

ПРИНЦИПЫ АДРЕСНОГО ПОДВОДА ЭНЕРГИИ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ПИЩЕВОГО СЫРЬЯ

Введение. Одним из серьезных достижений классических НТ является организация адресной доставки отдельных компонентов в нужную точку пространства с помощью специальных наноконтейнеров. В [1] сформулирована гипотеза 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 обеспечить 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 [1]. СЭД-нанотехнологии отличаются тем, что направление энергетического действия – наномасштабные объекты, микро- и наномасштабные структуры. И в первом, и во втором случаях задачей селективного энергетического воздействия является управление полями, сложение направлений силовых воздействий слабых полей, организация потока из микро- и нанокапиллярной 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. Это приведет к сохранению биологически активных компонентов пищевого сырья. Пищевые продукты и кулинарные изделия, полученные по НТ, станут отвечать требованиям функционального питания [2].

Научные направления развития пищевых нанотехнологий. Поскольку пищевые системы это сложнейшие биологические комплексы, то нанотехнологический подход должен основываться на междисциплинарной основе, комплексном анализе химических, физических и биотехнологических явлений. Будущее пищевых технологий – это глубокое согласование фундаментальных основ физики, химии и биотехнологии. А такой подход отвечает определению НТ. Считается, что нанотехнологии – это совокупность приемов и методов, применяемых при изучении, проектировании, производстве и использовании наноструктур, устройств и систем, включающих целенаправленный контроль и модификацию формы, размера, взаимодействия и интеграции составляющих их наномасштабных элементов (до 100 нм), для получения объектов с новыми химическими, физическими, биологическими свойствами [3]. При этом развитие пищевых НТ должно проводиться с глубокой оценкой рисков и потенциальных опасностей для общества.

Определено три направления нанотехнологий в пищевых производствах [3]. Первое направление (упаковка, мониторинг, маркировка) достаточно часто обсуждается в печати. По второму (ингредиенты продуктов питания или добавки к ним) и третьему (инженерия продуктов питания, производство молекулярной пищи) направлениям сведения ограничиваются, в основном, процессами измельчения сырья и продукта до наноразмерных частиц. Вместе с тем, именно пищевые нанотехнологии имеют серьезную специфику, которая может предопределить их бурное развитие.

Специфика пищевых НТ определяется как задачами процессов переработки пищевого сырья, так и особенностями самого сырья. Пищевые НТ могут развиваться по двум направлениям. Первое – это манипулирование с наномасштабными элементами для «сборки» искусственных продуктов (молока, мяса и пр.). Такие технологии основаны на механизме «снизу–вверх». Это достаточно сложное и спорное направление. К первому направлению можно отнести и модификации отдельных комплексов и придание им новых свойств. Второе – это управление процессами переноса на уровне наномасштабных объектов пищевого сырья, совершенствование традиционных процессов производства, продуктов и их применений с помощью полного использования квантовых свойств и поверхностных явлений на наномасштабе. Это новое и перспективное научное направление.

Парадигма пищевых наноэнерготехнологий (ПНЭТ). Предметом исследований в ПНЭТ являются уже созданные природой наноразмерные структуры. Это – микроорганизмы (размер от 7 нм), нанопоры

и нанокapилляры растительного сырья (от 5 нм), оболочки клеток (7...30 нм), белок (10...100 нм), полисахариды (1...10 нм) и молекулы воды ($\approx 0,15$ нм). Именно на эти объекты нацелены основные этапы пищевых технологий. Поэтому процессы биотехнологий, стерилизации, экстрагирования, сушки, сокоотдачи и пр. можно организовывать на наномасштабном уровне. Принципы, которые могут быть реализованы при переводе пищевых производств на нанотехнологии, позволят существенно снизить энергоемкость, уровень термического воздействия на сырье и продукт, получить принципиально новые продукты. Задача исследователя ПНТ заключается не в синтезе новых наномасштабных структур, а организация условий, при которых необходимые процессы переноса на границе раздела фаз пищевой системы и наноразмерного объекта будут реализовываться с предельной эффективностью. Схема исследований в таких условиях следующая: «выдвижение ряда гипотез – разработка методов их проверки – постановка серии экспериментов – подтверждение правильной гипотезы». Вместе с тем, основы аналитической модели переноса в условиях микроволнового поля сформулированы [1, 2].

Тепломеханические модели клеточной структуры. Задачей технологий при переработке сырья растительного происхождения является активирование сырья – разрушение структуры клеток с целью извлечения и дальнейшей переработки ценных компонентов. Основными процессами технологии являются: деструкция, экстракция и сушка. Реакция оболочки клетки рассмотрена при последовательном подводе к ней энергии, выдержке и резкого сброса давления на третьем этапе. В основе анализа непрерывно – гетерогенная модель системы. На первом этапе изменение объема клетки V_k , температуры T_k , давления P_k и концентрации в ней растворимых компонентов C_k , представляются комбинированным воздействием эффектов массопереноса, инфильтрации и теплопередачи. Тепловой поток, передаваемый клетке, расходуется на нагрев "сухой" части, нагрев и частичное испарение жидкости. На третьем этапе происходит резкий сброс давления, что приводит к интенсивному выходу содержимого через поры клеточной оболочки, следствием чего является интенсификация процесса последующего экстрагирования. Степень разрыва клеточных оболочек во всей реакционной массе определяет степень активации. При определенных условиях возможно увеличение диаметра пор в клеточных стенках, а также частичный либо полный разрыв оболочки. В этом случае задачу можно представить в виде известной модели напряженного состояния сферической оболочки со сквозными отверстиями [2].

Механизм бародиффузионных процессов переноса. Содержимое клеток является главной целью технологии. Однако модель должна отражать кинетику переноса и на границе клетки и среды, внутри поры, капилляра. Понимание таких закономерностей является основанием для интенсификация процессов, реализации принципиально новых технологий пищевых производств. Особенно интересный результат можно ожидать при резком изменении параметров в объеме, при импульсном вводе энергии, при комбинированном протекании процессов. Опыт, полученный в ОНАПТ, показывает, что при волновом подводе энергии инициируются бародиффузионные потоки из наномасштабных каналов сырья, а интенсивность процессов переноса возрастает на 2...3 порядка [3,4]. Такие комбинированные подходы можно характеризовать как волновые бародиффузионные технологии (ВБДТ).

Исходя из термодинамической схемы нанопроцесса и тепломеханической модели клеточной структуры механизм комбинированного нано- и макропереноса влаги (и других компонентов) из волокнистой структуры в поток подробно рассмотрен в работах [3,4].

Механодиффузионный эффект массопереноса. В результате исследований в ОНАПТ накоплены факты, объяснять которые можно только с позиций нанонаук (изменения и трансформации структуры вкусовых и ароматических комплексов продукта, стерилизация микроорганизмов при пониженных температурах и т.п.). Причина этих фактов общая – действие электромагнитного поля [2–5, 12–15]. Ряд выявленных несоответствий с принятыми положениями заключаются в том, что при экстрагировании в системе «древесина – водно-спиртовые растворы» в экстракт перешло практически в 2 раза больше древесины, чем в справочной литературе, для системы «зерна кофе – вода» – на 10 % больше. При экстрагировании зерен амаранта спиртом в полученном масле амаранта обнаружили до 4 % сквалена, хотя известно, что спирт практически не растворяет сквален. Во всех образцах отмечено повышенное содержание ароматических компонентов. Вывод можно сделать однозначный: в раствор переходит большее количество компонентов, чем может быть растворено экстрагентом.

Объясняются эти факты тем, что в условиях электромагнитного поля можно организовать специфичный поток, который содержит хорошо растворимые компоненты твердой фазы (диффузионный

поток), и практически не растворимые компоненты твердой фазы, связи которой с ней слабые. Это могут быть силы ван-дер-ваальсовы, слабые химические, механические и пр. Механизм процесса поясняется схемой (рис. 1) и электродиффузионной моделью (рис. 2).

Представляется, что в общем, мы имеем дело с новым явлением, новым эффектом, название которому можно дать «механодиффузионный эффект при безградиентном волновом подводе энергии к полярным молекулам электромагнитным полем». В результате генерации паровых пузырьков (2) в глубине микрокапилляра (1) повышается давление, возникает гидравлический поток, который увлекает с собой экстракт из пограничного слоя (5), нерастворимые (3) и слаборастворимые (4) компоненты (рис. 1).

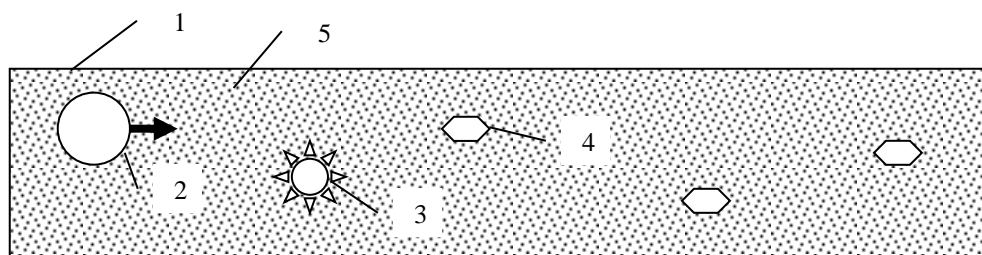


Рисунок 1 – Физическая схема взаимодействия компонентов и потока

1 – стенка капилляра, 2 – паровой пузырь, 3 – нерастворимые в жидкости компоненты, 4 – слаборастворимые компоненты, 5 – диффузионный пограничный слой

Таким образом, из капилляра (1) выходит диффузионный поток экстракта, который дополняется потоком целого комплекса компонентов не характерных вообще для диффузионных процессов, либо для экстрагирования конкретным экстрагентом.

Структура потока из капилляра (1) поясняется эквивалентной электрической схемой (рис. 2), где $Y_{(t)}$ и Y_{Γ} – соответственно, текущее в твердой фазе и граничные значения концентрации растворимых компонентов; X_{Σ} – суммарное значение всех перенесенных в экстракт компонентов; C_{Σ} и C_{Γ} – соответственно, концентрации в твердой фазе слаборастворимых и нерастворимых в экстрагенте компонентов; X_{Σ} и X_{Γ} – то же, но в экстракте.

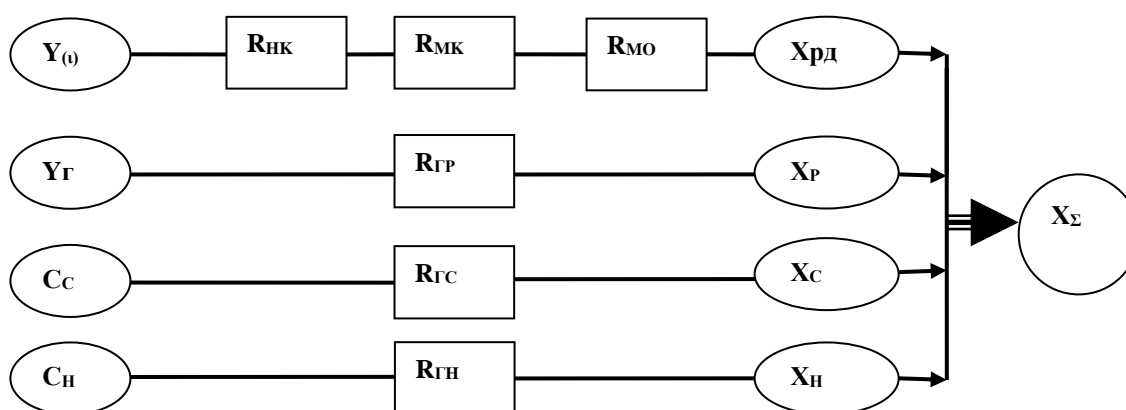


Рисунок 2 – Эквивалентная электродиффузионная схема сопряженных процессов переноса гидро- диффузионными потоками в системе «твердая фаза – жидкость – электромагнитное поле»

Последовательная цепочка диффузионных сопротивлений состоит из суммы: $\Sigma R = R_{НК} + R_{МК} + R_{МО}$. Процесс конвективной массоотдачи от поверхности продукта в поток имеет наименьшее диффузионное сопротивление ($R_{МО}$). Влага перемещается в микрокапиллярах к поверхности продукта, преодолевая диффузионное сопротивление ($R_{МК}$). Это конвективная диффузия в стесненных условиях (поток j_1).

Диффузионное сопротивление нанокapилляров обозначено (R_{HK}). Это наибольшее диффузионное сопротивление, поскольку, стесненность диффузионных процессов в нанокapиллярах максимальна.

При воздействии импульсного электромагнитного поля инициируется поток жидкости из капилляров (j_2). Ранее [3, 4] этот процесс представлялся как бародиффузия. Однако это не классическая бародиффузия определенная А.В. Лыковым [6, 7]. Процесс возникает из-за растущего в капиллярах давления P_K (рис. 1). Отдельные капилляры, где достигнуты условия для генерации паровой фазы, начинают периодически выбрасывать в поток жидкость из капилляров. Жидкость из нанокapилляров выбрасывается в микрокапилляры и далее в среду преодолевая сопротивление (R_{GP}). По сути, это гидравлическое сопротивление. Частота таких выбросов и число функционирующих капилляров растет с ростом N - мощности излучения.

Параллельно с потоками (j_1) и (j_2) происходит перемещение слаборастворимых (поток j_3) и нерастворимых (поток j_4) компонентов. Этот поток характеризуется механическими параметрами движущей силы, разностью давлений в капилляре и среды. Последняя может возникать в результате избирательного поглощения энергии электромагнитного источника полярными молекулами, перехода в паровую фазу наиболее летучего компонента, повышения давления в глубине капилляра. В результате появляется мощная движущая сила, гидравлический потенциал для потока из капилляра. Это сугубо механический поток, мощность которого определяется как самой разностью давлений, так и динамикой изменения давлений. Такой поток можно инициировать, им можно управлять параметрами электромагнитного поля.

Механизмы процессов переноса и соответствующие модели сведены в табл. 1.

Таблица 1 – Механизмы переноса компонентов из капиллярной межклеточной структуры

Характеристика потока	Движущая сила	Сопротивление потоку	Масса перемещенного компонента	Модель процесса
Конвективный диффузионный массоперенос	Разность концентраций $Y - X_{PD}$	Диффузионное сопротивление, R_D	M_{P1} (поток j_1)	$\frac{dM_{P1}}{Fd\tau} = \frac{Y - X_{PD}}{R_D}$
Механический перенос растворимых веществ из пограничного слоя	Разность давлений $P_K - P_0$	Гидравлическое сопротивление, R_{GP}	M_{P2} (поток j_1)	$\frac{dM_{P2}}{\rho S d\tau} = \frac{P_K - P_0}{R_{GP}}$
Механический перенос слаборастворимых веществ из капилляров	Разность давлений $P_K - P_0$	Сопротивление, R_{GC}	M_C (поток j_3)	$\frac{dM_C}{\rho S d\tau} = \frac{P_K - P_0}{R_{GC}}$
Механический перенос нерастворимых веществ из капилляров	Разность давлений $P_K - P_0$	Сопротивление, R_{GH}	M_H (поток j_4)	$\frac{dM_H}{\rho S d\tau} = \frac{P_K - P_0}{R_{GH}}$

Суммарный поток всех компонентов в интегральной форме определится:

$$\Sigma M_I = (M_{P1} + M_{P2} + M_C + M_H) F^{-1} = \frac{Y - X_{PD}}{R_D} + \rho \left[\frac{P_K - P_0}{R_{GP}} + \frac{P_K - P_0}{R_{GC}} + \frac{P_K - P_0}{R_{GH}} \right]. \quad (1)$$

Согласование текущей концентрации растворимых веществ в твердой фазе (Y) и в экстракте (X_{PD}) проводится по углу наклона рабочей линии процесса (в технологии связан с гидромодулем).

По схеме (рис.1) процесс переноса осложнен вихревой диффузией из каналов твердой фазы, импульсным характером поля (ИЭМ), которое определяет число и производительность центров точечного массопереноса [5]. Задачи такого плана решаются на основе экспериментального моделирования. Методом “анализа размерностей” определена структура уравнения в безразмерных переменных. Предложено число энергетического воздействия: $Bu = N (r w d^2 \rho)^{-1}$ для учета влияния действия ИЭМ. Физический смысл числа Bu заключается в том, что устанавливается соотношение между энергией излучения и той энергией, которая необходима для преобразования в пар всей воды, которая находится в продукте. В соотношении (r – теплота фазового перехода, а ρ – плотность воды).

Чем ближе число Bu к 1, тем больше образовывается паровой фазы, тем больше градиент давлений, тем интенсивнее выбросы влажного насыщенного пара из глубины капилляров. Растет турбулизация пограничного слоя, но увеличиваются нагрев твердой фазы и расход энергии. Число Bu характеризует микро- и нанокинетику массопереноса бародиффузией [5, 6]. Интенсивность бародиффузии определяется давлением, возрастающим в капилляре. Частота выбросов и количество функционирующих капилляров увеличивается пропорционально электрофизическому воздействию.

Именно этот эффект объяснил многие парадоксы, которые авторы наблюдали при экспериментальном моделировании.

Комбинированные процессы нано – и макрокинетики при экстрагировании. Эти процессы в современных пищевых технологиях производства сахара, масел, растворимого кофе, коньячных спиртов является ключевым, определяющими как качество, так и экономические показатели предприятия. Однако, как правило, это достаточно трудоемкий и низкоэффективный процесс. Например, в коньячных технологиях процесс экстрагирования продолжается годами. Использование ПНТ позволит существенно интенсифицировать процесс экстрагирования за счет эффекта комбинированного электрофизического воздействия (ИЭМП). Установлена зависимость в процессах экстрагирования числа Шервуда (Sh) от чисел Рейнольдса (Re), Шмидта (Sc) и числа (Bu) при $Re < 2300$:

$$Sh = 36,58 (Re)^{0,33} (Sc)^{0,33} (Bu)^{1,54}. \quad (2)$$

Анализ результатов опытов показал, что удельные затраты энергии связаны с диапазоном изменения температур, особенно в режиме продувки (фильтрационной сушки) продукта. И, действительно, такая корреляция обнаружена, что позволяет сделать вывод, что достигнутый в опытах уровень энергетических затрат ниже удельной теплоты фазового перехода для воды. Установлены режимы, в которых на

1 кг удаленной влаги затрачивалось только 1,9 МДж энергии. Так подтверждена гипотеза о возможности в условиях ИЭМ обезвоживания без обязательного полного парообразования [6].

Достигнутый прикладной результат. На сегодняшнее время имеются факты, объяснять которые можно только с позиций нанонаук [4–7]. К таким фактам, полученным на кафедре процессов и аппаратов ОНАПТ, относятся: изменения и трансформации структуры вкусовых и ароматических комплексов продукта, стерилизация микроорганизмов при пониженных температурах и т.п. Причина этих фактов общая – действие электромагнитного поля. Информация о результатах исследований и перспективы их развития приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Направления нанотехнологических проектов в АПК

№	проект	параметр	Традиционный подход	Результат ВБДТ	
				Достигнутый	Ожидаемый
1	Низкотемпературный наностерилизатор	Энергоемкость, МДж/кг продукта	0,2	0,02	$2 \cdot 10^{-5}$
		Температура, °C	80...100	30	10...20
		КПД, %	0,004	0,04	20...40
2	экстрактор	Степень интенсификации массопереноса, раз	1	100	10000
3	зерносушилка	Энергоемкость, МДж/кг влаги	4...6	1,9	0,1...0,2

Исследовались перспективность ВБДТ для производств растворимого кофе и коньяков. Современные технологии экстрагирования из зерен кофе характеризуются противоречиями. С одной стороны, стоит задача максимального извлечения ценных компонентов из зерен. Эффективным приемом решения такой задачи является повышение температуры процесса, т.е. повышение давления в аппарате и ступенчатым экстрагированием. С другой стороны, из-за высоких давлений в аппарате затруднено применение проточных схем и, даже, мешалок. В результате – современная технология экстрагирования из зерен кофе характеризуется громоздкостью, трудоемкостью, энергоемкостью [5]. Резервы у традиционных подходов при экстрагировании из зерен кофе практически исчерпаны.

Создан образец экстрактора на основе ВБДТ. Комбинированное электрофизическое воздействие в процессе экстрагирования позволяет интенсифицировать процесс массопереноса в несколько раз. Реализует интенсивные и мягкие режимы экстрагирования [5]. Степень извлечения компонентов из зерен повышается на 15 %. Обеспечивается атмосферное давление в аппарате, температура процесса не выше 100 °С. Энергетические затраты снижаются на 50 %. Опытные образцы растворимого жидкого 60 % концентрата кофе «ЖИКО» имеют высокие вкусовые характеристики [5].

В условиях коньячного производства прошли испытания экстрактора с электромагнитным интенсификатором. В различных режимах эксплуатации интенсивность массопереноса возрастала в десятки и тысячи раз. Результаты испытаний подтвердили предложенный механизм комбинированного процесса экстрагирования и перспективность технологии. Дегустаторы отметили положительные структурные изменения в продукте, в первую очередь ароматических компонентов. Появляется возможность на наномасштабном уровне строить букет коньячного спирта.

Представляется, что механизмы бародиффузии способны существенно интенсифицировать процессы активации сырья и инактивации микроорганизмов [7]. Использование нанотехнологических подходов позволило получить чистую воду с содержанием солей менее 4мг/кг [8], экологически чистый концентрат жидкого дыма [9].

Возможны и другие принципиальные решения при реализации ВБДТ в условиях микроволнового либо высокочастотного электромагнитного поля.

Изучением отдельных наномасштабных объектов (вирусов, клеток, белков и т.п.) в ОНАПТ занимаются уже десятилетия. Концепции самоорганизации, передачи и хранения биологической информации, молекулярного узнавания были сформулированы еще на этапах предыдущего развития наук. Но анализ этих проблем с использованием нанотехнологических подходов, расширение рамок проблемы до междисциплинарного уровня даст новый мощный импульс в исследованиях. Именно, благодаря серьезному фундаменту в понимании химических, микробиологических и биотехнологических явлений в пищевых системах, пищевые нанотехнологии имеют серьезные основания стать наиболее перспективной сферой современного этапа развития науки и технологий.

На основе изложенных подходов в ОНАПТ проведены исследования принципиально новых лабораторных образцов нанопастеризатора, экстрактора, пиролизера, сушилки. Предложенные гипотезы подтверждены практически, имеются факты, объяснить которые можно только с позиций нанонаук. К таким фактам относятся: изменения и трансформации структуры вкусовых и ароматических комплексов продукта, стерилизация микроорганизмов при пониженных температурах, и т.п.

Представляется, что, в качестве перспективных направлений фундаментальных нанотехнологических исследований в АПК, можно выделить следующие проекты. Во-первых, это проблемы формирования комплексов вкуса и аромата продукта, т.е. сборка с помощью НТ нужных и оригинальных комплексов. Это направление соответствует классическим подходам в НТ. Во-вторых, это исследование механизмов процессов клеточного переноса, предпосевная биостимуляция семян, интенсификация процессов переноса, увеличение выхода целевых компонентов, снижение энергоемкости. В-третьих, это разработка наносенсоров вкуса, состава, запаха, порчи. Нанометки и наносенсоры обеспечат объективный и оперативный технологический контроль, защиту интересов потребителя. В-четвертых, это бионанотехнологии, направленные на модификацию биообъектов, создание „лаборатории на чипе”, создание искусственных ферментов и антител.

Сформулированные гипотезы подтверждены многочисленными экспериментами. Применение волновых механодиффузионных технологий интенсифицировало процессы экстрагирования в коньячных технологиях в 10^3 – 10^4 раз, при производстве масел – в 10–20 раз, кофе – в 3–5 раза. Продолжительность процессов сушки сокращалась на порядок.

Литература

1. Бурдо О.Г. Наномасштабные эффекты в пищевых технологиях // Инженерно-физический журнал. Минск, т.78, № 1.–2005. – С. 88–93.
2. Бурдо О.Г. Пищевые наноэнерготехнологии.
3. Рынок нано: от нанотехнологий к нанопродуктам / Г.Л.Азоев [и др.]; под.ред. Г.Л. Азоева.– М.: БИНОМ, 2011. – 319 с.
4. Бурдо О.Г. Мікро- і нанотехнології – новий напрямок в АПК // Наукові праці ОНАХТ – Випуск 29. – Одеса: Одеська національна академія харчових технологій. –2006.– С. 3–9.
5. Бурдо О.Г., Ряшко Г.М. Экстрагирование в системе «кофе- вода».– Одесса, 2007.– 176 с.
6. Бурдо О.Г. Эволюция сушильных установок – Одесса: Полиграф, 2010 – 368 с.
7. Бурдо О.Г., Рыбина О.Б. Процессы инактивации микроорганизмов в микроволновом поле – Одесса: Полиграф, 2010 – 200 с.
8. Бурдо О.Г., Милинчук С.И., Мордынский В.П., Харенко Д.А. Техника блочного вымораживания – Одесса: Полиграф, 2011 – 294 с.
9. Бурдо О.Г., Рибіна О.Б., Сталімбовская А.С. Энергетическая эффективность пищевых нанотехнологий. / Інтегровані технології та енергозбереження – Харьков: НТУ „ХПІ” 2006.– №2.
10. Бурдо О.Г. Нанотехнологии. Флагманские, перспективные и фундаментальные проекты в АПК // Наук. праці Од. націон. акад. харчових технологій. – Одеса: 2006. – Вип.28, Т2. – с. 242–251.

Bibliography (transliterated)

1. Burdo O.G. Nanomasshtabnyie efektyi v pischevyih tehnologiyah. Inzhenerno-fizicheskiiy zhurnal. Minsk, t.78, # 1.–2005. – P. 88–93.
2. Burdo O.G. Pischevyie nanoenergotehnologii.
3. Ryinok nano: ot nanotekhnologiy k nanoproductam. G.L.Azoev [i dr.]; pod.red. G.L. Azoeva.– M.: BINOM, 2011. – 319 p.
4. Burdo O.G. Mikro- i nanotekhnologiyi – noviy napryamok v APK. Naukovi pratsi ONAHT – Vipusk 29. – Odesa: Odeska natsionalna akademiya harchovih tehnologiy. –2006.– P. 3–9.
5. Burdo O.G., Ryashko G.M. Ekstragirovanie v sisteme «kofe–voda».– Odessa, 2007.– 176 p.
6. Burdo O.G. Evolyutsiya sushilnyih ustanovok – Odessa: Poligraf, 2010 – 368 p.
7. Burdo O.G., Ryibina O.B. Protsessyi inaktivatsii mikroorganizmov v mikrovolnovom pole – Odessa: Poligraf, 2010 – 200 p.
8. Burdo O.G., Milinchuk S.I., Mordynskiy V.P., Harenko D.A. Tehnika blochnogo vyimorazhivaniya – Odessa: Poligraf, 2011 – 294 p.
9. Burdo O.G., Ribina O.B., Stalimbovskaya A.S. Energeticheskaya effektivnost pischevyih nanotekhnologiy. Integrovani tehnologiyi ta energozberezheniya – Harkov: NTU „HPI” 2006.– #2.
10. Burdo O.G. Nanotekhnologii. Flagmanskіe, perspektivnyie i fundamentalne proektyi v APK. Nauk. pratsi Od. natsion. akad. harchovih tehnologiy. – Odesa: 2006. – Vip.28, T2. – p. 242–251.

УДК 664-022.532

Бурдо О.Г., Бандура В.Н., Ружицкая Н.В.

ПРИНЦИПИ АДРЕСНОГО ПІДВЕДЕННЯ ЕНЕРГІЇ ПРИ ПЕРЕРОБЦІ ХАРЧОВОЇ СИРОВИНИ

В роботі вперше вирішується завдання енергетичного аспекту нанотехнологій. Причому, енергетика є не тільки характеристикою, а й інструментом організації технології, засобом управління кінетикою процесів переносу в наномасштабних елементах харчових систем. Наведено класифікацію наноенерготехнологій. Обговорюються механізми і принципи математичного і експериментального моделювання. Наведено результати експериментальних досліджень процесів масопереносу з використанням наноенерготехнологій.

Burdo O.G., Bandura V.N., Ruzhetskaya N.V.

THE PRINCIPLES OF ADDRESS ENERGY SUPPLY IN FOOD RAW TREATMENT

The pioneer development on energy aspects of nanotechnologies is proposed. The classification of nanotechnologies is carried out. The methods of simulation and experimental. Investigations are discussed. The results of mass transfer investigations with use of Nanotechnologies are considered.