

В.А. Кулагин  
Л.В. Кулагина

# **ОСНОВЫ КАВИТАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СРЕД**

Учебное пособие

**RU**  
**Sci**ence  
RU-SCIENCE.COM

Министерство образования и науки  
Российской Федерации  
ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»

В.А. Кулагин, Л.В. Кулагина

# ОСНОВЫ КАВИТАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СРЕД

Учебное пособие

**RU**  
**science**  
RU-SCIENCE.COM

Москва

2020

УДК 533+532.5

ББК 22.3я73

К90

**Рецензенты:**

**В.К. Андреев**, заведующий отделом дифференциальных уравнений механики ИВМ ФИЦ КНЦ СО РАН, заведующий кафедрой «Математическое моделирование в механике» ФГАОУ ВО СФУ, д-р физ.-мат. наук, проф.,

**В.В. Москвичев**, заслуженный деятель науки и техники РФ, директор СКТБ «Наука» ИВТ СО РАН, д-р техн. наук, проф.

**Кулагин, Владимир Алексеевич.**

**К90**

Основы кавитационной обработки многокомпонентных сред : учебное пособие / В.А. Кулагин, Л.В. Кулагина. — Москва : РУСАЙНС, 2020. — 202 с.

**ISBN 978-5-4365-1858-9**

Рассмотрены вопросы проектирования и эксплуатации технологических аппаратов интенсификации теплообмена и кавитационной технологии, базирующейся на термогидродинамических эффектах пузырьковой кавитации, а также проектирования технологических процессов на принципе суперкавитации. Приводятся сведения о новой технологии – кавитационной, которая является наиболее экономичной и производительной, уже нашедшей широкое использование в производстве.

Изложены оригинальные результаты исследований по опреснению (обессоливанию) подземных и морских вод, а также кондиционированию технических и сточных вод в промышленности и повторному использованию сточных вод в закрытых системах водоснабжения. Приведены сведения об использовании кавитационной технологии в различных отраслях промышленности: стройиндустрии, энергетике, машиностроении, сельском хозяйстве, медицине и др.

*Предназначено для аспирантов, обучающихся по специальности 01.02.05 «Механика жидкости, газа и плазмы», может быть полезна студентам, обучающимся по направлениям магистерской подготовки «Техносферная безопасность», «Теплоэнергетика и теплотехника» и др.*

**УДК 533+532.5**

**ББК 22.3я73**

© СФУ, 2020

© Кулагин В.А., Кулагина Л.В., 2020

© ООО «РУСАЙНС», 2020

**ISBN 978-5-4365-1858-9**

# ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
Глава 1 Кавитация в технологических процессах	11
1.1 Проточные СК-реакторы	11
1.2 Зарождение и развитие кавитационных микропузырьков	22
1.2.1 Кинетика зарождения разрывов сплошности в жидкости	25
1.2.2 Развитие разрывов сплошности при наличии «ядер» кавитации	30
1.3 Образование кавитационных микропузырьков при вдуве газа в жидкость	33
1.4 Гидротермодинамика пузырька в жидкости	37
1.4.1 Исходные теоремы сохранения	37
1.4.2 Поведение сферического пузырька в жидкости	39
1.4.3 Условия сопряжения и краевая задача	40
1.4.4 Частные случаи	44
Глава 2	47
Математическая модель многофазного континуума	47
2.1 Математическое описание многофазного континуума	48
2.1.1 Уравнение неразрывности	49
2.1.2 Закон сохранения импульса	51
2.1.3 Закон сохранения энергии	51
2.1.4 Замыкание уравнений механики многофазных сред	52
2.1.5 Динамическое взаимодействие фаз	54
2.1.6 Интеграл Бернулли для вращающейся системы координат	57
2.2 Одномерное приближение	61
2.2.1 Основные уравнения одномерного приближения	61
2.2.2 Пример решения обратной задачи	63
2.2.3 Одномерное изотермическое приближение (двухскоростная модель)	64
2.2.4 Одномерное изотермическое течение	64
2.2.5 Задачи проектировочного и поверочного расчетов аэраторов (СК-реакторов)	65
2.2.6 Изотермическое течение пузырьковой смеси	66
2.3 Численное решение прямой задачи для течения газожидкостной смеси	67
2.4 Трехмерное моделирование эффектов кавитации в турбомашинах	76

Глава 3 Кондиционирование пресных вод	84
3.1 Обессоливающие установки на базе суперкавитационных испарителей	84
3.1.1 Повышение эффективности работы СК-испарителей	86
3.2 Математические модели процессов в суперкавитационном испарителе	91
3.2.1 Термодинамические эффекты суперкавитации	91
3.2.2 Равновесная математическая модель СК-испарителя	93
3.2.3 Область определения процесса и граничные условия	96
3.2.4 Метод численного решения задачи	99
3.2.5 Апробация математической модели	104
3.2.6 Сопоставление результатов расчёта с экспериментальными данными на холодной воде	104
3.2.7 Сопоставление результатов расчёта с экспериментальными данными на горячей воде	106
3.3 Исследование рабочих процессов СК-испарителя	111
3.3.1 Исходные данные для проведения численных экспериментов	112
3.3.2 Зависимость пароотбора от режимных и конструктивных параметров СК-испарителя	115
3.3.3 Зависимость сопротивления рабочего участка СК-испарителя от режимных и конструктивных параметров	125
3.3.4 Зависимость давления в камере рабочего участка СК-испарителя от режимных и конструктивных параметров	130
3.4 Суперкавитационные испарительные установки для получения пресной воды	133
Глава 4 РОТАЦИОННЫЕ СК-ИСПАРИТЕЛИ	137
5.4. Первостепенные задачи дальнейших исследований	196
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	198