

**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. ЕЛЫЦИНА

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

## 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

<b>ОТ АВТОРОВ .....</b>	<b>3</b>
<b>Глава 1. ОСНОВНЫЕ ПРИБЛИЖЕНИЯ ГИДРОДИНАМИКИ .....</b>	<b>4</b>
§ 1. Уравнение неразрывности в гидродинамике .....	4
<b>Глава 2. ИДЕАЛЬНАЯ ЖИДКОСТЬ .....</b>	<b>8</b>
§ 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
<b>Глава 3. ВЯЗКАЯ ЖИДКОСТЬ .....</b>	<b>38</b>
§ 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. <b>ТУРБУЛЕНТНОСТЬ</b> .....	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. <b>ЗВУК</b> .....	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. <b>ВЯЗКОУПРУГОСТЬ</b> .....	98
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ</b> .....	104
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ</b> .....	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 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. 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](mailto:press.info@usu.ru)



## Для заметок

---