

Д. В. АЛЕКСАНДРОВ
А. Ю. ЗУБАРЕВ
Л. Ю. ИСКАКОВА

ВВЕДЕНИЕ В ГИДРОДИНАМИКУ

Учебное пособие

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
УРАЛЬСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ ПЕРВОГО ПРЕЗИДЕНТА РОССИИ Б. Н. ЕЛЬЦИНА

Д. В. Александров
А. Ю. Зубарев
Л. Ю. Искакова

ВВЕДЕНИЕ В ГИДРОДИНАМИКУ

Рекомендовано методическим советом УрФУ
в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся
по программе бакалавриата по направлениям подготовки
010800 «Механика и математическое моделирование»,
010100 «Математика», 010200 «Математика и компьютерные науки»,
230700 «Прикладная информатика»

Екатеринбург
Издательство Уральского университета
2012

УДК 532(075.8)
А465

Рецензенты:

отдел механики машин и технологий Института машиноведения
УрО РАН (заведующий отделом доктор технических наук,
член-корреспондент РАН В. Л. Колмогоров);
О. Э. Соловьева, доктор физико-математических наук
(Институт иммунологии и физиологии УрО РАН)

Александров, Д. В.
А465 Введение в гидродинамику: [учеб. пособие] / Д. В. Александров,
А. Ю. Зубарев, Л. Ю. Исакова. — Екатеринбург : Изд-во Урал.
ун-та, 2012. — 112 с.

ISBN 978-5-7996-0785-2

Излагаются классические основы гидродинамики идеальной и вязкой жидкости, а также основы теории вязкоупругих жидкостей. Рассматриваются ламинарные и турбулентные течения несжимаемой жидкости, основы теории линейной акустики.

Для студентов и аспирантов, изучающих гидродинамику и основы механики сплошных сред.

УДК 532(075.8)

ISBN 978-5-7996-0785-2

© Уральский федеральный университет, 2012
© Александров Д. В., Зубарев А. Ю.,
Исакова Л. Ю., 2012

ОТ АВТОРОВ

Гидродинамика — наука о течении газов и низкомолекулярных жидкостей, механические свойства которых подобны свойствам воды. Огромное число природных явлений и процессов современных технологий подчиняются законам гидродинамики. Среди них — движения воздушных и океанических масс, определяющих климат на Земле; сложнейшие движения плазмы в недрах звезд, и, в частности, в Солнце (эти движения определяют светимость звезд, излучаемую ими энергию, а значит, в случае Солнца — жизнь и климат на Земле); циркуляция крови в кровеносных сосудах людей и животных; аэро- и гидродинамические течения вблизи летательных аппаратов и судов; течения расплавленных металлов, химических реагентов, грунтовых вод, жидкостей в недрах Земли и т. д. Список гидродинамических явлений, играющих важную, часто определяюще важную роль в нашей жизни, можно было бы продолжать очень долго.

В пособии излагаются основы гидродинамики идеальной, вязкой и вязкоупругой жидкостей. При отборе материала мы старались уделить основное внимание обсуждению физической основы гидродинамических явлений. Математический аппарат гидродинамики иллюстрируется на основе сравнительно простых задач и примеров, не требующих знаний, выходящих за пределы стандартных курсов математического анализа и уравнений математической физики. Однако рассмотренные примеры являются основой для исследования и описания более сложных проблем гидродинамики. По сравнению со стандартными курсами в предлагаемом пособии рассматриваются основы гидромеханики суспензий, а также реологии вязкоупругих сред. Эти разделы современной гидродинамики приобретают все большее значение в связи со все более активным развитием науки о течении коллоидов, суспензий, полимерных растворов и других вязкоупругих жидкостей.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОТ АВТОРОВ	3
Глава 1. ОСНОВНЫЕ ПРИБЛИЖЕНИЯ ГИДРОДИНАМИКИ	4
§ 1. Уравнение неразрывности в гидродинамике	4
Глава 2. ИДЕАЛЬНАЯ ЖИДКОСТЬ	8
§ 2. Уравнение Эйлера	8
§ 3. Гидростатика	12
§ 4. Теорема Бернулли	16
§ 5. Теорема Томсона (Кельвина)	19
§ 6. Применение теорем Бернулли и Томсона в гидродинамике идеальной жидкости	22
§ 7. Потенциальное течение идеальной жидкости. Парадокс Даламбера — Эйлера	24
§ 8. Нестационарное течение идеальной жидкости. Интеграл Коши — Лагранжа	30
§ 9. Ускоренное движение частицы в идеальной жидкости. Закон присоединенной массы	31
§ 10. Гравитационные волны в идеальной жидкости	34
Глава 3. ВЯЗКАЯ ЖИДКОСТЬ	38
§ 11. Тензор вязких напряжений	38
§ 12. Уравнение Навье — Стокса	41
§ 13. Граничные условия к уравнению Навье — Стокса	44
§ 14. Плоское течение Куэтта	47
§ 15. Плоское течение Пуазейля	49
§ 16. Течение жидкости по наклонной плоскости	50
§ 17. Течение Пуазейля в цилиндрической трубе	52
§ 18. Течение Куэтта между вращающимися цилиндрами	54
§ 19. Колебательные движения в вязкой жидкости	56
§ 20. Число Рейнольдса	58
§ 21. Приближение малых чисел Рейнольдса. Задача Стокса	61
§ 22. Эффективная вязкость суспензии	67
§ 23. Большие числа Рейнольдса. Пограничный слой	70

Глава 4. ТУРБУЛЕНТНОСТЬ	76
§ 24. Изотропная однородная турбулентность. Теория Колмогорова — Обухова	77
§ 25. Турбулентное течение вдоль твердой стенки. Логарифмический профиль скорости	81
§ 26. Турбулентный пограничный слой	84
§ 27. Турбулентное течение в трубах	86
Глава 5. ЗВУК	88
§ 28. Уравнения линейной акустики	88
§ 29. Плоские акустические волны	90
§ 30. Распространение звуковых волн через границу двух сред	91
§ 31. Формулы Доплера	95
Глава 6. ВЯЗКОУПРУГОСТЬ	98
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	104
ПРИЛОЖЕНИЕ	105

Учебное издание

Александров Дмитрий Валерьевич
Зубарев Андрей Юрьевич
Искакова Лариса Юрьевна

ВВЕДЕНИЕ В ГИДРОДИНАМИКУ

Учебное пособие

Зав. редакцией *М. А. Овечкина*
Редактор *С. Г. Галинова*
Корректор *С. Г. Галинова*
Компьютерная верстка *Н. Ю. Михайлов*

План выпуска 2012 г. Подписано в печать 20.12.2012.
Формат 60 × 84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Гарнитура Times.
Уч.-изд. л. 5,6. Усл. печ. л. 6,51. Тираж 200 экз. Заказ № 2397.

Издательство Уральского университета
620000, г. Екатеринбург, ул. Тургенева, 4.

Отпечатано в Издательско-полиграфическом центре УрФУ.
620000, г. Екатеринбург, ул. Тургенева, 4.
Тел.: +7 (343) 350-56-64, 350-90-13.
Факс: +7 (343) 358-93-06.
E-mail: press.info@usu.ru

Для заметок
