



**Бурдо О.Г.** Пищевые наноэнерготехнологии [Текст] : монография / Бурдо Олег Григорьевич. - Херсон : Изд. Гринь Д.С., 2013. - 294 с. : табл., рис. - Библиогр.: с. 269-272. - ISBN 978-617-7123-13-1.

Книга содержит сведения по проблемам нанотехнологий (НТ) и их перспективах в пищевых производствах. Анализируются вопросы энергетики НТ. Показана целесообразность развития принципиально нового направления в пищевых НТ - наноэнерготехнологий, технологий адресной доставки энергии к наномасштабным элементам (клеткам, порам и пр.) пищевого сырья. Рассматриваются перспективы применения этих технологий в основных процессах пищевых производств. Моделируются режимы бародиффузии и турбулентной бародиффузии в условиях действия электромагнитных полей. Приведено описание механизмов нового явления - механодиффузии. Даны основы теории процессов переноса при направленном, избирательном нагреве. Эффективность новых приемов доказывается с помощью математического и экспериментального моделирования процессов экстрагирования, обезвоживания, инактивации и культивирования микроорганизмов. Показана научно-техническая и инновационная привлекательность развития и внедрения наноэнерготехнологий в АПК. Обсуждаются вопросы методологии формирования гипотез и их подтверждений, рассматриваются принципы проектирования оборудования, реализующего приемы наноэнерготехнологий. Анализируется стратегия развития пищевых НТ, специфика формирования проектов и подготовки специалистов в области наноэнерготехнологий.

Книга предназначена для студентов, магистров, аспирантов, докторантов, научных сотрудников, которые занимаются исследованием в области пищевых технологий и НТ. Книга представляет интерес для специалистов - проектировщиков технологического оборудования для предприятий АПК.

*Будущее уже наступило*

*Роберт Юнг*

## **ПРЕДИСЛОВИЕ**

Цель данной книги - ознакомить политическую и научную общественность с новыми возможностями, которые открываются при использовании в пищевых производствах принципов нанотехнологий. Пред-

ставляется, что в книге впервые решается задача энергетического аспекта НТ. Причем, энергетика является не только характеристикой, основным результатом технологии, но и инструментом организации технологии, средством управления кинетикой процессов переноса в наномасштабных элементах пищевых систем. Нанотехнологии - это новая эпоха научно-индустриального развития человечества [1 - 6]. Через полтора — два десятилетия эпоха информационных технологий передаст эстафету периоду нанотехнологий. Темпы развития информационных технологий резко сократятся, а темпы роста нанотехнологий станут стремительно расти. Более того, успехи совершенствования информационных технологий напрямую будут определяться достижениями отраслей наноиндустрии.

Достаточно емко и точно отношение к нанотехнологиям и научной общественности, и властей отражает эпиграф к введению книги Ю.И.Головина [4]: «Размеры - "нано", возможности - "гига"!». Интересно, что за всю историю нанонаук (которая отсчитывается с 1959г. - даты выступления Р.Фейнмана), серьезного оппонирования сторонникам НТ практически не было. Был сорокалетний период равнодушного отношения к вопросам нанотехнологий. Но с 1999...2000г.г бурное развитие НТ получили в США. Была принята федеральная программа «Национальная нанотехнологическая инициатива», началось щедрое бюджетное и коммерческое финансирование нанонаук.

Характерно, что на первых этапах становления нанотехнологий и в США и в РФ финансировались практически все заявки на исследования в сфере НТ. Считалось, что на уровне понимания НТ в тот период времени сложно было провести грамотную экспертизу проектов. Чтоб исключить возможные потери оригинальных предложений, финансировались на первый взгляд и сомнительные проекты, риски понести материальные потери считались меньшими, чем риски потерять революционные предложения. Уже к 2009г. 55 развитых и развивающихся стран мира имели в качестве приоритетных государственные программы развития НТ [4]. К сожалению, Украина не относится к числу таких стран. Вместе с тем, ученые-энтузиасты в Украине добились некоторых успехов в сфере НТ.

В 2004г. автор на заседании круглого стола Минского Международного форума по тепломассообмену впервые выступил с докладом о новом научном направлении в области пищевых НТ. Суть доклада была изложена в публикации [7]. Выдвинута парадигма об эффективном использовании специфики объектов пищевых технологий.

Одним из серьезных достижений классических НТ является организация адресной доставки отдельных компонентов в нужную точку пространства с помощью специальных наноконтейнеров [4]. Автор этой книги сформулировал гипотезу о возможности аналогичной доставки энергии к отдельным элементам пищевого сырья. Такие подходы предлагается классифицировать как наноэнерготехнологии, которые входят в более широкое направление - СЭД - технологии. Причем, технологические аппараты, реализующие такие технологии, не требуют сложных манипуляторов, необходимо обеспе-

чить соответствующие градиенты физических и электрофизических полей для самоорганизации пищевой системы, инициирования процессов переноса в нужном направлении.

СЭД - технологии это технологии направленного, селективного действия на элементы пищевого сырья и биологические объекты. СЭД-нанотехнологии отличаются тем, что направление энергетического действия - наномасштабные объекты. И в первом, и во втором случаях задачей селективного энергетического воздействия является управление полями в реакторе, сложение направлений силовых воздействий слабых полей, организация потока из микро- и нанокapиллярной структуры, формирование состава этих потоков, направление силовых воздействий на оболочки клеточной структуры микробиологических объектов и т.п. Для пищевых систем снижение количества потребленной энергии не только повысит энергетический КПД процесса и снизит себестоимость продукта, но и уменьшит уровень термического воздействия на продукт, что однозначно приведет к сохранению биологически активных компонентов пищевого сырья. Пищевые продукты и кулинарные изделия, полученные по НТ, станут отвечать требованиям функционального питания.

Для количественной оценки влияния СЭД-технологий автором предложено новое число подобия - число энергетического действия **Bu**. Физический смысл этого числа - соотношение энергий СЭД-технологии и традиционных подходов. По сути, число **Bu** является мерой энергетической эффективности предлагаемой технологии. Это число удачно обобщило базы экспериментальных данных в процессах обезвоживания, экстрагирования, инактивации микроорганизмов.

Автор искренне благодарит коллег за квалифицированный и добросовестный труд на экспериментальных стендах. Благодаря усилиям аспирантов Сталимбовской А.С., Капетулы С.М., Ярового И.И., Ружицкой Н.В., Борща А.А., Макиевской Т.Л., инж. Терземан Е.Ф. основные научные положения автора получили практические доказательства. Впервые нанотехнологические принципы были применены в диссертационных работах, выполненных под руководством автора, к.т.н. Терзиевым В.Г. и к.т.н. Ряшко Г.М. в направлении экстрагирования и к.т.н. Рыбиной О.Б. и Семкова С.В. в процессах инактивации микроорганизмов. В создании лабораторной базы и опытных образцов нанореакторов активное участие принимали к.т.н. Светличный П.И. и к.т.н. Мордынский В.П., инж. Малашевич С.А., ас. Шведов В.В.

Выражаю признательность академику НАНУ Долинскому Анатолию Андреевичу, который показал автору дорогу к нанотехнологиям, и рецензентам книги Снежкину Юрию Федоровичу и Капрельянцу Леониду Викторовичу за поддержку и участие.

Предлагаемая книга - плод многолетних исследований и опыта. Автор выражает надежду, что эта книга окажется полезной научным сотрудникам, производственникам, проектантам, аспирантам, магистрам и студентам. Замечания и пожелания читателей будут приняты автором с благодарностью.

## ВВЕДЕНИЕ

Дефицит энергии в мире стремительно растет. При этом, темпы восприятия людьми новой философии природопользования, эффективного расхода энергетических ресурсов существенно отстают. Особенно заметно это в Украине. В эпоху СССР страна была пресыщена дешевыми энергоресурсами. Это не воспитывало бережного отношения к энергии, не прививало уважения к джоулю, ватту. Новые экономические принципы, капитализация промышленного производства и коммунальной сферы ярко высветили серьезные противоречия между чрезвычайно низкой культурой использования энергии и быстро растущими ценами на энергоносители. Украина располагает мощной научной базой, способной решать сложнейшие теплофизические проблемы, однако на производствах практически не способны свести элементарные тепловые балансы, не знакомы с методами энергетического менеджмента. Украинцы еще плохо понимают, что энергия - это товар, эффективное использование которого при производстве товаров и услуг даст прибыль, а расточительное сделает банкротом. Системному подходу к исследованию энерготехнологических проблем не обучают при подготовке молодых специалистов. При этом отсутствует опыт поколений в решении задач эффективного использования энергии. Слияние энергобизнеса и власти, политика государства на энергосбережение, а не на энергоэффективность, не стимулировали внедрение прогрессивных энерготехнологий [8]. Экономика стала рушиться в результате роста цен на энергоносители и эксплуатации старых технологий, принципиально рассчитанных на потребление дешевых энергоресурсов. В результате - острейший экономический и энергетический кризис. Все эти вопросы анализируются в первом разделе книги. Показан парадоксальный характер этих проблем.

Методы энергетического менеджмента определяют, как найти минимально необходимую для реализации известного технологического процесса энергию. Предел этих подходов - достичь показателей передовых фирм.

Принципы нанотехнологий способны дать революционное развитие, найти уникальные возможности в организации технологических процессов. Особые перспективы имеют пищевые нанотехнологии, где целью технологических воздействий являются наномасштабные элементы пищевого сырья (микроорганизмы, полисахариды, белки, оболочки клеток, межклеточные каналы и поры). Так, специфика пищевых НТ в том, что природа уже создала наномасштабные объекты, требуется найти подходы эффективного управления процессами переноса в этих элементах, сфокусировать усилия на конкретные поверхности, а не на объем продукта в целом. Успех от использования такого подхода зависит от степени понимания специфичных процессов взаимодействия элементов наномасштабного размера пищевого сырья и параметрами физического и электрофизического поля. Только четкое согласование механических, электрофизических и теплофизических характеристик элементов сырья и возможностями использования различий в этих характеристиках с потоком энергии создает условия для наноэнерготехнологий. Ос-

новы классификации (рис.В.1) определяют способы воздействий на наномасштабные объекты.



**Рис. В.1- Классификация наноэнерготехнологий.**

Организация адресного направления энергетического потока к отдельным элементам пищевого сырья позволяет существенно снизить общий расход энергии в технологическом процессе и реализовать технологии неэнергоемких пищевых продуктов повышенной биологической ценности. Задачей наноэнерготехнологии может быть создание локальных усилий для механического разрушения оболочки клетки, поры, капилляра. Реализация таких принципов представляет интерес в технологиях соков, виноматериалов, микроорганизмов и т.п. Электрические воздействия (рис.В.1) уже сейчас успешно применяются в растениеводстве при предпосевной обработке семян [9, 10, 11, 12].

Электромагнитные СЭД - технологий, комбинированные механо-диффузионные воздействия подробно представлены в книге. Тепло-гидродинамические воздействия осуществляются при использовании модифицированных теплоносителей и холодильных агентов, нанофлюидов.

Из классификации вытекает, что возможны и новые направления адресной доставки тепловой энергии к наноразмерным объектам, например с помощью наночастиц и нанотрубок.

В книге рассмотрены примеры применения СЭД - технологий в производстве кофе, коньяков при сушке растительного сырья, экстрагировании масел, инактивации и культивировании микроорганизмов. Отдельные аспекты этих направлений исследованы в монографиях [13 - 16].

Вопросы организации процессов нано- микро- и макропереноса при пиролизе древесины в производстве коптильного препарата, низкотемпературного разделения растворов, их фракционирования и деминерализации воды не вошли в монографию, но представлены в [17, 18, 19].

При производстве соков, виноматериалов, коньяков, экстрактов и масел из растительного сырья и т.п. целью технологии является содержимое клеток и межклеточного пространства растительного сырья. Все это объекты наномасштабного размера. Важной задачей считается инактивация и культивирование микроорганизмов, управление потоками целевых компонентов из пищевого сырья.

## СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3
ВВЕДЕНИЕ.....	6
СПИСОК ОСНОВНЫХ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	9
Глава 1	
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ И ПАРАДОКСЫ.....	11
1.1. Энергетические парадоксы глобального уровня.....	11
1.1.1. Ресурсы и комфорт (парадокс 1).....	11
1.1.2. Энергия -и уровень жизни человека (парадокс 2).....	13
1.1.3. Распределение энергоносителей (парадокс 3).....	16
1.2. Энергетические парадоксы экономики Украины.....	19
1.2.1. Энергетическая политика Украины (парадокс 4).....	19
1.2.2. Энергетическая стратегия (парадокс 5).....	25
1.2.3. Научная база и энергетический менеджмент (парадокс 6).....	28
1.2.4. Стоимость тепловой энергии и эффективность отопительных систем (парадокс 7).....	29
1.2.5. Инвестиции в энергетические проекты и системный подход (парадокс 8).....	30
1.2.6. Рыночная экономика и источники энергии (парадокс 9).....	31
1.2.7. Энергобизнес и власть (парадокс 10).....	33
1.2.8. Энергосбережение и газовый договор (парадокс 11).....	34
1.2.9. Энергетические парадоксы пищевых и перерабатывающих производств (парадокс 12).....	36
1.4. Обоснование приоритетов.....	37
Глава 2	
РАЗВИТИЕ НАНОТЕХНОЛОГИЙ.....	39
2.1. Историческая справка.....	39
2.2. Развитие нанотехнологий в США.....	41
2.3. Развитие нанотехнологий в Европе и Азии.....	46
2.4. Развитие нанотехнологий в России.....	48
2.5. Достижения нанотехнологий.....	49
2.6. Классификация нанотехнологий.....	50
2.7. Мировой опыт образования в области нанотехнологий.....	52
2.8. Прогнозирование развития нанотехнологий.....	54
Глава 3	
СПЕЦИФИКА ПИЩЕВЫХ НАНОТЕХНОЛОГИЙ.....	60
3.1. Определение «нанотехнологии».....	60
3.2. Эволюционные и революционные нанотехнологии.....	64
3.3. Объекты нанотехнологий.....	66
3.4. Достижения в области пищевых нанотехнологий.....	67

3.5. Парадигма нового научного направления в области пищевых нанотехнологий.....	71
3.6. СЭД - технологии - новое направление в области ПНТ.....	75

#### Глава 4

ОСНОВЫ ТЕОРИИ ПРОЦЕССОВ НАНО- МИКРО- И МАКРОПЕРЕНОСА В УСЛОВИЯХ СЭД-ТЕХНОЛОГИЙ.....	78
4.1. Исходные предпосылки.....	78
4.2. Задачи моделирования нанопроцессов.....	79
4.3. Термодинамическая модель клеточной структуры.....	81
4.4. Энергомеханическая модель клеточной структуры.....	84
4.5. Модель переноса на основе понятия «концентрационного заряда».....	88
4.6. Моделирование комбинированных процессов нано - и макрокинетики.....	90
4.6.1. Механизм бародиффузии.....	90
4.6.2. Математическая модель комбинированных бародиффузионных процессов.....	92
4.6.3. Перспективы аналитического решения задачи массопереноса при экстрагировании в микроволновом поле.....	94
4.6.3.1. Модель массопереноса от пластины к потоку жидкости.....	94
4.6.3.2. Модель диффузии при движении потока в канале.....	96
4.6.3.3. Модель диффузии из точечного источника в поток.....	97
4.6.3.4. Применение метода анализа размерностей.....	98
4.7. Число энергетического действия.....	102
4.8. Режимы турбулентной бародиффузии.....	103
4.9. Механодиффузионный эффект — новое явление в массопереносе.....	108
4.9.1. Понятие «механодиффузионный эффект».....	108
4.9.2. Механизм процесса переноса из межклеточной структуры.....	109
4.9.3. Механизм процесса массопереноса из клетки.....	114
4.9.4. Комбинированные процессы массопереноса из растительного сырья.....	115
4.10. Кριοэлектрические эффекты.....	116
4.11. Моделирование на основе волновых чисел подобия.....	118

#### Глава 5

НАНОЭНЕРГОТЕХНОЛОГИИ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ.....	122
5.1. Энергетика сушильных установок.....	122
5.2. Развитие теории сушки.....	124
5.3. Комбинированный нано- и макроперенос в процессе обезвоживания пищевого сырья.....	130

5.4. Движущие силы и механизмы СЭД-технологий обезвоживания.....	132
5.5. Экспериментальное подтверждение гипотезы бародиффузии при обезвоживании.....	133
5.6. Особенности конструирования установок СЭД- технологий обезвоживания.....	137
5.7.1. Физическая схема сушки с ИЭМП.....	138
5.7.2. Математическая модель сушки при электромагнитном подводе энергии.....	139
5.8. Разработка установки для обезвоживания растительного сырья на основе СЭД — технологий.....	146
5.8.1. Схема экспериментального стенда.....	146
5.8.2. Экспериментальное моделирование кинетики обезвоживания.....	147
5.8.3. Принципиальная схема многофункциональной установки для обработки сырья по СЭД — технологиям.....	150
5.8.4. Исследование узлов загрузки и выгрузки продукта.....	153
5.8.5. Технические характеристики многофункциональной установки для обработки сырья по СЭД — технологиям.....	157
5.9. СЭД - технологии выпаривания.....	158

## Глава 6

НАНОЭНЕРГОТЕХНОЛОГИИ ЭКСТРАГИРОВАНИЯ.....	161
6.1. Проблемы экстрагирования в пищевых технологиях.....	161
6.2. Нанотехнологии экстрагирования при производстве коньячных спиртов.....	163
6.2.1. Статика процесса в микроволновом поле.....	163
6.2.2. Кинетика экстрагирования в микроволновом поле.....	166
6.2.3. Применение СЭД - технологий при прогнозировании качества коньячных спиртов.....	169
6.2.4. Нанотехнология выделения экстрактивных веществ из древесины при производстве крепких напитков.....	171
6.2.5. Получение концентрированного экстракта из древесины дуба.....	172
6.2.6. Аппарат для микроволновой экстракции из древесины при производстве крепких напитков.....	173
6.2.7. Производственные испытания комбинированных микроволновых процессов экстрагирования.....	175
6.2.8. Испытания проточных микроволновых экстракторов.....	178
6.2.9. Оценка качества промышленных образцов.....	179
6.2.10. Эффективность СЭД - технологий в коньячном производстве.....	180
6.3. Нанотехнологии экстрагирования при производстве растворимого кофе.....	181
6.4. Нанотехнологии экстрагирования при производстве	



растительных масел.....	191
6.4.1. Экстрагирование масла кофе.....	191
6.4.2. Экстрагирование масла амаранта.....	192

## Глава 7

НАНОЭНЕРГОТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ МИКРООРГАНИЗМОВ.....	198
7.1. Техника инактивации микроорганизмов.....	198
7.2. Научно-техническая гипотеза.....	202
7.3. Механизмы низкотемпературной микробиологической стабилизации продуктов в микроволновом поле.....	205
7.4. Температурные поля при наноскопической микроволновой обработке продуктов.....	207
7.5. Модель процесса селективного энергетического действия на микроорганизм.....	208
7.6. Методология экспериментальных исследований процессов наноскопической инактивации микроорганизмов.....	211
7.6.1. Модель инактивации в обобщенных переменных.....	211
7.6.2. Методика определения летальности микроорганизмов.....	215
7.7. Экспериментальные исследования процессов наноскопической инактивации микроорганизмов в молочных продуктах (опыты в слое).....	216
7.8. Исследование процесса инактивации микроорганизмов при обработке продукта в потоке.....	220
7.8.1. Режим обработки в трубопроводе.....	220
7.8.2. Режим непрерывной обработки в змеевике.....	222
7.9. Обобщение результатов экспериментов с молочной сывороткой.....	225
7.9.1. Модель дискретного режима СЭД- обработки.....	225
7.9.2. Модель поточного режима СЭД- обработки.....	227
7.10. Экспериментальные исследования процессов наноскопической инактивации микроорганизмов в виноматериалах.....	229
7.10.1. Общая характеристика экспериментального моделирования.....	229
7.10.2. Влияние конструктивных и режимных факторов на кинетику микробиологических процессов.....	230
7.10.3. Влияние мощности электромагнитного поля.....	234
7.10.4. Кинетика микробиологических процессов в модуле.....	235
7.10.5. Обобщение результатов экспериментов.....	236
7.11. Испытания микроволнового аппарата для микробиологической стабилизации вина.....	239
7.12. Экспериментальные исследования процессов активации микроорганизмов.....	242

## Глава 8

СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ ПИЩЕВЫХ НАНОТЕХНОЛОГИИ.....	240
8.1. Прогресс в области нанотехнологий.....	249
8.2. Основные принципы развития пищевых нанотехнологий.....	250
8.3. Роль научно-образовательных центров в развитии пищевых нанотехнологий.....	253
8.4. Доказательство принятых научных гипотез.....	257
8.5. Результаты производственных испытаний.....	261
8.6. Формирование фундаментальных нанотехнологических исследований в АПК.....	263
8.7. Формирование перспективных исследований в области пищевых нанотехнологий.....	264
8.8. Флагманские проекты нанотехнологий в АПК.....	265
8.9. Энергетический аспект пищевых нанотехнологий.....	266
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	269
Литература.....	273