

**Ю. А. Шурчкова**

**АДИАБАТНОЕ  
ВСКИПАНИЕ**

**ПРАКТИЧЕСКОЕ  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ**

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ  
ИНСТИТУТ ТЕХНИЧЕСКОЙ ТЕПЛОФИЗИКИ

**Ю.А.Шурчкова**

# **АДИАБАТНОЕ ВСКИПАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ**

КИЕВ НАУКОВА ДУМКА 1999

УДК 532.545.36.25

532.529.

536.423

664

В монографии излагаются способы использования адиабатного вскипания жидкости в технологических процессах эмульгирования, гомогенизации, деаэрации, охлаждения. Представляется экспериментальный материал по исследованию адиабатного вскипания многокомпонентных смесей и разработанный на его основе метод взаимного диспергирования несмешивающихся жидкостей. Описываются новый класс аппаратов и технологии, испытанные и широко внедренные в промышленности.

Для научных и инженерно-технических работников, занимающихся вопросами теплофизики, гидродинамики многофазных систем, разработкой и исследованием тепломассообменных процессов в химической, медицинской, пищевой и других отраслях промышленности.

В монографії викладаються способи використання адиабатного закипання рідини в технологічних процесах емульгування, гомогенізації, деаерації, охолодження. Наводиться експериментальний матеріал по дослідженню адиабатного закипання багатоконпонентних сумішей і розроблений на його основі метод взаємного диспергування рідин, що не змішуються. Описуються новий клас апаратів і технології, широко впроваджені в промисловості.

Для наукових і інженерно-технічних працівників, що займаються питаннями теплофізики, гідродинаміки багатозфазних систем, розробкою та дослідженням тепломасообмінних процесів у хімічній, медичній, харчовій та інших галузях промисловості.

Various methods of the application of adiabatic boiling effects in such technological processes in liquid mixtures as emulsification, homogenization, desorption and cooling are considered in this book.

Experimental data concerning the peculiarities of adiabatic boiling of multi-component liquid systems are presented which have formed the basis of new efficient technique for making of mutual dispersions of different immiscible fluids. These studies promoted development of a new class of commercial apparatus and technologies which have been tested and widely commercialized.

The book would be of service for scientists and engineers interested in the problems of thermophysics, hydrodynamics of multiphase systems, which deal with the investigation and use of heat and mass transfer processes in chemical, medical, food and other industries.

Рецензент: д-р техн. наук чл.-кор. НАН України В. Н. Клименко

Редакция физико-математической и технической литературы

Редактор Н. М. Труш

Ш 2004040000

99

ISBN 966-00-0554-7

© Ю. А. Шурчкова,

1999

## ПРЕДИСЛОВИЕ

До недавнего времени адиабатное вскипание рассматривалось преимущественно как негативное явление, сопровождающее аварийные ситуации в высокотемпературонапорных энергетических системах. С развитием современных технологий в химической, криогенной, медицинской, пищевой и в других отраслях промышленности адиабатное вскипание стали использовать как основной рабочий высокоэффективный процесс.

В Институте технической теплофизики НАН Украины под руководством академика А.А. Долинского разработан универсальный метод управления технологическими процессами в жидкостных дисперсных средах – метод дискретно-импульсного ввода энергии. Основной принцип метода заключается в том, что предварительно аккумулированная энергия выделяется в непосредственной близости дисперсий во всем объеме жидкости в виде кратковременных импульсов. Эффект достигается за счет создания активной гидродинамической обстановки в локальной области, что обеспечивает высокие относительные скорости движения межфазной поверхности. Это приводит к дроблению включений, увеличению поверхности контакта фаз, интенсификации тепломассообменных процессов. Подобные эффекты не всегда достижимы при использовании традиционных методов даже при существенно большем уровне энергозатрат.

Существует множество возможных путей реализации принципа дискретно-импульсного ввода энергии. Это возможно, например, при создании в жидкости большого количества паровых или газовых пузырьков, равномерно размещенных по

всему рабочему объему. При достаточно быстром изменении внешнего давления эти пузырьки либо пульсируют с высокой частотой, выделяя энергию, либо схлопываются, создавая эффект ударной волны, либо расширяются, турбулизируя жидкость в межпузырьковом пространстве. Вблизи каждого пузырька выделяется удельная мощность, пропорциональная скорости изменения давления. При этом достигаются высокие значения эффективной мощности в течение малого промежутка времени в локальной зоне вблизи каждого пузырька и тем самым обеспечивается высокий уровень интенсификации во всем объеме системы, где происходит изменение давления.

Одним из способов создания пузырьковых систем является адиабатное вскипание, когда в результате резкого падения давления жидкость оказывается перегретой относительно температуры насыщения и вскипает во всем объеме. Если в данной жидкости находятся дисперсии другой не смешивающейся высококипящей жидкости, то под воздействием быстрорастущих пузырьков будет происходить дробление этих дисперсий. В таком процессе совмещаются два сложных физических явления: адиабатное вскипание одного компонента и диспергирование другого. Это обстоятельство обусловило структуру предлагаемой книги.

В первой главе приводятся основные понятия о механизме вскипания перегретой жидкости и современные представления о процессах, происходящих в межпузырьковом пространстве ансамбля быстрорастущих паровых пузырьков.

Вторая глава посвящена экспериментальным исследованиям вскипания перегретой жидкости в объеме и при струйном истечении. Полученные результаты были использованы при разработке метода взаимного диспергирования многокомпонентных смесей.

В третьей главе приводятся основные понятия о механизме дробления капель и специфике образования эмульсий. Эти сведения были также использованы при разработке метода взаимного диспергирования многокомпонентных смесей.

В четвертой главе описываются экспериментальные

исследования диспергирования многокомпонентных жидких смесей при адиабатном вскипании в вакууме. На основании полученных результатов впервые в мировой практике был предложен способ получения дисперсных смесей при адиабатном вскипании многокомпонентных систем.

В пятой главе представляется схема аппарата, в котором реализуется принцип получения дисперсных смесей при адиабатном вскипании. Рассматривается испарительно-конденсационная модель этого аппарата и анализируются основные процессы, происходящие в нем.

Шестая глава посвящена вопросам использования адиабатного вскипания жидкости в промышленных аппаратах. На основе метода получения дисперсных смесей при адиабатном вскипании многокомпонентных систем разработан новый класс оборудования для эмульгирования и гомогенизации. Описываются основные конструктивные и технологические особенности трех модификаций вакуумных эмульгаторов и пяти модификаций вакуумных гомогенизаторов. Приводится сравнение технико-экономических показателей вакуумных гомогенизаторов и гомогенизаторов высокого давления.

Кроме того, в этой главе рассматриваются вопросы использования адиабатного вскипания воды в паровакуумных испарителях холодильных машин и опреснительных установок, в геотермальных энергетических установках.

В седьмой главе описываются промышленные технологии на основе адиабатного вскипания жидкостей, разработанные в Институте технической теплофизики НАН Украины в лаборатории дисперсных сред под руководством академика А.А. Долинского и непосредственном участии автора предлагаемой книги. Все представленные технологии, кроме тех, которые описаны в п. 7.9.7, прошли опытно-промышленную проверку и широко используются в промышленности. Технология производства жидкого заменителя цельного молока удостоена Государственной премии УССР. Вакуумный эмульгатор награжден Золотой медалью международной Лейпцигской ярмарки, Золотой медалью ВДНХ СССР, дипломом I степени ВДНХ УССР.

Оборудование и лицензии на его производство продаются за границу.

Предлагаемая книга является результатом труда большого коллектива научных и технических сотрудников Института технической теплофизики НАН Украины, анализ и обобщение которого взяла на себя автор.

Выражаю глубокую благодарность академику А.А. Долинскому за всестороннюю помощь в работе, а также канд. техн. наук Г.К. Иваницкому за предоставленные материалы о развитии паровых пузырей в перегретой жидкости и за помощь в разработке испарительно-конденсационной модели аппарата адиабатного вскипания.

Выражаю благодарность Т.А. Резаковой и А.А. Ярису за техническое оформление книги.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Предисловие.....	3
<b>Глава 1.</b>	
<b>МЕХАНИЗМ ВСКИПАНИЯ ПЕРЕГРЕТОЙ ЖИДКОСТИ</b>	
1.1. Кипение как переход жидкости из метастабильного состояния в стабильное.....	7
1.2. Условия образования паровых пузырьков в жидкости.....	9
1.3. Роль центров парообразования.....	12
1.4. Развитие паровых пузырей в перегретой жидкости.....	17
<b>Глава 2.</b>	
<b>ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВСКИПАНИЯ ПЕРЕГРЕТОЙ ЖИДКОСТИ В ОБЪЕМЕ И ПРИ СТРУЙНОМ ИСТЕЧЕНИИ</b>	
2.1. Вскипание перегретой жидкости в большом объеме при сбросе давления.....	29
2.2. Охлаждение перегретой жидкости в процессе вскипания в большом объеме.....	36
2.3. Описание экспериментальных стендов для исследования течения перегретой жидкости в каналах и при истечении в вакуум.....	39
2.4. Течение перегретой жидкости в каналах.....	44
2.5. Истечение перегретой жидкости в вакуум.....	49
2.6. Охлаждение перегретой жидкости при истечении в вакуум.....	51
2.7. Истечение перегретой жидкости из щелевого отверстия.....	55
<b>Глава 3</b>	
<b>МЕХАНИЗМ ДРОБЛЕНИЯ КАПЕЛЬ И ТЕХНИКА ЭМУЛЬГИРОВАНИЯ</b>	
3.1. Механизм дробления капель.....	57
3.2. Стабилизация капель.....	62
3.3. Выбор стабилизатора и расчет его концентрации.....	65
3.4. Способ введения стабилизатора в эмульсию.....	66
3.5. Влияние температуры на образование эмульсии.....	67
3.6. Время и интенсивность перемешивания эмульсий.....	68
3.7. Техника эмульгирования.....	69

## Глава 4

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИСПЕРГИРОВАНИЯ  
МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ЖИДКИХ СМЕСЕЙ ПРИ АДИАБАТНОМ  
ВСКИПАНИИ В ВАКУУМЕ**

4.1. Экспериментальная установка для исследования процесса диспергирования при адиабатном вскипании.....	77
4.2. Образование эмульсии при вводе низкокипящего компонента в объем высококипящего компонента.....	79
4.3. Образование эмульсии при непрерывной подаче компонентов в смесительное устройство.....	80
4.4. Образование эмульсии при предварительном перемешивании компонентов.....	81
4.5. Влияние начального перегрева смеси на дисперсность эмульсии.....	83
4.6. Влияние концентрации компонентов на дисперсный состав эмульсии.....	85
4.7. Зависимость среднего размера диспергируемых частиц от кратности обработки.....	86
4.8. Анализ экспериментальных данных.....	87
4.9. Основные принципы получения дисперсных смесей при адиабатном вскипании.....	93

## Глава 5

**ИСПАРИТЕЛЬНО-КОНДЕНСАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ АППАРАТА  
АДИАБАТНОГО ВСКИПАНИЯ**

5.1. Анализ тепломассообменных процессов в испарительной и конденсационной камерах.....	97
5.2. Влияние начального размера капель.....	106
5.3. Влияние давления пара в камерах.....	110
5.4. Влияние температуры пара и жидкости.....	111
5.5. Влияние начальной скорости капель.....	113
5.6. Оценка паровых потоков в испарительно-конденсационном аппарате.....	114

## Глава 6

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АДИАБАТНОГО ВСКИПАНИЯ ЖИДКОСТИ В  
ПРОМЫШЛЕННЫХ АППАРАТАХ**

<b>I. НОВЫЙ КЛАСС АППАРАТОВ ДЛЯ ЭМУЛЬГИРОВАНИЯ И ГОМОГЕНИЗАЦИИ.....</b>	<b>120</b>
---	------------

6.1. Вакуумные эмульгаторы.....	120
6.2. Вакуумные гомогенизаторы.....	125
6.3. Анализ материальных потоков в вакуумном гомогенизаторе....	126
6.4. Анализ тепловых потоков в вакуумном гомогенизаторе.....	127
6.5. Типы вакуумных гомогенизаторов.....	134
6.6. Сравнение технико-экономических показателей и анализ энергозатрат на дробление дисперсной фазы в вакуумных гомогенизаторах и гомогенизаторах высокого давления.....	143

## **II. ПАРОВАКУУМНЫЕ ИСПАРИТЕЛИ.....147**

6.7. Охлаждение перегретой жидкости в испарителях холодильных машин.....	147
6.8. Получение дистиллята в термических опреснительных установках.....	149
6.9. Получение пара в геотермальных энергетических установках....	151
6.10. Выбор рабочих режимов паровакуумных испарителей.....	152
6.11. Ориентировочный расчет одноступенчатого паровакуумного испарителя.....	154
6.12. Ориентировочный расчет двухступенчатого паровакуумного испарителя.....	155

### **Глава 7**

## **ПРОМЫШЛЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НА ОСНОВЕ АДИАБАТНОГО ВСКИПАНИЯ ЖИДКОСТЕЙ**

7.1. Технология производства жидкого заменителя цельного молока.....	157
7.2. Промышленная технологическая линия для производства жидкого заменителя цельного молока.....	161
7.3. Преимущества производства жидкого ЗЦМ по сравнению с сухим ЗЦМ.....	164
7.4. Технология эмульгирования молочно-жировых смесей в производстве сухого заменителя цельного молока.....	165
7.5. Технология получения стерильных пеногасящих эмульсий для медицинской промышленности.....	171
7.6. Технология приготовления смазочно-охлаждающих эмульсий для кабельной промышленности.....	175
7.7. Вакуумная гомогенизация молока.....	176
7.8. Влияние вакуумной гомогенизации на свойства молока.....	181
7.8.1. Дисперсность жировой фазы.....	181
7.8.2. Количество дестабилизированного жира.....	185
7.8.3. Образование агрегатов жировых шариков.....	186
7.8.4. Плотность молока.....	187

7.8.5. Титруемая и активная кислотность.....	188
7.8.6. Дегазация и дезодорация молока.....	192
7.8.7. Термостойкость.....	192
7.8.8. Подавление микрофлоры.....	195
7.9. Технологии на базе вакуумной гомогенизации.....	197
7.9.1. Питьевое пастеризованное молоко.....	198
7.9.2. Кисломолочные напитки.....	200
7.9.3. Творог.....	201
7.9.4. Твердые сыры.....	202
7.9.5. Производство сгущенных молочных консервов.....	205
7.9.6. Мороженое.....	209
7.9.7. Технологическая линия для пастеризации и стерилизации термолабильных жидких продуктов.....	211
Список литературы.....	214

Наукове видання

ШУРЧКОВА Юлія Олександрівна

АДІАБАТНЕ ЗАКИПАННЯ  
Практичне використання

Київ, видавництво “Наукова думка”

(Російською мовою)

Комп’ютерна верстка  
О.А.Яріса

Підписано до друку 17.11.99

Формат 60x84/16

Папір друк. № .Спосіб друку офсетний. Ум.-друк. арк. 15,25

Ум. фарбо-відб. 15,50

Обл. вид. арк. 15 Наклад . 150 прим. Зам № 93698

Р.с. 05417561 від. 16.03.95

252601, Київ-4, вул. Терещенківська,3

видавництво "Наукова думка"

Фірма "Віпол"

252151, Київ, вул. Волинська, 60