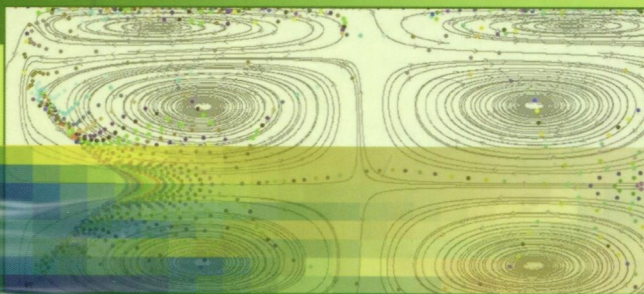


Д.А. Губайдуллин, П.П. Осипов



АЭРОГИДРОДИНАМИКА ДИСПЕРСНОЙ ЧАСТИЦЫ



РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КАЗАНСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР»
ИНСТИТУТ МЕХАНИКИ И МАШИНОСТРОЕНИЯ

Д.А. Губайдуллин
П.П. Осипов

АЭРОГИДРОДИНАМИКА ДИСПЕРСНОЙ ЧАСТИЦЫ



МОСКВА
ФИЗМАТЛИТ®
2020

УДК 532
ББК 22.253
Г 93



Издание осуществлено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований по проекту 20-11-00004, не подлежит продаже

Губайдуллин Д. А., Осипов П. П. **Аэрогидродинамика дисперсной частицы.** — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2020. — 176 с. — ISBN 978-5-9221-1883-5.

Монография посвящена моделированию аэрогидродинамики дисперсной частицы в несущей среде. Приведены уравнения, описывающие динамику частицы в потоках и волновых полях при различных режимах, определяющих доминирование тех или иных гидродинамических сил. С помощью метода Ван дер Поля выведены системы дифференциальных уравнений, описывающих усредненные по периоду поля положение и скорость частицы. Для локально-равновесной скорости дрейфа частицы и ее ускорения дрейфа получен ряд новых формул.

Монография предназначена научным работникам, инженерам, преподавателям, аспирантам и студентам университетов и технических вузов по специальности «Гидродинамика многофазных сред».

Рецензенты:

профессор, д.ф.-м.н. *Д.В. Маклаков*,
профессор, д.ф.-м.н. *М.Г. Храмченков*,
профессор, д.ф.-м.н. *С.Ф. Урманчеев*

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	5
Введение	8
Глава 1. Динамика частицы при малых числах Рейнольдса	25
1.1. Разгон и торможение частицы в однородном потоке $v_1(x, t) = U_0$	27
1.2. Динамика осаждения и всплытия частицы под действием сил Стокса, тяжести и Архимеда	32
1.3. Колебания частицы под действием силы Стокса в однородном синусоидальном поле	36
1.4. Численное изучение дрейфа частицы в стоячей волне	39
1.5. Методы осреднения нелинейных колебательных систем	42
1.6. Аналитическое изучение дрейфа частицы в стоячей волне	46
1.7. Левитация частицы в вертикальной стоячей волне	53
1.8. Динамика частицы под действием силы Стокса в бегущей волне	57
1.9. Динамика частицы в линейно-неоднородном потоке	62
1.10. Динамика частицы в линейно-неоднородном волновом поле	63
1.11. Динамика частицы с учетом броуновского движения	66
Глава 2. Динамика несжимаемой частицы с учетом сил Стокса, Архимеда, сил присоединенных масс и гравитации	67
2.1. Чисто инерционный режим обтекания	68
2.2. Дрейф частицы в стоячей волне без учета сжимаемости и поверхностного натяжения	72
2.3. Сепарация частиц в стоячей синусоидальной волне	82
Глава 3. Динамика сжимаемой частицы с учетом сил Стокса, Архимеда, сил присоединенных масс и сил поверхностного натяжения	93
3.1. Колебания частицы в однородном синусоидальном поле	95
3.2. Дрейф частицы в синусоидальной стоячей волне	96
3.3. Динамика пульсирующей сферы в однородном периодическом поле	104
Глава 4. Динамика частицы с учетом силы Бассэ	108
4.1. Разгон сферической частицы в вязкой несжимаемой среде	109
4.2. Динамика частицы при больших числах Струхала	115
4.3. Передаточная функция и импеданс	116
4.4. Скорость и точность выхода силы Бассэ на периодический режим	117
Глава 5. Динамика частицы при больших числах Рейнольдса	119
5.1. Разгон частицы в однородном потоке	119
5.2. Торможение частицы	120

5.3. Гравитационное осаждение частицы	121
5.4. Общее уравнения динамики частицы без учета силы Бассэ–Буссинеска	122
5.5. Зависимость скорости дрейфа частицы в резонансных режимах от чисел Рейнольдса, Маха и от коэффициента увлечения	123
Глава 6. Динамика монодисперсной газозвеси	128
6.1. Законы сохранения массы и импульса дисперсной и несущей фаз	128
6.2. Линейная акустика газозвеси	129
6.3. Расщепление уравнений линейной акустики на акустику несущей среды и динамику одиночной частицы.	130
6.4. Релаксационное волновое уравнение акустики газозвеси	131
6.5. Бегущая гармоническая волна в полупространстве	132
6.6. Акустика газозвеси в закрытом резонаторе.	135
Глава 7. Динамика распределения частиц аэрозоля в резонаторах сложной формы	137
7.1. Собственный дрейф и перенос частицы акустическим течением	137
7.2. Фокусировка частиц в гиперболическом резонаторе.	138
7.3. Обобщенные координаты и расчетная область.	141
7.4. Численные аспекты расчета динамики частиц.	144
7.5. Расчет распределения частиц в гиперболическом резонаторе.	148
Приложение	152
П.1. Средние по периоду значения тригонометрических функций	152
П.1.1. Интегралы вида $I = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \cos^m \varphi \sin^n \varphi d\varphi$	152
П.1.2. Интегралы вида $I = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(\cos \varphi, \sin \varphi) d\varphi$	153
П.1.3. Средние значения от произведения отрезков рядов Фурье	154
П.2. Модели волн	155
П.2.1. Стоячая синусоидальная волна	155
П.2.2. Бегущая синусоидальная волна	155
П.2.3. Модель периодической ударной волны в резонаторе	156
П.3. Волны в одномерном резонаторе.	156
П.3.1. Линейная акустика без учета вязкости	157
П.3.2. Нелинейная акустика	159
П.4. Колебания вязкого политропного газа в прямоугольном закрытом резонаторе	161
Обозначения	163
Список литературы	166
Сведения об авторах	171