

## СОДЕРЖАНИЕ

ГЛАВА 1. Интенсификация процессов химических технологий акустическими колебаниями ультразвуковой частоты .....	13
1.1 Акустических колебаний ультразвуковой частоты для интенсификации процессов .....	13
1.2 Классификация процессов химических технологий, интенсифицируемых ультразвуковыми колебаниями .....	15
1.3 Факторы интенсификации процессов химических технологий в жидких средах .....	19
1.4 Процессы химических технологий, интенсифицируемые на границе раздела фаз жидкость-жидкость .....	23
1.4.1 Получение прямых и обратных эмульсий .....	23
1.4.2 Воздействие ультразвуковых колебаний на механохимические процессы .....	33
1.5 Процессы химических технологий, интенсифицируемые на границе раздела фаз жидкость-твердое тело .....	52
1.5.1 Получение экстрактов под действием ультразвуковых колебаний .....	52
1.5.2 Ультразвуковое диспергирование твердых тел в жидкости .....	56
1.5.3 Ультразвуковая интенсификация сорбционных процессов .....	70
1.5.4 Ультразвуковое центрифугирование .....	73
1.5.5 Ультразвуковая очистка .....	75
1.6 Процессы химических технологий, интенсифицируемые на границе раздела фаз жидкость-газ .....	78
1.6.1 Процессы массообмена. Абсорбция .....	78
1.6.2 Дегазация жидкостей .....	79
1.6.3 Ультразвуковое распыление .....	84
1.7 Процессы химических технологий, интенсифицируемые при воздействии ультразвуковыми колебаниями на газовые среды .....	94

1.7.1 Факторы интенсификации процессов химических технологий при воздействии ультразвуковыми колебаниями на газовые среды .....	94
1.8 Процессы химических технологий, интенсифицируемые на границе раздела фаз газ-жидкость и газ - твердое тело .....	97
1.8.1 Пеногашение.....	97
1.8.2 Коагуляция аэрозолей.....	103
1.8.3 Акустическая сушка .....	111
1.9 Выводы.....	123
ГЛАВА 2. Теоретические основы определения и установления режимов ультразвукового воздействия в жидких и жидкодисперсных средах.....	125
2.1 Определение режимов ультразвукового кавитационного воздействия в кавитационном режиме воздействия .....	126
2.1.1 Теоретический анализ механизма возникновения и действия кавитации в жидких средах.....	128
2.1.2 Определение формы кавитационной области и оптимизация ее объема.....	182
2.2 Теоретические основы автоматического установления и поддержания выявленных оптимальных режимов воздействия.....	213
2.2.1 Анализ влияния технологических сред на входной импеданс пьезоэлектрической колебательной системы.....	215
2.2.2 Анализ эквивалентной электрической схемы ультразвуковой колебательной системы .....	217
2.2.3 Экспериментальное оборудование для подтверждения возможности контроля и управления процессом ультразвуковой кавитации .....	223
2.2.4 Экспериментальное подтверждение возможности управления процессом ультразвуковой кавитации на основе контроля действительной части импеданса среды.....	226

2.2.5	Экспериментальное подтверждение возможности управления процессом ультразвуковой кавитации на основе контроля мнимой части импеданса среды .....	247
2.3	Определение и установление режимов ультразвукового кавитационного воздействия на тонкие слои жидкости, с целью реализации процессов на границе раздела с газовой средой .....	255
2.3.1	Определение амплитуды звукового давления в слое распыляемой жидкости .....	257
2.3.2	Определение величины амплитуды давления во фронте ударной волны, возникающей при захлопывании кавитационного пузырька ....	259
2.3.3	Определение длины и амплитуды образующихся капиллярных волн.....	261
2.3.4	Определение диаметра формируемых капель жидкости.....	272
2.3.5	Определение производительности ультразвукового распыления жидкостей.....	276
2.3.6	Определение скорости отрыва капель распыляемой жидкости....	279
2.3.7	Определение высоты формируемого факела распыления.....	283
2.4	Экспериментальное подтверждение выявленных режимов ультразвукового кавитационного воздействия на тонкие слои жидкости на примере процесса ультразвукового распыления жидкостей.....	286
2.4.1	Подтверждение развития кавитационных процессов в распыляемом тонком слое жидкости на поверхности ультразвукового излучателя ...	286
2.4.2	Экспериментальное исследование зависимости эффективности ультразвукового распыления от толщины слоя распыляемой жидкости .....	290
2.4.3	Разработка способа управления процессом ультразвукового распыления жидкостей .....	296
2.4.4	Определение зависимости среднего диаметра формируемых капель от амплитуды и частоты ультразвукового воздействия.....	301

2.4.5	Определение зависимости среднего диаметра формируемых капель от вязкости распыляемой жидкости.....	309
2.4.6	Определение зависимости среднего диаметра формируемых капель от поверхностного натяжения распыляемой жидкости .....	314
2.4.7	Определение размеров формируемого факела для различных распылительных поверхностей.....	316
2.4.8	Определение зависимости производительности распыления жидкости от частоты колебаний.....	319
2.4.9	Зависимость диаметра формируемых капель жидкости от режимов ультразвукового воздействия и свойств жидкости .....	321
2.5	Выводы.....	324
ГЛАВА 3. Исследование процессов и установление оптимальных режимов ультразвукового воздействия в газовых средах.....		
326		
3.1	Выявление оптимальных режимов акустического воздействия для коагуляции газодисперсных систем.....	326
3.1.1	Вероятностная модель Смолуховского парных соударений дисперсных частиц.....	329
3.1.2	Существующая модель оценки вероятности соударения аэрозольных частиц .....	334
3.1.3	Математическая модель определения вероятности соударения частиц с учетом вязкости среды .....	338
3.1.4	Теоретический анализ оптимальных условий процесса акустической коагуляции .....	350
3.1.5	Результаты анализа модели процесса коагуляции .....	354
3.2	Экспериментальное исследование и выявление оптимальных параметров ультразвукового воздействия на газовые среды для коагуляции аэрозолей .....	355
3.2.1	Экспериментальная установка для проведения исследований ультразвуковой коагуляции аэрозолей .....	357

3.2.2	Виды аэрозолей, использовавшихся при проведении экспериментов .....	361
3.2.3	Получение качественной картины воздействия ультразвуковыми колебаниями на газодисперсные системы.....	362
3.2.4	Исследование эволюции дисперсного состава аэрозоля в ультразвуковом поле.....	365
3.2.5	Определение зависимости эффективности коагуляции от частоты воздействия .....	369
3.2.6	Определение зависимости эффективности ультразвуковой коагуляции аэрозолей от уровня звукового давления.....	372
3.2.7	Определение оптимальных режимов ультразвуковой коагуляции аэрозолей, переносимых воздушными потоками .....	375
3.2.8	Анализ результатов экспериментальных исследований .....	379
3.3	Выявление оптимальных режимов воздействия для интенсификации процесса акустической сушки при передаче ультразвуковых колебаний через газовые среды .....	381
3.4	Экспериментальное исследование процесса интенсификации сушки материалов при передаче ультразвуковых колебаний через газовые среды	388
3.4.1	Определение эффективности сушки пищевых продуктов ультразвуковыми колебаниями .....	392
3.4.2	Оценка энергетической эффективности ультразвуковой сушки ..	396
3.4.3	Анализ эффективности ультразвуковой сушки .....	397
3.5	Выявление оптимальных режимов воздействия для интенсификации разрушения пены.....	398
3.6	Экспериментальное исследование процесса интенсификации разрушения пены.....	401
3.7	Выводы .....	404
ГЛАВА 4.	Источники ультразвукового воздействия .....	406
4.1	Источники ультразвукового воздействия.....	406

4.1.1	Классификация источников ультразвуковых колебаний.....	406
4.1.2	Проявление пьезоактивности. Пьезоматериалы.....	412
4.1.3	Пьезоэлектрические элементы .....	415
4.1.4	Состав, классификация и основные параметры ультразвуковых колебательных систем .....	416
4.1.5	Основные технические характеристики УЗКС.....	417
4.2	Пьезоэлектрические преобразователи .....	419
4.2.1	Общие принципы построения пьезоэлектрических преобразователей. Преобразователь Ланжевена .....	419
4.2.2	Проектирование элементов УЗКС.....	421
4.2.3	Полуволновые пьезоэлектрические преобразователи .....	423
4.2.4	Конструктивная схема полуволновой УЗКС, объединяющей преобразователь и концентратор.....	428
4.2.5	Многоэлементные пьезоэлектрические преобразователи.....	430
4.3	Разработка конструктивных схем и проектирование концентраторов ультразвуковых колебаний .....	440
4.3.1	Выбор ступенчато-радиального концентратора .....	440
4.3.2	Разработка специализированного концентрирующего звена.....	450
4.3.3	Специальные виды концентраторов .....	453
4.4	Разработка резонансных промежуточных звеньев и узлов акустической развязки .....	462
4.5	Разработка конструктивных схем и проектирование рабочих излучающих инструментов .....	469
4.5.1	Способы крепления пассивных и активных рабочих инструментов.....	470
4.5.2	Пассивные рабочие инструменты .....	474
4.5.3	Активные рабочие инструменты.....	488
4.5.4	Активные рабочие инструменты, обеспечивающие преобразование продольных в другие виды колебаний.....	503

4.6	Разработка технологических камер для повышения эффективности работы ультразвуковых излучателей .....	515
4.7	Практические конструкции источников ультразвукового воздействия для интенсификации технологических процессов .....	520
4.7.1	Ультразвуковые колебательные системы мощностью 0,15–0,63 кВт .....	520
4.7.2	Ультразвуковые колебательные системы мощностью 0,63–0,8 кВт .....	523
4.7.3	Ультразвуковые колебательные системы мощностью 1 кВт .....	525
4.7.4	Ультразвуковые колебательные системы мощностью 3 кВт .....	527
4.7.5	Ультразвуковые колебательные системы мощностью 8 кВт .....	528
4.8.	Ультразвуковые колебательные системы для распыления жидкостей.....	528
4.9	Выводы.....	530
Глава 5.	Ультразвуковые аппараты и технологические процессы на их основе .....	531
5.1	Состав ультразвукового технологического аппарата.....	531
5.2	Ультразвуковые аппараты.....	533
5.2.1	Особенности построения ультразвуковых аппаратов для интенсификации процессов в технологических средах с жидкой фазой.....	533
5.2.2	Ультразвуковые аппараты для интенсификации процессов в технологических средах с жидкой фазой .....	535
5.2.3	Ультразвуковые аппараты для распыления жидкой фазы.....	555
5.2.4	Особенности построения ультразвуковых аппаратов для введения колебаний газовую фазу .....	564
5.2.5	Ультразвуковые аппараты с дисковыми излучателями .....	565
5.2.6	Ультразвуковые распылители с дисковыми излучателями.....	567
5.3	Результаты создания ультразвуковых аппаратов .....	569
ГЛАВА 6.	Ультразвуковые технологии воздействия.....	570

6.1	Ультразвуковые технологии докавитационного воздействия на дисперсные системы с жидкой фазой .....	570
6.1.1	Ультразвуковое разделение устойчивых эмульсий.....	571
6.1.2	Ультразвуковое обезвоживание сверхвязкой нефти.....	575
6.1.3	Декристаллизация меда .....	580
6.1.4	Осветление виноматериала.....	585
6.2	Ультразвуковые технологии высокоинтенсивного кавитационного воздействия на дисперсные системы с жидкой фазой .....	588
6.2.1	Экстракция растительного и природного сырья.....	588
6.2.2	Диспергирование оксида алюминия, целлюлозы.....	593
6.2.3	Технология ультразвукового кавитационного преобразования углеводородного сырья .....	599
6.3	Ультразвуковые технологии распыления жидкостей .....	601
6.3.1	Нанесение фоточувствительного слоя на поверхность кремниевой пластины .....	602
6.3.2	Химико-механическое полирование полупроводниковых пластин .....	605
6.3.3	Ультразвуковое распыление при сушке жидких растительных экстрактов .....	609
6.3.4	Получение гранулированного алюминия из расплава.....	611
6.3.5	Нанесение покрытий.....	614
6.3.6	Распыление смазочных масел.....	615
6.3.7	Высокопроизводительное распыление жидкости .....	620
6.4	Ультразвуковые технологии воздействия на дисперсионные системы через газовые промежутки .....	622
6.4.1	Малогабаритная ультразвуковая сушильная установка .....	622
6.4.2	Ультразвуковая коагуляция аэрозолей .....	627
6.4.3	Ультразвуковое пылеулавливание .....	632
6.4.4	Улавливание дисперсных частиц микронного и субмикронного диапазонов .....	635



6.4.5 Ультразвуковая интенсификация мокрого пылеулавливания .....	644
6.4.6 Разрушение пен .....	651
6.5 Выводы.....	654
ГЛАВА 7. Перспективы развития ультразвуковых технологий и пути совершенствования технологических аппаратов.....	655
7.1. Воздействие на жидкие и жидкодисперсные среды в кавитационном режиме .....	658
7.2. Воздействие на жидкие и жидкодисперсные среды в докавитационном режиме непрерывного излучения колебаний.....	659
7.3. Воздействие на жидкие и жидкодисперсные среды в докавитационном режиме импульсного излучения колебаний.....	661
7.4. Развитие ультразвуковых аппаратов.....	665
7.5. Обеспечение реализации технологических процессов .....	667
Список использованных источников .....	669