



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «КГЭУ»)

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по НР

  
Ахметова И.Г.  
«28» октября 2020 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Б1.В.ДВ.01.02 Гидромеханика и теплообмен в многофазных средах**

Направление  
подготовки

03.06.01 ФИЗИКА И АСТРОНОМИЯ

Направленность  
подготовки

01.04.14 Теплофизика и теоретическая теплотехника

Квалификация (степень)  
выпускника

Исследователь. Преподаватель-  
исследователь

Форма обучения

Очная, заочная  
(очная, очно-заочная, заочная)

г. Казань  
2020

## **1. Цели и задачи изучения дисциплины**

*Целью* изучения дисциплины Б1.В.ДВ.01.02 «Гидромеханика и тепломассообмен в многофазных средах» является получение знаний по основам механики многофазных сред, закономерностям взаимодействия фаз, в том числе тепломассообмена, методам расчёта соответствующих практических задач.

*Основными задачами* изучения дисциплины являются изучение основ механики и теплофизики многофазных сред различной структуры, рассмотрение уравнений сохранения, внутренних и внешних граничных условий, ознакомление с процедурой пространственного усреднения уравнений микродвижений, рассмотрение основных физических явлений, к которым приводят эффекты неравновесности, получение навыков в решении конкретных задач механики и теплофизики многофазных сред.

## **2. Место дисциплины в структуре образовательной программы послевузовского профессионального образования (ОП ППО)**

Дисциплина Б1.В.ДВ.01.02 «Гидромеханика и тепломассообмен в многофазных средах» относится к дисциплинам по выбору и преподается во 2-й год, 3-й семестр обучения аспиранта. В основу настоящей программы положены основные разделы термодинамики, механики жидкости и газа, тепломассообмена и физики, касающиеся основных проблем данной области.

Дисциплины ООП подготовки бакалавров и магистров, необходимые для изучения данной дисциплины: «Физика», «Математика», «Гидрогазодинамика», «Термодинамика», «Тепломассообмен».

Знания, полученные при изучении данной дисциплины, используются при изучении дисциплины «Теплофизика и теоретическая теплотехника» и других, выполнении научно-исследовательской работы аспиранта и диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук.

## **3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины «Теплообмен при фазовых переходах»**

В результате освоения учебной дисциплины обучающиеся должны обладать следующими компетенциями:

- способностью самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1);

- способность критически анализировать современные проблемы теплофизики, ставить задачи и разрабатывать программу исследования, выбирать адекватные способы и методы решения экспериментальных и теоретических задач, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты (ПК-1);

- способность самостоятельно выполнять физико-технические научные исследования для оптимизации параметров объектов и процессов (ПК-2);

- готовность осваивать и применять современные физико-математические методы и методы искусственного интеллекта, составлять практические рекомендации по использованию полученных результатов (ПК-3).

Данные компетенции формируются на основе знаний и умений, полученных в результате изучения дисциплины Б1.В.ДВ.01.02 «Гидромеханика и теплообмен в многофазных средах», а именно, аспирант должен:

**знать**

- понятия, определения и обозначения характеристик, параметров, величин, встречающихся в данной области науки;
- основные принципы и методы описания, исследования и расчёта процессов теплопереноса в многофазных средах;
- математический аппарат, численные методы, ориентированные на решение научных и технологических задач при наличии многофазных сред;

**уметь**

- осуществлять поиск, находить нужную научно-техническую информацию и проводить её анализ;
- проводить оценку технико-экономической эффективности теплообменных процессов в многофазных средах;
- уметь формулировать гипотезу и задачи исследования; формировать план исследования; выбирать необходимые методы исследования, модифицировать существующие и разрабатывать новые методы, исходя из задач конкретного исследования;

**владеть**

- терминологией, используемой в описании многофазных сред;
- навыками обсуждения и дискуссии по изучаемой тематике.

**4. Структура и содержание дисциплины «Гидромеханика и теплообмен в многофазных средах»**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы, 144 часа.

**4.1. Структура дисциплины**

для аспирантов очной формы обучения

Виды занятий и формы контроля	Всего часов	семестр обучения		
		1	2	3
<b>ОБЩАЯ ТРУДОЕМКОСТЬ ДИСЦИПЛИНЫ</b>	144			144
<b>АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ:</b>	36			36
Лекции (Лк)	18			18
Практические (семинарские) занятия (ПЗ)	18			18
Лабораторные работы (ЛР)	-			-
и (или) другие виды аудиторных занятий	-			-
<b>САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА:</b>	108			108
<b>ВИД ИТОГОВОГО КОНТРОЛЯ</b> (ЗО – зачет с оценкой, Э – экзамен)	30			30

для аспирантов заочной формы обучения

Виды занятий и формы контроля	Всего часов	курс		
		1	2	3
<b>ОБЩАЯ ТРУДОЕМКОСТЬ ДИСЦИПЛИНЫ</b>	144		144	
<b>АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ:</b>	12		12	
Лекции (Лк)	6		6	
Практические (семинарские) занятия (ПЗ)	6		6	
Лабораторные работы (ЛР)	-		-	
и (или) другие виды аудиторных занятий	-		-	
<b>САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА:</b>	120		120	
Контроль	4		4	
<b>ВИД ИТОГОВОГО КОНТРОЛЯ</b> (ЗО – зачет с оценкой, Э – экзамен)	30		30	

#### 4.2. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Раздел дисциплины	Всего часов на раздел	Виды занятий, включая самостоятельную работу аспирантов и трудоемкость (в часах)			
			Лк	ПЗ	ЛР	СР
1	Основные понятия и определения.	35	4	6	–	25
2	Построение основных уравнений.	38	4	6	–	28
3	Процессы в газовзвесьях и паро-капельных средах.	25	4	2	–	19
4	Процессы в пузырьковых газо- и парожидкостных средах.	25	4	2	–	19
5	Перенос твердой фазы.	21	2	2	–	17
	Итого:	144	18	18	–	108

#### 4.3. Содержание разделов дисциплины, тематика лекций

**Раздел 1.** Основные определения и обозначения в области многофазных сред. Феноменологические уравнения движения и энергии многофазной среды, внутренние и внешние граничные условия. Примеры.

**Раздел 2.** Методы осреднения уравнений микродвижений фаз, осреднённые уравнения, методы описания межфазного взаимодействия.

**Раздел 3.** Неравновесные процессы при распространении волн в монодисперсных газовзвесьях и паро-капельных средах.

**Раздел 4.** Неравновесные процессы при распространении волн в монодисперсных пузырьковых газо- и парожидкостных средах.

**Раздел 5.** Процессы переноса твердой фазы в потоках жидкости. Движение донных наносов и взвесенесущих потоков.

#### 4.4. Семинарские (практические) занятия

Семинарские занятия предполагают заслушивание и обсуждение докладов, самостоятельно подготавливаемых обучающимися по заданным темам, а также

решение и разбор конкретных вопросов и примеров по изучаемым разделам из базовых книг.

#### 4.5. Лабораторные занятия

Лабораторные занятия не предусмотрены.

#### 5. Образовательные технологии

Занятия проводятся в форме лекций и семинарских занятий с использованием визуальных компьютерных средств для иллюстрации изучаемого материала. Для повышения эффективности усвоения материала применяются анимационные схемы.

На семинарских занятиях доклады делают студентами, они готовятся самостоятельно. Также проводится обсуждение изучаемого материала, выясняются непонятные моменты, рассматриваются вопросы применения и развития результатов.

Самостоятельная работа включает подготовку докладов по темам семинарских занятий, подготовку к обсуждениям и разбору отдельных вопросов и примеров, подготовку к зачету.

№ п/п	Раздел дисциплины	Компетенции	Образовательные технологии	Оценочные средства
1	2	3	4	5
1	Основные понятия и определения.	ОПК-1, ПК-2, ПК-3	Занятия с использованием компьютерных визуальных средств	Обсуждение на семинаре
2	Построение основных уравнений.	ОПК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-3	Занятия с использованием компьютерных визуальных средств,	Обсуждение на семинаре
3	Процессы в газовзвесьях и паро-капельных средах.	ОПК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-3	Занятия с использованием компьютерных визуальных средств	Обсуждение на семинаре
4	Процессы в пузырьковых газо- и парожидкостных средах.	ОПК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-3	Занятия с использованием компьютерных визуальных средств,	Обсуждение на семинаре
5	Перенос твердой фазы.	ОПК-1, ПК-1	Занятия с использованием компьютерных визуальных средств	Обсуждение на семинаре

#### 5.1. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

##### 5.1. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости

Текущий контроль качества усвоения изучаемого материала и его овладением проводится в основном на семинарских занятиях оценкой уровня сделанных

обучающимися докладов, а также степени понимания и охвата материала во время обсуждения (по задаваемым обучающимися вопросам и предлагаемым ими ответам).

## 5.2. Оценочные средства для промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

Для промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины разработаны и используются следующие средства:

- вопросы для подготовки.

## 5.3. Организация самостоятельной работы аспирантов

№ п/п	Тема самостоятельной работы	Номер раздела лекционного курса	Продолжительность (часов)
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
1	Проблема моделирования многофазных сред.	1	25
2	Схематизация газожидкостных систем, структура и формы движения многофазных потоков.	2	28
3	Понятие о межфазном массообмене и фазовых переходах. Понятие о конденсации и испарении.	3	19
4	Модели материальных сред.	4	19
5	Специальные методы расчёта транспорта высоковязких и застывающих нефтей: изменения реологии, физические, физико-химические, химические.	5	17
	Итого:		108

## 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### 6.1. Основная литература

- 1 Р.И. Нигматулин «Динамика многофазных сред», 1987, т.1.
2. Д.А.Лабунцов, В.В.Ягов. Механика двухфазных сред. М..МЭИ. 2000
3. Д.А.Губайдуллин. Динамика двухфазных парогазокапельных сред. Казань: Изд-во Казан. математического общества, 1998. 154 с.

### 6.2. Дополнительная литература

1. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена. М.: Атомиздат, 1979.
2. Теплообмен в ядерных энергетических установках / Петухов Б.С., Генин Л.Г., Ковалев С.А. Соловьев С.Л. – 2-е изд., перер. и доп.М.: Изд-во МЭИ, 2003.

### 6.3. Электронно-библиотечные системы

1. [iprbookshop.ru](http://iprbookshop.ru).
2. [knigafund.ru](http://knigafund.ru).
3. [ibooks.ru](http://ibooks.ru).
4. [znanium.com](http://znanium.com).
5. [e.lanbook.com](http://e.lanbook.com).
6. [library.bsu.ru/menu-electronic](http://library.bsu.ru/menu-electronic).
7. <http://nlr.ru/>
8. <https://www.gumer.info/>
9. <http://window.edu.ru/>
10. <https://cyberleninka.ru/>
11. [diss.rsl.ru](http://diss.rsl.ru)

#### 6.4. Программное обеспечение дисциплины

№ п/п	Наименование программного обеспечения	Способ распространения (лицензионное/свободно)	Реквизиты подтверждающих документов
1	Windows 7 Профессиональная (Starter)	Пользовательская операционная система	№2011.25486 от 28.11.2011
2	OpenOffice	Пакет офисных приложений. Одним из первых стал поддерживать новый открытый формат OpenDocument. Официально поддерживается на платформах Linux	<a href="https://www.openoffice.org/ru/download/index.html">https://www.openoffice.org/ru/download/index.html</a>
3	Adobe Acrobat	Пакет программ	<a href="https://get.adobe.com/ru/reader/">https://get.adobe.com/ru/reader/</a>
4	LMS Moodle	Это современное программное обеспечение	<a href="https://download.moodle.org/releases/latest/">https://download.moodle.org/releases/latest/</a>
5	Adobe Flash Player	Это облегченный подключаемый модуль для браузера и среды выполнения расширенных веб-приложений (RIA)	<a href="https://get.adobe.com/ru/flashplayer/">https://get.adobe.com/ru/flashplayer/</a>

#### 6.5. Интернет-ресурсы

№ п/п	Наименование электронных и интернет-ресурсов	Ссылка
1	Портал "Открытое образование"	<a href="http://npoed.ru">http://npoed.ru</a>
2	Единое окно доступа к образовательным ресурсам	<a href="http://window.edu.ru">http://window.edu.ru</a>
3	Педагогика высшей школы. [Эл.ресурс] - Казань: КГЭУ. - режим доступа: <a href="https://lms.kgeu.ru/course/view.php?id=288">https://lms.kgeu.ru/course/view.php?id=288</a>	<a href="https://lms.kgeu.ru/course/view.php?id=288">https://lms.kgeu.ru/course/view.php?id=288</a>

#### 6.6. Профессиональные базы данных

№ п/п	Наименование профессиональных баз данных	Адрес	Режим доступа
1.	Российская национальная библиотека	<a href="http://nlr.ru/">http://nlr.ru/</a>	Свободный
2.	Единое окно доступа к образовательным ресурсам	<a href="http://window.edu.ru/">http://window.edu.ru/</a>	Свободный
3.	Президентская библиотека имени Бориса Николаевича Ельцина	В <a href="http://prlib.ru">http://prlib.ru</a>	Свободный
4.	Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU	<a href="http://elibrary.ru">http://elibrary.ru</a>	Свободный
5.	Высшая аттестационная комиссия при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации	<a href="https://scienceid.net/president/">https://scienceid.net/president/</a>	Свободный
6.	<a href="https://scienceid.net/president/">Президент России — молодым ученым - Science-ID</a>	<a href="https://scienceid.net/president/">https://scienceid.net/president/</a>	Свободный

7.	МБД Scopus	<a href="https://www.scopus.com/search/form.uri?display=basic#basic">https://www.scopus.com/search/form.uri?display=basic#basic</a>	Свободный с компьютеров университета
8.	МБД Web of Science	<a href="https://apps.webofknowledge.com/WOS_GeneralSearch_input.do?product=WOS&amp;search_mode=GeneralSearch&amp;SID=D6cTknVCLV7j48sfzSo&amp;preferencesSaved=">https://apps.webofknowledge.com/WOS_GeneralSearch_input.do?product=WOS&amp;search_mode=GeneralSearch&amp;SID=D6cTknVCLV7j48sfzSo&amp;preferencesSaved=</a>	Свободный с компьютеров университета
9.	Портал РФФИ	<a href="https://www.rfbr.ru/rffi/ru/">https://www.rfbr.ru/rffi/ru/</a>	Свободный

## 7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

№ п./п.	Вид учебной работы	Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы
1	Лекции	Специальные помещения для проведения занятий лекционного типа	Специализированная учебная мебель, технические средства обучения: мультимедийный проектор, мобильный ПК (ноутбук), экран
2	Практические занятия	Специальные помещения для проведения занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации	Специализированная учебная мебель, технические средства обучения: мультимедийный проектор, мобильный ПК (ноутбук)
		Компьютерный класс с выходом в Интернет	Специализированная учебная мебель, технические средства обучения: ПК, лицензионное программное обеспечение
4	Самостоятельная работа обучающихся	Компьютерный класс с выходом в Интернет В-600а	Специализированная учебная мебель на 30 посадочных мест, 30 компьютеров, технические средства обучения (мультимедийный проектор, компьютер (ноутбук), экран), видеокамеры, программное обеспечение
		Читальный зал библиотеки	Специализированная мебель, компьютерная техника с возможностью выхода в Интернет и обеспечением доступа в ЭИОС, мультимедийный проектор, экран, программное обеспечение

## 8. Особенности организации образовательной деятельности для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов



Лица с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) и инвалиды имеют возможность беспрепятственно перемещаться из одного учебно-лабораторного корпуса в другой, подняться на все этажи учебно-лабораторных корпусов, заниматься в учебных и иных помещениях с учетом особенностей психофизического развития и состояния здоровья.

Для обучения лиц с ОВЗ и инвалидов, имеющих нарушения опорно-двигательного аппарата, обеспечены условия беспрепятственного доступа во все учебные помещения. Информация о специальных условиях, созданных для обучающихся с ОВЗ и инвалидов, размещена на сайте университета [www/kgeu.ru](http://www/kgeu.ru). Имеется возможность оказания технической помощи ассистентом, а также услуг сурдопереводчиков и тифлосурдопереводчиков.

Для адаптации к восприятию лицами с ОВЗ и инвалидами с нарушенным слухом справочного, учебного материала по дисциплине обеспечиваются следующие условия:

- для лучшей ориентации в аудитории, применяются сигналы оповещения о начале и конце занятия (слово «звонок» пишется на доске);
- внимание слабослышащего обучающегося привлекается педагогом жестом (на плечо кладется рука, осуществляется нерезкое похлопывание);
- разговаривая с обучающимся, педагогический работник смотрит на него, говорит ясно, короткими предложениями, обеспечивая возможность чтения по губам.

Компенсация затруднений речевого и интеллектуального развития слабослышащих обучающихся проводится путем:

- использования схем, диаграмм, рисунков, компьютерных презентаций с гиперссылками, комментирующими отдельные компоненты изображения;
- регулярного применения упражнений на графическое выделение существенных признаков предметов и явлений;
- обеспечения возможности для обучающегося получить адресную консультацию по электронной почте по мере необходимости.

Для адаптации к восприятию лицами с ОВЗ и инвалидами с нарушениями зрения справочного, учебного, просветительского материала, предусмотренного образовательной программой по выбранному направлению подготовки, обеспечиваются следующие условия:

- ведется адаптация официального сайта в сети Интернет с учетом особых потребностей инвалидов по зрению, обеспечивается наличие крупношрифтовой справочной информации о расписании учебных занятий;
- педагогический работник, его собеседник (при необходимости), присутствующие на занятии, представляются обучающимся, при этом каждый раз называется тот, к кому педагогический работник обращается;
- действия, жесты, перемещения педагогического работника коротко и ясно комментируются;
- печатная информация предоставляется крупным шрифтом (от 18 пунктов), тотально озвучивается;
- обеспечивается необходимый уровень освещенности помещений;
- предоставляется возможность использовать компьютеры во время занятий и право записи объяснений на диктофон (по желанию обучающихся).

*Форма проведения текущей и промежуточной аттестации для обучающихся с ОВЗ и инвалидов определяется педагогическим работником в соответствии с учебным планом. При необходимости обучающемуся с ОВЗ, инвалиду с учетом их индивидуальных психофизических особенностей дается возможность пройти промежуточную аттестацию устно, письменно на бумаге, письменно на компьютере, в форме тестирования и т.п., либо предоставляется дополнительное время для подготовки ответа.*

\* \* \*

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки аспирантов «03.06.01 ФИЗИКА И АСТРОНОМИЯ» (уровень подготовки кадров высшей квалификации), утвержденным приказом Министерством образования и науки Российской Федерации от 30 июля 2014 г. № 867.

Автор

проф., д.ф.-м.н.



Н.Д. Якимов

Программа обсуждена и одобрена на заседании кафедры ТОТ протокол № 219 от 6 октября 2020.

Заведующий кафедрой Теоретических основ теплотехники



Дмитриев А.В.

Программа обсуждена и одобрена на заседании кафедры АТПП от № 24 от 26.10.2020.

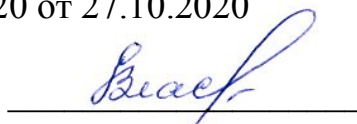
Заведующий кафедрой:



В.В. Плотников

Программа одобрена на заседании методического совета института Теплоэнергетики, протокол № 07/20 от 27.10.2020

Зам. директора института



С.М. Власов

Программа принята решением Ученого совета института Теплоэнергетики, протокол № 07/20 от 27.10.2020

