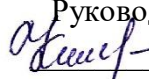
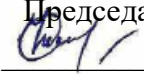


**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**Федеральное государственное бюджетное**  
**образовательное учреждение высшего образования**  
**«Астраханский государственный университет имени В.Н.Татищева»**  
**(Астраханский государственный университет им.В.Н.Татищева)**

*Колледж*  
*Астраханского государственного университета им. В.Н.Татищева*

СОГЛАСОВАНО  
Руководитель ОПОП  
 Т.В. Колосова  
«26» мая 2025 г.

УТВЕРЖДАЮ  
Председатель ЦК (МО)  
 Т.Ю. Фисенко  
протокол заседания ЦК (МО) № 12  
от «26» мая 2025 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**  
**учебной дисциплины**  
**ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ**

Составитель (и)	Курмаева И.И. преподаватель специальных дисциплин
Согласовано с работодателем	Кенжебаев Д.Р., индивидуальный предприниматель
Наименование специальности	19.02.12 Технология продуктов животного происхождения
Профиль подготовки	Технологический
Квалификация выпускника	Техник – технолог
Форма обучения	очная
Год приема (курс)	2024 (на базе 11 класса)

Астрахань, 2025 г.

## **СОДЕРЖАНИЕ**

- 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОГРАММЫ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**
- 2. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**
- 3. УСЛОВИЯ РЕАЛИЗАЦИИ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**
- 4. КОНТРОЛЬ И ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

# **1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

## **1.1. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы**

Рабочая программа учебной дисциплины ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ разработана на основе Федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования по специальности 19.02.12 Технология продуктов питания животного происхождения, утвержденного приказом Министерства просвещения Российской Федерации от 18 мая 2022 г. № 343 «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования по специальности 19.02.12 Технология продуктов питания животного происхождения».

Дисциплина изучается на 3 курсе и является основополагающей для изучения следующих дисциплин: «Прикладные компьютерные программы в профессиональной деятельности», «Автоматизация технологических процессов», «Охрана труда», а также при подготовке, сбору информации и её анализу при написании курсовых проектов и рефератов.

Рабочая программа Процессы и аппараты может быть использована в дополнительном образовании, в программах повышения квалификации и переподготовки, а также для обучения по заочной форме с использованием систем дистанционного обучения «Moodle» в образовательном процессе.

## **1.2. Цель и планируемые результаты освоения учебной дисциплины**

### **Цель дисциплины:**

– закрепление и углубление теоретической подготовки студентов и приобретения ими практических навыков и компетенций, предусмотренных ОПОП по специальности 19.02.12 Технология продуктов питания животного происхождения;

- изучить содержание и методы основ применения процессов и аппаратов в технологии приготовления продуктов питания с формированием у студентов знаний, умений и навыков, активизирующих творческую деятельность разработчиков новой техники и технологий;

- приобретение студентами навыков, необходимых для изучения последующих специальных дисциплин, выполнения курсовых работ, дипломного проектирования и дальнейшей профессиональной деятельности.

Особое значение дисциплина имеет при формировании и развитии компетенций:

ОК 01 Выбирать способы решения задач профессиональной деятельности применительно к различным контекстам;

ОК 02 Использовать современные средства поиска, анализа и интерпретации

информации, и информационные технологии для выполнения задач профессиональной деятельности;

ПК 1.2. Организовывать выполнение технологических операций производства

молочной продукции на автоматизированных технологических линиях в соответствии с технологическими инструкциями.

В рамках программы учебной дисциплины «Процессы и аппараты» осваиваются умения и знания:

Код ОК	Уметь	Знать
<p>ОК 01 Выбирать способы решения задач профессиональной деятельности применительно к различным контекстам</p> <p>ОК 02 Использовать современные средства поиска, анализа и интерпретации информации, и информационные технологии для выполнения задач профессиональной деятельности</p> <p>ПК 1.2. Организовывать выполнение технологических операций производства продуктов питания из мясного сырья на автоматизированных технологических линиях в соответствии с технологическими инструкциями.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- проводить расчеты процессов и аппаратов ;</li> <li>- выбирать оптимальные условия проведения технологических процессов;</li> <li>- выбирать рациональную конструкцию аппарата ;</li> <li>- анализировать условия и режимы работы оборудования.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- основные законы процессов пищевой технологии;</li> <li>- физические свойства сырья и полуфабрикатов пищевых производств;</li> <li>- механические и гидравлические процессы, тепловые и массообменные процессы.</li> </ul>

## 2. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

### 2.1. Объем учебной дисциплины, виды учебной работы и промежуточной аттестации

Вид учебной работы	для ОФО	для ОЗФО	для ЗФО
Объем дисциплины в академических часах	90		
Контактная работа обучающихся с преподавателем (всего), в том числе:	90		
- занятия лекционного типа	30		
- занятия семинарского типа (семинары, практические занятия, лабораторные занятия)	60		
- в ходе подготовки и защиты курсовой работы	-		
- консультация	-		
- промежуточная аттестация по дисциплине	-		
Самостоятельная работа обучающихся	-		
Форма промежуточной аттестации обучающегося	Контрольная работа 4 семестр		

## 2.2. Тематический план и содержание учебной дисциплины ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ

Наименование разделов и тем	Содержание учебного материала и формы организации деятельности обучающихся	Объем, ак.ч/ в том числе в форме практической подготовки, ак.ч.	Коды компетенций, формированию которых способствует элемент программы
<b>Введение</b>	<b>Содержание учебного материала</b>	<b>2</b>	<i>OK 02</i>
	Содержание дисциплины «Процессы и аппараты», ее цели и задачи.	2	
<b>РАЗДЕЛ 1. ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ</b>			<i>OK 01</i>
<b>Тема 1.1. Гидродинамика</b>	<b>Содержание учебного материала</b>	<b>12</b>	<i>OK 02</i> <i>ПК 1.2.</i>
	<b>1. Основные понятия гидродинамики, элементы потока жидкости. Виды жидкости.</b>	2	
	<b>2. Уравнение неразрывности потока. Режимы движения жидкость жидкостей и газов.</b>	2	
	<b>Практическое занятие № 1.1-1</b> Расчет критерия Рейнольдса и определение режима движения жидкости.	4	
	<b>Практическое занятие № 1.1-2</b> Исследование процесса истечения жидкости через отверстия и насадки.	4	
<b>Тема 1.2. Гидростатика</b>	<b>Содержание учебного материала</b>	<b>4</b>	<i>OK 02</i>
	<b>1. Основные законы гидростатики. Понятие абсолютного, избыточного вакуума. Основное уравнение гидростатики. Свойства гидростатического</b>	2	
	<b>Практическое занятие № 1.2</b> Расчет силы гидростатического давления.	2	
<b>Тема 1.3. Разделение жидких и газовых систем</b>	<b>Содержание учебного материала</b>	<b>8</b>	<i>OK 02</i> <i>ПК 1.2.</i>
	<b>1. Классификация неоднородных систем. Разделение неоднородных систем. Осаждение под действием центробежных сил и сил тяжести. Закономерности осаждения. Фильтрование.</b>	2	

	<b>Практическое занятие № 1.3-1</b> Изучение устройства отстойника, расчет его производительности.	2	
	<b>Практическое занятие № 1.3-2</b> Изучение устройства оборудования для разделения суспензий и эмульсий: сепараторы.	4	
	<b>Практическое занятие № 1.3-3</b> Изучение устройства оборудования для фильтрования: фильтры и центрифуги.	4	
<b>Тема 1.4.</b> Перемешивание в жидкой среде, смешивание	<b>Содержание учебного материала</b>	<b>10</b>	<i>OK 01</i> <i>OK 02</i> <i>ПК 1.2.</i>
	<b>1.</b> Механическое перемешивание, Типы мешалок: лопастные пропеллерные, турбинные. Закономерности процесса перемешивания пластичных и сыпучих материалов.	2	
	<b>Практическое занятие № 1.4-1</b> Изучение закономерностей процесса перемешивания жидкостей с различной вязкостью, перемешивания сыпучих материалов, псевдооживления. и устройств для перемешивания.	4	
	<b>Практическое занятие № 1.4-2</b> Изучение устройства смесителей.	4	
<b>РАЗДЕЛ 2. МЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ</b>			<i>OK 02</i>
<b>Тема 2.1.</b> Основные механические процессы	<b>Содержание учебного материала</b>	<b>6</b>	<i>ПК 1.2.</i>
	<b>1.</b> Классификация и характеристика способов измельчения. Измельчающие машины.	2	
	<b>Практическое занятие № 2.1.</b> Изучение устройства машин для измельчения, сортирования, прессования.	4	
<b>РАЗДЕЛ 3. МАССООБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ</b>			<i>OK 01</i>
<b>Тема 3.1.</b> Теоретические основы процесса массопередачи	<b>Содержание учебного материала</b>	<b>8</b>	<i>OK 02</i>
	Виды массообменных процессов. Материальный баланс. Движущая сила массообмена. Адсорбция, абсорбция, перегонка, ректификация, экстракция.	2	
	<b>Практическое занятие № 3.1.</b> Изучение работы ректификационной установки.	4	
<b>Тема 3.2.</b> Кристаллизация	<b>Содержание учебного материала</b>	<b>6</b>	<i>OK 02</i> <i>ПК 1.2.</i>
	<b>1.</b> Кристаллизация. Стадии кристаллизации. Классификация массообменных процессов. Диффузия. Конвективный перенос вещества. Кристаллизаторы.	2	

	<b>Практическое занятие № 3.2.</b> Изучение процесса кристаллизации и работы кристаллизаторов.	4	
<b>Тема 3.3.</b> Сушка	<b>Содержание учебного материала</b>	<b>6</b>	<i>OK 01</i> <i>OK 02</i> <i>ПК 1.2.</i>
	1. Классификация видов сушки. Сушилки. Конвективная сушка. Контактная сушка. Материальный и тепловой баланс сушильной установки. Классификация сушилок. Схемы сушильных установок.	2	
	<b>Практическое занятие № 3.3.</b> Определение количества сухого воздуха необходимого для процесса сушки.	4	
<b>РАЗДЕЛ 4. ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ</b>			<i>OK 02</i>
<b>Тема 4.1.</b> Основы теплопередачи	<b>Содержание учебного материала</b>	<b>6</b>	<i>OK 02</i> <i>ПК 1.2.</i>
	1. Способы переноса теплоты. Движущая сила тепловых процессов. Тепловое излучение. Основное уравнение теплопередачи. Конвекция. Закон теплоотдачи Ньютона. Процесс передачи тепла через плоскую стенку. Основное уравнение теплопроводности.	2	
	<b>Практическое занятие № 4.1.</b> Расчет тепловых сопротивлений.	4	
<b>Тема 4.2.</b> Тепловой баланс	<b>Содержание учебного материала</b>	<b>6</b>	<i>OK 02</i> <i>ПК 1.2.</i>
	1. Закон сохранения массы и энергии. Уравнения материального и теплового балансов. Схемы массовых и энергетических потоков в аппарате. Средняя разность температур.	2	
	<b>Практическое занятие № 4.2.</b> Определение средней разности температур при различных направлениях движения теплоносителя.	4	
<b>Тема 4.3.</b> Тепловые аппараты, основные виды	<b>Содержание</b>	<b>8</b>	<i>OK 02</i> <i>ПК 1.2.</i>
	1. Теплообменные аппараты. Классификация теплообменных аппаратов. Кожухотрубные теплообменные аппараты.	2	
	2. Теплообменник «труба в трубе». Змеевиковый теплообменный аппарат. Спиральный теплообменник. Пластинчатый теплообменник.	2	
	<b>Практическое занятие № 4.3.</b> Изучение устройства и работы теплообменников. Расчет теплообменного аппарата	4	
<b>Тема 4.4.</b>	<b>Содержание учебного материала</b>	<b>6</b>	<i>OK 02</i>

Выпаривание	1. Основные типы выпарных аппаратов. Конструкции выпарных аппаратов. Простая выпарка, однократное и многократное выпаривание. Вторичный пар. Материальный и тепловой баланс выпарных установок.	1	<i>ПК 1.2.</i>
	<b>Практическое занятие № 4.4.</b> Изучение схем выпарных аппаратов, установок. Определение удельного расхода греющего пара.	4	
<b>Промежуточная аттестация – контрольная работа 4 семестр</b>			
<b>Всего</b>		<b>90</b>	

### **3. УСЛОВИЯ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ**

#### **3.1. Требования к минимальному материально-техническому обеспечению**

Реализация программы дисциплины требует наличия кабинета «Процессы и аппараты».

Для реализации программы учебной дисциплины предусмотрены следующие специальные помещения:

Кабинет общепрофессиональных дисциплин и профессиональных модулей:

- посадочные места по количеству обучающихся (столы, стулья);
- рабочее место преподавателя;
- шкаф для хранения учебных пособий, оборудования;
- компьютер с программным обеспечением для преподавателя (системный блок, монитор, клавиатура, мышь);
- экран (доска);
- мультимедиа проектор;
- комплект учебно-наглядных пособий;
- комплект видеоматериалов по темам дисциплины;
- общелабораторное оборудование: химическая посуда, специальная мебель, лупы, штативы.

Оборудование и приборы для подготовки проб: фильтры, мешалки и встряхиватели. Оборудование для санитарной обработки – мытья, дезинфекции, сушки; испытательное оборудование и нагревательные приборы: термостаты, дистиллятор, сушильные шкафы, водяные бани, ультразвуковое оборудование. Общелабораторное <sup>10</sup> оборудование: химическая посуда, специальная мебель, штативы. Оборудование и приборы для подготовки проб: фильтры, гомогенизаторы, мешалки и встряхиватели. Оборудование для санитарной обработки – мытья, дезинфекции, сушки, стерильные бокс.

#### **3.2 Учебно-методическое и информационное обеспечение учебной дисциплины**

##### **Основная литература:**

1. Гнездилова, А. И. Процессы и аппараты пищевых производств : учебник и практикум для среднего профессионального образования / А. И. Гнездилова. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва :

Издательство Юрайт, 2024. — 270 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-07351-5. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/540554>.

2. Бородулин Д. М. Процессы и аппараты пищевых производств и биотехнологии / Д. М. Бородулин, М. Т. Шульбаева, Е. А. Сафонова, Е. А. Вагайцева. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2023. — 292 с. — ISBN 978-5-507-46311-4. — Текст : электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/305954>.

3. Бредихин С. А. Процессы и аппараты пищевой технологии / С. А. Бредихин, А. С. Бредихин, В. Г. Жуков [и др.] ; Под ред.: Бредихин С. А.. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2023. — 544 с. — ISBN 978-5-507-45561-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/276377>.

4. Вобликова, Т. В. Процессы и аппараты пищевых производств : учебное пособие для СПО / Т. В. Вобликова, С. Н. Шлыков, А. В. Пермьяков. — Санкт-Петербург : Лань, 2020. — 204 с. — ISBN 978-5-8114-6442-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/147345>.

5. Пелевина, Л. Ф. Процессы и аппараты / Л. Ф. Пелевина, Н. И. Пилипенко. — 2-е изд., испр. — Санкт-Петербург : Лань, 2020. — 332 с. — ISBN 978-5-8114-4617-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/148214>.

11

#### **Дополнительная литература:**

6. Брюханов, О.Н. Основы гидравлики и теплотехники [Текст] / О.Н. Брюханов, В.И. Коробко, А.Т. Мелик-Аракелян Учебник для студ. сред. проф. образования - М.: Издательский центр «Академия», 2014. -240с.

7. Ерофеев, В. Л. Теплотехника в 2 т. Том 1. Термодинамика и теория теплообмена : учебник для среднего профессионального образования / В. Л. Ерофеев, А. С. Пряхин, П. Д. Семенов ; под редакцией В. Л. Ерофеева, А. С. Пряхина. — Москва : Издательство Юрайт, 2021. — 308 с.

8. Ерофеев, В. Л. Теплотехника в 2 т. Том 2. Энергетическое использование теплоты : учебник для среднего профессионального образования / В. Л. Ерофеев, А. С. Пряхин, П.

Д. Семенов ; под редакцией В. Л. Ерофеева, А. С. Пряхина. – Москва : Издательство Юрайт, 2021. – 308 с.

**Электронные источники:**

9. Удовин, В. Г. Гидравлика : учебное пособие для СПО / В. Г. Удовин, И. А. Оденбах. – Саратов : Профобразование, 2020. – 132 с. – ISBN 978-5-4488- 0649-0. – Текст : электронный // Электронный ресурс цифровой образовательной среды СПО PROФобразование : [сайт]. – URL: <https://profspo.ru/books/91861> (дата обращения 12.05.2021)

10. Дерюгин, В. В. Тепломассообмен : учебное пособие для СПО / В. В. Дерюгин, В. Ф. Васильев, У. В. М.. — Санкт-Петербург : Лань, 2020. — 240 с.— ISBN 978-5-8114-6648-1. — Текст : электронный // Лань : электронно- библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/151202> (дата обращения: 12.01.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

11. Шкаровский, А. Л. Теплоснабжение : учебник для СПО / А. Л. Шкаровский. — Санкт-Петербург : Лань, 2020. — 392 с. — ISBN 978-5-8114- 5792-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/146682> (дата обращения: 12.01.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

12. Орлов, В. А. Трубопроводные сети : учебное пособие для СПО / В. А. Орлов. — Санкт-Петербург : Лань, 2020. — 160 с. — ISBN 978-5-8114-6561-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/148968> (дата обращения: 12.01.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

#### 4. КОНТРОЛЬ И ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Результаты обучения	Показатели освоённости компетенций	Методы оценки
<p><b>Знает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основные законы процессов пищевой технологии</li> <li>- физические свойства сырья и полуфабрикатов пищевых производств</li> <li>- механические и гидравлические процессы тепловые и массообменные процессы</li> </ul> <p><b>Умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- проводить расчеты процессов и аппаратов</li> <li>- выбирать оптимальные условия проведения технологических процессов</li> <li>- выбирать рациональную конструкцию аппарата</li> <li>- анализировать условия и режимы работы оборудования</li> </ul>	<p>Уровень правильных ответов при тестовом письменном и устном контроле.</p> <p>Быстрота ориентации в материале, быстрота реакции на вопросы.</p> <p>Правильность, полнота выполнения заданий, точность расчетов.</p> <p>Рациональность действий.</p>	<p>Устный опрос.</p> <p>Экспертная оценка выполнения практических заданий.</p> <p>Тестирование.</p> <p>Экспертная оценка выполнения лабораторных заданий .</p> <p>Презентация.</p>

При необходимости рабочая программа учебной дисциплины может быть адаптирована для обеспечения образовательного процесса инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья, в том числе для дистанционного обучения. Для этого требуется заявление студента (его законного представителя) и заключение психолого-медико-педагогической комиссии (ПМПК).

## ЛИСТ ИЗМЕНЕНИЙ

в рабочей программе учебной дисциплины *Процессы и аппараты*

по направлению подготовки 19.02.12 Технология продуктов  
животного происхождения

на 2027 /2028 учебный год

1.  
1.1..... ;  
1.2..... ;  
...  
1.9. .... .

2. :  
;  
;  
...  
2.9. .... .

3. В \_\_\_\_\_ вносятся следующие изменения:  
(элемент рабочей программы)  
;  
;  
...  
3.9. .... .

Составитель \_\_\_\_\_ /Курмаева И.И., преподаватель/

## Исследование истечения жидкости через отверстия и

### Насадки.

#### Цель работы:

Исследование истечения жидкости через отверстие и насадки при постоянном напоре. Определение коэффициентов истечения, анализ их физического смысла.

### 1. Основные понятия.

Отверстие называется малым, если напор во всех его точках можно считать постоянным. Это условие с достаточной точностью выполняется, если диаметр  $d$  отверстия значительно меньше высоты столба жидкости от оси отверстия до свободной поверхности  $H$ .

Истечение называется с совершенным сжатием, если на процесс истечения не оказывают влияние боковые стенки сосуда. Это условие выполняется при их удалении от отверстия на расстояние более трех диаметров.

Если с одной или нескольких сторон это расстояние, меньшее трех диаметров отверстия, то имеет место неполное сжатие поперечного сечения струи.

Если стенки удалены по периметру на расстояние меньше трех диаметров, то истечение называется с несовершенным сжатием.

Степень сжатия оценивается коэффициентом сжатия

$$\varepsilon = \frac{\omega_c}{\omega_0} = \frac{d_c^2}{d_0^2}, \quad (1)$$

где  $\omega_0, \omega_c$  - площади отверстия и живого сечения струи в её сжатом сечении.

Таким образом, коэффициент сжатия - это отношение площади живого сечения струи в сжатом сечении к площади отверстия.

Применение уравнения Бернулли даёт

$$U = \frac{1}{\sqrt{1+\zeta}} \sqrt{2gH} = \phi \sqrt{2gH}; \quad (2)$$

$$\phi = \frac{1}{\sqrt{1+\zeta}}, \quad (3)$$

где  $U$  - средняя скорость движения жидкости после отверстия;

$\phi$  - коэффициент скорости;

$\xi$  - коэффициент местного сопротивления отверстия, представляет собой отношение  $\frac{H}{U^2 / 2g}$ ;

$\frac{U^2}{2g}$  -скоростной напор.

В случаях идеальной жидкости ( $\xi = 0, \phi = 1$ ) скорость струи равна теоретической:

$$U_T = \sqrt{2gH} \quad (4)$$

Следовательно из соотношения (2) видно, что коэффициент скорости представляет собой отношение действительной скорости жидкости в струе к теоретической.

Расход жидкости определяется, как произведение скорости истечения на фактическую площадь сечения струи, а с использованием соотношений (1) и (2), получается расход через отверстие

$$Q = U\omega_0 = \phi\omega_0 \cdot \varepsilon\sqrt{2gH} \quad (5)$$

Произведение коэффициентов скорости и сжатия принято называть коэффициентом расхода

$$\mu = \phi\varepsilon \quad (6)$$

Тогда формулу (5) можно записать в виде

$$Q = \mu\omega_0\sqrt{2gH}, \quad (7)$$

теоретический расход:  $Q = \omega_0\sqrt{2gH}$ , из уравнения (7) следует, что коэффициент расхода есть отношение действительного расхода к теоретическому:

$$\mu = \frac{Q}{\omega_0\sqrt{2gH}} = \frac{Q}{Q_T}, \quad (8)$$

Коэффициент сжатия, скорости, расхода и сопротивления зависят от типа отверстия или насадка и от критерия Рейнольдса,

$$R_e = \frac{d_0\sqrt{2gH}}{\nu}, \quad (9)$$

где  $d_0$  - диаметр отверстия;

H- располагаемый напор;

$\nu$  - кинематический коэффициент вязкости жидкости.

Насадком называется патрубок (короткая трубка), длина которого равна нескольким диаметрам  $d_0$ .

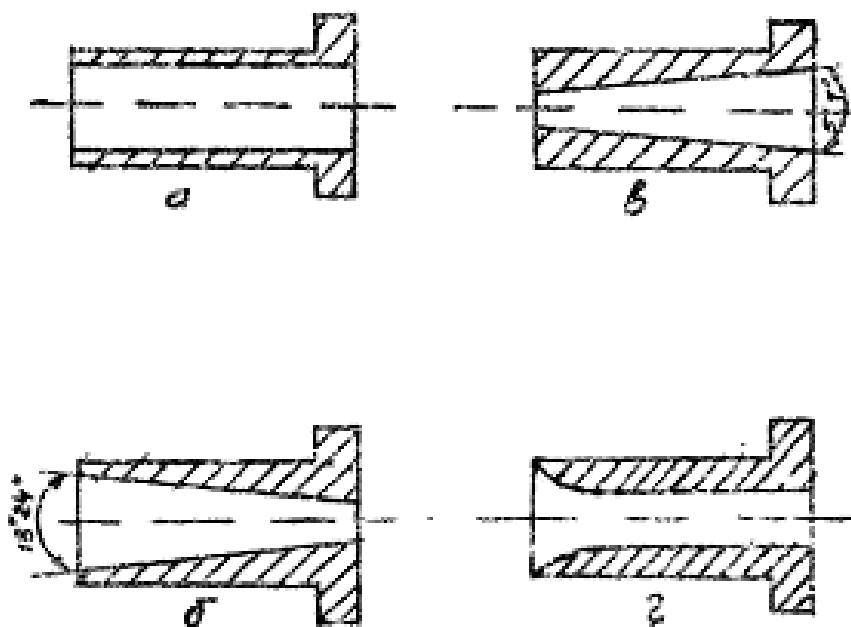


Рис. 1. Основные виды насадков.

Насадки делятся на три основные группы: цилиндрические, конические и коноидальные. Цилиндрические насадки (рис. 1, а) разделяют на внешние и внутренние. Конические насадки разделяют на сходящиеся (рис.1, б) и расходящиеся (рис. 1, в), их осевые сечения представляют собой усеченные конусы. Коноидальные (рис.1, г) насадки имеют воронкообразную входную часть, выполненную по форме вытекающей струи, а выходной участок – цилиндрический.

Явление инверсии заключается в том, что струя во время полета не сохраняет форму живого сечения отверстия. Это изменение формы живого сечения вызывается действием сил поверхностного натяжения и сопротивления внешней среды, а также спецификой распределения скоростей жидких частиц перед отверстием (рис. 2).

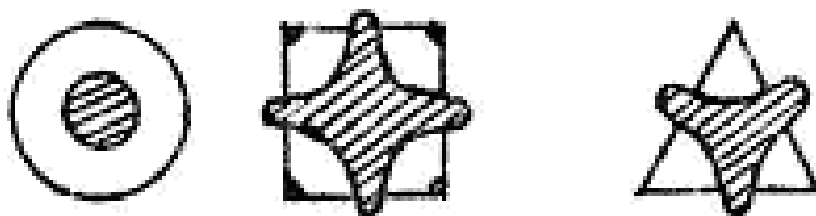


Рис. 2. Инверсия струи.

## ЛЕКЦИЯ 5

ИСТЕЧЕНИЕ ЖИДКОСТИ ИЗ ОТВЕРСТИЙ,  
НАСАДКОВ И ИЗ-ПОД ЗАТВОРОВ

Рассмотрим различные случаи истечения жидкости из резервуаров, баков, котлов через отверстия и насадки (коротки трубки различной формы) в атмосферу или пространство, заполненное газом или той же жидкостью. В процессе такого истечения запас потенциальной энергии, которым обладает жидкость, находящаяся в резервуаре, превращается в кинетическую энергию свободной струи.

Основным вопросом, который интересует в данном случае, является определение скорости истечения и расхода жидкости для различных форм отверстий и насадков.

### 5.1. Истечение через малые отверстия в тонкой стенке при постоянном напоре

Рассмотрим большой резервуар с жидкостью под давлением  $P_0$ , имеющий малое круглое отверстие в стенке на достаточно большой глубине  $H_0$  от свободной поверхности (рис.5.1). Жидкость вытекает в воздушное пространство с давлением  $P_1$ . Пусть отверстие имеет форму,

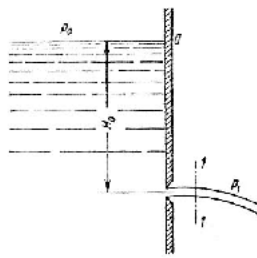


Рис. 5.1. Истечение из резервуара через малое отверстие

показанную на рис.5.2, а, т.е. выполнено в виде сверления в тонкой стенке без обработки входной кромки или имеет форму, показанную на рис.5.2, б, т.е. выполнено в толстой стенке, но с заострением входной кромки с внешней стороны. Струя, отрываясь от кромки отверстия, несколько сжимается (рис.5.2, а). Такое сжатие обусловлено движением жидкости от различных направлений, в том числе и от радиального движения по стенке, к осевому движению в струе.

В данном случае, когда боковые стенки и свободная поверхность не влияют на приток жидкости к отверстию, наблюдается *совершенное сжатие* струи, т.е. наибольшее сжатие в отличие от несовершенного.