


МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФГБОУ ВО «БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
ФАКУЛЬТЕТ МАТЕМАТИКИ И ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Утверждено:  
на заседании кафедры  
математического моделирования  
протокол от « 20 » июня 2017 г. №19  
Зав. кафедрой  / С.И. Спивак

Согласовано:  
Председатель УМК факультета

 / А.М. Ефимов

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

*Математическое моделирование процессов в многофазных системах*

*Вариативная часть*

**программа магистратуры**

Направление подготовки (специальность)  
01.04.02 «Прикладная математика и информатика»

Направленность (профиль) подготовки  
«Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

Квалификация  
Магистр

Разработчик (составитель) доцент, к.ф.-м.н., доцент	 / Вахитова Н.К.
--	--

Для приема 2017 г.

Уфа 2017 г.

Составитель / составители: доцент, к.ф.-м.н., доцент Вахитова Н.К.

Рабочая программа утверждена на заседании кафедры математического моделирования, протокол от «20» июня 2017 г. № 19

Дополнения и изменения, внесенные в рабочую программу дисциплины, утверждены на заседании кафедры математического моделирования:

- обновлен список литературы,
  - обновлен фонд оценочных средств,
  - обновлен необходимый комплект лицензионного программного обеспечения,
  - обновлен перечень современных профессиональных баз данных (в том числе международных реферативных баз данных научных изданий) и информационных справочных систем,
- протокол № 8 от «25» июня 2018 г.

Заведующий кафедрой

 / С.И. Спивак /

### Список документов и материалов

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы 4
2. Цель и место дисциплины в структуре образовательной программы 5
3. Содержание рабочей программы (объем дисциплины, типы и виды учебных занятий, учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся) 6
4. Фонд оценочных средств по дисциплине 6
  - 4.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания 6
  - 4.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций 8
5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины 13

5.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины	13
5.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и программного обеспечения, необходимых для освоения дисциплины	14
6. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине	14

**1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы**  
(с ориентацией на карты компетенций)

В результате освоения образовательной программы обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

Результаты обучения <sup>1</sup>		Формируемая компетенция (с указанием кода)	Примечание
Знания	Знать современное состояние исследуемой проблемы	ПК-1 - способностью проводить научные исследования и получать новые научные и прикладные результаты самостоятельно и в составе научного коллектива.	
	Знать основные принципы построения математических моделей	ПК-2 - способностью разрабатывать и анализировать концептуальные и теоретические модели решаемых научных проблем и задач	
Умения	Уметь видеть и понимать пути дальнейшего развития теории и методов ее решения	ПК-1 - способностью проводить научные исследования и получать новые научные и прикладные результаты самостоятельно и в составе научного коллектива.	
	Уметь формулировать и решать задачи, возникающие в ходе научно-исследовательской деятельности и требующие углубленных профес-	ПК-2 - способностью разрабатывать и анализировать концептуальные и	

<sup>1</sup> Должны соответствовать картам компетенций.

	сиональных знаний; выбирать необходимые методы исследования, модифицировать существующие и разрабатывать новые методы, исходя из задач конкретного исследования; обрабатывать и анализировать полученные результаты	теоретические модели решаемых научных проблем и задач	
Владения (навыки / опыт деятельности)	Владеть адекватным математическим аппаратом для ведения научно-исследовательской работы	ПК-1 - способностью проводить научные исследования и получать новые научные и прикладные результаты самостоятельно и в составе научного коллектива.	
	Владеть фундаментальными знаниями в области математического моделирования, навыками самостоятельной научно-исследовательской деятельности, требующей широкого образования в соответствующем направлении, способностью использовать полученные знания в профессиональной деятельности	ПК-2 - способностью разрабатывать и анализировать концептуальные и теоретические модели решаемых научных проблем и задач	

## 2. Место дисциплины в структуре ООП ВО.

Дисциплина «Математическое моделирование процессов в многофазных системах» относится к вариативной части.

Дисциплина изучается на 1 курсе во 2 семестре.

Цель изучения дисциплины: формирование научного мышления посредством изучения основных законов и методов решения задач механики многофазных сред, формирование способности самостоятельно разрабатывать теоретические модели научных проблем, проводить научные исследования и анализировать полученные результаты.

Для освоения дисциплины необходимы компетенции, сформированные в рамках изучения следующих дисциплин: математический анализ, алгебра, векторный анализ, аналитическая геометрия, дифференциальные уравнения, тензорный анализ, теория поля, механика сплошных сред, молекулярная физика и термодинамика. Освоение дисциплины позволит в дальнейшем изучать вопросы механики сплошных и многофазных сред в рамках кандидатского минимума.

### 3. Содержание рабочей программы (объем дисциплины, типы и виды учебных занятий, учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся)

Содержание рабочей программы представлено в Приложении № 1.

Объем дисциплины «Математическое моделирование процессов в многофазных системах» составляет 5 ЗЕТ, или 180 академических часов, в том числе контактная работа с преподавателем 49,2 часов и самостоятельная работа студентов - 105 часов. Форма контроля - экзамен (2 семестр), часы на контроль -25,8.

### 4. Фонд оценочных средств по дисциплине

#### 4.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

Код и формулировка компетенции

**ПК-1** - способностью проводить научные исследования и получать новые научные и прикладные результаты самостоятельно и в составе научного коллектива.

Этап (уровень) освоения компетенции	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения			
		2 («Не удовлетворительно»)	3 («Удовлетворительно»)	4 («Хорошо»)	5 («Отлично»)
Первый этап (уровень)	<b>Знать:</b> Знать современное состояние исследуемой проблемы	Отсутствие знаний	Частичные знания современного состояния исследуемой проблемы	Полные и четкие, но содержащие отдельные пробелы знания современного состояния исследуемой проблемы	Полные и четкие знания современного состояния исследуемой проблемы
Второй этап (уровень)	<b>Уметь:</b> видеть и понимать пути дальнейшего развития теории и ее методов решения	Отсутствие умений	Фрагментарные умения видеть и понимать пути дальнейшего развития теории и ее методов	В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы умения видеть и понимать пути дальнейшего развития теории и ее методов	Сформированное умение видеть и понимать пути дальнейшего развития теории и ее методов

			решения	развития теории и методов ее решения	методов ее решения
Третий этап (уровень)	Владеть адекватным математическим аппаратом для ведения научно-исследовательской работы	Отсутствие владений	В целом успешные, но не систематические владения адекватным математическим аппаратом для ведения научно-исследовательской работы	В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы владения адекватным математическим аппаратом для ведения научно-исследовательской работы	Успешные владения адекватным математическим аппаратом для ведения научно-исследовательской работы

**ПК-2** - способностью разрабатывать и анализировать концептуальные и теоретические модели решаемых научных проблем и задач

Этап (уровень) освоения компетенции	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения			
		2 («Не удовлетворительно»)	3 («Удовлетворительно»)	4 («Хорошо»)	5 («Отлично»)
Первый этап (уровень)	<b>Знать:</b> Знать основные принципы построения математических моделей	Отсутствие знаний	Частичные знания основных принципов построения математических моделей	Полные и четкие, но отдельные пробелы знания основных принципов построения математических моделей	Полные и четкие знания основных принципов построения математических моделей
Второй этап (уровень)	<b>Уметь</b> формулировать и решать задачи, возникающие в ходе научно-исследовательской деятель-	Отсутствие умений	Фрагментарные умения в формулировке и решении задач, в выборе методов исследования,	В целом успешные умения в формулировке и решении задач, в выборе методов	Сформированное умение в формулировке и решении задач, в

	ности и требующие углубленных профессиональных знаний; выбирать необходимые методы исследования, модифицировать существующие и разрабатывать новые методы, исходя из задач конкретного исследования; обрабатывать и анализировать полученные результаты		в анализе результатов	исследования, в анализе результатов	выборе методов исследования, в анализе результатов
Третий этап (уровень)	<b>Владеть</b> фундаментальными знаниями в области математического моделирования, навыками самостоятельной научно-исследовательской деятельности, требующей широкого образования в соответствующем направлении, способностью использовать полученные знания в профессиональной деятельности	Отсутствие владений	В целом успешные, но не систематические фундаментальные знания в области математического моделирования, навыки самостоятельной научно-исследовательской деятельности	В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы владения фундаментальными знаниями в области математического моделирования, навыками самостоятельной научно-исследовательской деятельности	Успешные владения фундаментальными знаниями в области математического моделирования, навыками самостоятельной научно-исследовательской деятельности

**4.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций**



Этапы освоения	Результаты обучения	Компетенция	Оценочные средства
1-й этап Знания	Знать современное состояние исследуемой проблемы	<b>ПК-1</b> - способностью проводить научные исследования и получать новые научные и прикладные результаты самостоятельно и в составе научного коллектива.	Индивидуальный, групповой опрос, задача, реферативный доклад, экзамен
	Знать основные принципы построения математических моделей	<b>ПК-2</b> - способностью разрабатывать и анализировать концептуальные и теоретические модели решаемых научных проблем и задач	Индивидуальный, групповой опрос, задача, реферативный доклад, экзамен
2-й этап Умения	Уметь видеть и понимать пути дальнейшего развития теории и методов ее решения	<b>ПК-1</b> - способностью проводить научные исследования и получать новые научные и прикладные результаты самостоятельно и в составе научного коллектива.	Индивидуальный, групповой опрос, задача, реферативный доклад, экзамен
	Уметь формулировать и решать задачи, возникающие в ходе научно-исследовательской деятельности и требующие углубленных профессиональных знаний; выбирать необходимые методы исследования, модифицировать существующие и разрабатывать новые методы, исходя из задач конкретного иссле-	<b>ПК-2</b> - способностью разрабатывать и анализировать концептуальные и теоретические модели решаемых научных проблем и задач	Индивидуальный, групповой опрос, задача, реферативный доклад, экзамен

	дования; обрабатывать и анализировать полученные результаты		
3-й этап Владеть навыками	Владеть адекватным математическим аппаратом для ведения научно-исследовательской работы	<b>ПК-1</b> - способностью проводить научные исследования и получать новые научные и прикладные результаты самостоятельно и в составе научного коллектива.	Индивидуальный, групповой опрос, задача, реферативный доклад, экзамен
	Владеть фундаментальными знаниями в области математического моделирования, навыками самостоятельной научно-исследовательской деятельности, требующей широкого образования в соответствующем направлении, способностью использовать полученные знания в профессиональной деятельности	<b>ПК-2</b> - способностью разрабатывать и анализировать концептуальные и теоретические модели решаемых научных проблем и задач	Индивидуальный, групповой опрос, задача, реферативный доклад, экзамен

#### Типовые задачи

- Двухфазная среда состоит из газовой фазы и сферических капель радиуса 0,1 мм, причем объемное содержание жидкой фазы равно 0,04%. Оценить число капель в единице объема смеси.
- Как изменилась общая межфазная поверхность сферических пузырьков в жидкости при их дроблении на 6 одинаковых частей?
- Два газовых пузырька в жидкости радиусами  $a_1$  и  $a_2$  сливаются в один пузырь радиуса  $a_3$ . Найти коэффициент поверхностного натяжения, если давление в жидкости около пузырьков равно  $p$ , а процесс слияния можно считать изотермическим.
- Адиабатическая скорость звука в среде с водородными пузырьками равна 100 м/с. Чему равна скорость звука в среде с гелиевыми пузырьками при прочих равных условиях (размеры пузырьков, концентрация, давление).
- Получить дисперсионное соотношение для уравнения:  $u_t + 2u_x = u_{xt}$ .

**Примерные темы докладов:**

1. Линейное волновое уравнение. Вывод для сжимаемых сред. Решение волнового уравнения. Скорость звука в газах.
2. Уравнение Эйлера в форме Громеки-Ламба. Интеграл Коши-Лагранжа.
3. Гравитационные волны на мелкой воде. Солитоны.
4. Численное решение задачи о распространении стационарной волны в жидкости с пузырьками газа.
5. Аналитическое решение задачи о неустойчивости Рэлея-Тейлора
6. Анализ уравнения Бакли-Левретта в приближении квадратичной зависимости проницаемости от насыщенности.
7. Аналитическое решение задачи Плессета о неустойчивости сферической формы пузырька при колебаниях его в акустической поле.
8. Аналитическое решение задачи о неустойчивости Кельвина-Гельмгольца.
9. Формула Лапласа для разности давлений около искривленных поверхностей.

### **Экзаменационные билеты**

2 семестр

Структура экзаменационного билета:

Билет содержит два теоретических вопроса

#### **Примерные вопросы для экзамена:**

1. Многофазные системы. Основные положения.
2. Уравнение неразрывности в многофазных средах и для смеси.
3. Уравнение движения в многофазных системах и для смеси.
4. Градиент и дивергенция в сферических координатах.
5. Волновое уравнение, скорость звука, потенциал, давление для однофазной смеси.
6. Скорость звука в газовзвесьях.
7. Скорость звука в газожидкостной смеси (несжимаемая жидкость).
8. Скорость звука в газожидкостной смеси с учетом слабой сжимаемости жидкости.
9. Скорость звука в парожидкостных средах Формула Ландау.
10. Вывод уравнения Рэлея для колебаний пузырька в несжимаемой жидкости.
11. Уравнение Рэлея-Ламба с учетом "стесненности" пузырьков.
12. Линейное уравнение состояния пузырьков сред.
13. Метод дисперсионных соотношений. Применение к линейным уравнениям.
14. Нелинейное уравнение состояния пузырьков сред.
15. Распространение слабых нелинейных возмущений в диспергирующих средах (вывод уравнения БКдВ)
16. Нелинейное уравнение Бюргерса и его стационарное решение.
17. Нестационарное решение уравнения Бюргерса.

18. Уравнение КдВ и его решения: нестационарное, солитонное.
19. Метод малых возмущений.
20. Неустойчивость Рэлея-Тейлора. Постановка задачи, выводы.
21. Неустойчивость Кельвина-Гельмгольца. Постановка задачи, выводы.
22. Моделирование неустойчивости сферической формы газового пузырька в жидкости. Постановка задачи, выводы.
23. Фильтрация. Основные уравнения.
24. Уравнения двухфазной фильтрации.
25. Уравнение Бакли-Левретта.
26. Модель Рапопорта-Лиса.

### **Образец экзаменационного билета:**

Билет №

1. Волновое уравнение, скорость звука, потенциал, давление для однофазной смеси.
2. Нестационарное решение уравнения Бюргера.

### **5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

#### **5.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

##### **а) основная литература**

1. Лойцянский, Л.Г. Механика жидкости и газа / Л.Г.Лойцянский. - Москва ; Ленинград : Гос. изд-во техн.-теорет. лит., 1950. - 678 с. : ил. - ISBN 978-5-4475-1896-7 ; То же [Электронный ресурс]. - URL:<http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=256639> (14.11.2018)
2. Левич В. Г. Физико-химическая гидродинамика - Москва: Физматгиз, 1959  
Левич, В.Г. Физико-химическая гидродинамика / В.Г. Левич. - Изд. 2-е, доп. и перераб. - Москва : Физматгиз, 1959. - 700 с. : ил. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-1568-3 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=257423> (16.11.2018).
3. Ландау, Л.Д. Теоретическая физика. Т.6 Гидродинамика [Электронный ресурс] : учебное пособие / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. — Электрон. дан. — Москва :Физматлит, 2001. — 736 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/2232>. — Загл. с экрана.
4. Басниев К.С., Кочина И.Н., Максимов В.М. Подземная гидродинамика: Учебное пособие для вузов. – М.: Недра, 1993 – 416 с.

Библиотека БашГУ . BSU 21.08.2015

Местонахождение и доступность

Место хранения Всего экз. Свободных экз. Шифр

БашГУ

а62 7 7 532.5 Б27

м 5 5 532.5 Б27

чз2 2 2 532.5 Б27

**б) дополнительная:**

5. Нигматулин Р.И. Динамика многофазных сред. 1987, ч. 1. М., Наука, 1987.
6. Нигматулин Р.И. Динамика многофазных сред. 1987, ч. 2. М., Наука, 1987.

**5.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и программного обеспечения, необходимых для освоения дисциплины**

1. «Электронная библиотека БашГУ» <http://www.bashlib.ru/echitzal/>
2. ЭБС «Университетская библиотека онлайн» <http://www.bashlib.ru/echitzal/>
3. ЭБС «ЛАНЬ» <http://www.bashlib.ru/echitzal/>

**6. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

с	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
1	2	3
<b>1. Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа:</b> аудитория № 515 (физико-математический корпус - учебное). <b>2. Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа:</b> аудитория № 515 (физико-математический корпус - учебное). <b>3. Учебная аудитория для проведения групповых и индивидуальных консультаций:</b> аудитория № 515 (физико-математический корпус - учебное). <b>4. учебная аудитория для текущего</b>	<b>Аудитория № 515</b> Учебная мебель, доска <b>Аудитория № 426</b> Учебная мебель, доска, персональные компьютеры LenovoThinkCentreA70zIntelPentiumE5800, 320 Gb, 19" – 13 шт., шкаф TLKTWP-065442-G-GY	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Windows 8 Russian.Windows Professional 8 Russian Upgrade; лицензии бессрочные, договор №104 от 17.06.2013 г</li><li>2. Microsoft Office Standard 2013 Russian. Лицензии бессрочные, договор №114 от 12.11.2014 г.</li><li>3. Среда разработки Microsoft Visual Studio Community 2017</li></ol>

<p><b>контроля и промежуточной аттестации:</b> аудитория № 515 (физико-математический корпус - учебное).</p> <p><b>5. Помещения для самостоятельной работы:</b> читальный зал № 2 (физико-математический корпус), аудитория № 426 компьютерный класс (физико-математический корпус – учебное).</p>		<p>(Условия лицензии на программное обеспечение Microsoft Visual Studio Community 2017, свободное программное обеспечение).</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>4. AcademicEdition Networked Volume Licenses RAD Studio XE3 Professional Concurrent AppWaveEnglish; договор №263 от 07.12.2012 г.</li> <li>5. Python 3.7 (лицензия Python SoftwareFoundationLicense, свободное программное обеспечение)</li> <li>6. Язык программирования Go (лицензия BSD, свободное программное обеспечение).</li> <li>7. Язык программирования PHP (The PHP License, version 3.01, свободное программное обеспечение).</li> <li>8. СУБД MySQL (лицензия GNU GPL, свободное программное обеспечение).</li> <li>9. Web-сервер Apache (Apache License, свободное программное обеспечение).</li> <li>10. Lazarus (лицензия GNU GPL, свободное программное обеспечение).</li> <li>11. Браузер Google Chrome (лицензия BSD, свободное программное обеспечение).</li> <li>12. Архиватор 7-Zip. (лицензия GNU LGPL, свободное программное обеспечение).</li> <li>13. Текстовый редактор Notepad++. (лицензия GNU GPL, свободное программное обеспечение).</li> <li>14. Simply Linux x86_64 (лицензионный договор на программное обеспечение Simply Linux 8.2.0 и включенные для него про-</li> </ol>
--	--	--

		<p>граммы для ЭВМ, свободное программное обеспечение)</p> <p>15. Коллекция компиляторов GCC. (лицензия GNU GPL, свободное программное обеспечение).</p> <p>Файловый менеджер GNU Midnight Commander (MC). (лицензия GNU GPL, свободное программное обеспечение).</p>
--	--	--

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
 ФГБОУ ВО «БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
 ФАКУЛЬТЕТ МАТЕМАТИКИ И ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

**СОДЕРЖАНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ**

дисциплины

**Математическое моделирование процессов в многофазных системах**

(наименование дисциплины)

на 2 семестр

очная

форма обучения

<b>Вид работы</b>	<b>Объем дисциплины</b>
Общая трудоемкость дисциплины (ЗЕТ / часов)	5/180
Учебных часов на контактную работу с преподавателем:	49,2
лекций	16
практических/ семинарских	
лабораторных	32
других (групповая, индивидуальная консультация и иные виды учебной деятельности, предусматривающие работу обучающихся с преподавателем)	
ФКР	1,2
Контроль	25,8
Учебных часов на самостоятельную работу обучающихся (СРС) включая подготовку к экзамену/зачету	10,8

Формы контроля:

экзамен - 2 семестр



№	Тема и содержание	Форма изучения материалов: лекции, практические занятия, семинарские занятия, лабораторные работы, самостоятельная работа и трудоемкость (в часах)				Основная и дополнительная литература, рекомендуемая студентам (номера из списка)	Задания по самостоятельной работе студентов	Форма текущего контроля успеваемости (коллоквиумы, контрольные работы, компьютерные тесты и т.п.)
		ЛК	ПР/СЕМ	ЛР	СР			
2 семестр								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Дисперсные среды. Основные допущения механики гетерогенных сред. Феноменологическая теория многоскоростного континуума. Субстанциональные производные. Уравнения сохранения для составляющих: масс, импульсов	2		4	10	[1],[2],[5]	[1],[2],[5]	Индивидуальный, групповой опрос; доклады
2	Простейшие модели двухфазных систем: газозвеси и жидкости с пузырьками газа и пара. Задачи акустики. Скорость звука в таких системах. Учет	2		4	10	[1],[2],[5],[6]	[1],[2],[5],[6]	Индивидуальный, групповой опрос; реферативный доклады

	сжимаемости жидкости							
3	Модель двухфазной среды с двумя давлениями. Уравнение Рэлея для колебаний одиночного пузырька. Малые колебания пузырьков с жидкости. Частота Миннаерта. Задача Рэлея о схлопывании пустой полости. Уравнение Рэлея-Ламба с учетом «стесненности» пузырьков. Среднее давление в ячейке.	2		4	15	[1],[2],[5],[6]	[1],[2],[5],[6]	Доклады
4	Нелинейное уравнение состояния пузырьковой жидкости. Слабые нелинейные волны в пузырьковых средах. Уравнение Бюргерса-Кортевега-де-Вриза.	2		4	15	[1],[2],[5],[6]	[1],[2],[5],[6]	Индивидуальный, групповой опрос;
5	Некоторые решения уравнений Бюргерса и КдВ.	2		4	10	[1],[2],[5],[6]]	[1],[2],[5],[6]	Индивидуальный, групповой опрос; доклады
6	Метод дисперсионных соотношений.	2		4	15	[5],[6]	[5],[6]	Индивидуальный, групповой опрос; доклады

	Уравнение Буссинеска, Клейна-Гордона, двухволновое уравнение							
7	Неустойчивость Рэля-Тейлора. Неустойчивость Кельвина-Гельмгольца	2		4	10	[1],[2],[3]	[1],[2],[3]	Индивидуальный, групповой опрос; доклады
8	Двухфазная фильтрация. Насыщенность. Основные уравнения. Уравнение Бакли-Левретта и его анализ. Модель Рапопорта-Лиса	2		4	20	[4]	[4]	Индивидуальный, групповой опрос; доклады
	<b>Всего</b>	<b>16</b>		<b>32</b>	<b>105</b>			

**Примечание:** ЛК – лекция, ПЗ - практическое занятие, ЛР - лабораторная работа, СР- самостоятельная работа