

КРАСНОЯРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

**ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ
ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ**

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА
СОПРОТИВЛЕНИЯ ТРЕНИЮ

*Методические указания к выполнению
Лабораторных и практических работ*

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Красноярский государственный университет

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА
СОПРОТИВЛЕНИЯ ТРЕНИЮ

*Методические указания к выполнению
Лабораторных и практических работ*

КРАСНОЯРСК 2012

Рецензент:

В.Н. Холопов, д-р техн. наук, проф. кафедры АТЛМ СибГТУ

Составители:

Ченцова Л.И.

Тепляшин В.Н.

Невзоров В.Н.

Ченцова, Л.И.

Определение коэффициента сопротивления трению: метод. указания к выполнению лабораторных и практических работ / Л.И. Ченцова, В.Н. Тепляшин, В.Н. Невзоров; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск 2012. - с.

Предназначено для студентов по направлению: 260100.62 «Продукты питания из растительного сырья», профили: «Технология хранения и переработки зерна», «Технология хлеба, кондитерских и макаронных изделий», «Технология бродильных производств и виноделия», «Технология жиров, эфирных масел и парфюмерно-косметических продуктов», «Технология консервов и пищевых концентратов»; 151000.62 «Технологические машины и оборудование», профиль «Пищевая инженерия малых предприятий», «Машины и аппараты пищевых производств». По специальности «Процессы и аппараты пищевых производств».

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Красноярского государственного аграрного университета

Красноярский государственный
аграрный университет, 2012

Основы теории

Расчет гидравлического сопротивления при движении реальных жидкостей по трубопроводам является одним из основных прикладных вопросов гидродинамики.

При движении реальной жидкости по трубопроводу часть сообщенной ей энергии затрачивается на преодоление трения по длине трубопровода $h_{тр}$, а также местных сопротивлений $h_{мс}$, в которых вектор скорости изменяется по величине, или по направлению, или одновременно и по величине и по направлению.

Общие потери напора в трубопроводе определяются как сумма потерь на трение и всех местных потерь, т.е.

$$h_{ном} = h_{тр} + \sum h_{мс}, \quad (1)$$

На практике потери на трение и потери в местных сопротивлениях определяются по следующим зависимостям

$$h_{мп} = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{\omega^2}{2g}; \quad (2)$$

$$h_{мс} = \zeta \cdot \frac{\omega^2}{2g}, \quad (3)$$

где ω - средняя скорость потока в трубопроводе, м/с; g - ускорение свободного падения, $g=9,81$ м/с²; L - длина трубопровода, м; d - диаметр трубопровода, м; ζ - коэффициент местного сопротивления; λ - коэффициент сопротивления трения.

Таким образом, для расчета потерь напора необходимо знать значения коэффициентов λ , ζ .

Сопротивление трения, называемое также сопротивлением по длине, существует при движении реальной жидкости по всей длине трубопровода. На него оказывает влияние режим движения жидкости. Коэффициент трения λ зависит от режима движения и относительной шероховатости стенок

$$\lambda = f\left(\text{Re} \cdot \frac{d}{e}\right), \quad (4)$$

где e – абсолютная шероховатость стенок, d - диаметр трубопровода, мм.

При ламинарном режиме коэффициент трения λ определяется из уравнения объемного расхода, выведенного Пуазейлем:

$$Q = \frac{\pi \cdot d^4 \cdot \rho g h_{mp}}{128 \mu \cdot l}. \quad (5)$$

После преобразования получаем:

$$h_{mp} = \frac{64}{\text{Re}} \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\omega^2}{2g}. \quad (6)$$

Коэффициент трения λ при ламинарном режиме рассчитывается по уравнению:

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}}. \quad (7)$$

При турбулентном движении коэффициент трения определяется из критериального уравнения:

$$Eu = A Re^m \cdot \left(\frac{l}{d}\right)^q, \quad (8)$$

при Re от 4000 до 10000 найдены экспериментально коэффициенты $A=0,158$; $m=-0,25$; $q=1$.

Вместо критерия Эйлера подставляем его значение и решаем относительно $h_{тр}$.

$$\frac{\rho g h_{mp}}{\rho \omega^2} = 0,158 \cdot Re^{-0,25} \cdot \left(\frac{l}{d}\right), \quad (9)$$

получим

$$h_{mp} = 0,316 \cdot Re^{0,25} \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\omega^2}{2g}, \quad (10)$$

Отсюда

$$\lambda = 0,316 \cdot Re^{-0,25}. \quad (11)$$

При развитии турбулентном режиме $Re > 10000$, коэффициент трения λ зависит только от относительной шероховатости $\frac{d}{e}$ и практически не зависит от режима движения. Для всех режимов коэффициент трения λ можно определить по графику (рис. 1,5, [4]):

$$\lambda = f\left(Re \cdot \frac{d}{e}\right). \quad (12)$$

Цель работы:

1. Определение коэффициента трения по длине трубопровода при различных числах Re и сравнение полученного результата с табличными данными.
2. Определение коэффициента трения в кольцевой трубе при различных режимах течения жидкости и сравнение полученного результата с расчетными данными.
3. Расчет коэффициентов трения при различных режимах движения жидкости.
4. Вычислить потерянный напор в теплообменнике.

Описание установки

В установку входит теплообменник типа «труба в трубе», на котором установлены расходомеры холодной и горячей воды, термометры для замера температуры и пьезометры для замера напора на внутренней трубе и кольцевом сечении. Длина внутренней трубы 0,92 м, диаметр 14 x 1 мм, длина участка на кольцевом сечении 0,84 м, диаметр наружной трубы 38 x 2 мм.

Схема установки приведена на рисунке 1.

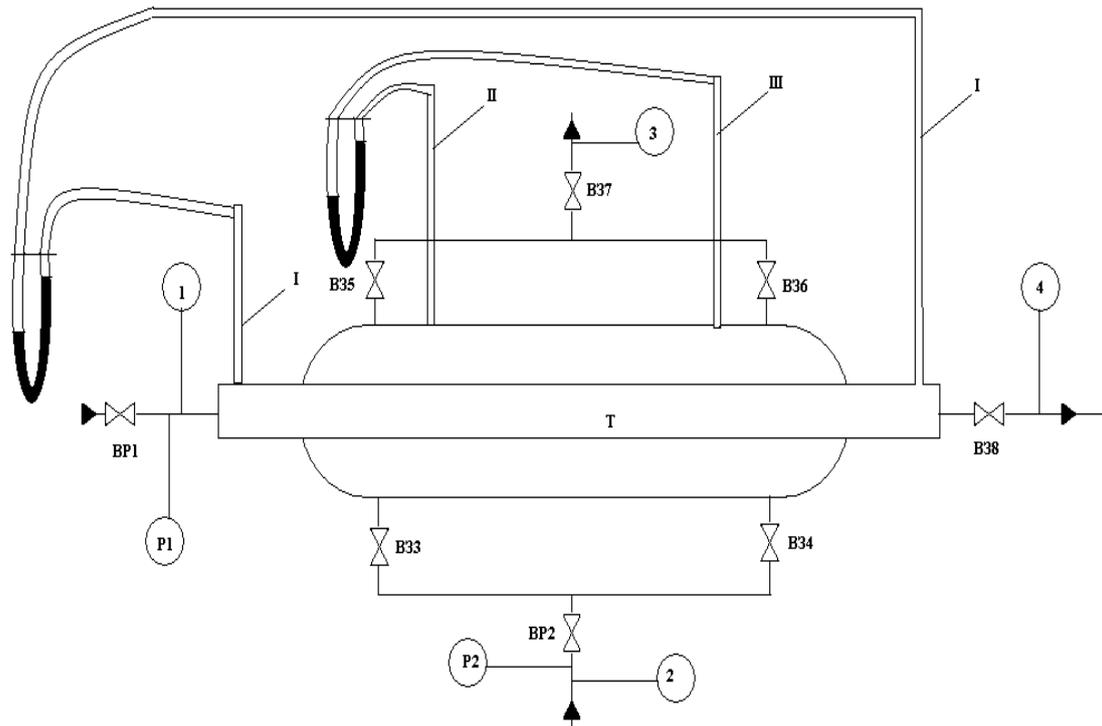


Рисунок 1. – Схема установки для определения коэффициента трения: 1, 2, 3, 4 – термометры; R_1 , R_2 - расходомеры холодной и горячей воды

Порядок проведения работы

Открыть вентили на минимальный расход холодной воды на внутренней трубе ВР₁. Снять показания расходомера Р₁, увеличивая расход воды снять показания 5 раз. Закрыть вентиль расхода холодной воды ВР₁.

Открыть вентиль горячей воды ВР₂ и вентили ВЗ₃, ВЗ₆, ВЗ₇, снять показания расходометра Р₂, увеличивая расход воды снять показания 5 раз. Закрыть вентиль расхода горячей воды.

Обработка экспериментальных результатов

1. Для каждого опыта определяется расход воды V , м³/с с помощью расходомеров Р₁ и Р₂.

$$V_1 = \frac{Q^{K_{P1}} - Q^{H_{P1}}}{\tau_1}; \quad (13)$$

$$V_2 = \frac{Q^{K_{P2}} - Q^{H_{P2}}}{\tau_2}, \quad (14)$$

где Q_{P1} и Q_{P2} - показания расходомеров, м³ в начале и в конце опыта;
 τ - время замера расхода, сек.

2. Для всех установочных расходов определяется скорость движения жидкости в расчетном сечении ω , м/с для холодной воды:

$$\omega_1 = \frac{V_1}{F_1}, \quad (15)$$

где V - объемный расход жидкости, м³/с; F - площадь расчетного сечения, м²; D_B - внутренний диаметр наружной трубы, м; d_H - наружный диаметр внутренней трубы, м.

3. Определяется критерий Рейнольдса Re для соответствующей скорости по зависимости

$$Re_1 = \frac{\omega_1 \cdot d_{\text{вн}} \cdot \rho_1}{\mu_1}, \quad (16)$$

где d - диаметр расчетного сечения, м; ρ - плотность жидкости при условиях опыта, кг/м³; μ - динамический коэффициент вязкости жидкости в условиях опыта, Па·с; d_3 - эквивалентный диаметр кольцевого сечения, м,

$$d_3 = D_{\text{вн}} - d_H. \quad (17)$$

4. Рассчитывается коэффициент трения на прямолинейном участке по зависимости

$$\lambda_1 = \frac{\Delta h_1 \cdot d_{\text{вн}} \cdot 2g}{L_1 \cdot \omega^2}, \quad (18)$$

где Δh_1 - потери напора на прямолинейном участке трубы, измеряемые по I, II пьезометру, м; d - диаметр трубопровода на линейном участке, м; L - длина прямолинейного участка, м; ω - скорость потока на прямолинейном участке, м/с.

Приняв шероховатость трубы (табл. 2, [4]), определить табличный коэффициент трения $\lambda_{\text{теор}}$.

5. Расчет коэффициентов трения при различных режимах течения жидкости.

Для ламинарного течения жидкости $Re < 2320$:

$$\lambda = \frac{64}{Re}; \quad (19)$$

Для турбулентного течения $Re > 10000$

$$\lambda = 0,316 \cdot Re^{-0,25}. \quad (20)$$

Все результаты заносятся в таблицу 1.

Таблица 1

Опытные и расчетные величины

Наименование	Номер опыта	Расход воды, V , $\text{м}^3/\text{с}$	Скорость воды, ω , $\text{м}/\text{с}$	Показание пьезометра, Δh , мм	Критерий Рейнольдса Re	Опытный коэффициент λ	Расчетный коэффициент λ
Прямой отрезок внутренней трубы	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
Прямой отрезок наружной трубы	1						
	2						
	3						
	4						
	5						

Контрольные вопросы к защите работы

1. На преодоление каких сопротивлений затрачивается энергия при движении по трубопроводам.
2. В какую форму переходит механическая энергия потока, теряемая при движении.
3. Что называется шероховатостью трубы.
4. Как влияет шероховатость трубы на потери энергии потока по длине трубопровода (величину коэффициента трения).
5. Как работает расходомер.
6. Как устроен пьезометр.

7. Уравнение для расчета коэффициента трения λ для различных режимов течения жидкости.

8. Расчет потерь напора при движении реальной жидкости в трубопроводе.

Библиографический список

Основная литература

1. Кавецки Г.Д., Васильев В.В. «Процессы и аппараты пищевой технологии». М.,: Колос, 2010. – с. 551.
2. Ларин В.А., Малахов Н.Н., Плаксинов Ю.В. «Процессы и аппараты пищевых производств». М.,: Колос, 2008. – с. 350.
3. Ченцова Л.И. «Процессы и аппараты пищевых производств», учеб. пособие \Л.И. Ченцова, М.Н. Шайхудинова, Т.В. Борисова, КрасГАУ, - Красноярск, 2004. – с. 112.
4. Ченцова Л.И. «Процессы и аппараты пищевых производств. Массообменные процессы», учеб. пособие \Л.И. Ченцова, М.Н. Шайхудинова. – КрасГАУ, - Красноярск, 2009. – с. 163.

Дополнительная литература

1. Борисова Г.В. Основные свойства пищевого сырья, полуфабрикатов и продуктов. Справочное пособие. – КрасГАУ, - Красноярск, 2008. – с. 980.
2. Левин Б.Д., Ченцова Л.И., Шайхутдинова М.Н., Ушанова В.М. Процессы и аппараты химических и биологических технологий. Учеб. пособие для студентов химических специальностей вузов / под общ. ред. д – ра. хим. Наук С.М. Репяха. – Красноярск: Сибирский государственный университет, 2002. – с. 430.
3. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию / Г.С. Борисов, В.П. Брыков, Ю.И. Дытнерский и др. Под ред. Ю.И. Дытнерского, 2 – е изд., перераб. и дополн. М.: Химия, 1991. – с. 496.
4. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессы и аппаратов химической технологии: Учебное

пособие для вузов под ред. чл. – корр. АН России П.Г. Романкова. – 12- -е изд., стереотипное. Перепечатка с издания 1987 г. М.: ООО ТИД «Альянс», 2005. – с. 576.

**ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ
ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА
СОПРОТИВЛЕНИЯ ТРЕНИЮ**

Методические указания к выполнению
Лабораторных и практических работ

Составители: Л.И. Ченцова, В.Н. Тепляшин, В.Н. Невзоров

Редактор