

падиння [6] та ін.) Існують також методики розрахунку коефіцієнтів тепловіддачі при охолодженні вологого повітря з урахуванням тепло- масообміну при конденсації. В результаті з урахуванням поправки на конденсацію  $\alpha_{\text{пов}}=907 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$ , з урахуванням коефіцієнта вологовипадіння  $\alpha_{\text{пов}}=129,5 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$ . Розрахунок зроблений для умов конденсації на внутрішній поверхні круглої труби.

В експериментах у теплообміннику-рекуператорі вдалося реалізувати наступний процес охолодження вологого повітря з 40 до 36 °С, утилізовано тепловий потік 360 Вт. Розрахунковий коефіцієнт тепловіддачі від вологого повітря до стінки дорівнює 60 Вт/м<sup>2</sup>·К. Досягнуто умов часткової конденсації пари, що знаходиться в вологому повітрі, що викидається з сушарки.

В умовах експериментів утилізовано 12 % підведеної теплоти, що дозволяє знизити енерговитрати рекуперативної зерносушарки до 3 МДж/ кг вид. вол.

### Література

1. Бурдо, О.Г. Эволюция сушильных установок [Текст] / О.Г. Бурдо, // Монография / - О, Полиграф, 2010. – 368 с.
2. Современное состояние и тенденции развития мощностей по хранению зерна в хозяйствах Украины, Журнал «Хранение и переработка зерна» : <http://hipzmag.com/>
3. Бурдо, О. Г. Кінетика сушіння пшениці в апаратах на базі термосифонів [Текст] / О. Г. Бурдо, І. В. Безбах, В. І. Донкоглов // Наук. пр. /ОНАХТ. – О., 2009. - Вип. 36, т. 1. - С. 297-302.
4. Гинзбург, А. С. Влага в зерне [Текст] / А.С. Гинзбург, В. П. Дубровский, Е. Д. Казаков– М.: Колос, 1969. - 217 с.
5. Исаченко В. П. , Осипова В. А. , Сукомел А. С. Теплопередача М.: Энергия, 1975. – 488 с.
6. Якобсон, В.Б. Малые холодильные машины [Текст] В.Б. Якобсон –М.: Пищевая промышленность. 1977. – 368 с

УДК 66.021.001.57:56/59.004.18

## ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСОЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ РАСТВОРИМОГО КОФЕ

Терзиев С.Г., канд. техн. наук, ассистент

Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса

*Анализируются проблемы технологии растворимого кофе. Рассматриваются различные приемы утилизации кофейного шлама. Показаны перспективы вакуумных и микроволновых технологий в задачах концентрирования и экстрагирования из кофейных продуктов. Предлагаются новые принципы работы и конструктивные особенности выпарного аппарата и экстрактора.*

*The problems of instant coffee technology are analyzed. Different techniques of coffee sludge utilization are considered. The prospects of vacuum and microwave technologies in concentrating and extraction from coffee products are shown.*

Ключевые слова: концентраты кофе, энергоэффективность, вакуумные, микроволновые технологии.

**Введение.** Кофе является экономически важным сырьевым продуктом в мире. С каждым годом спрос на кофе растет на 2 % и превышает предложение. Кофейный рынок Украины за последние 10 лет стал самым динамично развивающимся рынком кофе в мире. Так, в 2012 г. производство кофе в стране увеличилось на 16,6 % по сравнению с 2011 г. В структуре продаж кофейной продукции в Украине преобладает растворимый кофе (табл.1).

Таблица 1 – структура продаж кофейной продукции в Украине

№	кофейная продукция	доля продаж, %
1	растворимый кофе	40
2	молотый кофе	35
3	кофейные смеси	25

Половину рынка кофейной продукции Украины занимает «Галка». Производители одесского предприятия «Энни Фудз» имеют 13 % в общей доле продаж. Дорогое, импортируемое сырье и энергоемкое производство главного в секторе продаж – растворимого кофе, определяют постоянную актуальность

совершенствования технологии растворимого кофе, повышения энергетической эффективности производства и решения проблем сокращения потерь сырьевых ресурсов.

**Проблемы современных технологий производства растворимого кофе.** Высокий уровень термического воздействия на сырье в процессе переработки определяет основные недостатки производства:

- значительная энергоемкость оборудования и длительность технологического процесса (7...8 ч);
- потеря ценных легколетучих вкусовых и ароматических веществ (более 80 % от начального количества в обжаренных зернах), обуславливающих качество конечного продукта, на стадиях измельчения, хранения, экстрагирования и сушки в процессе производства;
- низкий выход целевого компонента (20...33 % от массы сырых зерен);
- отходы производства - *кофейные шлам*, не утилизируются, создают экологически опасную ситуацию, загрязняя окружающую среду.

Вместе с тем, кофейный шлам содержит значительное количество ценных компонентов, извлечение которых имеет коммерческую целесообразность.

**Задачи исследований.** Растворимое кофе производят из дорогого импортируемого сырья. Основные процессы этого производства требуют высоких затрат энергии, а использование сырья не эффективно. Очевидно, что любые решения по сокращению затрат энергии, по глубокой переработке сырья являются актуальными. Поэтому в работе ставятся задачи повышения ресурсоэнергоэффективности технологии производства растворимого кофе.

Ключевым процессом технологии растворимого кофе является экстрагирование. Рассмотрим подробнее процесс экстрагирования в производстве растворимого кофе и определим направления его совершенствования.

**Традиционные подходы при экстрагировании из зерен кофе.** Для технологии определились серьезные научно-технические противоречия. С одной стороны, с целью повышения выхода целевых компонентов, температура процесса повышается до 170...180 °С [1]. Однако это требует высоких давлений в аппарате. В этой связи исключаются традиционные методы интенсификации процесса экстрагирования: перемешивание, движение экстрагента и т.п. Кроме того, повышенные температуры в процессе неблагоприятно сказываются на качественных показателях продукта.

Процесс протекает в батарее экстракционных колон, в которых после загрузки последовательно повышается температурный режим (табл.2).

**Таблица 2 – Режимные параметры работы экстракционных колон**

Показатель	Число работающих экстракторов					
						Разгрузка-загрузка
<u>1-ый экстрактор:</u>						
Температура, °С	70...80	105...110	120...140	150...160	170...180	
Давление, МПа	0	0,3	0,6	0,9	1,2...1,5	
<u>2-ой экстрактор:</u>	Загрузка					
Температура, °С		70...80	105...110	120...140	150...160	170...180
Давление, МПа		0	0,3	0,6	0,9	1,2...1,5
<u>3-ий экстрактор:</u>		Загрузка				
Температура, °С			70...80	105...110	120...140	150...160
Давление, МПа			0	0,3	0,6	0,9
<u>4-ый экстрактор:</u>			Загрузка			
Температура, °С				70...80	105...110	120...140
Давление, МПа				0	0,3	0,6
<u>5-ый экстрактор:</u>				Загрузка		
Температура, °С					70...80	105...110
Давление, МПа					0	0,3
<u>6-ой экстрактор:</u>					Загрузка	
Температура, °С						70...80
Давление, МПа						0

Несмотря на предельно высокие значения температур и давлений в аппаратах (табл.2), с отходами экстрагирования (кофейным шламом) теряется до 15 % от общего содержания водорастворимых веществ в сырье. Анализ показывает, что остаток содержит полнокачественные экстрактивные вещества. В процессе производства растворимого кофе шлам составляет 60-65 % исходного сырья, который в настоящее время не имеет дальнейшего практического применения. На 1 т готовой продукции, приходится 1,5-2 т шлама. Кофейный шлам имеет полноценный химический состав (содержит до 4% экстрактивных веществ), который не уступает по качеству основных компонентов содержащихся в кофе, поэтому шлам является ценным дополнительным источником для увеличения выхода готового продукта (табл.3).

Таблица 3 – Состав кофейного шлама

№ п/п	Основные компоненты	Количество в пересчете на сухое вещество, %
1.	Жир	16 - 22
2.	Клетчатка	55
3.	Азотистые вещества	9,8
4.	Кофейная кислота	7,0
5.	Хлорогеновая кислота	6,2

**Процессы утилизации кофейного шлама.** На первом этапе исследований сформулирована научно-техническая гипотеза, объясняющая причины потерь целевых компонентов со шламом. Суть ее в том, что остатки водорастворимых веществ находятся в микро- и нанокapиллярах зерен, поэтому их не удается извлечь промышленными технологиями. Ставится задача найти пути повышения ресурсоэнергоэффективности процесса.

В настоящее время растет интерес к методам, при которых интенсификация процесса достигается за счет использования электроимпульсных технологий, электромагнитных полей. Применение микроволнового (МВ) излучения в ряде технологий позволило: повысить эффективность процесса; уменьшить массообменные характеристики оборудования и снизить величину затрат электрической энергии; улучшить качество получаемого продукта [2-4]. Представляется, что применение в процессе экстрагирования из кофе продуктов электромагнитного подвода энергии, позволит организовать массоперенос при эффективном противоточном движении сырья и экстрагента. Процесс можно осуществлять в условиях атмосферного давления, при извлечении из капиллярной структуры зерен экстрактивных веществ за счет специфического гидродинамического потока, возникающего при взаимодействии импульсного микроволнового поля с полярными молекулами жидкости в капиллярах сырья [3].

При извлечении остатков целевых компонентов из шлама за счет инициирования мощного бароциркуляционного потока экстрактивных веществ, существенно интенсифицируется массоперенос из твердой фазы. Сокращаются расходы энергии за счет комбинированного воздействия на растительное сырье, противоточного движения сырья с экстрагентом, циклического электромагнитного микроволнового поля при адресной доставке энергии в микроканалы твердой фазы.

В результате комплексных исследований гидродинамики, энергетики, кинетики массопереноса водорастворимых веществ из кофейного шлама установлены конструктивные и режимные характеристики аппарата для утилизации шлама.

Разработан и изготовлен экспериментально - промышленный образец МВ экстрактора непрерывного действия производительностью по сырью  $1 \cdot 10^{-3}$  кг/с (или 4 кг/ч), что обеспечивает дополнительное извлечение экстрактивных веществ из кофейного шлама на 0,24 т/год, при этом удельный расход энергии составляет 250 кДж на 1 кг извлеченных сухих веществ.

Данная технология позволит на 8% увеличить выход готовой продукции или на 7% сократить расходы сырья.

#### **Исключение процесса сушки из технологии растворимого кофе.**

Заключительным этапом технологии является сушка кофейного экстракта в распылительной сушилке. Проведенный аудит показал, что за год из сушильной установки в окружающую среду теряется 4,5 т порошка кофе (это после батареи циклонов механической очистки), 8200 ГДж тепловой энергии [3]. Спецификой отработавшего сушильного агента является то, что он содержит значительное количество пыли пищевого продукта и применение традиционных утилизаторов теплоты не эффективно. Для решения этой проблемы созданы основы тепломассопереноса паропылегазового потока в пучке термосифонов и разработан оригинальный аппарат – тепломассоутилизатор [4]. Аппарат внедрен в производство и успешно функционирует.

Вместе с тем, проводились серьезные исследования по переходу на оригинальные концентраты жидкого кофе. Известно, что в Портланде, США, в 1993 г. начал изготавливаться жидкий концентрат кофе (**X Café**) Предусматривались: упаковка для предприятий общественного питания объемом 1 галлон (3,8 л) или 500 чашек готового кофе (разбавление 1:30) и упаковка в маленькие пластиковые контейнеры по 1 унции (28,4 г), по 6 упаковок в пачке. При разбавлении с водой 1:7 из одной упаковки получается 1 чашка кофе. Срок хранения запакowanego кофейного экстракта – 30 дней при температуре +2-5<sup>0</sup>С.

В настоящее время в США жидкий кофе отвоевал свой сегмент рынка (около 2 млн. \$ в год). Это кофе класса премиум, характеризуется высокой сохранностью вкусоароматических веществ зерен. Производитель отмечает следующие достоинства **X Café**:

1. Возможность его использования как для домашнего применения, так и в сфере общественного питания, позволяет производить широкий ассортимент кофе;
2. Возможность использовать его в качестве топингов для мороженого;
3. Готов к применению и прост в использовании.

В ОНАПТ на кафедре процессов, аппаратов и энергетического менеджмента создана для производства высококонцентрированных экстрактов кофе оригинальная микроволновая вакуум-выпарная установка (рис.1) на основе микроволнового вакуум-выпарного аппарата (МВВА).

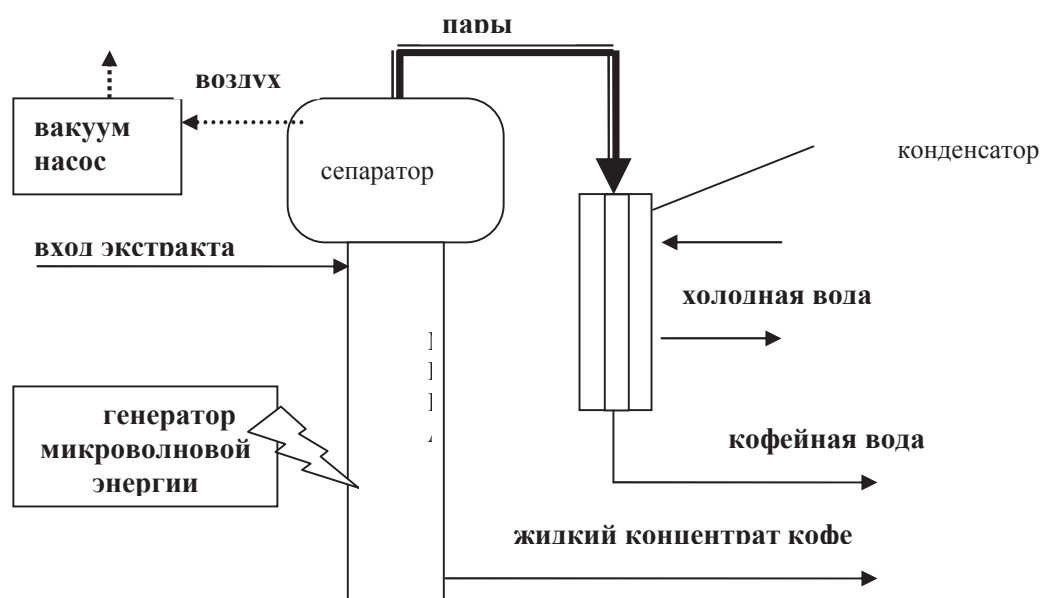


Рис. 1 – Схема микроволновой вакуум-выпарной установки

Экстракт, полученный по традиционной технологии, поступает в колонну МВВА. Объемный подвод энергии к экстракту не требует перемешивающих устройств, исключает перегревы продукта у стенок аппарата, минимизирует тепловые потери. Образовавшиеся пары конденсируются в поверхностном теплообменнике. Уровень давлений в аппарате, а, следовательно, и температур выпаривания, обеспечивается вакуумным насосом. Возможна работа в непрерывном и в периодическом режимах.

**Образцы неэнергоемких концентратов жидкого кофе.** На установке (рис.1) были наработаны опытные партии жидких концентратов кофе. Образцы прошли дегустацию по традиционной методике. Результаты режимов производства образцов и их дегустации представлены в табл.4.

Таблица 4 – Сравнение образцов жидких концентратов кофе

Образец	№1	№2	№3
Давление, кПа	101,3	20,3	7
Температура, С	100	80	35
Концентрация сухих веществ, %	53,5	54,4	68,4
Продолжительность процесса	Мин.	Ср.	Макс.
Удельная энергоемкость	Мин.	Мин.	Ср.

Полученные результаты свидетельствуют о перспективности предложенных решений. Дальнейшие исследования следует развивать в направлениях определения зависимостей технологических, энергетических, экономических параметров от режимных и конструктивных характеристик оборудования.

**Ассортимент жидких концентратов кофе.** На основе полученных на установке (рис.1) концентратов купажируются новые продукты: «кофе с сахаром», «кофе с коньяком», «кофе с молоком», «кофе с сахаром и коньяком». Образцы получили высокую оценку при дегустации.

Дальнейшее повышение вкусовых качеств образцов требует совершенствования самого процесса экстрагирования из зерен кофе. Для этих целей разработан микроволновой экстрактор, технические характеристики которого сведены в табл.5.

**Таблица 5 – Технические характеристики микроволнового экстрактора**

Параметры	Экспериментальный образец МВ экстрактора
Частота излучения МВ генераторов, МГц	2450 ± 50
Выходная мощность МВ излучения, кВт	≤ 4,5 кВт (регулируемая)
Магнетроны (0,9 кВт), шт.	5
Габаритные размеры установки (l/b/h), м:	0,52/0,68/2,05
Производительность по сырью, кг/ч	≤ 24

В настоящее время проводится отработка технологии экстрагирования из зерен кофе на созданной установке.

#### **Выводы**

Внедрение принципов вакуумной и волновой техники в оборудовании технологической линии производства растворимого кофе является основой для комплексного решения вопросов энергетики, ресурсоэффективности и экологии. Предложенные в ОНАПТ технические решения являются инновационными и перспективными. Образцы неэнергоёмких концентратов кофе имеют коммерческую ценность.

#### **Литература**

1. Нахмедов Ф.Г. Технология кофепродуктов. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 184 с.
2. Бурдо О.Г., Рязшко Г.М. Экстрагирование в системе «кофе- вода».- Одесса, 2007.- 176с.
3. Бурдо О.Г., Пищевые наноэнерготехнологии – Херсон, 2013 – 294с.
4. 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.

УДК631.14:633.1

## **ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СПОСОБУ ОХОЛОДЖЕННЯ ЗЕРНА**

**Ялпачик В.Ф., д-р техн. наук, професор,**

**Кравець О.В., канд. екон. наук., доцент**

**Верхоланцева В.О., аспірант**

**Таврійський державний агротехнологічний університет, м.Мелітополь**

*В статті розглядається економічне обґрунтування впровадження інноваційної технології для зберігання зерна.*

*The article discusses the feasibility of implementation of innovative technologies for grain storage.*

Ключові слова: капіталовкладення, витрати, прибуток, термін окупності, вартість, річний економічний ефект.

У період інтеграції України до світових структур, питання впровадження інноваційних технологій надасть особливе значення. Для досягнення підвищення ефективності діяльності сільськогосподарських підприємств ми пропонуємо застосовувати інноваційну технологію охолодження зерна з можливістю регулювання режимів обробки.

Запропонована нами технологія охолодження зерна, дозволить господарствам: