

Principles Of Directed Energy Action In Food Nanotechnologies

Burdo O.G., Terziev S.G., Bandura V.N.
Odessa National Academy of Food Technologies
Odessa, Ukraine

Abstract: The prospects of technologies of directed energy action (DEA) are discussed. Classification of DEA-technologies is offered. The purpose of the work is to give analysis of possibilities of DEA in food nanotechnologies. Combined processes of mass transfer during the extraction and drying are considered by methods of mathematical modeling. The physical model of combined processes in DEA-technologies is analyzed. The classification of hydrodynamic flow from the capillary structures of food raw materials is given. Conditions of upgrowth of laminar and turbulent barodiffusion are set. Problems of experimental modeling are grounded. A new number of similarities, the number of energetic action, is discussed. That number correctly takes into account the specific of combined processes of DEA-technologies. It has been shown that impulse electromagnetic field is effective tool for realization DEA-technologies. Degree of intensification processes of mass transfer with application of barodiffusion and DEA-technologies can be by the order greater than possibilities of traditional technologies.

Keywords: nanotechnology, barodiffuzion, energy, food technologies, modeling

Principiile de acțiune direcționată energetică pentru nanotehnologiile alimentare

Burdo O.G., Terziev S.G., Bandura V.N.
Academia Națională de tehnologii alimentare din Odesa,
Odesa, Ucraina

Rezumat. Sunt discutate perspectivele de tehnologiile direcționate energetice (TDE). Este propusă clasificarea tehnologiilor TDE. Scopul lucrării constă în analiza oportunităților de TDE în nanotehnologii alimentare. Prin utilizarea metodelor de modelare matematică sunt studiate procesele combinate de transfer a masei în procesele de extragere și uscare. Se analizează modelul fizic al proceselor combinate de tehnologiilor TDE. Este elaborată clasificarea fluxurilor hidrodinamice din structure capilare a materiei primă alimentară. Sunt stabilite condiții de dezvoltare a barodifuziei laminare și turbulente. Sunt fundamentate problemele de modelare experimentală. Se discută un noul număr de similitudine - numărul de impact energetic. Acest număr corect ține cont de specifică a proceselor combinate de tehnologiile TDE. Este demonstrat, că câmpul electromagnetic de impuls constituie un de realizare de tehnologiile TDE. Gradul de intensificare a proceselor TDE cu utilizarea tehnologiilor de barodifuzie poate fi cu ordine de mărime mai mare decât capacitățile de tehnologiile tradiționale.

Cuvinte-cheie: nanotehnologie, barodifuzie, energie, tehnologiile alimentare, modelarea.

Принципы направленного энергетического действия в пищевых нанотехнологиях

Бурдо О.Г., Терзиев С.Г., Бандура В.Н.
Одесская национальная академия пищевых технологий
Одесса, Украина

Аннотация. Обсуждаются перспективы технологий направленного энергетического действия (НЭД). Предложена классификация НЭД - технологий. Цель работы – дать анализ возможности НЭД в пищевых нанотехнологиях. Методами математического моделирования изучены комбинированные процессы массопереноса при экстрагировании и сушке. Анализируется физическая модель комбинированных процессов НЭД - технологий. Разработана классификация гидродинамических потоков из капиллярных структур пищевого сырья. Установлены условия развития ламинарной и турбулентной бародиффузии. Обоснованы задачи экспериментального моделирования. Обсуждается новое число подобия – число энергетического воздействия. Это число корректно учитывает специфику комбинированных процессов НЭД-технологий. Показано, что импульсное электромагнитное поле является эффективным инструментом реализации НЭД-технологий. Степень интенсификации процессов массопереноса с применением бародиффузионных технологий, НЭД - технологий может на порядки превышать возможности традиционных технологий.

Ключевые слова: нанотехнологии, бародиффузия, энергия, пищевые технологии, моделирование

1. ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение энергетическими ресурсами - это глобальные проблемы для человечества. Энергия стала дефицитным и дорогим ресурсом во всем мире [1-4]. Отсутствие системного подхода к исследованию энерго-технологических проблем, опыта в решении задач эффективного использования энергии усугубляют в стране энергетический кризис [5].

В работе впервые поставлена и решается задача организации технологий направленного энергетического действия (НЭД). Показано, что энергетика является не только характеристикой, основным результатом технологии, но и инструментом организации технологии, средством управления кинетикой процессов переноса в элементах различных систем. Развитие технологий должно идти по пути направленного, селективного подвода энергии к тем элементам сырья, которые требуют энергетического воздействия. При этом термолабильные элементы сырья должны минимально подвергаться энергетическому воздействию. Особое внимание следует уделять микро- и наноразмерным структурам сырья. Эти элементы в традиционных технологиях практически не рассматриваются. Определены перспективы НЭД - технологий.

2. Классификация НЭД - технологий.

НЭД – технологии – это технологии направленного, селективного действия на элементы сырья и биологические объекты. НЭД-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 нанокapиллярной структуры, формирование состава этих потоков, направление силовых воздействий на оболочки клеточной структуры микробиологических объектов и т.п. [6].

Для пищевых систем снижение количества потребленной энергии не только повысит энергетический КПД процесса и снизит себестоимость продукта, но и уменьшит

3. Механизм бародиффузии

уровень термического воздействия на продукт. Это приведет к сохранению термолабильных и биологически активных компонентов пищевого сырья. Например, пищевые продукты и кулинарные изделия, полученные по НЭД, станут отвечать требованиям функционального питания.

Эффективность пищевых технологий (производительность, удельная энергоемкость, качество готового продукта, степень извлечения ценных компонентов сырья и пр.) в значительной степени определяется возможностями воздействий на оболочки клеток, микроорганизмы, поры, капилляры и пр.

Ставится задача найти эффективные принципы, подходы для локальных действий, направленных на интенсивные, низкоэнергетические операции с пищевым сырьем, и, даже, с отдельными наноразмерными элементами этого сырья. Важно создать фундаментальные основы эволюционных нанометрических явлений и процессов. Один из путей в этом направлении – это НЭД - технологии.

С позиций сегодняшнего [7] дня можно так прогнозировать развитие НЭД - технологий (рис.1).

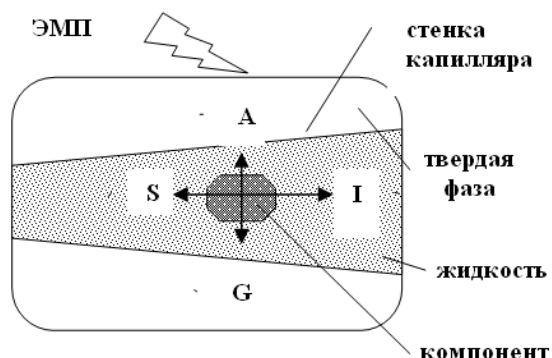


Рис.1. Классификация НЭД – технологий.

Нанотехнологические приемы при криоразделении водных растворов найдут применение в задачах низкотемпературного концентрирования соков, экстрактов, винома-териалов и прочих водных растворов, при деминерализации воды (в том числе при получении воды глубокой очистки), при выращивании кристаллов льда и солей [6]. Волновые и механодиффузионные технологии могут стать основой новых эффектов в задачах массопереноса [6]. Рассмотрим подробнее бародиффузионные эффекты в капиллярно-пористых системах.

Исходя из термодинамической схемы нанопроцесса [8,9] механизм

комбинированного нано- и макропереноса влаги (и других компонентов) из волокнистой структуры в поток поясняется схемой (рис.2).



A – силы взаимодействия с поверхностью; S – силы вязкости, I – силы инерции; G – силы гравитации.

Рис.2. Баланс сил, действующих в капилляре.

Рассмотрим движение компонента (объема жидкости) в капилляре (рис.2) на основе баланса соответствующих сил, которые формируются в капилляре.

Результирующая этих сил определит скорость потока. С учетом сил поверхностного натяжения, что характерно для микрокапилляров, связь разности давлений в капилляре (ΔP) определяется скоростью движения жидкости (w),

ее плотностью (ρ), суммой местных сопротивлений (ξ), силами поверхностного натяжения (σ):

$$\Delta P = \frac{\rho w^2}{2} \left[\frac{\lambda l}{d} + \sum \xi \right] + \rho g l + \frac{\sigma}{d} \quad (1)$$

Произведение ΔP на величину перемещаемого объема жидкости (V) даст необходимую для реализации процесса энергию (E). Это количество энергии, которое необходимо при механическом воздействии на жидкость в капилляре, т.е. для фильтрационного процесса.

Величина ΔP определяется мощностью электромагнитного поля (ЭМП) и электрофизическими параметрами содержимого капилляра. Именно мощностью ЭМП можно управлять бародиффузионным потоком.

4. Классификация режимов потока из наноразмерной структуры

Для иницирования бародиффузии при энергетическом воздействии требуется преодолеть сопротивление канала за счет перехода части жидкости в паровую фазу. В зависимости от мощности ЭМП возможны режимы ламинарной (рис.3) и турбулентной (рис.4) бародиффузии.

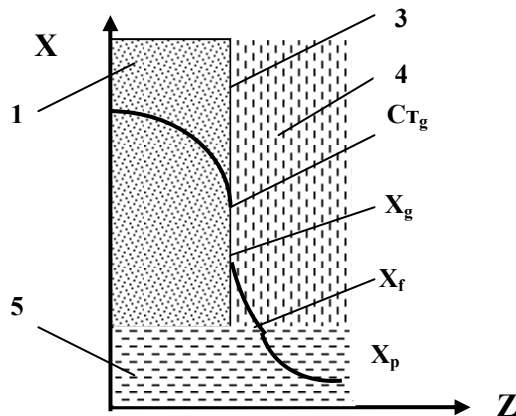


Рис.3. Ламинарная бародиффузия.

Ламинарная бародиффузия характеризуется привычными для классической задачи массопереноса понятиями: внутреннее и внешнее диффузионные сопротивления (рис.3).

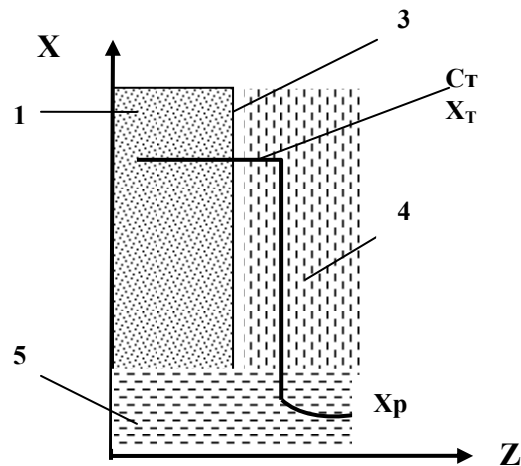


Рис.4. Турбулентная бародиффузия.

Задача бародиффузии – интенсифицировать процесс внутреннего диффузионного массопереноса. С ростом энергетического воздействия давление в капиллярной структуре будет повышаться. В результате может появиться мощный выброс жидкости из твердой фазы. Это режим «турбулентной

бародиффузии». Поле концентраций в этом случае будет отлично от классического вида (рис.4).

В режиме турбулентной диффузии нивелируются такие понятия, как пристенный пограничный слой и соответствующие диффузионные сопротивления. Твердая фаза характеризуется средним значением концентрации (C_T) (рис.4) и концентрация на границе C_{Tg} . Поток с концентрацией (X_T) поступает в объем (5), концентрация в котором (X_p). По сравнению с классической эпюрой отмечается интенсивное перемещение содержимого (4) капилляров (рис.4). Степень интенсивности процесса определяется скоростью истечения из капилляров. Если ламинарная бародиффузия интенсифицирует только внутридиффузионный массоперенос, то турбулентная бародиффузия интенсифицирует и внутри – и внешнедиффузионный массоперенос.

Рассмотрим модель инициирования бародиффузии.

5. Постановка задачи моделирования бародиффузии.

Нестационарное одномерное поле концентраций растворимых веществ определяется уравнением конвективной диффузии Фика:

$$\frac{dX}{d\tau} = D \frac{\partial^2 X}{\partial x^2} + \frac{\partial X}{\partial x} w \quad (2)$$

Координата x совпадает с осью капилляра. При определенных условиях второе слагаемое в соотношении (2) может практически определять интенсивность переноса, как растворимого компонента так и нерастворимого экстрагентом компонента.

По сути, это новое явление, которое названо «механодиффузионный эффект». Именно этот эффект объяснил многие парадоксы, которые авторы наблюдали при экспериментальном моделировании [6].

Последовательная цепочка диффузионных сопротивлений состоит из суммы: $\sum R = R_{HK} + R_{MK} + R_{MO}$. Наименьшим диффузионным сопротивлением характеризуется процесс конвективной массоотдачи от поверхности продукта в поток экстрагента

Параллельно потоку j_1 в микроволновом поле возникает поток j_2 . По сути, это бародиффузия, которая определяется повышен-

(R_{MO}). Его величина определяется скоростью потока экстрагента, его свойствами, геометрией поверхности фазового контакта. Далее рассмотрим отдельно диффузионные сопротивления микрокапилляров (R_{MK}) и нанокapилляров (R_{HK}). Растворимые вещества перемещаются в середине микрокапилляров к поверхности продукта. Это конвективная диффузия в стесненных условиях. Наибольшим диффузионным сопротивлением характеризуются, естественно, нанокapилляры, стесненность диффузионных процессов в которых максимальна. Именно капилляры определяют интенсивность массообменных процессов при экстрагировании и степень извлечения ценных компонентов из твердой фазы. Концентрация целевых компонентов в твердой фазе после экстрагирования определяется диффузионными сопротивлениями R_{MK} и R_{HK} . Аналогичные механизмы и при сушке сырья.

6. Математическая модель комбинированных бародиффузионных процессов.

Поясним механизм массопереноса из твердой фазы в раствор в экстракторах по НЭД - технологиям.

Диффузия в твердой фазе подчиняется уравнению Фика. Массовый поток j зависит от коэффициента диффузии D и градиента концентраций в твердой фазе:

$$j = -Ddc_\tau / d\delta$$

Дальше, растворенные вещества, концентрация которых X_g , перемещаются в середине капилляров к наружной поверхности, где концентрация – X_f . Это конвективная диффузия в стесненных условиях, интенсивность которой определяется эффективным коэффициентом массоотдачи β_c . Этот же поток передается процессом конвективной диффузии (интенсивность, которого определяется коэффициентом массоотдачи β_k) ядру потока экстрагента с концентрацией \bar{X}_E :

$$\begin{aligned} j_1 &= \beta_c (X_g - X_f) \\ j_1 &= \beta_k (X_g - \bar{X}_E) \end{aligned} \quad (3)$$

ным давлением в капиллярах. Т.е. отдельные капилляры, где достигнуты условия для генерации паровой фазы, начинают периодически

выбрасывать в поток жидкость из капилляров. Частота выбросов из капилляров и число функционирующих капилляров возрастает с повышением мощности микроволнового излучения. Предлагается аналогия с центрами парообразования при кипении жидкости [6].

Поток массы j_2 определяется эффективным специфичным коэффициентом массоотдачи β_p и разностью давлений в капилляре P_K и в потоке P_E :

$$j_2 = \beta_p (P_K - P_E) \quad (4)$$

Поток j_2 турбулизирует пограничный слой. Общий поток массы равен: $j = j_1 + j_2$

Поток j определяется диффузионным сопротивлением твердой фазы. Поток j_1 преодолевает последовательно сопротивления массопереноса в стесненных условиях капилляра и конвективной диффузии.

Параллельно включается более мощный механизм переноса, что обуславливает поток j_2 , которого может быть на несколько порядков больше j_1 .

Задачами дальнейшего анализа является вопрос распределения концентраций по схеме рис.3. Определим перспективы для этой цели аналитических методов.

На первом этапе представим твердую фазу как пластину, омываемую тонким ламинарным слоем жидкости. Тогда представительная ячейка системы примет вид, изображенный на рис.3. Толщина пограничного слоя δ значительно меньше длины пластины L . Продольная скорость w изменяется от 0 на пластине до w_δ на внешней границе слоя. "Плоское" уравнение диффузии, устанавливающее распределение концентрации C во времени τ в одной точке, конвективное изменение концентраций при переходе от точки к точке, зависящее от компонент скорости w_x и w_y , имеет вид [6]:

$$\frac{\partial c}{\partial \tau} + w_x \frac{\partial c}{\partial x} + w_y \frac{\partial c}{\partial y} = D \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} \right) \quad (4)$$

Правая часть уравнения (4) характеризует молекулярную диффузию.

Поставим задачу определить функцию $c(\tau, x, y)$ в слое δ , считая, что длина и ширина пластины l (рис.3) значительно превосходят толщину δ . Используя метод двумерного комплексного преобразования Фурье с

бесконечными пределами интегрирования [6], при начальных условиях $c(\tau, x, y)|_{\tau=0} = 0$ и соответствующих граничных условиях можно получить решение при условии, что компоненты скорости w_x и w_y заданы и не зависят от координат, процесс диффузии плоскопараллелен и не зависит от координаты Z . В предположении, что искомая функция $c(\tau, x, y)$ удовлетворяет условиям Дирихле, определив двумерную трансформанту искомой функции, выполнив двойное интегрирование, заменив при этом экспоненциальное выражение первыми членами его разложения в степенной ряд, с учетом симметрии задачи (рис.3), находится решение краевой задачи [6].

На втором этапе рассматривается массоперенос при движении раствора внутри цилиндрического канала. Анализируются случаи с плоским и параболическим профилем скоростей. При плоском профиле скоростей (скорость движения раствора постоянна по всему сечению трубы) и компонента A диффундирует от поверхности канала в поток, то уравнение диффузии удобней представить в цилиндрических координатах по текущему радиусу r :

$$w_0 \frac{\partial X}{\partial Z} = D \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[r \frac{\partial X}{\partial r} \right] \quad (5)$$

Величина $D(\partial^2 X / \partial Z^2)$, характеризующая диффузию вдоль канала, пренебрежимо мала по сравнению с конвективной составляющей $w_0(\partial X / \partial Z)$.

Записав граничные условия, используя бесселевые функции первого рода, для параболического профиля скоростей в соответствии с решением уравнения Навье-Стокса получено [6]:

$$w_{\max} \left[1 - \left(\frac{r}{0,5d} \right)^2 \right] \frac{\partial X}{\partial Z} = D \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial X}{\partial r} \right) \quad (6)$$

Окончательно с учетом граничных условий соотношение (6) приводится к виду:

$$\frac{X_p'' - X_p'}{X_E - X_p'} = 1 - \sum_{n=1}^n a_n \exp - b_n \left(\frac{D}{w_{CP} 0,25d^2} \right) Z \quad (7)$$

где средняя скорость потока $w_{CP} = 0,5w_{\max}$ и константы a_n и b_n имеют значения приведенные в [6].

На третьем этапе получена модель диффузии из точечного источника в поток. Модель учитывает действие бародиффузии.

Результатом действия микроволнового поля является растущий градиент давления внутри открытой поры либо капилляра (P_K) и в потоке экстрагента (P_E). При условии $P_K > P_E + P_{gd}$ происходит выброс в поток жидкости из капилляра. В расчете учитывается гидравлическое сопротивление капилляра P_{gd} .

Рассмотрим диффузионный поток j экстрактивных компонентов A , выбрасываемых в поток экстрагента, который движется в направлении Z с постоянной скоростью w_0 (рис.4). В этом случае должно быть решено уравнение: $w_0 (\partial X / \partial Z) = D \nabla^2 X$
 При следующих граничных условиях [6]:

$$\begin{aligned} X|_{l=\infty} &= 0; \text{ при } l \rightarrow \infty \\ -4\pi l^2 D (\partial X / \partial r) &= M_A; \text{ при } l \rightarrow 0 \end{aligned} \quad (8)$$

$$l^2 = x^2 + y^2 + z^2$$

где l - расстояние от источника; Z - расстояние по потоку от источника; M_A - расход компоненты A в поток.

В случае, когда скорость потока постоянна (w_0), а режим стабилизировался, решение с краевыми условиями (8) будет [6]:

$$X = \frac{M_A}{4\pi \cdot D l} \exp \left[- \left(\frac{w_0}{D} \right) (l - z) \right] \quad (9)$$

Задача о точечном источнике имеет практическое значение при анализе профиля концентрации в потоке.

Очевидно, что даже при столь серьезных упрощениях задачи, которые сделаны выше при ее постановке, совместные решения (4), (7) и (9) весьма сомнительны. Гидродинамическая ситуация в потоке определяется турбулентным течением экстрагента, осложненным вихревой диффузией из каналов твердой фазы.

Вероятно, перспективным путем исследования будет экспериментальное моделирование. Известно, что научной базой эксперимента является теория подобия и метод "анализа размерностей".

9. Число энергетического действия

При комбинации процесса экстрагирования с воздействием импульсного электро-массопереносу, который логично называть режимом турбулентной бародиффузией.

ромагнитного поля инициируется поток экстрагента из капилляров. Экстракт из нанокapилляров выбрасывается в микрокапилляры. Частота выбросов и число функционирующих капилляров растет с ростом N - мощности излучения.

Поток экстрагента из капилляров турбулизирует пограничный слой, сопротивление массопереносу бародиффузией (R_{PM} и R_{PH}) (рис.4) может быть на несколько порядков ниже, чем в традиционных схемах массоотдачи.

Обозначим j_{HK} и j_{MK} бародиффузионные потоки, соответственно, из нанокapилляров и микрокапилляров. Обратный поток экстрагента в капилляры запишем как j_E . Тогда, под действием ЭМП (поток I) очередность потоков будет следующей: $I \rightarrow j_{MK} \rightarrow j_{HK} \rightarrow j_E \rightarrow I$.

Эффективность извлечения целевых компонентов из твердой фазы зависит от согласования продолжительности и мощности импульсов потока I . При малой продолжительности может не успеть сформироваться поток j_{HK} и, даже j_{MK} . При большой продолжительности и мощности возможен нежелательный перегрев твердой фазы.

При более тонкой организации энергоподвода целесообразно менять параметры ЭМП во времени в соответствии с мгновенными значениями диэлектрических характеристик твердой фазы (наличия внутри жидкой фазы), концентрации экстракта в каналах, его количества. Величину ЭМП следует согласовывать и с диаметрами каналов - в более мелких каналах требуется больший перепад давлений для возникновения бародиффузионного потока.

Предложенное автором [6] число энергетического действия $Bu = N (rwd^2 \rho)^{-1}$ учитывает влияние электромагнитного поля. Соотношение между энергией излучения и той энергией, которая необходима для аналогичных процессов в традиционных технологиях определяет как энергетическую эффективность оборудования, так и режим массопереноса. До определенных значений числа Bu имеют место ламинарные режимы движения жидкости в капиллярных каналах твердой фазы.

Число Bu может показывать условия перехода к более интенсивному

Это число удачно обобщило базы экспериментальных данных в процессах

обезвоживания и экстрагирования. Представляется, что число В_и может ответственно характеризовать энергетическую специфику всех задач, применяемых НЭД - технологии.

Сформулированные гипотезы подтверждены многочисленными экспериментами. Такой степени интенсификации, какая получается с применением бародиффузионных технологий, не дают традиционные приемы [10-14].

Выводы

Локальное действие на наномасштабные элементы пищевого сырья – это инновационные подходы организации процессов в агропромышленном комплексе. Подраздел направления – наноэнерготехнологии, технологии адресной доставки энергии к наномасштабным элементам пищевого сырья.

Для некоторых нанопроцессов, протекающих при комбинированном действии нано- и макропроцессов, можно задачи моделирования ставить, если механизмы наномасштабного влияния очевидны, либо прогнозируемы. Так, мощным средством инициирования возникновения нанокинетики является импульсное электромагнитное поле (ИЭМП). Именно в условиях ИЭМП представляется возможность организовать направленный, локальный подвод энергии к полярным молекулам пищевого сырья, т.е. реализовать НЭД-технологии.

ЛИТЕРАТУРА (REFERENCES)

- [1] Energy intensities, EROIs, and energy payback times of electricity generating power plants. Energy Volume 52, 1 April 2013, pp. 210 – 221.
- [2] Energy efficient cities : assessment tools and benchmarking practices / World Bank ; ed. R.K. Bose. – Washington : The World Bank, 2010. – XVIII, 227 p.
- [3] Gromadzki, G. Energy game : Ukraine, Moldova and Belarus between the EU and Russia /G. Gromadzki, W. Konończuk; Stefan Batory Found. – Warsaw: Stefan Batory Found., 2007.– 47 p
- [4] Winds of change : East Asia's sustainable energy future / Xiaodong Wang [et al.] ; World Bank. – Washington : The World Bank, 2010. – XVII, 154 p.
- [5] Burdo O.G. Energeticheskiy monitoring pischevyih proizvodstv [Energy monitoring of food productions]– Odessa: Poligraf, 2008 – 244s. (in Russian).
- [6] Burdo O.G., Pischevyie nanoenergotehnologii [Food nanotechnologies]– Herson, 2013 – 294s. (in Russian).
- [7] Rynok nano: ot nanotehnologiy k nanoproduktam [Nano market: from nanotechnologies to nanoproducts] /G.L.Azoev [ets.]; pod.red. G.L.Azoeva.- Moscow.: BINOM, 2011. - 319s (in Russian).
- [8] Burdo O.G. Nanomasshtabnyie efektyi v pischevyih tehnologiyah [Nanoscale effects in food technologies] //Inzhenerno-fizicheskiy zhurnal. Minsk, t.78, # 1.-2005. - S.88-93. (In Russian).
- [9] Nanoscale effects in food-production technologies, Burdo O.G, // Journal of Engineering Physics and Thermophysics – 2005.- Vol.78, Issue 1.- p.90-96.
- [10] Burdo O.G. Evolyutsiya sushilnyih ustanovok [Evolution of drying equipment]– Odessa: Poligraf, 2010 – 368s. (in Russian).
- [11] Burdo O.G., Terziev S.G., Yarovoy I.I., Borsch A.A. Elektromagnitnyie tehnologii obezvozhvaniya syirya [Electromagnetic technologies of dehydration raw materials] /Problemele energeticii regionale, Chisinau, N1 (18), 2012 pp.69-79. (in Russian).
- [12] Burdo O.G., Ryibina O.B. Protsessyi inaktivatsii mikroorganizmov v mikrovolnovom pole [Processes of inactivation of microorganisms in microwave field] - Odessa: Poligraf, 2010 – 200p. (in Russian).
- [13] Burdo O.G., Terziev S.G., Ruzhitskaya N.V., Makievskaya T.L. Protsessyi pererabotki kofeynogo shlama. [Processes of processing of coffee sludge] – Kiev: EnterPrint, 2014.- 228 p. (in Russian).
- [14] Burdo O.G. Nanotehnologii. Flagmanskije, perspektivnyie i fundamentalne proektyi v APK [Nanotechnologies. Flagman, perspective and fundamental projects in AIC]//Nauk. pratsI Od. natsIon. akad. harchovih tehnologiy. – Odesa: 2006. – Vip .28, T2. – s.242-251. (in Russian).

Сведения об авторах:



Бурдо Олег Григорьевич – доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники Украины, заведующий кафедрой процессов и аппаратов Одесской национальной академии пищевых технологий. Имеет более 400 научных работ, в том числе 48 изобретений. Подготовил 18 кандидатов и двух докторов технических наук. Области научных интересов: моделирование процессов переноса при кристаллизации, экстрагировании, сушке; исследования систем охлаждения аппаратуры на основе тепловых и холодильных труб; энергетический менеджмент и пищевые нанотехнологии.

E-mail:

oleg-burdo@mail.ru



Бандура Валентина Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры процессов и оборудования перерабатывающих и пищевых производств Винницкого национального аграрного университета. Одним из направлений научных исследований является разработка и внедрение в производство энергосберегающих технологий при экстрагировании, сушке и переработке сельскохозяйственного сырья, основанные на вибрационном, волновом и комбинированном электромагнитном действии. Опубликовано 88 научных работ, имеет 7 патентов Украины на изобретения, 5 пособий, 1 монографию. За период работы в университете под руководством были подготовлены и успешно защищены 3 кандидатских диссертационных работы

E-mail:

bandura_3@ukr.net



Терзиев Сергей Георгиевич – кандидат технических наук. Председатель правления ПАО ЭНИИ ФУДЗ. Сотрудник кафедры процессов аппаратов и энергетического менеджмента Одесской национальной академии пищевых технологий. Автор более 70 научных работ и изобретений. Подготовил 1 кандидата технических наук. Области научных интересов: теплотехнологии АПК, системы тепломассоутилизации, технологии экстрагирования кофе и утилизация кофейного шлама

E-mail:

st@ennifoods.com