

## ТЕХНОЛОГИИ НАПРАВЛЕННОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ В АПК

Бурдо О.Г., д-р техн. наук, профессор

Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса

*В работе дано определение и классификация технологий направленного энергетического действия (НЭД). Сформулированы гипотезы перевода сушильных процессов на НЭД технологии. Обсуждаются режимы ламинарной и турбулентной диффузии. Анализируется механизм и эффект механодиффузии при экстрагировании. Проведено сравнение энергетической эффективности различных способов обезвоживания на основе числа энергетического действия.*

*In current work a definition and classification of directed energy action (DEA) technologies is given. The hypotheses of drying processes conversion to DEA technologies are formulated. The regimes of laminar and turbulent diffusion are discussed. The mechanism and effect of mechanodiffusion in extraction are analyzed. The comparison of different dehydration methods energy efficiency based on energy action number is carried out.*

Ключевые слова: энерготехнологии, сушка, экстрагирование, энергетическая эффективность.

**Введение.** Обеспечение человечества энергетическими ресурсами является одной из ключевых проблем настоящего времени. Особенно это касается АПК, который является одним из лидеров по потреблению энергетических ресурсов в Украине. [1]. Отсутствие системного подхода к исследованию энерготехнологических проблем, опыта в решении задач эффективного использования энергии в АПК усугубляют энергетический кризис в Украине [1].

Целью работы является совершенствование теплотехнологий АПК путем модернизации традиционных схем и разработки принципиально новых технологий тепломассопереноса гарантирующих безопасность пищевого 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. Исследуются низкоэффективные экстракционные технологии АПК, предлагаются новые решения и принципы.

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.

**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 нанокапиллярной структуры, формирование состава этих потоков, направление силовых воздействий на оболочки клеточной структуры микробиологических объектов и т.п. [2].

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 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, низкоэнергоемкие 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 дня [2 - 4] 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.

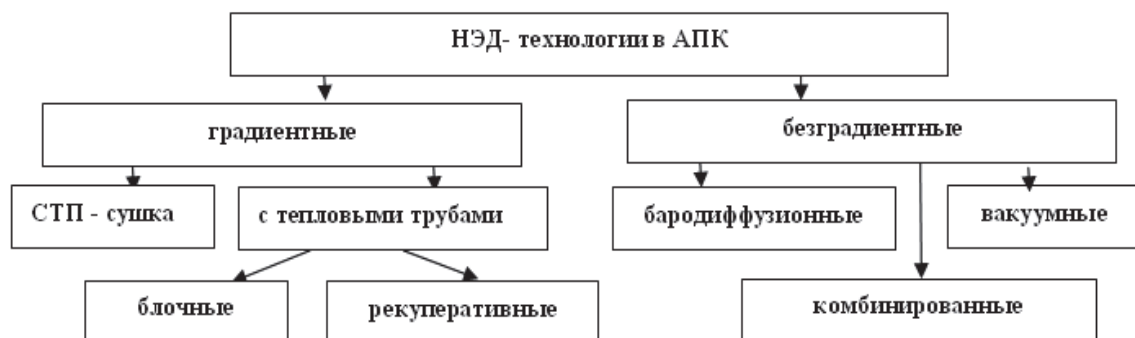


Рис. 1 – Классификация НЭД-технологий в АПК.

**Сушка.** Рассмотрим перспективы НЭД- технологий в сушильной технике. 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 тепло-массопереноса 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 требуется пересмотреть.

Сушка смешанным теплоподводом (СТП) активно развивается харьковской научной школой [5]. Использовать возможности тепловых труб (ТТ) в сушильной технике впервые предложено в ОНАПТ [4]. 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 % [4]. 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» и 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 % [4]. На этом возможности градиентных принципов сушки по снижению энергетических затрат исчерпываются.

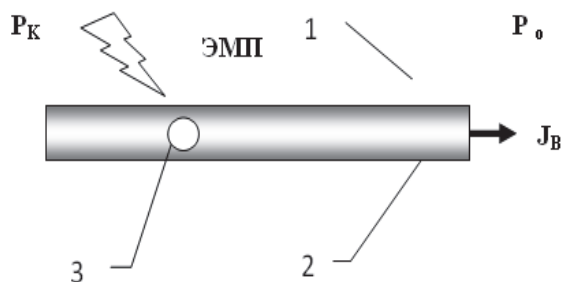
Сушилки 3 поколения требуют принципиально новых подходов. Формулируется 3 гипотеза.

**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 [2, 4].

**Эффект и механизм бародиффузии.** Исходя из термодинамической схемы нанопроцесса [2, 6, 7] 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 [2].

Во-первых, имеет место чисто диффузионный процесс ( $J_D$ ), который зависит от коэффициента диффузии  $D$  с соответствующей движущей силы. Далее развивается конвективная диффузия (поток  $J_K$ ), интенсивность которой определяется коэффициентом массоотдачи  $\beta$ . При этом, наибольшие диффузионные сопротивления будут для нано- и микрокапилляров сырья, где наиболее стесненные условия. В условиях действия микроволнового поля (ЭМП) параллельно движению массовых потоков  $J_D$  и  $J_K$  возникает еще один поток  $J_B$  (рис.2). Это бародиффузия.



1 – продукт; 2 – капилляр; 3 – паровой пузырь.

**Рис. 2 – Механизм бародиффузии**

Это специфический, гидродинамический поток, который возникает от того, что в глубине капилляра часть воды переходит в пар, что приводит к росту давления внутри капилляра ( $P_K$ ). Давление, которое обеспечивает «запуск» бародиффузии  $P_{БД} = P_0 + P_K$ . При достижении давления  $P_{БД}$  происходит выброс жидкости и пара из глубины капилляра. Частота выбросов и количество функционирующих капилляров увеличивается пропорционально электрофизическому воздействию. Массовый поток  $J_B$  зависит от разности давлений в капилляре  $P_K$  и среды  $P_0$ , а также от коэффициента массоотдачи  $\beta'$ , который может существенно отличаться от  $\beta$ :

$$J_B = \beta' \cdot (P_K - P_0) \quad (1)$$

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;  $\rho$  – плотность жидкости;  $\xi$  – местные сопротивления;  $\sigma$  – силы поверхностного натяжения;  $\lambda$  – 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).

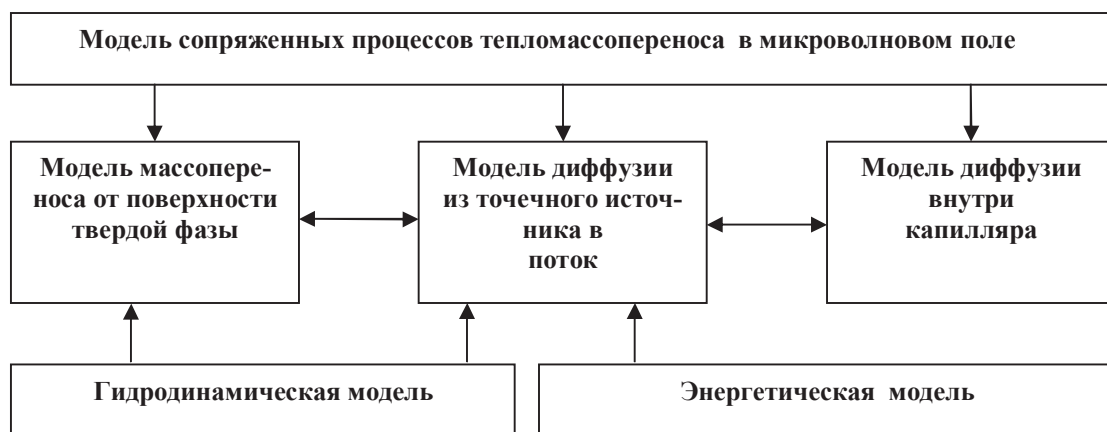
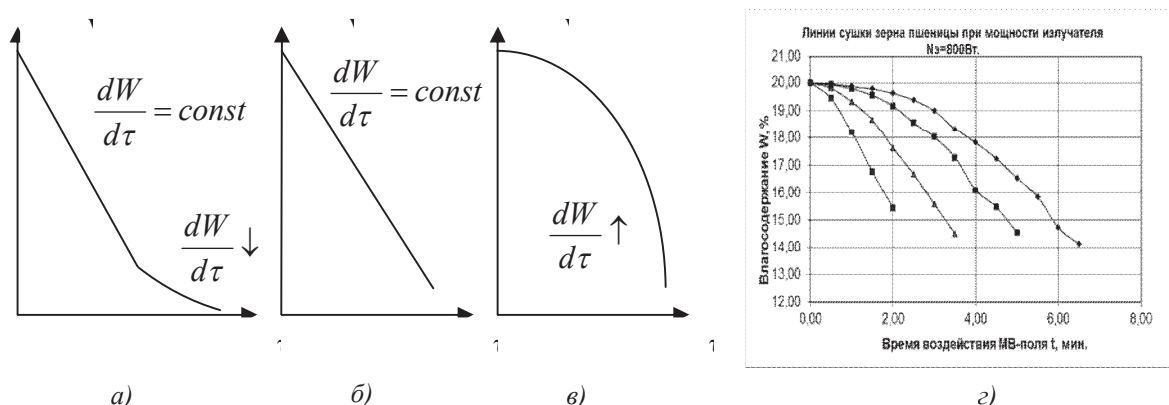


Рис. 3 – Классификация моделей тепломассопереноса в микроволновом поле.

Подробно особенности моделирования по (рис.3) рассмотрены в [2]. Бародиффузионные эффекты в капиллярнопористых системах способны качественно изменить характер линий сушки (рис.4). Это подтверждено [4, 8] экспериментально (рис.4, г).



а) – традиционная сушка, б) – ламинарная бародиффузия, в) – турбулентная бародиффузия, г) - эксперимент в микроволновой установке.

Рис. 4 – Линии удаления влаги:

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  $(dW/d\tau)$  остается постоянным [4]. 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  $(dW/d\tau)$ . 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.4,г [8, 9].

Для рекуперативной установки величина удельных затрат энергии снижается. Достигнуты режимы [4], в которых тепловой КПД составляет 85 %.

Режимы турбулентной бародиффузии ломают сложившиеся методы оценки энергетической эффективности процесса обезвоживания [2, 4]. Параметром оценки всегда считался тепловой КПД, который

представлялся отношением физически необходимой энергии на удаление влаги (при переводе ее в пар) к энергии, затраченной в процессе.

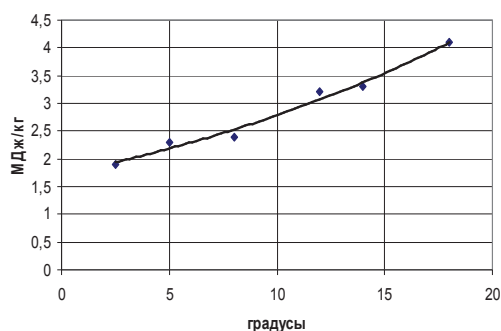


Рис. 5 – Удельные затраты энергии в установках 3 поколения

вности процесса удаления влаги, приемлемой и для режимов бародиффузии.

**Эффект и механизм механодиффузии.** Процессы экстрагирования в современных пищевых технологиях производства сахара, масел, растворимого кофе, коньячных спиртов являются ключевыми, определяющими как качество, так и экономические показатели предприятия. Однако, как правило, это достаточно трудоемкий и низкоэффективный процесс. Полученные результаты показывают, что использование принципов нанотехнологий, НЭД- технологий позволит существенно интенсифицировать процесс экстрагирования за счет эффекта комбинированного электрофизического воздействия импульсным электромагнитным полем [2, 10]. Экспериментально подтверждено, что в экстракт переходит большее количество компонентов твердой фазы, чем может быть растворено экстрагентом. Обнаружены в экстракте и совсем не растворимые компоненты [10].

Объяснить эти факты можно 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. 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.

Представляется, что в общем, мы имеем дело с новым явлением, новым эффектом, название которому можно дать «механодиффузионный эффект массопереноса при безградиентном волновом подводе энергии к полярным молекулам электромагнитным полем».

**Число энергетического действия.** Очевидно, что прикладные проблемы из-за специфики сушки при электромагнитном подводе энергии практически не изучены. 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 [2] предложено число энергетического действия (число Бурдо), которое выражается отношением энергии, затраченной на организацию процесса ( $Q_{и}$ ), к той энергии, которая физически необходима для перевода в пар всей удаляемой из сырья влаги ( $Q_{т}$ ). Из теплового баланса теоретический расход энергии пропорционален массовому расходу удаляемой влаги ( $M$ ) и удельной теплоте фазового перехода. Это число справедливо и для традиционных сушилок, и для установок 2 и 3 поколений. Для установок с ЭМП число энергетического действия будет иметь вид

$$Bu = (Q_{и}/Q_{т}) = N (Mr)^{-1} \quad (3)$$

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 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 – технологии. 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). Мощность электрофизического воздействия следует согласовывать и с диаметрами каналов – в более мелких каналах требуется больший перепад давлений для возникновения бародиффузионного потока [11].

**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 – наноэнерготехнологии, 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.

#### Литература

1. Бурдо О.Г. Энергетический мониторинг пищевых производств – Одесса: Полиграф, 2008 – 244с.
2. Бурдо О.Г., Пищевые наноэнерготехнологии – Херсон, 2013 – 294с.
3. Рынок нано: от нанотехнологий к нанопродуктам /Г.Л.Азоев [и др.]; под.ред. Г.Л.Азоева.- М.: БИ-НОМ, 2011. - 319с
4. Бурдо О.Г. Эволюция сушильных установок – Одесса: Полиграф, 2010 – 368с.
5. Потапов В.А., Якушенко Е.Н. Повышение энергоэффективности сушки виноградных выжимок в массообменном модуле с кондуктивным подводом теплоты //Наук. праці Од. націон. акад. харчових технологій. – Одеса: 2013. – Вип.43, Т2. – с.179-184..
6. Бурдо О.Г. Наномасштабные эффекты в пищевых технологиях //Инженерно-физический журнал. Минск, т.78, № 1.-2005. - С.88-93.
7. Burdo O.G. Nanoscale effects in food-production technologies // Journal of Engineering Physics and Thermophysics – 2005.- Vol.78, Issue 1.- P.90-96.
8. 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.
9. Бурдо О.Г. Механодиффузионный эффект массопереноса при экстрагировании в электромагнитном поле //Пищевая наука и технология. - 2012. - № 4(21) - С.53-57.

10. Бурдо О.Г., Терзиев С.Г., Ружицкая Н.В., Макиевская Т.Л. Процессы переработки кофейного шлама. – Киев: ЭнттерПринт, 2014.- 228 с.
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.

УДК 338.45: 662.276

## ПИНЧ-ИНТЕГРАЦИЯ ПРОЦЕССОВ РАЗДЕЛЕНИЯ ШИРОКОЙ ФРАКЦИИ ЛЕГКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ И ПРОПАН-ПРОПИЛЕНОВОЙ ФРАКЦИИ НА УСТАНОВКАХ ГАЗОФРАКЦИОНИРОВАНИЯ И КОМПРИМИРОВАНИЯ

Ульев Л.М., д-р техн. наук, проф., Маатоук А., аспирант  
Васильев М.А., ассистент

Национально технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков

*В работе выполнена пинч-интеграция процессов стабилизации ППФ, разделение ППФ и разделение ШФЛУ. На основании анализа технологической схемы и поточных данных, с помощью метода пинч-анализа спроектирована сеточная диаграмма теплообменной системы, построены составные кривые в соответствии с существующей нагрузкой теплообменной системы. Найдено новое значение  $\Delta T_{\min}$  и построена составная кривая согласно этому значению. С помощью метода пинч-анализа спроектирована новая сеточная диаграмма для интегрированного процесса.*

*Energy conservation is one of the most common concerns in gas separation plants. This article contains information about data extraction and heat integration of separation of light hydrocarbons plant. The pinch analysis method was selected to perform a reconstruction project. Technological streams that are needed for the integration process by using the pinch analysis method were identified. Grid diagram was constructed on the basis of these data, heat exchange between process streams was determined. Heat recovery power of existing process was calculated. In addition to that composite curves for the existing process was made. According to principles of pinch analysis, new composite curves are designed. With the help of pinch-design methods was built the grid diagram for proposal heat energy recuperation system.*

Ключевые слова: углеводороды, пинч-анализ, сеточная диаграмма, составные кривые, утилиты, рекуперация.

**Введение.** Уровень экономического развития любой страны сегодня определяется не количеством добытых или потребленных топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), а эффективностью их использования – энергоемкостью ВВП, удельными затратами ТЭР на единицу изготовленной продукции. Масштаб и устройство украинской экономики предопределяют довольно значительное конечное потребление первичных энергоресурсов. По итогам 2006 года энергоемкость ВВП в Украине составила 0,89 кг условного топлива (у.т.) на 1 долл. США. Этот показатель сегодня является самым высоким среди стран Европы. В частности, в Польше энергоемкость ВВП составляет 0,34 кг у.т / долл., в Германии – 0,26, в Великобритании – 0,23 [1].

Как известно, Украина относится к энергодефицитным странам, удовлетворяя в последние годы за счет собственной добычи потребности в природном газе на 24-27%, в нефти – на 10-15 %. Дефицит угля также является проблемой в последнее время. В топливном балансе Украины доминирующая роль принадлежит природному газу. По потреблению газа Украина занимает шестое место в мире после США, России, Великобритании Германии и Канады [1].

Повышение конкуренции на рынке по переработке углеводородов и уменьшение рентабельности производства, вынуждает предприятия газохимической отрасли искать пути повышения энергоэффективности. Эффективное энергосбережение является одной из наиболее распространенных проблем на химических и нефтехимических заводах. Несмотря на то, что процессы синтеза теплообменных сетей были тщательно изучены за последние полвека, большинство из них имеют ограничения, как по времени вычисления, так и в связи с их математической сложностью. Таким образом, они непрактичны для больших промышленных задач [2].

На украинских НПЗ большая часть технологических установок строилась в 60-х и 70-х годах, когда цена энергоресурсов была очень низкая и экономии энергии не придавалось большого значения [3]. В