

## Программа учебной дисциплины «Современные методы моделирования гидродинамических задач»

Утверждена  
Академическим советом ОП  
"Математические методы  
моделирования и компьютерные  
технологии"  
Протокол № от \_\_.\_\_.20\_\_

Разработчик	Гайдуков Роман Константинович, доцент, департамент прикладной математики
Число кредитов	4
Контактная работа (час.)	60
Самостоятельная работа (час.)	92
Курс, Образовательная программа	1, ОП "Математические методы моделирования и компьютерные технологии"
Формат изучения дисциплины	без использования онлайн курса

### 1. Цель, результаты освоения дисциплины и пререквизиты

Целью данного курса является знакомство студентов с основными методами построения и анализа моделей течения жидкостей и газов в различных задачах, современной теорией пограничного слоя и асимптотическими методами. В результате освоения курса студенты будут знать законы сохранения и основные уравнения в механике жидкости и газа, уравнения пограничного слоя, метод погранслоного разложения, метод осреднения, многопалубные структуры в задачах обтекания, владеть методами асимптотического анализа разномасштабных задач, а также методами численного моделирования течений в различных задачах гидродинамики.

Для освоения дисциплины студент должен обладать базовыми знаниями по математическому анализу, линейной алгебре, физике, дифференциальным уравнениям, уравнениям математической физики и знать простейшие численные методы решения дифференциальных уравнений.

### 2. Содержание учебной дисциплины

*Тема 1.* Введение. Законы сохранения. Уравнения движения жидкости. Идеальная жидкость. Обтекание тел несжимаемой идеальной жидкостью. (4 лк, 4 см, 12 ср).

*Тема 2.* Вязкая жидкость. Уравнения Навье-Стокса для сжимаемой и несжимаемой жидкости (газа). Запись уравнений Навье-Стокса в различных системах координат. Обезразмеривание. Число Рейнольдса. Закон подобия. Примеры точных решений. (4 лк, 6 см, 14 ср).

*Тема 3.* Пограничный слой. Задача обтекания несжимаемой жидкостью плоской полубесконечной пластины при больших числах Рейнольдса. Метод погранслойных разложений. Уравнения Прандтля. Функция тока. Уравнение Блазиуса. Устойчивость течения. Отрыв пограничного слоя. (4 лк, 6 см, 16 ср).

*Тема 4.* Задачи обтекания с пространственной многомасштабностью. Трех- и двухпалубная структуры пограничного слоя в задаче обтекания малой локализованной неровности на поверхности пластины. Уравнения пограничного слоя с индуцированным давлением. (4 лк, 6 см, 20 ср).

*Тема 5.* Метод осреднения в гидродинамике. Двух- и трехпалубные структуры пограничного слоя в задаче обтекания пластины с малыми периодическими неровностями. Нестационарные задачи обтекания и их особенности. Уравнение типа Рэлея. Численное моделирование. Задача о течении в канале (трубе) с волнистыми стенками. (6 лк, 8 см, 20 ср).

*Тема 6.* Модели конвекции. Уравнение энергии. Приближение Буссинеска. Естественная конвекция в ограниченной и неограниченной областях. Теплоперенос в пограничном слое Прандтля. (2 лк, 6 см, 10 ср).

### **3. Оценивание**

Оценивается работа студентов на семинарах (Оауд) и выполнение домашней контрольной работы (Окр).

Результирующая оценка рассчитывается по формуле

$$O = 0.25 O_{\text{ауд}} + 0.25 O_{\text{окр}} + 0.5 O_{\text{экз.}}$$

Экзаменационный билет состоит из теоретического вопроса и задачи.

Все оценки округляются по правилам арифметики.

Блокирующие элементы не предусмотрены.

### **4. Примеры оценочных средств**

Примерный вопросник к экзамену:

1. Законы сохранения. Уравнение непрерывности.
2. Уравнение Эйлера. Линии тока. Уравнение Бернулли.
3. Безвихревое движение идеальной несжимаемой жидкости. Обтекание шара/цилиндра идеальной несжимаемой жидкостью.
4. Уравнение Навье-Стокса. Запись в различных системах координат.

5. Обезразмеривание. Принцип подобия и его использование в гидродинамических задачах. Число Рейнольдса.
6. Аналитические решения уравнений движения вязкой жидкости для течений Куэтта и Пуазейля.
7. Обтекание шара вязкой жидкостью. Формула Стокса.
8. Пограничный слой. Обтекание полубесконечной пластины. Метод погранслоевых разложений.
9. Задача обтекания локализованной неровности. Трехпалубная структура пограничного слоя.
10. Метод осреднения в гидродинамике. Задача обтекания периодических неровностей на пластине и двухпалубная структура пограничного слоя.
11. Особенности нестационарных задач обтекания. Уравнение типа Рэлея.
12. Простейшие модели конвекции. Приближение Буссинеска. Примеры.

## 5. Ресурсы

### а. Рекомендуемая основная литература

п/п	Наименование
	Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика. Т.6: Гидродинамика (любое издание)
	<b>F. Durst, Fluid Mechanics An Introduction to the Theory of Fluid Flows// Springer, 2008. (доступ по подписке НИУ ВШЭ)</b>
	<b>J. Cousteix, J. Mauss, Asymptotic Analysis and Boundary Layers// Springer, 2007. (доступ по подписке НИУ ВШЭ)</b>
	<b>H. Schlichting, K. Gersten, Boundary-Layer Theory // Springer, 2017. (доступ по подписке НИУ ВШЭ)</b>

### б. Рекомендуемая дополнительная литература

п/п	Наименование
	Гайдуков Р. К., Данилов В. Г. Асимптотики решений задач обтекания несжимаемой жидкостью поверхностей с малыми неровностями при больших числах Рейнольдса // Наноструктуры. Математическая физика и моделирование. 2016. Т. 15. № 1. С. 5-102. (свободный доступ) <a href="https://nano-journal.ru/Vol_15_Iss_1">https://nano-journal.ru/Vol_15_Iss_1</a>
	Smith, F. (1973). Laminar flow over a small hump on a flat plate. <i>Journal of Fluid Mechanics</i> , 57(4), 803-824. (доступ по подписке НИУ ВШЭ)
	Gaydukov R., Danilov V. Equations for velocity oscillations in problems of a fluid flow along a plate with small periodic irregularities on the surface for large

	<b>Reynolds numbers, in: Proceedings of the International Conference DAYS on DIFFRACTION 2018. , 2018. P. 118-123. (доступ по подписке НИУ ВШЭ)</b>
	<b>Gaydukov R. K. Double-deck structure of the boundary layer in the problem of a compressible flow along a plate with small irregularities on the surface // European Journal of Mechanics - B/Fluids. 2017. Vol. 66. P. 102-108. (доступ по подписке НИУ ВШЭ)</b>
	<b>Gaydukov R. Double-deck structure in the problem of a compressible flow along a plate with small localized irregularities on the surface // European Journal of Mechanics - B/Fluids. 2018. Vol. 71. P. 59-65. (доступ по подписке НИУ ВШЭ)</b>

с. Программное обеспечение  
 Microsoft Visual C++ (или любой другой компилятор)  
 ParaView (<https://www.paraview.org/>)

d. Профессиональные базы данных, информационные справочные системы, интернет-ресурсы (электронные образовательные ресурсы)

<b>п/п</b>	<b>Наименование</b>	<b>Условия доступа/скачивания</b>
	EqWorld – Мир математических уравнений	<a href="http://eqworld.ipmnet.ru/indexr.htm">http://eqworld.ipmnet.ru/indexr.htm</a> , свободный доступ.

е. Материально-техническое обеспечение дисциплины  
 Аудитория с доской и проектором для всех видов занятий.

#### **6. Особенности организации обучения для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов**

В случае необходимости, обучающимся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья (по заявлению обучающегося) а для инвалидов также в соответствии с индивидуальной программой реабилитации инвалида, могут предлагаться следующие варианты восприятия учебной информации с учетом их индивидуальных психофизических особенностей, в том числе с применением электронного обучения и дистанционных технологий:

4.1.1. для лиц с нарушениями зрения: в печатной форме увеличенным шрифтом; в форме электронного документа; в форме аудиофайла (перевод учебных материалов в аудиоформат); в печатной форме на языке Брайля; индивидуальные консультации с привлечением тифлосурдопереводчика; индивидуальные задания и консультации.

4.1.2. для лиц с нарушениями слуха: в печатной форме; в форме электронного документа; видеоматериалы с субтитрами; индивидуальные консультации с привлечением сурдопереводчика; индивидуальные задания и консультации.

4.1.3. для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата: в печатной форме; в форме электронного документа; в форме аудиофайла; индивидуальные задания и консультации.

## **7. Дополнительные сведения**