



ЭНЕРГЕТИКА ПИЩЕВЫХ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

Бурдо О.Г.

Одесская национальная академия пищевых технологий

Реферат – Обсуждаются перспективы нанотехнологий при производстве пищевых продуктов. Предлагаются направления для снижения энергетических затрат путем воздействия на естественные наномасштабные объекты. Рассмотрены перспективы внедрения нанотехнологий в производствах продуктов питания. Проведен анализ нанопроцессов при пастеризации, сушке, экстрагировании и концентрировании сырья. Приведены результаты влияния электромагнитных полей на микроорганизмы.

Ключевые слова: нанотехнологии, бародиффузия, пища, энергия.

ENERGY OF FOOD NANOTECHNOLOGY

BURDO Oleg

Odessa National Academy of Food Technologies

Abstract – The prospects of nanotechnology implementation in production of foodstuff were considered. In the paper the ways of energy consumption lowering by the action on natural nanoscale objects are suggested. The analysis of nanoprocess during pasteurization, drying, extraction and raw material concentrating is done. The results of the electromagnetic fields influence on the microorganisms are given. The estimation of power expenses of nanotechnologies gradual introduction in different areas was carried out.

Keywords: nanotechnology, barodiffusion, food, energy.

ENERGETICA NANOTEHNOLOGIILOR DE ALIMENTARE

Burdo Oleg

Academia Națională de Tehnologii Alimentare din Odesa

Rezumat – Au fost luate în considerație perspectivele de implementare a nanotehnologiei în producția de alimente. În lucrare sunt sugerate căile de reducere a consumului de energie pe obiecte naturale la scara nanometrică. A fost făcută analiza nanoprocessului în timpul pasteurizării, uscării, extracției de materii prime și de concentrare. Sunt date rezultatele de influență a câmpurilor electromagnetice asupra microorganismelor. Au fost estimate cheltuielile de energie la introducerea treptată a nanotehnologiilor în diferite domenii.

Cuvinte cheie nanotehnologie, barodiffusion, alimente, energie.

1. ВВЕДЕНИЕ

Опыт существования человечества показывает, что научно-технический прогресс в каждой эпохе определяет приоритетное направление индустриального развития. Для каждой эпохи характерны три периода: роста интереса, регулярного развития и спада интереса (таблица 1). Настоящее время – эпоха информационных технологий – характеризуется бумом их развития. Однако информационные технологии должны стремительно приближать человечество к новой эпохе, название которой – нанотехнологии (НТ). Настоящее время – время формирования интереса и бурного роста НТ. Достижения нанонаук обосновали перспективы НТ, чем серьезно заинтересовался бизнес. Выделяются предельные объемы государственных и частных инвестиций в нанонауки и НТ. Многие

страны, в первую очередь США и Япония, в последние годы динамично развивают исследования в сфере НТ. Ежегодное финансирование нанонаук в США увеличивается на 100...200 млн. \$. Только государственные инвестиции нанонаук на следующие 3 года запланированы в США на 3,7млрд.\$, в Японии – 3млрд.\$ Ожидается, что в настоящем десятилетии на рынке появится широкий ассортимент товаров, полученных по нанотехнологиям. К 2015 г. этот рынок в США достигнет уровня 1 трлн.\$ Предпосылками этого являются энергичная динамика роста, значительные объемы финансирования, широкий интерес различных ведомств к нанотехнологиям [1].

Уникальные возможности и перспективы нанотехнологий объединили усилия фундаментальной науки, фирм и государственных лабораторий в США в рамках долговременной программы «Национальная нанотехнологическая инициатива». Значительные инве-

стиции в нанотехнологии проводятся в Китае, Европейской Комиссией, в Индии, в Бразилии и т.д.

Таблица 1.

Приоритетные направления развития

эпоха	периоды		
	становления	развития	спада
текстильная	с 1771г.	с 1800г.	с 1853
железных до-рог	с 1825г.	с 1853г.	с 1913
автомобильная	с 1886г.	с 1913г.	с 1968
информатики	с 1939г.	с 1969г.	с 2025
Нанотехнологий	с 1997г.	с 2025г.	с 2081

2. НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ПИЩЕВЫХ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

Проблемами пищевых нанотехнологий (ПНТ) в мире комплексно не занимаются. Вместе с тем, использование нанотехнологий в пищевой промышленности позволит создать принципиально новые продукты, не имеющие аналогов в современной кулинарии [2]. Поскольку пищевые системы это сложнейшие биологические системы, 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 100нм), для получения объектов с новыми химическими, физическими, биологическими свойствами [1]. При этом развитие пищевых НТ должно проводиться с глубокой оценкой рисков и потенциальных опасностей для общества.

Определены направления нанотехнологий в пищевых производствах [1]. 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 трем 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. Третье направление – это комбинации первых двух с целью создания уникальных образцов. Вероятно, в этом направлении следует ожидать серьезных прорывов в решении проблем биотехнологий.

3. ПАРАДИГМА ПИЩЕВЫХ НТ

Предметом исследований в ПНТ являются микроорганизмы, нанопоры и нанокапилляры растительного сырья, оболочки клеток, белок, полисахариды и молекулы воды. 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.

Следуя классификации революционные ПНТ должны быть нацелены на трансформации, синтезе надмолекулярных и супрамолекулярных комплексов на основе, например, белков (размер 10...100нм), полисахаридов (размер 1...10нм) и т.п. Перспективным направлением считается создание супрамолекулярных систем для транспорта биологически активных соединений [3].

Объекты эволюционных ПНТ сведены в табл. 2.

Таблица 2

Наномасштабные объекты ПНТ.

Объект	Микро-организмы	поры, капилляры	био-мембраны	Оболочки клеток
Размер нм	от 7	от 5	5...10	7...30

Объекты ПНТ (таблица 2) – это уже созданные природой наноразмерные структуры. Задача исследователя ПНТ заключается не в синтезе новых наномасштабных структур, а организации 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 может выглядеть следующим образом: «выдвижение ряда гипотез – разработка методов их проверки – постановка серии экспериментов – подтверждение правильной гипотезы».

4. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПНТ

4.1. Специфика моделирования ПНТ

Основные процессы пищевых производств сопровождаются сообщением продукту энергии. Если продукт представляет собой жидкость, то моделирование основано на феноменологическом подходе и сводится к анализу непрерывной системы. Схема моделирования базируется на использовании законов сохранения вещества, энергии и количества движения. Феноменологические законы включают в себя известные линейные соотношения необратимых процессов: уравнения Фурье, Фика. Результатом моделирования являются материальный и энергетический баланс, пространственно-временное распределение параметров.

Такой подход оказался приемлемым при анализе многих химико-технологических процессов при медленном изменении параметров. Однако жидкие пищевые системы (суспензии, аэрозоли и т.п.) специфичны. Наличие клеточно-волоконистой структуры не учитывается вышеизложенным подходом [4]. Поскольку, содержимое клеток является главной целью технологии, то модель должна отражать кинетику переноса 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 автором, показывает, что при волновом подводе энергии инициируются бародиффузионные потоки из наномасштабных каналов сырья, а интенсивность процессов переноса возрастает на 2...3 порядка [4, 5]. Такие комбинированные подходы можно характеризовать как волновые бародиффузионные технологии (ВБДТ).

4.2. Механизм бародиффузионных процессов переноса

Исходя из термодинамической схемы нанопроцесса [4,5] и тепломеханической модели клеточной структуры механизм комбинированного микро- и макропереноса влаги (и других компонентов) из волокнистой структуры в поток поясняется схемой (рис.1) и электродиффузионной моделью (рис.2). Последовательная цепочка диффузионных сопротивлений состоит из суммы: $\Sigma R = R_{НК} + R_{МК} + R_{МО}$.

При постановке задачи предлагается аналогия с центрами парообразования [5]. Процесс переноса осложнен вихревой диффузией из каналов твердой фазы, импульсным характером поля, которое определяет число и производительность центров точечного массопереноса [5].

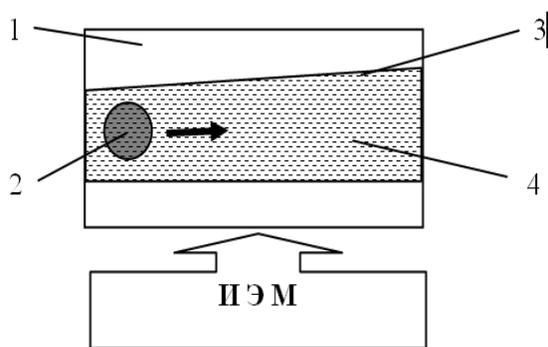


Рис. 1. Схема процесса. 1 – твердое тело, 2 – паровой пузырек, 3 – стенка капилляра, 4 – жидкость

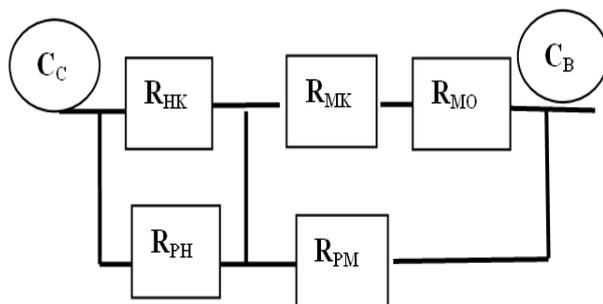


Рис. 2. Электродиффузионная модель

Суммарный поток (j) определяется коэффициентом массопередачи (K) традиционной схемы и коэффициентом массоотдачи (β_P) бародиффузионного потока:

$$j_1 = j_2 + j_3 = K (C_{\text{П}} - C_{\text{В}}) + \beta_P (P_{\text{К}} - P_{\text{В}}) \quad (1)$$

Этот поток турбулизирует и пограничный слой. Таким образом, гидродинамическая ситуация в потоке определяется эквивалентным диаметром (d), относительной скоростью движения диффузионной среды (w). Задачи такого плана решаются на основе экспериментального моделирования. Методом “анализа размерностей” определена структура уравнения в безразмерных переменных. Для учета влияния действия ИЭМ Предложено число энергетического воздействия: $Вu = N (r w d^2 \rho)^{-1}$. Физический смысл числа $Вu$ 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 $Вu$ 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 $Вu$ 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.

5. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПНТ

5.1. Энергетика бародиффузионных технологий обезвоживания

Представляется возможным механическое удаление влаги с поверхности продукта при ее доставке к поверхности бародиффузионным механизмом, который инициируется действием импульсного электромагнитного поля (ИЭМ). В этой связи необходимо во – первых, снять с воздуха задачи теплоносителя, а оставить только задачу «приемника» влаги. Во – вторых, организовать обезвоживание продукта с минимальным выпариванием из него влаги, т.е. подключить волновые бародиффузионные технологии. В – третьих, использовать механическое удаление влаги с поверхности продукта за счет продувки его воздухом из окружающей среды. В - четвертых, организовать бародиффузию из объема продукта с помощью ИЭМ.

Рассмотренный механизм [6] определяет энергетическую эффективность ИЭМ способа обезвоживания (рис. 3).

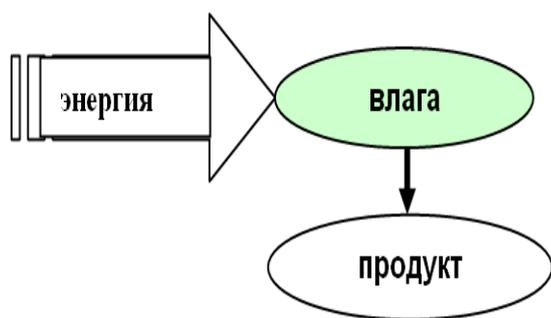


Рис.3. Схема подвода энергии при ИЭМ-обезвоживании

Исходя из этих положений поставлен следующий эксперимент [5, 6], в котором продувка проводилась импульсно и чередовалась с действием ИЭМ. Комбинированное электрофизическое воздействие в процессе обезвоживания позволяет интенсифицировать процесс массопереноса в несколько раз. Реализует интенсивные и мягкие режимы сушки [5, 6]. Экспериментальные исследования комбинированных режимов обезвоживания проводились по следующей методике. Кассета из радиопрозрачного материала помещалась в резонаторную камеру, где осуществлялось воздействие на продукт микроволновым полем. Фиксировалось время обработки, режим ИЭМ, температуры и вес продукта до и после обработки. Затем кассета подключалась к компрессору и проводилась продувка продукта воздухом. Измерялись температуры и вес кассеты с продуктом до и после продувки. В опытах изменялись время ИЭМ воздействия и продувки. Результаты обработки опытов [5, 6] приведены на рис. 4, 5.

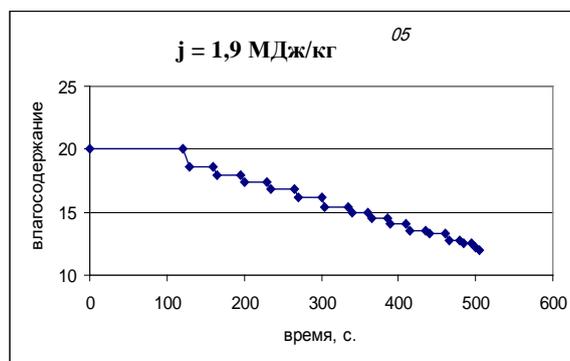


Рис.4. Линия сушки

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 (рис. 6). Установлены режимы, в которых на 1кг удаленной влаги затрачивалось только 1,9 МДж энергии.

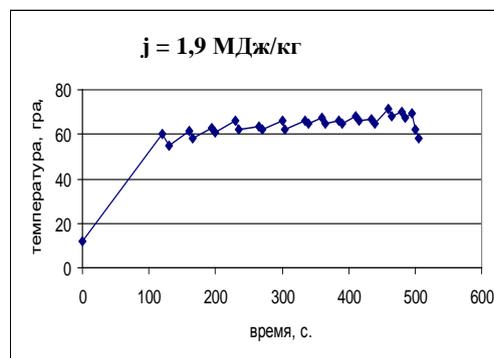


Рис.5. Термограммы сушки

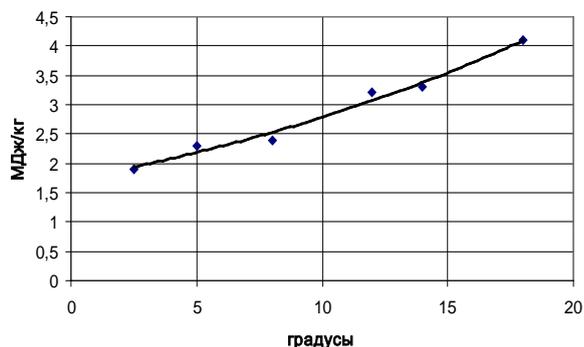


Рис.6. Влияние величины охлаждения продукта на удельные затраты энергии.

Уровень энергетических затрат (рис. 3) показывает, что удаление влаги проходит в виде пара и в виде тумана. 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 (рис.3) ниже удельной теплоты

фазового перехода для воды. Так подтверждена выдвинутая гипотеза о возможности в условиях ИЭМ обезвоживания без обязательного полного парообразования.

Результаты опытов (рис.3) свидетельствуют, что с уменьшением времени воздействия как при подводе энергии, так и при продувке сокращается время процесса обезвоживания и, что наиболее интересно, удельные затраты энергии. Представляется, что минимизация энергопотребления связана с реализацией следующих принципов:

- за счет объемного подвода энергии доставить влагу на поверхность продукта практически без изменения общего влагосодержания, при минимальном нагреве продукта;

- в режиме фильтрационного обезвоживания провести механический отвод влаги с поверхности при минимальном снижении температуры поверхности продукта.

Из анализа рис. 6 можно сделать два вывода:

- существует четкая зависимость между величиной изменения температуры при продувке продукта и значением удельных затрат энергии на удаление влаги из продукта;

- достигнутый в опытах уровень энергетических затрат ниже удельной теплоты фазового перехода для воды.

Второй вывод убедительно подтверждает выдвинутую гипотезу о возможности в условиях ИЭМ обезвоживания без обязательного полного парообразования.

5.2. Энергетика бародиффузионных технологий экстрагирования

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, при высоких давлениях 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 100⁰С. 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.

Установлена зависимость в процессах экстрагирования числа Шервуда (Sh) от чисел Рейнольдса (Re), Шмидта (Sc) и числа (Bu) при Re < 2300:

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

Дегустаторы отметили положительные структурные изменения в продукте, в первую очередь ароматических компонентов. Появляется возможность на наномасштабном уровне строить букет спирта.

5.3. Энергетика процессов инактивации микроорганизмов

Изучением отдельных наномасштабных объектов (вирусов, клеток, белков и т.п.) 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.

Энергетический КПД традиционных технологий пастеризации не превышает сотых долей процента. Крайне неэкономична схема подвода энергии: микроорганизмы получают ее от нагретого продукта. При этом, основная энергия расходуется на порчу продукта, на снижение качеств биологически активных компонентов. С позиций ПНТ возможно организовать селективный подвод энергии непосредственно к микроорганизмам (рис.7).



Рис. 7. Схема подвода энергии при ИЭМ пастеризации

Эффективность схемы (рис.7) определяется разницей диэлектрических характеристик продукта и микроорганизма, конструкцией аппарата, которая позволяет в полной мере реализовать эти различия. Требования к такому аппарату установлены, достигнуты

значения летальных температур для винных дрожжевых клеток на уровне (32...42) °С при обработке продукта в пределах минуты. Значительно выросли значения и энергетического КПД (таблица 3).

Если принимать во внимание только один фактор, определяющий летальность микроорганизмов – температурный, то поставленная задача становится сугубо тепловой.

Таблица 3.

Характеристики наностерилизатора.

Параметр	Традиционный подход	Результат ВБДГ	
		Достигнутый	Ожидаемый
Энергоемкость, МДж/кг	0,2	0,02	2*10 ⁻⁵
Температура, °С	80...100	30	10...20
КПД, %	0,004	0,04	20...40

Однако, рассчитать температуру отдельного микроорганизма во времени в условиях движения потока задача пока не решаемая. Общепринятым способом получения структуры уравнения в обобщенных переменных для расчета сопряженных задач гидравлики и теплопереноса является метод анализа размерностей. Применение этих методов в исследовании задач пастеризации не известно [8].

В общем случае, влияние на летальность микроорганизма имеют диаметр канала d , плотность ρ и вязкость потока μ скорость его движения w , Группа этих параметров характеризует инерционные свойства потока, гидродинамическую ситуацию в потоке, формирование пограничного слоя. Величина энергетических затрат представляется пропорциональной энергии излучения и той энергии, которая необходима для парообразования. Т.е. величинам удельной теплоты парообразования γ и мощности поля N_{Σ} . Безразмерным комплексом, который бы характеризовал кинетику выживаемости микроорганизмов, принимается отношение их удельных количеств в процессе пастеризации (В):

$$B = A (Re)^n (Pr)^k (Fo)^m (Bu)^g \quad (3)$$

При обработке только той базы данных, что соответствует условиям полной пастеризации, получена модель расчета температуры инактивации ($T_{л}$) в зависимости от чисел Фурье (Fo) и Прандтля (Pr):

$$\theta \equiv (T_{л}/T_{б}) = 0,29 Fo - 0,15 Pr + 0,43 \quad (4)$$

Предложенный подход позволит обобщить многочисленные экспериментальные данные и построить методики расчета низкотемпературных пастеризаторов пищевых продуктов [8].

6. ТЕПЛОМЕХАНИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ КЛЕТОЧНОЙ СТРУКТУРЫ

Отходы многих пищевых производств, перерабатывающих сырье растительного происхождения, являются структурированными и их

необходимо активировать – разрушить структуру клеток с целью извлечения и дальнейшей переработки ценных компонентов. Основными процессами технологии их утилизации являются: деструкция, экстракция и сушка. Рассмотрим реакцию оболочки клетки при последовательном подводе к ней энергии, выдержке и резкого сброса давления на третьем этапе. В основе анализа непрерывно – гетерогенная модель системы [5].

На первом этапе изменение объема клетки V_k , температуры T_k , давления P_k и концентрации в ней растворимых компонентов C_k , представляются следующим образом.

$$\begin{aligned} \tau_0 < \tau < \tau_n; \quad P_0 < P_a \leq P_n; \quad T_0 < T_a \leq T_n \\ \frac{dV_k}{d\tau} = \beta \cdot \varepsilon \cdot F \frac{\rho_{\Sigma}}{\rho_k} [C_{\Sigma}(\tau) - \tau_k(\tau)] + \\ + F_k \cdot \varepsilon \frac{P_a(\tau) - P_k(\tau)}{\delta} + \frac{1 - \varepsilon}{r \cdot \rho^u} \cdot \int q_u \cdot dF \quad (5) \end{aligned}$$

В (5) первое слагаемое учитывает эффект массопереноса, второе – изменение объема за счет инфильтрации, а третье – изменение объема за счет теплопередачи. Тепловой поток, передаваемый клетке, расходуется на нагрев "сухой" части, нагрев и частичное испарение жидкости :

$$\begin{aligned} Q_k = \int_0^{\tau} c_{pc} \{ [1 - C_k(\tau)] \cdot V_k(\tau) \} \rho_c dV d\tau + \\ + \int_0^{\tau} c_{PB} \cdot C_k(\tau) \cdot V_k(\tau) dV d\tau + \int_0^{\tau} q_v dV d\tau \quad (6) \end{aligned}$$

На втором этапе выдержка необходима для осуществления массопереносных процессов. 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 [5].

7. 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.

Представляется, что механизмы бародиффузии способны существенно интенсифицировать процессы активации сырья и инактивации микроорганизмов [8]. Использование нанотехнологических подходов позволило получить чистую воду с содержанием солей менее 4мг/кг [9], экологически чистый концентрат жидкого дыма [10]. Интенсификация процессов экстрагирования при производстве коньячных спиртов достигла значений 100...1000.

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

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Рынок нано: от нанотехнологий к нанопродуктам / Г.Л.Азоев [и др.]; под ред. Г.Л.Азоева.- М.: БИНОМ, 2011. - 319с.
- [2] Бурдо О.Г. Энергетический мониторинг пищевых производств – Одесса: Полиграф, 2008 – 244с.
- [3] Зайцев С.Ю. Супрамолекулярные наноразмерные системы на границе раздела фаз.- М.: ЛЕНАД, 2010-208с
- [4] Бурдо О.Г. Наномасштабные эффекты в пищевых технологиях // Инженерно-физический журнал. Минск, т.78, № 1.- 2005. - С.88-93.
- [5] Бурдо О. Г. Мікро – і нанотехнології – новий напрямок в АПК. Наукові праці. – Випуск 29. - Одеса: Одеська національна академія харчових технологій -2006.-С.3-9.
- [6] Бурдо О.Г., Ряико Г.М. Экстрагирование в системе «кофе-вода».- Одесса, 2007.- 176с.
- [7] Бурдо О.Г.Эволюция сушильных установок – Одесса: Полиграф, 2010 – 368с.
- [8] Бурдо О.Г., Рыбина О.Б. Процессы инактивации микроорганизмов в микроволновом поле – Одесса: Полиграф, 2010 – 200с.
- [9] Бурдо О.Г., Милинчук С.И., Мордынский В.П., Харенко Д.А. Техника блочного вымораживания – Одесса: Полиграф, 2011 – 294с.
- [10] Бурдо О. Г., Рыбина О.Б., Сталымбовская А.С. Энергетическая эффективность пищевых нанотехнологий. /Інтегровані технології та енергозбереження – Харьков: НТУ „ХПІ” 2006.–№2.
- [11] 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.