<i>Лабораторная работа 2</i> Экспериментальное определение местных потерь напора при постепенном расширении трубопровода (диффузор) при постоянном напоре.	8
Список использованных источников	12

Репозиторий БарГУ