



МЛНЧ-2015

Международные Лыковские научные чтения



ВЕБ-КОНФЕРЕНЦИЯ

**Первые Международные Лыковские научные чтения,
посвящённые 105-летию академика А.В. Лыкова**

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СУШКИ
И ТЕРМОВЛАЖНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ
В РАЗЛИЧНЫХ ОТРАСЛЯХ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
И АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ**

22 - 23 СЕНТЯБРЯ 2015 ГОДА

*Веб-конференция «Первые Международные Лыковские научные чтения,
посвящённые 105-летию академика А.В. Лыкова – МЛНЧ-2015» прово-
дится при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных
исследований - проект № 15-08-20703-г*

Москва 2015

УДК 687
ББК 37.23
А43

Председатель Оргкомитета
Председатель Комитета РосСНМО
по проблемам сушки и термовлажностной обработки материалов,
д.т.н., профессор Рудобащта Станислав Павлович

Заместители Председателя Оргкомитета
член-корр. НАН Р. Беларусь, д.т.н., профессор
Павлюкевич Николай Владимирович,
академик РААСН, д.т.н., профессор
Федосов Сергей Викторович

Учёный секретарь Оргкомитета
учёный секретарь Комитета РосСНМО по проблемам сушки и термовлажностной обра-
ботки материалов, к.т.н., профессор Кошелева Мария Константиновна

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СУШКИ И ТЕРМОВЛАЖНОСТНОЙ ОБРАБОТ-
КИ МАТЕРИАЛОВ В РАЗЛИЧНЫХ ОТРАСЛЯХ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И АГ-
РОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ** [Текст]: сборник научных статей Первых
Международных Лыковских научных чтений (22-23 сентября 2015 года) / РГАУ-МСХА
имени К.А. Тимирязева, ЗАО «Университетская книга», Курск, 2015., 485 с.

ISBN 978-5-9907009-4-9

В сборник включены научные статьи российских и зарубежных учёных, представ-
ленные на вебинаре, в которых рассматриваются вопросы теории и математического
моделирования процессов сушки и термовлажностной обработки различных материа-
лов, проблемы сушки и термовлажностной обработки материалов в химической, пище-
вой, текстильной и лёгкой промышленности, в строительной индустрии, древесины,
вопросы экологической и производственной безопасности при проведении рассматри-
ваемых процессов, методы и средства контроля и управления данными процессами.

Материалы сборника предназначены для преподавателей вузов, аспирантов, научно-
технических и инженерно-технических работников различных отраслей промышленно-
сти и агропромышленного комплекса.

ISBN 978-5-9907009-4-9

УДК 687
ББК 37.23

© Российский государственный
аграрный университет – МСХА
имени К.А. Тимирязева, 2015
© ЗАО «Университетская книга», 2015
© Авторы статей, 2015

УДК 620.3:[537.8:631.365]

**РЕЖИМЫ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ
REGIMES OF DEHYDRATION IN ELECTROMAGNETIC FIELD****Олег Г. Бурдо*, Сергей Г. Терзиев*,
Валентина Н. Бандура**.****Oleg G. Burdo*, Sergey G. Terziev*, Valentina N. Bandura****** Одесская национальная академия пищевых технологий, Украина, Одесса
(e-mail: terma_onaft@rambler.ru).**Odessa national academy of food technologies, Ukraine, Odessa**** Винницкий национальный аграрный университет, Украина, Винница
(e-mail: bandura_3@ukr.net)**Vinnitsa National Agrarian University, Ukraine, Vinnitsa.*

Аннотация: В работе рассмотрены принципы адресной доставки энергии в процессах теплообмена. Дана классификация таких технологий. Анализируются бародиффузионные процессы переноса влаги из объема продукта. Установлены механизмы и режимы ламинарной и турбулентной бародиффузии. Введено число энергетического воздействия, которое учитывает эффективность электромагнитного подвода энергии и бародиффузионных процессов переноса влаги из продукта. Проведена оценка энергетической эффективности сушилок трех поколений по числу энергетического воздействия.

Abstract: In current work principles of targeted energy delivery in the processes of heat and mass transfer are reviewed. The classification of such technologies is given. Barodiffusion processes of migration of moisture from product volume are analyzed. The mechanisms and modes of laminar and turbulent barodiffusion are set. The number of energy action, which takes into account the efficiency of the electromagnetic energy supply and processes of barodiffusion transfer of moisture from the product is introduced. An assessment of energy efficiency of dryers of three generation by number of energy action is carried out.

Ключевые слова: Адресный подвод энергии, сушка в электромагнитном поле, бародиффузия.

Keywords: Address energy supply, drying in an electromagnetic field, barodiffusion.

Введение. Одной из ключевых, жизненно важных проблем настоящего времени является обеспечение человечества энергетическими ресурсами. Энергия стала дефицитным и дорогим ресурсом во всем мире, что привело к энергетическому кризису [1-3]. Отсутствие системного подхода к исследованию энерготехнологических проблем, опыта в решении задач эффективного использования энергии усугубляют энергетический кризис [3]. Это в значительной степени касается сушильных технологий. В пищевых и перерабатывающих производствах сушка, как правило, определяет и себестоимость, и качество продукта. Наибольшее распространение здесь получили конвективные способы сушки. Для такого способа сушки характерно серьезное научно-техническое противоречие. Стремление достичь высоких коэффициентов теплообмена требует повышать скорость теплоносителя, т.е. его расход. Однако при этом пропорционально растут и потери теплоты с отработавшим сушильным агентом, что в условиях энергетического кризиса нежелательно. Принятая в странах постсоветского пространства практика сушки зерна смесью топочных газов и воздуха не исключает возможность загрязнения продукта канцерогенными веществами. Поэтому в условиях энергетического кризиса, стабильного роста стоимости энергоносителей энергетические и экологические концепции сушки требуются пересмотреть.

Целью работы является совершенствование теплотехнологий сушки путем модернизации традиционных схем и разработки принципиально новых технологий обезвоживания гарантирующих безопасность продукта при существенном снижении энергетических затрат.

Общая научно-техническая идея разработок выражается в использовании принципов адресной доставки энергии к продукту, к его элементам. Объектом исследований стали зерносушильные установки, в которых кроме серьезных энергетических проблем не решены требования по экологической безопасности продукта. Последовательно проведена модернизация базовых конвективных сушилок, предложены принципиально новые технические решения.

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 термолabile 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.

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. [4].

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

вень 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 энергоёмкость, 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, низкоэнергоёмкие операции с пищевым сырьём, 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 дня [4, 5] можно так прогнозировать развитие НЭД - технологий обезвоживания сырья (рис.1). Принципы удаления влаги на основе электромагнитной энергии не всегда отвечают смыслу термина «сушка». Поэтому в работе используется термин более широкого смысла – обезвоживание.

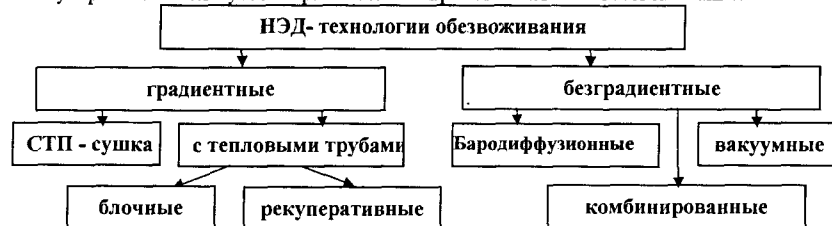


Рис.1. Классификация НЭД- технологий обезвоживания.

Сушка смешанным теплоподводом (СТП) активно развивается харьковской научной школой [6]. Использовать возможности тепловых труб (ТТ) в зерносушильной технике предложено в ОНАПТ [7]. На первом этапе был создан утилизатор теплоты на тепловых трубах. Оригинальная компоновка аппарата обеспечила режим «самоочищения» теплопередающей поверхности. Производственные апробации теплоутилизатора в схемах сушки растворимого кофе, сахара и зерна подтвердили высокую эффективность аппарата, обеспечивалось снижение расхода топлива от 10 до 25% [7]. На втором этапе ставилась задача создания зерносушильной техники 2 поколения, обеспечивающей экологическую безопасность зерна при существенном снижении расхода топлива. В основе разработок принцип адресной доставки энергии к продукту и следующие гипотезы.

Гипотеза 1. Разделение теплоносителя на два потока, один из которых циркулирует по контуру «тепловой генератор – зона нагрева зерна – тепловой генератор» с помощью конденсаторов ТТ нагревает зерно перед сушкой, после чего в калорифере из ТТ греет воздух до температуры сушильного агента и возвращается в теплогенератор, а другой поток – горячий воздух из калорифера продувается сквозь зерновой поток, увлажняется и выбрасывается в атмосферу, позволит до 40% теплоносителя пустить на рециркуляцию, что существенно снизит потери энергии с отработавшим теплоносителем. Конструкция зоны нагрева зерна на основе ТТ обеспечивает экологическую безопасность зерна, организацию равномерного подвода энергии к продукту и эффективное его перемешивание и согласует темпы процессов тепло- и массопереноса. Тепловой КПД такой блочной зерносушилки повышается до 60%.

Развитие эта техническая идея получила в гипотезе 2, что привело к конструкции рекуперативной зерносушилки.

Гипотеза 2. Если снять с воздуха задачу теплоносителя, а оставить ему функцию только диффузионной среды, организовать адресный подвод энергии к потоку зерна

системой ТТ, испарители которых обогреваются топочными газами (или любым другим источником энергии), то можно полностью обеспечить предварительный нагрев зерна за счет энергии выбросов из зоны сушки, сократить время и энергетические затраты и гарантировать получение безопасного продукта.

Первые две гипотезы обуславливают переход на принципиально новые конструкции шахтных зерносушилок, по сути, речь идет про сушилки 2 поколения.

Реализация 2 гипотезы позволит повысить тепловой КПД шахтной зерносушилки до 80 – 85% [7]. На этом возможности градиентных принципов сушки по снижению энергетических затрат исчерпываются.

Сушилки 3 поколения требуют принципиально новых подходов. Формулируется 3 гипотеза.

Гипотеза 3. Применение при обезвоживании зерна адресной доставки энергии непосредственно к влаге в объеме зерновки позволит инициировать мощный, специфичный гидродинамический поток, который возникает при взаимодействии электромагнитного поля с полярными молекулами влаги в капиллярах. Это приведет к удалению воды не только в паровой фазе, а туманом, существенно повысит интенсивность массопереноса за счет резкого снижения внутреннего диффузионного сопротивления, уменьшению энергетических затрат и времени процесса обезвоживания.

Третья гипотеза связана с радикально новыми способами организации процесса обезвоживания, с привлечением принципов нанотехнологий для развития бародиффузионных процессов [4, 8].

Эффект и механизм бародиффузии. Исходя из термодинамической схемы нанопроцесса [8, 9] механизм комбинированного нано- и макропереноса влаги из волокнистой структуры в поток поясняется схемой (рис.2).

В отличие от традиционных способов сушки анализируемые процессы характеризуются сопряженным протеканием процессов с разными по своей природе движущими силами [4]. Во-первых, имеет место чисто диффузионный процесс (J_D), который зависит от коэффициента диффузии D_s соответствующей движущей силы. Далее развивается конвективная диффузия (поток J_K), интенсивность которой определяется коэффициентом массопереноса β . При этом, наибольшие диффузионные сопротивления будут для нано- и микрокапилляров сырья, где наиболее стесненные условия.

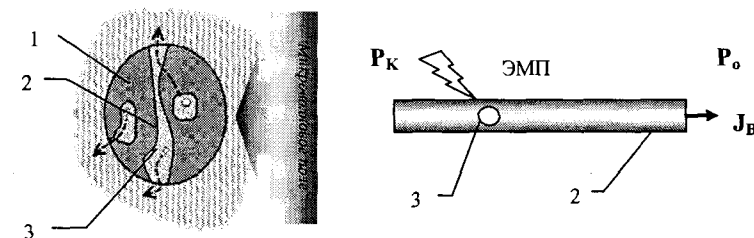


Рис. 2. Механизм и гидравлическая модель бародиффузии:
1 – зерно; 2 – капилляр; 3 – паровой пузырь.

В условиях действия микроволнового поля (ЭМП) параллельно движению массовых потоков J_D и J_K возникает еще один поток J_B (рис.2). Это специфический, гидродинамический поток, который возникает от того, что в глубине капилляра часть воды переходит в пар, что приводит к росту давления внутри капилляра (P_K). Это бародиффузия. Давление, которое обеспечивает «запуск» бародиффузии $P_{БД} = P_0 + P_K$. При достижении давления $P_{БД}$ происходит выброс жидкости и пара из глубины зерновки. Частота вы-

бросов и количество функционирующих капилляров увеличивается пропорционально электрофизическому воздействию. Массовый поток J_B зависит от разности давлений в капилляре P_K и среды P_O , а также от коэффициента массоотдачи β' , который может существенно отличаться от β :

$$J_B = \beta' \cdot (P_K - P_O) \quad (1)$$

Поток, возникающий под действием электромагнитного поля, турбулизирует приграничный слой, сопротивление массопереносу может быть на порядок ниже, чем в традиционных схемах массоотдачи. Соответствующее давление в i -м капилляре рассчитывается по классическому уравнению гидравлической сети с учетом сил поверхностного натяжения, которые могут быть значительными в микро- и нанокapиллярах. Следовательно, давление в капилляре определяют параметры: d_i, l_i – диаметр и – длина капилляра; w – скорость жидкости в капилляре; ρ – плотность жидкости; ξ – местные сопротивления; σ – силы поверхностного натяжения; λ – коэффициент гидравлического трения; g – ускорение свободного падения.

$$P_{K_i} = \frac{\rho \cdot w^2}{2} \left[\frac{\lambda \cdot l_i}{d_i} + \sum \xi \right] + \rho \cdot g \cdot l_i + \frac{\sigma}{d_i} \quad (2)$$

Краевая задача массопереноса в условиях микроволнового поля является сопряженной для потоков J_D, J_K и J_B (рис.3).

Подробно особенности моделирования по (рис.3) рассмотрены в [4].

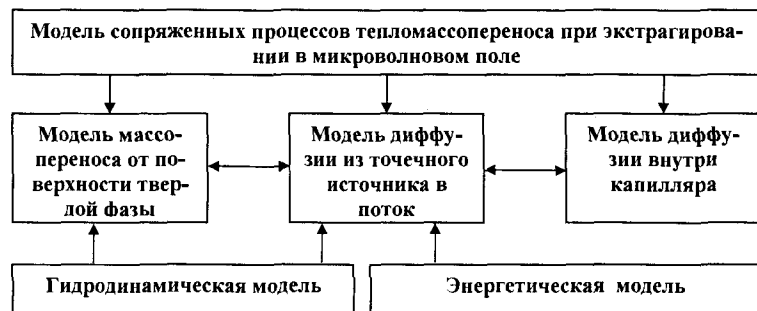


Рис.3. Классификация моделей при обезвоживании в МВ-поле.

Бародиффузионные эффекты в капиллярнопористых системах способны качественно изменить характер линий сушки (рис.4). Это подтверждено экспериментально (рис.5).

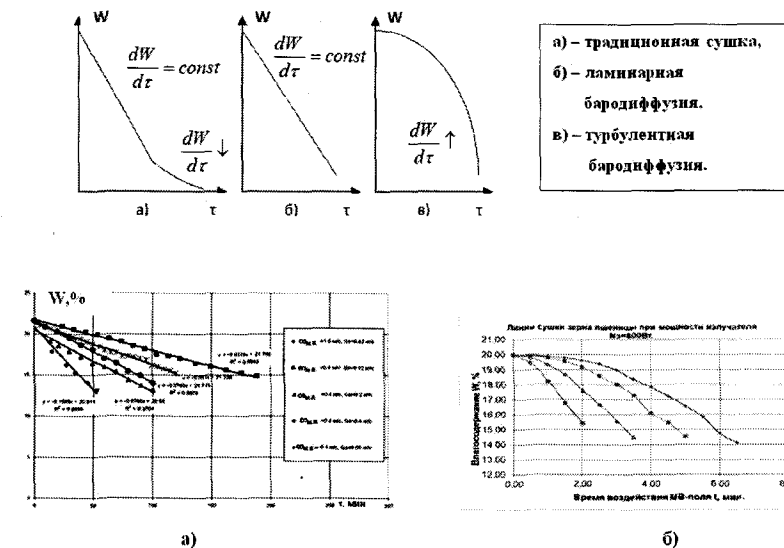


Рис.4. Линии удаления влаги в рекуперативной (а) и в микроволновой (б) установках.

Если в традиционной сушке различают периоды постоянной и убывающей скорости (рис.4, а), то в технологиях направленного энергетического действия наблюдаются режимы, в которых скорость удаления влаги может оставаться неизменной, и, даже, повышаться. В рекуперативной установке при согласовании режимных параметров комплекс (dW/dt) остается постоянным (рис.5). То же самое характерно и для условий ламинарной бародиффузии, когда гидродинамический поток из объема зерновки достигает ее поверхности, что обеспечивает постоянную скорость удаления влаги. В режиме турбулентной бародиффузии наблюдается стабильный рост комплекса (dW/dt) . Объяснить этот парадокс можно тем, что под действием электромагнитного поля последовательно будет увеличиваться доля гидродинамического потока из объема зерновки, т.е. часть потока, который выходит в виде тумана. В первые минуты поверхностная влага как бы экранирует объем зерновки от электромагнитного поля, идет удаление влаги с поверхности, бародиффузионный поток минимальный. На следующем этапе по мере уменьшения количества поверхностной влаги растет доля и мощность потока из объема зерновки. Так можно объяснить характер линий удаления влаги, типичный пример которых приведен на рис.5,б [10, 11].

Режимы турбулентной бародиффузии ломают сложившиеся методы оценки энергетической эффективности процесса обезвоживания. Параметром оценки всегда считался тепловой КПД, который представлялся отношением физически необходимой энергии на удаление влаги к энергии, затраченной в процессе.

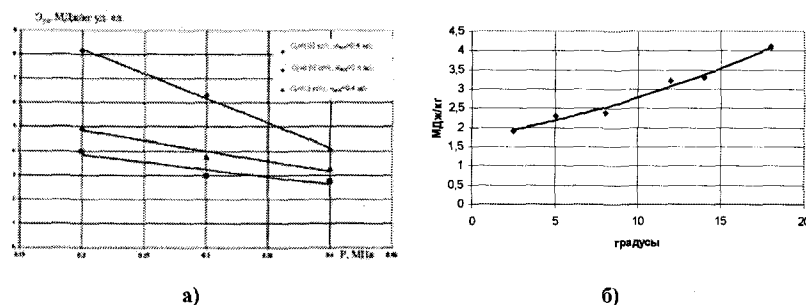


Рис.5. Удельные затраты энергии на удаление влаги в установках 2 (а) и 3 (б) поколений.

Для рекуперативной установки величина удельных затрат энергии определяется расходом зерна (G), скоростью движения диффузионной среды (воздуха) сквозь зерновой слой (ω) и давлением (P) в испарительно-конденсационном теплопередающем модуле (рис.6,а). Видно, что достигнуты режимы, в которых тепловой КПД составляет 85%.

Для установок 3 поколения, реализующих бародиффузионные эффекты, достигнуты значения удельных затрат энергии 1.9 МДж на 1кг удаленной влаги (рис.6,б), что ниже, чем физически необходимая энергия для перевода воды в пар. Если ламинарная бародиффузия характеризуется привычными для классической задачи массопереноса понятиями - внутреннее и внешнее диффузионные сопротивления, то в режиме турбулентной диффузии нивелируются такие понятия, как пристенный пограничный слой и соответствующие диффузионные сопротивления. Если ламинарная бародиффузия интенсифицирует только внутридиффузионный массоперенос, то турбулентная бародиффузия интенсифицирует и внутри - и внешнедиффузионный массоперенос. Возникает задача количественной оценки энергетической эффективности процесса удаления влаги, приемлемой и для режимов бародиффузии.

Число энергетического действия. Последние годы характеризуются бурным развитием сушильной техники с электромагнитными источниками энергии. Вместе с тем, совершенствование разработок ведется на основе инженерной интуиции. Уровень понимания процессов взаимодействия продукта и электромагнитных волн значительно ниже представлений электрофизических явлений в генераторах электромагнитного излучения. Техника электромагнитных генераторов опередила теорию теплоассопереноса в процессе сушки при электромагнитном подводе энергии. Объясняется это тем, что сами генераторы (особенно микроволнового диапазона) являются элементами военной техники, их совершенствование и проводилось под заказы этой отрасли. Если учесть, что прикладные проблемы даже традиционной сушки не доведены до общепризнанных инженерных методов проектирования, то специфика сушки при электромагнитном подводе энергии практически не изучена. Однако успешное моделирование процессов сушки с ЭМП может дать мощный импульс широкого внедрения перспективной техники в пищевые технологии. Для учета влияния электромагнитного поля при сушке сырья автором [4] предложено число энергетического действия (число Бурдо), которое выражается отношением энергии, затраченной на организацию процесса (Q_i), к той энергии, которая физически необходима для перевода в пар всей удаляемой из сырья влаги (Q_T). Это число справедливо и для традиционных сушилок, и для установок 2 и 3 поколений. Для установок с ЭМП число энергетического действия будет иметь вид

$$Bu = (Q_i / Q_T) = N (Mr)^{-1} \quad (3)$$

Соотношение между энергией излучения (N) и той энергией, которая необходима для аналогичных процессов в традиционных технологиях определяет как энергетическую эффективность оборудования, так и режим массопереноса. Величина Q_T определяется массовым расходом удаляемого пара (M) и удельной теплотой фазового перехода (r). 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 массопереносу, который логично назвать режимом турбулентной бародиффузией.

Это число удачно обобщило базы экспериментальных данных в процессах обезвоживания и экстрагирования. Представляется, что число Bu может ответственно характеризовать энергетическую специфику всех задач, применяемых НЭД - технологий. Оно позволяет сравнивать энергетические показатели сушилок разных поколений.

Таблица 1. Сравнение энергетических показателей сушилок разных поколений

Принцип удаления влаги	МДж/кг удаленной влаги	Тепловой КПД, %	Число Бурдо
Базовые конвективные	6 - 8	0,3 - 0,38	2,6 - 3,5
Зерносушилки			
- базовые 1 поколения	4,26 - 6,3	0,36 - 0,5	1,85 - 2,7
- модернизированные 1 поколения	3,8 - 5,1	0,45 - 0,6	1,67 - 2,22
- блочные 2 поколения	3,54	0,65	1,54
- рекуперативные 2 поколения	2,7 - 2,88	0,8 - 0,85	1,18 - 1,25
- 3 поколения (достигнутый результат)	1,29	-	0,56
- 3 поколения (ожидаемый результат)	0,2	-	0,09

Результаты табл.1 позволяют сделать 2 вывода. Во-первых, число Bu логично оценивает энергетику сушилок, реализующих разные принципы обезвоживания. Во-вторых, число Bu иллюстрирует перспективу установок 3 поколения.

Эффективность извлечения влаги из твердой фазы зависит от согласования продолжительности и мощности импульсов ЭМП. При малой продолжительности может не успеть сформироваться поток влаги из нано- и микрокапилляров. 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 и количества в каналах влаги). Величину ЭМП следует согласовывать и с диаметрами каналов - в более мелких каналах требуется больший перепад давлений для возникновения бародиффузионного потока.

Выводы. Локальное действие на наномасштабные элементы пищевого сырья позволят дать принципиально новые подходы организации процессов в АПК. Развивается новое научное направление в пищевых нанотехнологиях - управление процессами переноса на границе фаз нанометрических пищевых структур [4]. Инструментом такого управления может стать энергетическое воздействие. Такое направление названо «НЭД - технологии», т.е. технологии направленного (селективного) энергетического действия на элементы сырья. Подраздел направления - нанозерготехнологии, технологии адресной доставки энергии к наномасштабным элементам пищевого сырья.

Мощным средством инициирования возникновения нанокинетики является импульсное электромагнитное поле. Именно в условиях ЭМП представляется возможность организовать направленный, локальный подвод энергии к полярным молекулам пищевого сырья, т.е. реализовать НЭД- технологии.

Список литературы

1. Energy intensities, EROIs, and energy payback times of electricity generating power plants. *Energy* Volume 52, 1 April 2013, pp. 210 – 221.
2. 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
3. Бурдо О.Г. Энергетический мониторинг пищевых производств – Одесса: Полиграф, 2008 – 244с.
4. Бурдо О.Г., Пищевые наноэнерготехнологии – Херсон, 2013 – 294с.
5. Рынок нано: от нанотехнологий к нанопродуктам /Г.Л.Азоев [и др.]; под ред. Г.Л.Азоева.- М.: БИНОМ, 2011. - 319с
6. Потапов В.А., Повышение энергоэффективности сушки виноградных выжимок в массообменном модуле с кондуктивным подводом теплоты //Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій – Одесса: 2013. – Вип. 43 – Том 2. – с. 179-184.
7. Бурдо О.Г. Эволюция сушильных установок – Одесса: Полиграф, 2010 – 368с.
8. Бурдо О.Г. Наномасштабные эффекты в пищевых технологиях //Инженерно-физический журнал. Минск, т.78, № 1.-2005. - С.88-93.
9. Burdo O.G. Nanoscale effects in food-production technologies // *Journal of Engineering Physics and Thermophysics* – 2005.- Vol.78, Issue 1.- P.90-96.
10. Бурдо О.Г., Терзиев С.Г., Яровой И.И., Борщ А.А. Электромагнитные технологии обезвоживания сырья /Problemele energeticii regionale, Chisinau, №1 (18), 2012.- pp.69-79.
11. Бурдо О.Г., Терзиев С.Г., Ружицкая Н.В., Макиевская Т.Л. Процессы переработки кофейного шлама. – Киев: ЭнтерПринт, 2014.- 228 с.
12. 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.