Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Шебзухова Татьяна Александровна
Должность: Директор Пятигорского института (филиал) Северо-Кавказского федерального университета
Дата подписания: 25.08.2023 12:45:53
Уникальный программный ключ:
d74ce93cd40e39275c3ba2f58486412a1c8ef96f

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Пятигорский институт (филиал) СКФУ

**Методические указания**
по выполнению лабораторных работ
по дисциплине «Процессы и аппараты пищевых производств»
для студентов направления подготовки
19.03.04 Технология продукции и организация общественного питания
Направленность (профиль) Технология и организация ресторанного дела

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Пятигорск, 2022

# СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа № 1 ..... 4
Тема: Последовательность проведения технологических операций в технологическом процессе ..... 4
Лабораторная работа № 2 ..... 9
Тема: Моделирование процессов и аппаратов. Теория подобия ..... 9
Лабораторная работа № 3 ..... 15
Тема: Иллюстрация уравнения Бернулли при установившемся ..... 15
движении жидкости в напорном трубопроводе ..... 15
Список рекомендуемой литературы .....

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

# Введение

Лабораторный практикум разработан в соответствии с Государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования и рабочими программами по курсу «Процессы и аппараты пищевых производств» и предназначен для студентов технологического факультета.

Цель лабораторного практикума – закрепление знаний по курсу, практическое ознакомление с устройством и работой отдельных аппаратов, изучение процессов на действующих аппаратах, практических навыков пуска, испытания и анализа работы аппаратов, а также знакомство с автоматизированной системой измерений в среде LabVIEW.

Студент должен научиться обосновывать рациональные режимы работы аппаратов и после детального изучения процесса уяснить влияние отдельных параметров режима на ход процесса, т.е. уметь выбрать такой режим, который обеспечивает наибольший технико-экономический эффект при высоком качестве продукта.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

# Лабораторная работа № 1

## Тема: Последовательность проведения технологических операций в технологическом процессе

*Цель работы*: 1) ознакомиться с основными понятиями курса;
2) изучить классификацию основных технологических процессов пищевых производств;
3) изучить классификацию технологического оборудования;
4) составить последовательность проведения технологических операций пищевых производств и провести ее анализ на основе изученной классификации;
5) составить экспликацию оборудования, используемого в данном производстве.

*Приборы и материалы:* технологические справочники, каталоги оборудования, линейка.

### Краткие сведения из теории

Последовательность выполнения технологических операций в пищевых производствах представлено в виде графического изображения технологического процесса. Технологический процесс – это совокупность последовательных действий, проводимых направленно с целью получения из исходного сырья продукта с заданными свойствами. Технологический процесс состоит из отдельных стадий (операций). Технологическая операция – единичное воздействие на продукт с целью изменения его свойств (мойка, чистка, резани и др.).

Каждая операция осуществляется с помощью машины или аппарата.

Машина – предназначена для проведения механических и некоторых гидромеханических процессов. Машина имеет рабочий орган (нож, лопасть), который механически воздействует на сырье. Рабочий орган приводится в движение от электропривода (пневмопривода, гидропривода). Привод включает в себя двигатель и передающее устройство.

Механизм – устройство, имеющее рабочий орган и передачу (передающее устройство), но не имеющий собственного электродвигателя. Механизм приводится в действие вручную или присоединяется к универсальному приводу.

Агрегат - устройство, выполняющее несколько технологических операций и имеющее несколько рабочих органов.

Автомат – агрегат, выполняющий операции в автоматическом режиме.

Аппарат – устройство для проведения тепловых, массообменных и некоторых гидромеханических процессов. Аппарат воздействует на продукт энергетически (нагревает, охлаждает, сушит, облучает). Многие аппараты имеют

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

встроенные транспортеры для перемещения сырья от загрузочного к разгрузочному бункеру или мешалки для интенсификации основного процесса.

*Классификация оборудования*

Оборудование классифицируют по следующим признакам: по функциональному назначению; по виду энергоносителя; по структуре рабочего цикла (оборудование периодического и непрерывного действия); по способу обогрева (аппараты с контактным, косвенным и непосредственным нагревом); по степени автоматизации (неавтоматизированное, полуавтоматизированное и автоматизированное оборудование); по конструктивному исполнению.

*Классификация процессов*

Все технологические процессы (операции) можно подразделить на четыре большие группы: механические, гидромеханические, тепловые и массообменные (диффузионные).

1. Механические процессы направлены на изменение физических свойств сырья, т.е. размеров, формы, плотности, однородности. Движущей силой процессов является сила механического давления или центробежная сила. К механическим процессам относят:

- сортирование – разделение сыпучих сырья по качеству;
- калибрование –разделение сыпучего сырья на группы по размерам;
- дробление - измельчение сырья на частицы заданных размеров, произвольной формы. Дробление осуществляют способами раздавливания, раскалывания, размола, истирания, удара;
- резание - измельчение сырья на частицы заданной формы и размеров; отрезание части сырья от его массива; измельчение волокнистого сырья.
- обработка материалов давлением – отжатие жидкости из влажного сырья; получение кускового продукта из сыпучего сырья; формование пластичных материалов.

2. Гидромеханические процессы – процессы, связанные с перемещением потоков жидкости и газа. Движущей силой процессов является разность давлений.

- мойка сырья и тары;
- перекачивание жидкости по трубопроводам;
- перемешивание в жидких средах – используется для усреднения концентраций и температур; предупреждения расслоения эмульсий и выпадения осадков в суспензиях; интенсификации тепловых, массообменных и биохимических процессов; получения неоднородных систем из нескольких компонентов;
- осаждение – процесс выделения твердых или жидких частиц из жидких или газообразных сред. Движущей силой является разность плотностей частицы и среды. Процесс может протекать в поле силы тяжести, центробежной силы или электростатических сил.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

- фильтрование – процесс выделения твердых частиц из жидких или газообразных сред с помощью пористой перегородки (фильтра). Движущей силой процесса является разность давлений по обеим сторонам фильтра;
- ультрафильтрация и обратный осмос – процессы разделения растворов веществ с различной молекулярной массой с помощью полупроницаемой мембраны, обладающей избирательной проницаемостью.

3. Тепловые процессы – связаны с изменением теплового состояния сырья. Движущей силой процессов является разность температур. Целями тепловых процессов могут быть биохимические изменения в сырье (денатурация белков, карамелизация сахаров, клейстеризация крахмала, меланоидинообразование) и прекращение жизнедеятельности микроорганизмов. К тепловым процессам относят: нагревание, охлаждение, испарение, конденсацию, выпаривание (процесс сгущения растворов путем испарения растворителя при кипении).

4. Массообменные (диффузионные) процессы – связаны с переходом какого-либо вещества (целевого компонента) через границу раздела фаз. Движущей силой процессов является разность концентраций целевого компонента в потоке фазы и на ее границе.
- сушка – процесс удаления влаги из сырья путем ее испарения с поверхности;
- адсорбция – процесс поглощения газов, жидкостей и их паров поверхностью твердого тела, в том числе объеме пор.
- абсорбция – процесс поглощения газов, жидкостей и их паров объемом жидкого поглотителя;
- перегонка – разделение истинных растворов путем частичного испарения с последующей конденсацией паров. Процесс основан на различной летучести компонентов;
- ректификация – многократная перегонка;
- экстрагирование – процесс извлечения целевого компонента из растительного сырья с помощью растворителя, обладающего избирательным действием;
- кристаллизация – процесс получения кристаллического продукта из переохлажденного расплава или перенасыщенного раствора путем охлаждения и интенсивного взбивания;
- растворение – процесс, обратный кристаллизации.

## Порядок выполнения работы

1. Провести анализ технологии производства пищевого продукта по индивидуальному заданию, предложенному преподавателем.
2. Составить технологическую схему производства процесса производства пищевого продукта и провести ее анализ на основе классификации процессов.
3. Подобрать оборудование, используемое в данном процессе производства, и провести его анализ на основе классификации оборудования.
4. Отчет оформить в соответствии со следующим примером

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Таблица 1.1 – Экспликация оборудования

| ОПЕРАЦИЯ | ПРОЦЕСС | ОБОРУДОВАНИЕ |
|---|---|---|
| просеивание | механический | просеиватель «Бурат» |
| дозирование | механический | автомукомер, весы |
| растворение | массообменный | солерастворитель ХСР-3 |
| фильтрование | гидромеханический | фильтр |
| замес жидкой опары | гидромеханический | заварочная машина |
| брожение | биохимический | заварочная машина ХМЗ-300, корыто брожения Рабиновича |
| замес теста | гидромеханический | тестомесильная машина А2-ХТБ |
| разделка | механический | тестоделитель «Кузбасс» |
| укладка | механический | тестоукладчик |
| расстойка | биохимический | шкаф окончательной расстойки А2-ХРА |
| выпечка | тепловой | печь ПХС-25М |
| укладка в лотки | механический | циркуляционный стол, вагонетки |

**Контрольные вопросы**

1. Дать классификацию основных процессов пищевых производств.
2. Дать классификацию гидромеханических процессов.
3. Дать классификацию тепловых процессов.
4. Дать классификацию механических процессов.
5. Дать классификацию массообменных (диффузионных) процессов.
6. Дать классификацию оборудования пищевых производств.
7. Что называется технологической операцией, технологическим процессом и технологической схемой?
8. Что называется машиной, аппаратом, агрегатом, механизмом?
9. Как классифицируется оборудование по способу обогрева?

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

# Лабораторная работа № 2

## Тема: Моделирование процессов и аппаратов. Теория подобия

*Цель работы*: 1) Изучение теории подобия;
2) Изучение критериев подобия;
3) Изучение метода анализа размерностей.

**Краткие теоретические сведения**

Расчетные методики должны создаваться на основе знания взаимосвязи различных параметров, характеризующих процесс и их влияния на скорость протекания процесса. Существует два основных метода изучения объектов: метод прямого эксперимента и аналитический метод.

Метод прямого эксперимента заключается в создании экспериментальной установки и проведении на ней экспериментов по специальному плану. Достоинством является получение точного конкретного результата; недостатками - значительные затраты времени, материальных и трудовых ресурсов, производственных площадей, невозможность предсказания поведения объекта в измененных условиях или обобщения полученных результатов для других объектов.

Аналитический метод заключается в выводе дифференциальных уравнений математической физики, описывающих процесс. Недостатком является практическая невозможность получения точного конкретного результата, а достоинством - описание целого класса явлений. Достоинства того и другого метода объединяет теория подобия.

Теория подобия – это учение о способах создания моделей, правилах проведения на них экспериментов, обработки результатов в виде расчетных зависимостей и определенных границ применимости этих расчетных зависимости.

Моделированием называют изучение объекта по его модели с целью предсказания поведения этого объекта в промышленных условиях. К моделям предъявляют следующие требования:

1. модель должна быть адекватна к реальному объекту, т.е. воспроизводить его существенные характеристики;
2. модель должна иметь существенно меньше габариты, вес, стоимость;
3. эксперименты на модели должны проводиться быстрее, быть более простыми;
4. должен быть известен алгоритм перевода расчетной зависимости для модели в расчетной зависимости для оригинала.

В настоящее время используются три типа моделей: математические, реальные физические и аналоговые.

Математическая модель представляет собой совокупность дифференциальных алгебраических и иных уравнений, описывающих процесс. Эксперимент на такой модели заключается в определении скорости протекания процесса при всех возможных комбинационных параметрах (с помощью ЭВМ). Достоинством модели является относительно небольшие затраты сырья, материалов, площадей

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

и простота, внесения изменений в эту модель. Недостатком модели является невозможность учета будущих явлений.

Реальная физическая модель представляет собой уменьшенную упрощенную копию оригинала. Достоинство - получение точного результата. Недостатки – весьма большие затраты и сложность внесения изменений в эту модель.

Аналоговые модели отличаются от реального объекта по своей физической сущности, но описываются аналогичными дифференциальными уравнениями.

Результаты, полученные на модели можно распространить на реальный объект в том случае, если сама модель и происходящий в ней процесс подобны реальным.

Подобными называются явления, происходящие в геометрически подобных объектах, в которых в сходственных точках системы, в сходственные моменты времени одноименные параметры пропорциональны. Геометрически подобными называются объекты, в которых все углы равны, стороны пропорциональны. Сходственными точками системы называют точки, отвечающие геометрическому подобию. Сходственными моментами времени называются моменты, пропорционально отстоящие от начала процесса. Одноименными называются величины, имеющие одинаковый физический смысл и размерность.

*Теоремы подобия*

Три основные теоремы подобия отвечают на три основных вопроса:

1) какие величины измерять в эксперименте;
2) в каком виде представлять полученные результаты;
3) на какие явления можно распространять полученные результаты.

На первый вопрос отвечает теорема Ньютона: подобные явления имеют численно равные критерии подобия.

Критерий подобия – это безразмерный комплекс, состоящий из разноименных величин, имеющих физический смысл. Критерий, как правило, характеризует соотношение движущей силы в процессе с силами сопротивления. Кроме критериев подобия используются симплексы геометрического подобия. Симплекс представляет собой отношение одноименных величин.

На второй вопрос отвечает теорема Федермана-Букингема: любая зависимость между переменными характеризующими процесс может быть представлена в виде зависимости между соответствующими критериями подобия.

Общий вид критериального уравнения

$$K_1 = CK_2^n \cdot K_3^m \cdot K_4^p, \qquad (1)$$

где $K_1$- определяемый критерий, содержащий искомую величину;

$K_2$, $K_3$, $K_4$ – определяющие критерии;

С – числовой коэффициент определяемый экспериментальным путем;

n, m, p – показатели степени, определяющиеся экспериментальным путем.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Критерии формулируются на основе анализа дифференциальных уравнений или методом размерностей. Количество критериев в критериальном уравнении определяет π-теорема:

$$\pi = N - n \qquad (2)$$

где π – количество критериев в критериальном уравнении;

N – число параметров характеризующих процесс;

n – число единиц измерения этих параметров в международной системе.

Каждая пара отношения параметров дает в критериальном уравнении один критерий симплекс.

На третий вопрос отвечает теорема Кирпичева-Гукмана: подобные явления описываются одинаковыми дифференциальными уравнениями при подобных условиях однозначности.

Различают четыре группы условий однозначности:

1. геометрические условия характеризуют конфигурацию объекта и пропорциональность его основных размеров;
2. физические условия однозначности характеризуют свойство объекта рабочих тел;
3. граничные условия характеризуют состояние системы на ее границах и взаимодействие с окружающей средой;
4. временные условия характеризуют состояние системы во времени.

Таблица 2.1 - Основные критерии подобия гидромеханических, тепловых и массообменных процессов

| Критерий | Формула | Основной физический смысл |
|---|---|---|
| 1.Критерии гидромеханического подобия | | |
| 1. Критерий режима движения (число Рейнольдса) | $\mathrm{Re} = \frac{wl}{\nu} = \frac{Pe}{\mathrm{Pr}}$ | Характеризует режим движения жидкости; мера отношения сил инерции и молекулярного трения в потоке |
| 2. Критерий гидравлического подобия (число Фруда) | $Fr = \frac{w^2}{gl} = \frac{\mathrm{Re}^2}{Ga}$ | Мера отношения сил инерции и тяжести в потоке |
| 3. Критерий подобия полей давления (число Эйлера) | $Eu = \frac{\Delta p}{\rho w^2}$ | Мера отношения сил давления и инерции в потоке. Безразмерная потеря напора жидкости в трубах |
| 4. Критерий подобия полей скоростей (число Галилея) | $Ga = \frac{gl^3}{\nu^2} = \frac{\mathrm{Re}^2}{Fr}$ | Мера отношения сил тяжести и молекулярного трения |

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

| | | |
|---|---|---|
| (число Галилея) | | |
| 5. Критерий свободной конвенции (число Архимеда) | $Ar = \frac{gl^3}{\nu^2} \cdot \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_1} = Ga\frac{\Delta\rho}{\rho}$ | Характеризует взаимодействие архимедовой силы, возникающей при разности плотности среды и силы вязкого трения |
| 2. Критерии теплового подобия | | |
| 6. Безразмерный коэффициент теплоотдачи (критерий Нуссельта) | $Nu = \frac{\alpha l}{\lambda}$ | Характеризует связь между интенсивностью теплоотдачи и температурным полем в пограничном слое потока |
| 7. Критерий подобия температурных и скоростных полей в потоке (число Прандтля) | $\mathrm{Pr} = \frac{\nu}{a} = \frac{\eta_c}{\lambda} = \frac{Pe}{\mathrm{Re}}$ | Характеризует физические свойства теплоносителя (безразмерная величина) |
| 8. Критерий теплового подобия (число Пекле) | $Pe = \frac{wl}{a} = \mathrm{Re}\cdot\mathrm{Pr}$ | Мера отношения молекулярного и конвективного переносов тепла в потоке |
| 9. Критерий тепловой гомохронности (число Фурье тепловое) | $Fo = \frac{a\tau}{l^2}$ | Характеризует связь между скоростью изменения температурного поля, физическими свойствами и размерами тела |
| 10. Критерий краевого подобия (критерий Био-тепловой) | $Bi = \frac{\alpha l_c}{\lambda_{cm}}$ | Мера отношения внутреннего и внешнего термических сопротивлений; характеризует связь между полем температур в твердом теле и условиями теплопередачи на его поверхности |
| 11. Критерий свободной тепловой конвекции (число Грасгофа) | $Gr = \frac{gl^3}{\nu^2} \cdot \beta\vartheta_c$ | Мера отношения сил молекулярного трения и подъемной силы при различии плотностей в отдельных точках неизотермического потока |

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

| | | |
|---|---|---|
| 12. Тепловой критерий фазового превращения (критерий Кутателадзе) | $Ku = \frac{r}{c\Delta t} = \frac{r}{\Delta i}$ | Мера отношения теплоты фазового превращения к теплоте перегрева или переохлаждения одной из фаз по отношению к температуре насыщения |
| 3. Критерии диффузионного подобия | | |
| 13. Безразмерный коэффициент массоотдачи (массообменный критерий Нуссельта, критерий Шервуда) | $Nu = \frac{\beta l}{D}$ | Характеризует связь между интенсивностью массоотдачи и концентрационным полем в пограничном слое |
| 14. Критерий подобия скоростных и концентрационных полей в потоке (диффузионное число Прандтля) | $\mathrm{Pr}' = \frac{\nu}{D} = \frac{\mathrm{Re}'}{\mathrm{Re}}$ | Характеризует физические свойства жидкости |
| 15. Критерий диффузионной гомохронности (диффузионное число Фурье) | $Fo' = \frac{D\tau}{l^2}$ | Характеризует связь между скоростью изменения поля концентрации, физическими свойствами, размерами тела |
| 16.Критерий краевого подобия (диффузионный критерий Био) | $Bi' = \frac{\beta l_c}{D_c}$ | Мера отношения внутреннего и внешнего диффузионных сопротивлений |
| 17.Критерий диффузионного подобия (массообменное число Пекле) | $Pe' = \frac{\omega l}{D} = \mathrm{Re}\cdot\mathrm{Pr}'$ | Мера отношения молекулярного и диффузионного вещества в потоке |

## Условные обозначения

$\Delta p$ - перепад давления, Па;

$g$ - ускорение силы тяжести, м/с$^2$;

$\rho_1$ и $\rho_2$ – плотности частицы и среды соответственно, кг/м$^3$;

$\alpha$ - коэффициент теплоотдачи, Вт/м$^2$К;

$\lambda$ - коэффициент теплопроводности, Вт/мК;

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

l - характерный линейный размер системы, м;
$\nu$ - кинематическая вязкость, $м^2/с$;
a – температуропроводность, $м^2/с$;
$\mu$ - динамическая вязкость, Па с;
c – удельная теплоемкость, Дж/(кгК);
$\tau$ - время, с;
$l_c$ – характерный линейный размер тела, м;
$\lambda_c$ – коэффициент теплопроводности твердого тела, $Вт/(м^2К)$;
$\beta$ - коэффициент объемного расширения жидкости, 1/К;
$\vartheta_c$ - разность между температурами твердой стенки и потока на удалении от стенки, К;
r - теплота фазового превращения ( испарения или конденсации );
$\beta$ - коэффициент массоотдачи, м/с;
D – коэффициент диффузии, $м^2/с$;
$D_c$- коэффициент диффузии в твердом теле, $м^2/с$.

## Порядок выполнения работы

1. Составляется перечень независимых факторов, определяющих явлений.
2. Выполняются формальные преобразования:
   - Составляется перечень независимых размерностей. Для этого выпи-сывают зависимые и повторяющиеся размерности;
   - Определяют разность между количеством определяющих параметров и количеством их независимых размерностей;
   - Комбинирую определяющие параметры, составляют необходимое количество независимых безразмерных комбинаций, которые являются определяющими критериями. Критерии анализируют с целью идентификации – определения соответствия известным.
3. Связи между критериями устанавливают в одной из удобных для использования форм. Если форма этой связи заранее не известна, рекомендуется представить ее в виде зависимости искомого критерия от произведения других критериев в соответствующих степенях, определяющихся экспериментально.

## Контрольные вопросы

1. Чем различаются аналитический и экспериментальный методы?
2. Охарактеризуйте достоинства и недостатки все типы моделей?
3. Что называется критерием и симплексом подобия?
4. Сформулируйте три теоремы подобия.
5. Перечислить критерии гидромеханического подобия.
6. Перечислить критерии теплового подобия.
7. Перечислить критерии диффузионного подобия.
8. Что называется условиями однозначности?

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

# Лабораторная работа № 3

## Тема: Иллюстрация уравнения Бернулли при установившемся движении жидкости в напорном трубопроводе

*Цель работы:* 1. Непосредственное наблюдение взаимосвязи между членами уравнения Бернулли и характера их изменения при переходе от одного поперечного сечения трубопровода к другому при изменении расхода воды в трубопроводе;

2. Измерение значений отдельных членов уравнения Бернулли и построение пьезометрической и напорной линий;

3. Использование уравнения Бернулли для тарировки трубчатого расходомера, в качестве которого может служить участок трубопровода с местным сужением поперечного сечения;

4. Определения коэффициента сопротивления трубчатого расходомера.

*Приборы и материалы:* лабораторная установка, пьезометры, трубки Пито, расходомер.

### Краткие теоретические сведения

Установившееся движение – это  такое движение, при котором параметры движущейся среды (средняя скорость, гидродинамическое давление) в каждом данном сечении потока не изменяются во времени.

Уравнение Бернулли устанавливает связь между скоростью, давлением и геометрическим положением того  или  иного  поперечного сечения потока.

Применительно к элементарной струйке идеальной жидкости уравнение Бернулли выражает закон сохранения энергии и для любого поперечного сечения струйки имеет вид:

$$z + \frac{p}{\rho g} + \frac{\upsilon^2}{2g} = H = const$$

где $z$ – удельная потенциальная энергия положения сечения (геометрический напор), м;

$\frac{p}{\rho g}$ – удельная потенциальная энергия давления (пьезометрический напор), м;

$v$ – скорость движения жидкости в рассматриваемом сечении, м/с;

$\frac{\upsilon^2}{2g}$ – удельная кинетическая энергия (скоростной напор), м;

$H$ – полная удельная механическая энергия движущейся жидкости в рассматриваемом сечении потока (полный напор), м.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Для потока реальной (вязкой) жидкости уравнение Бернулли является уравнением баланса энергии, учитывающим её потери, и для двух произвольных поперечных сечений потока записывается следующим образом:

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \alpha_1 \frac{\upsilon_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \alpha_2 \frac{\upsilon_2^2}{2g} + h_n \qquad (1)$$

где $z_i$ – высота расположения центра тяжести рассматриваемого сечения над горизонтальной плоскостью сравнения, м;

$p_i$ – давление жидкости в рассматриваемом сечении, Па;

g – модуль ускорения свободного падения, м/с$^2$;

$\rho$ - плотность жидкости, кг/м$^3$;

$\alpha_i$ – корректив кинетической энергии (коэффициент Кориолиса) в рассматриваемом сечении;

$\upsilon_i$ – средняя скорость движения жидкости в рассматриваемом сечении, м/с;

$h_n$ – потери полного напора на участке между сечениями 1 и 2, м.

Коэффициент $\alpha$ показывает, во сколько раз фактическая кинетическая энергия потока в сечении больше кинетической энергии, вычисленной по средней скорости в этом сечении.

При турбулентном режиме движения $\alpha$=1,05…1,15; в инженерной практике обычно принимают $\alpha \approx 1$.

## Описание экспериментальной установки

Принципиальная схема установки для иллюстрации уравнения Бернулли приведена на рис. 2. Основной элемент установки – это плоский трубопровод переменного сечения 15.

При работе установки вода из приемного бака 12 насосом 11 подается в напорный бак 13, в котором переливная труба 14 поддерживает постоянный уровень воды. Из напорного бака 13 вода поступает в наклонный плоский трубопровод 15 переменного сечения и затем сливается в приемный бак 12; расход воды через трубопровод 15 регулируется краном 16.

В пяти наиболее характерных сечениях трубопровода установлены по две измерительные трубки. Левые трубки 1, 3, 5, 7, 9 являются трубками статического напора (пьезометрические трубки), правые трубки 2, 4, 6, 8, 10 – трубки полного напора (трубки Пито). Каждая пара трубок имеет шкалу для отсчета высоты расположения уровней воды в трубках над осью трубопровода.

Положение линии полного давления и пьезометрической линии вдоль трубопровода 15 относительно плоскости сравнения 0-0 фиксируется с помощью ниток 17; нитки 17 удерживаются каретками.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

## Порядок выполнения работы

1. Включить насос 11 и открыть вентиль 18 (вращением против часовой стрелки). Заполнить напорный бак 13 до уровня верхнего сечения переливной трубы 14. Уровни воды в измерительных трубках должны установиться на уровне воды в баке 13 и на одной горизонтальной линии.

2. Плавно открыть на несколько делений шкалы лимба регулировочный кран 16 и добиться, чтобы скоростной напор в самом узком сечении трубопровода 15 (в трубке 6) находился в пределах 20…30 мм. Проверить, обеспечивается ли через трубку 14 перелив воды в напорном баке 13 и при необходимости подрегулировать подачу насоса 11 вентилем 18.

3. Зафиксировать передвижными каретками высоту расположения уровней воды в измерительных трубках и протянуть через каретки нити 17. Нить, пропущенная через верхние каретки, отметит положение линии полного гидродинамического напора, а нить, пропущенная через нижние каретки – положение пьезометрической линии.

4. В таблицу 1 записать показания пьезометров и трубок полного напора, а также число делений на шкале лимба крана 16.

5. Краном 16 установить новый больший расход воды в трубопроводе 15 и повторить все действия по п.п 3 и 4.

Всего выполнить три опыта при трех различных расходах воды. При проведении опытов необходимо следить за постоянством высоты уровня воды в напорном баке.

Таблица 3.1. - Результаты измерений

| №, п/п | Показания пьезометров и трубок полного напора $h$,мм | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

## Обработка экспериментальных данных

1. Для двух первых опытов по данным таблицы 1 в масштабе построить линии полного и пьезометрического напоров по длине трубопровода 15. Дать анализ изменений уровня линий полного и пьезометрического напоров вдоль трубопровода 15 в зависимости от изменения его поперечного сечения.

2. По результатам опытов проводится тарировка трубчатого расходомера, в качестве которого принимается участок трубопровода 15 с местным с ужением поперечного сечения (рис.1).

Средняя скорость в поперечных сечениях расходомера:

$$\upsilon_1 = \frac{Q}{f_1}, \quad \upsilon_2 = \frac{Q}{f_2}, \tag{2}$$

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

где $Q$- расход воды через трубопровод; $F$, $f$ – площади поперечных сечений 1 и 2, соответственно.

Из уравнения Бернулли (1), записанного для двух сечений расходомера, с учетом зависимостей (2) находим расчетный расход воды:

$$Q_p = A\sqrt{\Delta H}\,, \qquad (3)$$

где

$$A = F\sqrt{\frac{2g}{\left(\frac{F}{f}\right)^2 - 1}}\;; \qquad (4)$$

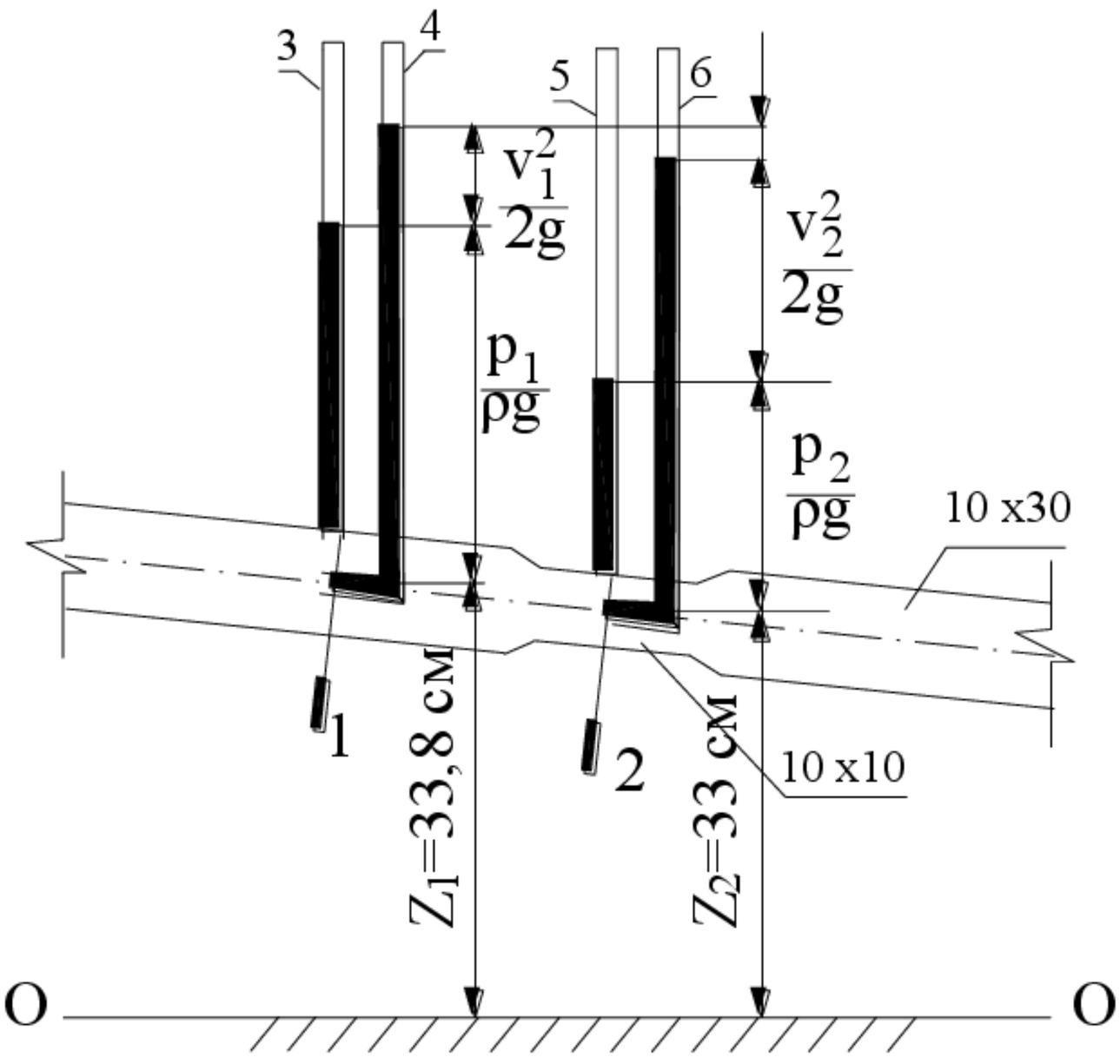


Рисунок 3.1 Расчетная схема трубчатого расходомер (расходомера Вентури)

$$\Delta H = z_1 - z_2 + \frac{p_1}{\rho g} - \frac{p_2}{\rho g} - \Delta h\,; \qquad (5)$$

значения величин $z_1$ и $z_2$ принимаются по рис. 2; величины $\frac{p_1}{\rho g}$; $\frac{p_2}{\rho g}$ - это показания пьезометров 3 и 5; потеря полного напора $\Delta h$ определяется по показаниям трубок полного напора 4 и 6:

$$\Delta h = h_4 - h_6\,. \qquad (6)$$

Так как в лабораторной работе трубки полного напора (трубки Пито) 4 и 6 измеряют скорость воды, которая больше средней по сечению скорости, то формула (5) дает завышенное значение расхода. Поэтому для определе-

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

ния действительного расхода воды Q в формуле (3) вводится поправочный коэффициент $k$:

$$Q = kQ_p = kA\sqrt{\Delta H}\,, \qquad (7)$$

где

$$k = \frac{Q}{Qp}\,. \qquad (8)$$

Тарировочный коэффициент $k_i$ в каждом опыте определяется по соответствующим значениям $Q_i$ и $Q_{pi}$. Действительные расходы воды $Q_i$ принимаем по расходомеру.

Среднее значение тарировочного коэффициента для данного расходомера определяется по формуле:

$$k = \frac{1}{3}\sum_{1}^{3} k_i \qquad (9)$$

Результаты расчетов коэффициента $k$ отражаются в таблице 3.

3. Коэффициент сопротивления $\zeta_i$ трубчатого расходомера в каждом опыте определяется по выражению:

$$\zeta_i = \frac{\Delta h_i}{\frac{\upsilon_i^2}{2g}}; \quad \text{(i= 1, 2, 3 –номер опыта)} \qquad (10)$$

$$\Delta h_i = h_2 - h_{10}; \qquad (11)$$

$$\frac{\upsilon_i^2}{2g} = h_2 - h_1, \qquad (12)$$

где $\Delta h_i$ –местная потеря напора в трубопроводе 15 (потерей напора по длине на трение пренебрегаем), мм вод. ст.;

$h_2$, $h_{10}$ – показания трубок полного напора 2 и 10, мм вод. ст. (см. рис.3.2);

$v_i^2/2g$ – скоростной напор (скоростная высота), мм вод. ст;

$h_2$; $h_1$ – показания трубок 2 и 1 (или 10 и 9) на рис. 1, мм вод. ст.;

$v_i$, $g$ – тоже, что и в уравнении (1).

Среднее значение коэффициента сопротивления расходомера:

$$\zeta = \frac{1}{3}\sum_{1}^{3} \zeta_i \qquad (13)$$

Результаты расчета коэффициента сопротивления $\zeta$ расходомера заносятся в таблицу 3.2.

Таблица 3.2 - Расчет коэффициента сопротивления расходомера

| № опыта | Потеря напора $\Delta h_i$, см | Скоростной напор $\frac{\upsilon^2}{2g}, см$ | Коэффициент сопротивления | |
|---|---|---|---|---|
| | | | $\zeta_i$ | $\zeta$ |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

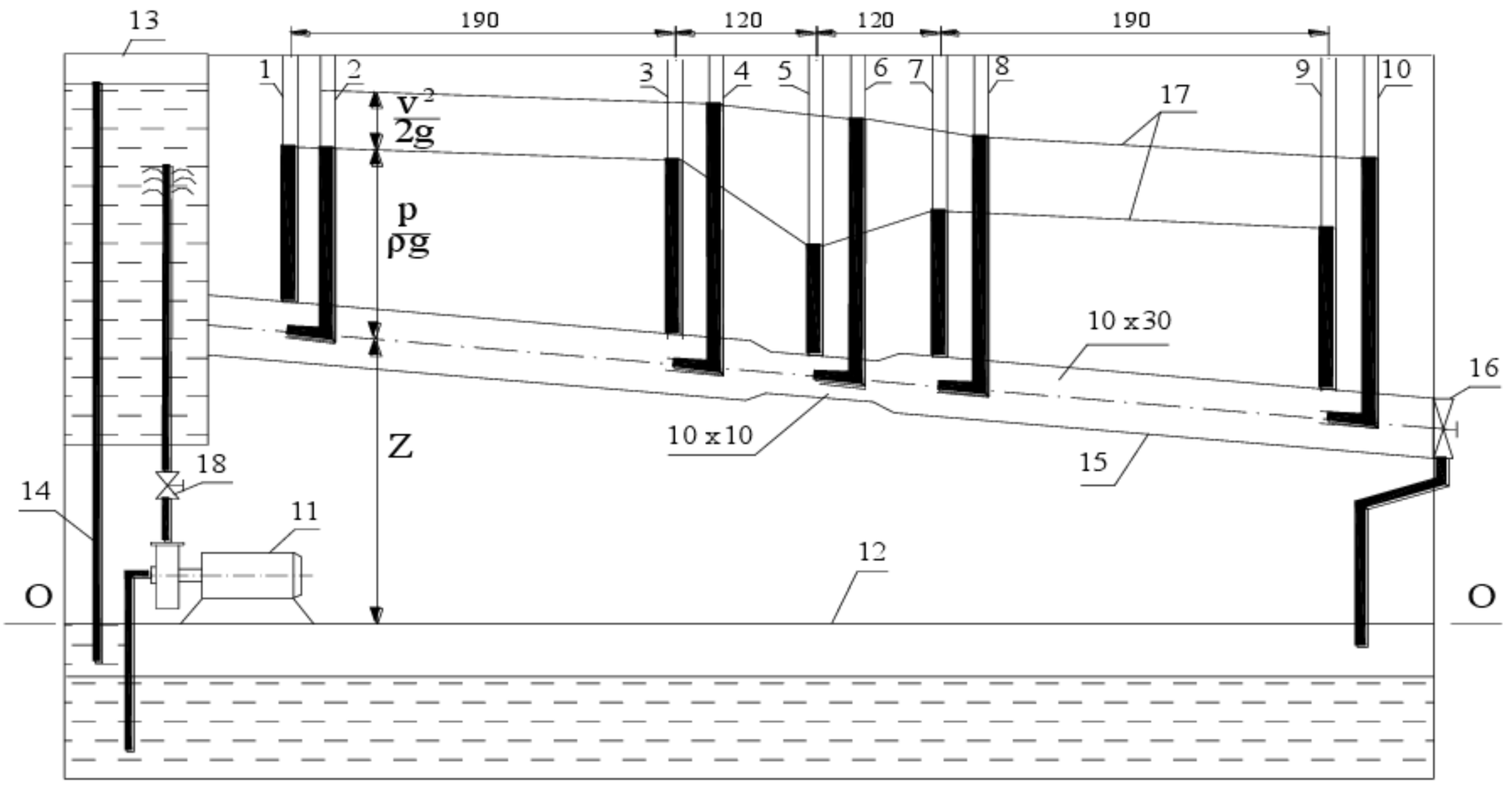


Рисунок 3.2 Принципиальная схема установки

1, 3, 5, 7, 9 – пьезометры; 2, 4, 6, 8, 10 – трубки Пито; 11- насос, 12 – приемный бак; 13 – напорный бак; 14 – переливная труба; 15 – плоский трубопровод переменного сечения; 16 – регулировочный кран; 17 – нити для фиксации полного напора и пьезометрического напора; 18 - вентиль для регулировки подачи насоса 11.

Таблица 3.3 - Расчет тарировочного коэффициента трубчатого расходомера.

| № п/п | Расход Q, $м^3/с$ | $\frac{P_1}{\rho \cdot g} - \frac{P_2}{\rho \cdot g}$, см | h, см | H, см | $\sqrt{\Delta H}$ | A | $Q_{pi}$, см/с | $k_i$ | k |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |

**Контрольные вопросы:**

1. Как разняться между собой уравнения Бернулли для реальной и идеальной жидкости?
2. В чем заключается геометрический и физический смысл уравнения Бернулли?
3. Что выражает собой коэффициент Кориолиса?
4. Что называется напором? Какие виды напоров Вы знаете?
5. Как вычислить потери напора по длине трубопровода?
6. Как определить коэффициент гидравлического сопротивления $\lambda$ при разных режимах течения жидкости?
7. Объяснить схему лабораторной установки и принцип её действия.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

**Методические указания**
для обучающихся по организации и проведению самостоятельной работы
по дисциплине «Процессы и аппараты пищевых производств»
Направление подготовки 19.03.04 Технология продукции и организация общественного питания
Направленность (профиль) Технология и организация ресторанного дела

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Пятигорск, 2022

**Содержание**

Введение ..... 23

1.Общая характеристика самостоятельной работы студента ..... 24

2. План - график выполнения самостоятельной работы ..... 25

3.Методические рекомендации по изучению теоретического материала ..... 25

*3.1. Вид самостоятельной работы: самостоятельное изучение литературы* ..... 25

*3.2. Вид самостоятельной работы: подготовка к лабораторным занятиям* ..... 26

4. Методические указания ..... 26

5. Методические указания по подготовке к экзамену ..... 26

Список рекомендуемой литературы .....

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

## Введение

Методические указания и задания для выполнения самостоятельной работы студентами по дисциплине «Процессы и аппараты пищевых производств» по направлению подготовки бакалавров: 19.03.04 Технология продукции и организация общественного питания.

Методическое пособие содержит весь необходимый материал для выполнения самостоятельной работы по дисциплине «Процессы и аппараты пищевых производств».

В данном методическом пособии приведены темы и вопросы для самостоятельного изучения.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

## 1.Общая характеристика самостоятельной работы студента

Самостоятельная работа – это вид учебной деятельности, выполняемый учащимся без непосредственного контакта с преподавателем или управляемый преподавателем опосредовано через специальные учебные материалы; неотъемлемое обязательное звено процесса обучения, предусматривающее прежде всего индивидуальную работу учащихся в соответствии с установкой преподавателя или учебника, программы обучения.

На современном этапе самостоятельную работу студента следует разделить на работу с бумажными источниками информации, т.е. учебниками, методическими пособиями, монографиями, журналами и т.д. и электронными источниками информации, т.е. доступ к электронным ресурсам через Интернет.

Сегодня самостоятельную работу студента невозможно представить без использования информационной сети – Интернет. Необходимость использования Интернета возникает не только при подготовке к практическим и семинарским занятиям, но, в большей степени, при написании различных исследовательских и творческих работ. Многие современные монографии, периодические журналы изданы только в электронном виде и с ними можно познакомиться только в Интернете.

**Цели и задачи самостоятельной работы:** формирование способностей к самостоятельному познанию и обучению, поиску литературы, обобщению, оформлению и представлению полученных результатов, их критическому анализу, поиску новых и неординарных решений, аргументированному отстаиванию своих предложений, умений подготовки выступлений и ведения дискуссий.

### Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Наименование компетенции

| Код, формулировка компетенции | Код, формулировка индикатора | Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов |
|---|---|---|
| ОПК-3 Способен использовать знания инженерных процессов при решении профессиональных задач и эксплуатации современного технологического оборудования и приборов | ИД-1$_{ОПК-3}$ Определяет эффективность и надежность процессов и аппаратов при решении профессиональных задач и эксплуатации современного технологического оборудования и приборов | Использует знания инженерных процессов при решении профессиональных задач и эксплуатации современного технологического оборудования и приборов |
| ОПК-5 Способен организовывать и контролировать производство продукции питания | ИД-1$_{ОПК-5}$ Использует теорию основных процессов пищевых производств и движущих сил, под действием которых они протекают для организации и контроля производства продукции питания | Осуществляет контроль и управление производства продукции питания с использованием нормативных и технических документов, норм действующего законодательства и требований стандартов |
| | ИД-2$_{ОПК-5}$ Контролирует производство продукции питания с использованием нормативных и технических документов, норм действующего законодательства и требований стандартов | |

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

## 2. План - график выполнения самостоятельной работы

| Коды реализуемых компетенций, индикатора(ов) | Вид деятельности студентов | Средства и технологии оценки | Объем часов, в том числе | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | СРС | Контактная работа с преподавателем | Всего |
| 5 семестр | | | | | |
| ОПК-3 (ИД-1) ОПК-5 (ИД-1; ИД-2;) | Самостоятельное изучение литературы по темам № 1-17 | Собеседование | 74,7225 | 8,3025 | 83,025 |
| ОПК-3 (ИД-1) ОПК-5 (ИД-1; ИД-2;) | Подготовка к лабораторным занятиям | Отчёт (устный) | 8,3025 | 0,9225 | 9,225 |
| Итого за 5 семестр | | | 83,025 | 9,225 | 92,25 |
| Итого | | | 83,025 | 9,225 | 92,25 |

## 3.Методические рекомендации по изучению теоретического материала

***3.1. Вид самостоятельной работы: самостоятельное изучение литературы***

Изучать учебную дисциплину «Процессы и аппараты пищевых производств» рекомендуется по темам, предварительно ознакомившись с содержанием каждой из них в программе дисциплины. При теоретическом изучении дисциплины студент должен пользоваться соответствующей литературой. Примерный перечень литературы приведен в рабочей программе

Для более полного освоения учебного материала студентам читаются лекции по важнейшим разделам и темам учебной дисциплины. На лекциях излагаются и детально рассматриваются наиболее важные вопросы, составляющие теоретический и практический фундамент дисциплины.

***Итоговый продукт: конспект лекций***

***Средства и технологии оценки: Собеседование***

***Критерии оценивания:*** Оценка «отлично» выставляется студенту, если в полном объеме изучен курс данной дисциплины и выполнены практические задания

Оценка «хорошо» выставляется студенту, если достаточно полно изучен курс данной дисциплины и выполнены практические задания

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, недостаточно если полно изучен курс данной дисциплины и выполнены практические задания

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если отсутствуют знания и практические навыки по данной дисциплине.

**Темы для самостоятельного изучения:**

1. Классификация процессов и оборудования.
2. Методы исследования процессов и аппаратов. Основные положения теории подобия
3. Перемешивание в жидких средах
4. Осаждение
5. Фильтрование
6. Классификация сыпучих материалов.
7. Измельчение: дробление.
8. Измельчение: резание.
9. Особенности [illegible] пищевой аппаратуре.
10. Нагревание и охлаждение твердых тел.
11. Выпаривание. Конденсация.
12. Адсорбция и абсорбция.
13. Сушка.
14. Кристаллизация и растворение.
15. Экстрагирование.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

16. Биохимические процессы.
17. Практическое применение теории процессов и аппаратов.

***3.2. Вид самостоятельной работы: подготовка к лабораторным занятиям***

***Итоговый продукт***: отчет по лабораторной работе

***Средства и технологии оценки***: защита отчета

***Критерии оценивания:*** Оценка «отлично» выставляется студенту, если в полном объеме изучен курс данной дисциплины и выполнены лабораторные задания

Оценка «хорошо» выставляется студенту, если достаточно полно изучен курс данной дисциплины и выполнены лабораторные задания

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, недостаточно, если полно изучен курс данной дисциплины и выполнены лабораторные задания

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если отсутствуют знания и практические навыки по данной дисциплине

## 4. Методические указания

Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Процессы и аппараты пищевых производств», направления подготовки 19.03.04 Технология продукции и организация общественного питания.

## 5. Методические указания по подготовке к экзамену

Процедура проведения **экзамена** осуществляется в соответствии с Положением о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по образовательным программам высшего образования в СКФУ.

В экзаменационный билет включаются три вопроса (один вопрос для проверки знаний и два вопроса для проверки умений и навыков студента).

Для подготовки по билету отводиться 30 минут.

При подготовке к ответу студенту предоставляется право пользования справочными таблицами

При проверке лабораторного задания, оцениваются:

- знание параметра;
- последовательность и рациональность выполнения.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

## Список рекомендуемой литературы

### Перечень основной литературы

1. Процессы и аппараты пищевых производств [Текст] : учебник / А. Н. Остриков [и др.]; ред. А. Н. Остриков. - СПб. : ГИОРД, 2012. - 616 с.
2. Алексеев, Г. В. Виртуальный лабораторный практикум по курсу "Процессы и аппараты пищевых производств" [Текст] : учеб. пособие / Г. В. Алексеев, И. И. Бриденко, Н. И. Лукин. - СПб.: "Лань", 2011. - 144 с.

### Перечень дополнительной литературы:

1. Процессы и аппараты пищевых производств: учебное пособие/ А. Ф. Апальков - Ростов н/Д: Феникс, 2008.
2. Расчет и конструирование машин и аппаратов пищевых производств [Текст] : учебник / А. Н. Остриков [и др.]. - СПб. : Изд-во РАПП, 2009. - 408 с.

### Перечень ресурсов информационно-телеккомуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

1. Электронно-библиотечная система IPRbooks
2. Электронная библиотечная система «Университетская библиотека on-line»
3. Электронно-библиотечная система Лань

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022