



А.А. ДОЛИНСКИЙ
К.Д. МАЛЕЦКАЯ

РАСПЫЛИТЕЛЬНАЯ СУШКА

в двух томах



**ТОМ
2**

**ТЕПЛОТЕХНОЛОГИИ
И ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ
ПОРОШКОВЫХ
МАТЕРИАЛОВ**

КИЕВ
АКАДЕМПЕРИОДИКА
2015

УДК 664.8.047
ББ 36.91
Д 64

*Утверждено к печати ученым советом
Института технической теплофизики НАН Украины
(протокол от 10.07.2014 № 11)*

*Издание осуществлено
за государственные средства
на подготовку и выпуск издательской продукции*

Долинский А.А.
Д 64 Распылительная сушка. В 2-х т. Т. 2. Теплотехнологии и
оборудование для получения порошковых материалов/А.А. До-
линский, К.Д. Малецкая. — К. : Академперіодика, 2015. — 390 с.
ISBN 978-966-360-174-8
ISBN 978-966-360-300-1 (Т. 2)

Представлены результаты многолетних экспериментальных исследований процессов теплопереноса при испарении и сушке различных жидкостных продуктов в диспергированном состоянии в высокотемпературном потоке воздуха. Предложены эффективные схемы и новые конструкции распылительных аппаратов, методы управления структурно-механическими характеристиками порошковых продуктов.

Для научных и инженерно-технических специалистов, занимающихся проблемами производства порошковых продуктов сухой распылением.

**УДК 664.8.047
ББ 36.91**

**ISBN 978-966-360-174-8
ISBN 978-966-360-300-1 (Т. 2)**

© А.А. Долинский, К.Д. Малецкая, 2015
© Академперіодика, оформленіе, 2015

ПРЕДИСЛОВИЕ

Распылительный метод сушки, благодаря ряду преимуществ, таких как, сравнительно высокая экономичность, незначительное температурное воздействие на продукт в процессе обезвоживания и, следовательно, возможность сушки термолабильных растворов, широкий спектр единичных мощностей установок является одним из наиболее используемых методов обезвоживания в различных отраслях промышленности: в пищевой, химической, химико-фармацевтической и микробиологической отраслях, в производстве ряда строительных материалов, удобрений, а также для получения новых наноструктурированных материалов.

Как было показано в томе 1 монографии, экспериментальные исследования кинетических закономерностей испарения и сушки единичных капель различных жидкостных материалов, рассматриваемые как объекты сушки в диспергированном состоянии, позволяют оценить влияние внутренних процессов тепловлагодпереноса на интенсивность обезвоживания, на процессы формо- и структурообразования, что дает возможность прогнозировать определенные структурно-механические характеристики получаемого порошкообразного продукта. Поэтому, в томе 2 при проведении теплотехнологических исследований процесса распылительного обезвоживания различных жидкостных продуктов, на первой стадии экспериментальных исследований получали информацию об особенностях процесса сушки на системе «капля—парогазовая среда». Затем проводились исследования процесса в распылительной сушильной установке при изменении режимных параметров и рекомендуемых методах воздействия на кинетику и интенсивность процессов теплообмена.

Сложные процессы, которые происходят одновременно в камерах распылительных установок: испарение и сушка; структурообразование — выделение твердой фазы в отдельной частице; движение дисперсионной фазы (парогазового потока) и дисперсной (капли и частицы) не позволяют выявить конкретные зависимости, так как все параметры обеих фаз меняются в объеме и во времени. Но многолетний опыт работы таких сушилок с различными жидкостными продуктами позволил выявить факторы, которые могут влиять на интенсивность межфазного тепловлагообмена и конечные структурно-механические характеристики получаемых порошковых систем: сыпучесть, слеживаемость, слипаемость, гигроскопичность, органолептические показатели, сохранность биологически активных веществ, что может

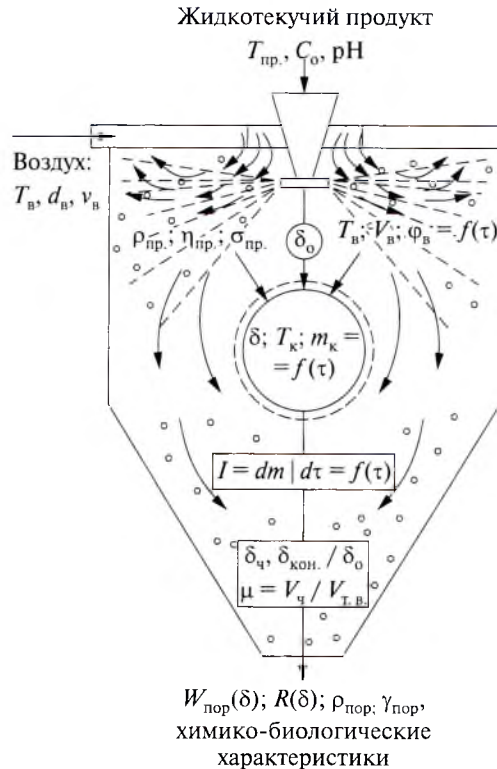


Рис. 1. Взаимосвязь внешних и внутренних процессов тепло- и массообмена в камере распылительной сушилки на кинетику обезвоживания капли и на характеристики конечного порошкового продукта

быть представлено схемой на рис. 1. Из рис. 1 следует, что научно-обоснованный выбор рациональных (или оптимальных) значений ряда параметров нагретого парогазового теплоносителя (паровоздушного потока), правильная организация взаимодействия паровоздушного потока и диспергированного жидкого продукта, а также разработка специальных методов воздействия на физико-химические свойства исходного продукта, предоставляют значительные возможности управления кинетикой и прогнозирования получения порошков с улучшенными свойствами по сыпучести, хранению и технологичности при дозировке и расфасовке.

В Институте технической теплофизики НАН Украины (далее ИТТФ) были проведены исследования распылительного способа сушки, как способа сушки со значительно развитой межфазной поверхностью, с целью повышения его энергетической эффективности и улучшения качественных характеристик различных продуктов, получаемых в порошковой форме. При этом первоначальные жидкостные продукты значительно отличаются своими физико-химическими свойствами, многие из исследованных продуктов относятся к тем называемым «трудносохнущим». Результаты этих исследований представлены в томе 2 и показаны конкретные пути оптимизации тепло-массообменных процессов в распылительных сушилках.

Рис. 2. Параметры исходных фаз и изменение их физико-химических характеристик в распылительной сушилке



В томе 1 представлены результаты теплотехнологических исследований при разработке новых технологий с использованием предложенного в ИТТФ НАН Украины двухстадийного распылительного обезвоживания высоковлажных термолабильных жидких продуктов и создание агрегатов различной производительности для их реализации. В томе 2 изложены результаты исследования процесса распылительной сушки сложных по своим физико-химическим свойствам различных жидкотекучих систем, обезвоживание которых осуществляется в большинстве случаев в одноступенчатых распылительных установках, но для ряда продуктов рассматриваются особенности распылительной сушки предварительно сконцентрированных продуктов либо синтезированных с достаточно высоким содержанием растворенной твердой составляющей. Большая часть теплотехнологических исследований проводилась на лабораторных и опытно-промышленных сушилках цилиндрического типа с верхней подачей теплоносителя (газораспределительные устройства установлены в потолочной зоне) и с использованием центробежного дискового распылителя, установленного также в верхней зоне камеры. Фиксируемые параметры фаз и измеряемые характеристики порошков показаны на рис. 2.

Проведение такого комплекса исследований позволили определить не только рациональные параметры сушки, обеспечивающие наиболее высокие качественные показатели высушенного продукта, а также возможные пути совершенствования общей схемы распылительных сушильных установок и конструктивных решений отдельных узлов и подсистем.

Том 2 подготовлен академиком А.А. Долинским и доктором технических наук К.Д. Малешкой на основании исследований, проведенных в отделе «Тепломассообмен в дисперсных системах» (ТДС). В проведении исследований принимали участие докт. техн. наук Г.К. Иваницкий, канд. техн. наук Ю.И. Воловик, канд. техн. наук В.В. Шморгун, канд. техн. наук Е.А. Переяславцева, канд. техн. наук Т.Я. Турчина, научные сотрудники А.Г. Заритовская, Л.М. Дам-

ПРЕДИСЛОВИЕ

ский. В разработке новых распылительных сушилок, отработке оптимальных теплотехнологических параметров на опытных и опытно-промышленных установках принимали участие заведующие отделами ОКТБ Института Ю.Д. Николаев, А.Т. Малушенко, главные конструкторы проектов А.П. Гартвиг, П.И. Кузьменко, Г.Г. Мосейчук, В.В. Кузьменко, С.Н. Андрияков, Г.П. Приходченко, Н.И. Коротич, главный технолог Э.С. Долинская, главный химик, канд. хим. наук Т.Б. Кигель.

Авторы благодарны всем сотрудникам, принимавшим участие в указанных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах.

Авторы выражают благодарность за помощь в технической подготовке рукописи тома 2 и графического материала инженеру отдела ТДС Л.И. Салдовской, научным сотрудникам Л.П. Гоженко, Н.Б. Сильягиной.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	5
-------------------	---

ЧАСТЬ 1
ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ
ПОРОШКОВЫХ ПРОДУКТОВ ПИЩЕВОГО
И ЛЕЧЕБНО-ПРОФИЛАКТИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

ГЛАВА 1

РАСПЫЛИТЕЛЬНАЯ СУШКА ПРОДУКТОВ
ИЗ ПИЩЕВОГО РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

1.1. На основе яблочного сока	11
1.2. На основе нефракционированного ягодного и фруктово-овощного сырья	22
1.3. Получение порошков томатов	34
1.4. На основе виноградного сока	40
1.5. На основе соков из нетрадиционного растительного сырья и ягодные композиции	45
1.6. Инновационные аспекты технологий получения порошковой продукции из растительного сырья методом распылительной сушки	50

ГЛАВА 2

РАСПЫЛИТЕЛЬНАЯ СУШКА ЭКСТРАКТОВ РАСТИТЕЛЬНОГО ПИЩЕВОГО
СЫРЬЯ. НОВЫЕ АППАРАТУРНЫЕ СХЕМЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

2.1. Экстракты из зерен кофе и кофенапитки	62
2.2. Экстракт из корней цикория и композиционных составов	82
2.3. Из экстракта чайного сырья	92
2.4. Солодовые экстракты из зерновых	100
2.5. Квасное сусло и экстракты кукурузы	111

ГЛАВА 3

РАСПЫЛИТЕЛЬНАЯ СУШКА ВОДНЫХ ЭКСТРАКТОВ
ЛЕКАРСТВЕННОГО РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ.
НОВЫЕ АППАРАТУРНЫЕ СХЕМЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

3.1. Из водного экстракта коры крушины	116
3.2. Из водного экстракта плодов шиповника	122
3.3. Из водного экстракта коры дуба	127
3.4. Из танинсодержащего сырья (галаскорбин)	131

3.5. Из корня валерианы	136
3.6. Из экстрактов лекарственных трав: бессмертника, амаранта и других	138
3.7. Аппаратурно-технологические схемы и усовершенствование распылительных сушилок	142

ГЛАВА 4

**ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЯ РАСПЫЛИТЕЛЬНОЙ
СУШКИ БАКТЕРИАЛЬНЫХ ПРЕПАРАТОВ**

4.1. Пробиотики и пребиотики	151
4.2. Суспензия биопрепарата «ФГ-5»	156
4.3. Суспензия биопрепарата «Бифацил»	160
4.4. Препарат «БПС-44Р»	165
4.5. Суспензия спирулины	169
4.6. Новая аппаратурно-технологическая схема производства сухих бактериальных препаратов и пути усовершенствования распылительных сушилок	173

ГЛАВА 5

**СУШКА РАСПЫЛЕНИЕМ ПРОДУКТОВ ИЗ БЕЛОКСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ.
НОВЫЕ АППАРАТУРНЫЕ СХЕМЫ**

5.1. Продукты переработки яиц	179
5.2. Продукты переработки зерна сои	193
5.3. Продукты из кукурузы и бобового растительного сырья (нут, горох, кормовые бобы)	204
5.4. Протеиновый зеленый концентрат	209
5.5. Белковые гидролизаты	210
5.6. Культуральная биомасса, содержащая β-каротин	212
5.7. Новые аппаратурно-технологические схемы	220

ГЛАВА 6

**ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРОШКОВЫХ
ПРОДУКТОВ ИЗ УГЛЕВОДОСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ**

6.1. Из водных растворов сахара	227
6.2. Из водных дисперсий полисахаридов (крахмал, мальтодекстрин)	232
6.3. Из водных экстрактов пектиновых веществ	236

ГЛАВА 7

**ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРОШКОВЫХ
ПРОДУКТОВ ИЗ РАСТВОРОВ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ**

7.1. Порошковая форма хлористого натрия — NaCl (пищевая соль)	238
7.2. Порошковая форма гидрокарбоната натрия — NaHCO ₃ (пищевая сода)	242
7.3. Порошковая форма минерального состава лечебно-столовых минеральных вод	245
7.4. Апробация двухстадийного обезвоживания, новые аппаратурно-технологические схемы	249

ЧАСТЬ 2
**ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ
В ТЕХНОЛОГИЯХ СУШКИ РАСПЫЛЕНИЕМ ПРОДУКТОВ
ХИМИЧЕСКОГО И БИОХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА**

ГЛАВА 8

**СУШКА РАСПЫЛЕНИЕМ ПРОДУКТОВ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ.
НОВЫЕ АППАРАТУРНЫЕ СХЕМЫ И ОБОРУДОВАНИЕ**

8.1. Водный раствор холинхлорида	255
8.2. Концентрат кормового лизина	276
8.3. Водный раствор кальциевой соли β-аланина	286
8.4. Витаминные и биоккомплексы для животноводства	297
8.5. Новые аппаратурные схемы и оборудование	307

ГЛАВА 9

**ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ
ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРОШКОВОЙ
ФОРМЫ ПРОДУКТОВ ХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА**

9.1. Водные растворы (суспензии) синтетических моющих средств	312
9.2. Водные растворы синтетических смол	326
9.3. Водные дисперсии синтетических латексов	338
9.4. Водные дисперсии поливиниловых соединений	352
9.5. Усовершенствование теплотехнологий и схемных решений распылительных су- шильных установок	356

ГЛАВА 10

**ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ
ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРОШКОВОЙ
ФОРМЫ МАТЕРИАЛОВ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

10.1. Из водных суспензий ферритов	360
10.2. Из водных дисперсий аэросила (белая сажа)	364
10.3. Из водных суспензий специальных изоляционных материалов	368
10.4. Малогабаритные распылительные сушилки и установки специального назначения	370
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	373
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	374

Представлені результати багаторічних експериментальних досліджень процесів тепломасопереносу при випаровуванні та сушінні різних рідинних продуктів у диспергованому стані у високотемпературному потоці повітря. Запропоновано ефективні схеми і нові конструкції розпилювальних апаратів, методи керування структурно-механічними характеристиками порошкових продуктів.

Для наукових та інженерно-технічних працівників, що працюють над проблемами виробництва порошкових продуктів шляхом розпилювального сушіння.

Наукове видання

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ТЕХНІЧНОЇ ТЕПЛОФІЗИКИ

ДОЛІНСЬКИЙ Анатолій Андрійович
МАЛЕЦЬКА Кіра Дмитрівна

РОЗПИЛЮВАЛЬНЕ СУШІННЯ

У ДВОХ ТОМАХ

Том 2

ТЕПЛОТЕХНОЛОГІЇ ТА УСТАТКУВАННЯ
ДЛЯ ОДЕРЖАННЯ ПОРОШКОВИХ
МАТЕРІАЛІВ

Редактор *Г.М. Гавричкова*

Художнє оформлення *Є.О. Ільницького*

Технічний редактор *Т.М. Шендерович*

Комп'ютерна верстка *В.Г. Веденської*

Підписано до друку 23.12.2015.
Формат 70 × 100/16. Папір офсетний. Гарн. Ньютон.
Ум. друк. арк. 31,85. Обл.-вид. арк. 30,87.
Тираж 300 прим. Зам. № 4426.

Видавець і виготовлювач

Видавничий дім «Академперіодика» НАН України
01004, Київ, вул. Терешенківська, 4

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів
видавничої справи серії ДК № 544 від 27.07.2001