

Позначення:

T_S – температура початкова (постачання), °C;

T_T – температура кінцева (цільова), °C;

ΔH – зміна потокової ентальпії, МВт;

CP – потоковая теплоємність, МВт / К;

α – коефіцієнт тепловіддачі, кВт / м²·К;

c_p – питома теплоємність, кДж / кг·К;

G – витрата, т/год.

Література

1. Нурелдин М.Б. Снижение выбросов парниковых газов и преимущества улавливания CO₂ / М.Б. Нурелдин, А.С. Азери, С. Аль-Хашими // Нефтегазовые технологии. – 2008 – №4 – С.106-108
2. Ульєв Л.М. Екстракція даних для теплової інтеграції процесу стабілізації нафити на нафтовому промислі / Л.М. Ульєв, М.О. Кержакова // Наукові праці ОНАХТ.– Одеса. 2014. Вип.45.Том.3. С114-117
3. Ульєв Л.М. Экстракция данных для пинч-анализа производства карбамида на агрегате АК-70 с помощью пинч-анализа / Л.М. Ульєв, О.А. Яценко // Интегровані технології та енергозбереження. Щоквартальний науково-практичний журнал – Харків: НТУ «ХПІ».2013. – №2. С.114-120
4. Мешалкин В.П. Энергоэффективная реконструкция установки нефтепереработки на основе пинч-анализа с учетом внешних потерь / В.П. Мешалкин, Л.Л. Товажнянский, Л.М. Ульєв, Л.А. Мельниковская, С.М. Ходченко // Теорет. основы хим. технологии. –2012. –Т. 46, –№5. –С. 491–500.
5. Ульєв Л.М. Экстракция данных для пинч-анализа производства акриловой кислоты / Л.М. Ульєв, М.А. Васильев, Е.А. Тюльпа // Наукові праці ОНАХТ.– Одеса. 2014. Вип.45.Том.3. С119-124
6. Kemp I. Pinch Analysis and Process Integration (Second edition) – Amsterdam: Elsevier – 2007. – 396 p.
7. Смит Р. Основы интеграции тепловых процессов / Р. Смит, Й. Клемеш, Л.Л. Товажнянский, П.А. Капустенко, Л.М. Ульєв. – Харьков: Издательский центр НТУ «ХПИ», 2000. – 457 с.
8. Nordman R. New process integration methods for heat – saving retrofit projects in industrial systems. Thesis for the degree of doctor of philosophy / R. Nordman – Göteborg: Printed by Chalmers Reproservice, Sweden. 2005. – 77 p.

УДК 663.938.011:537-962

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕПЛОТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА КОФЕПРОДУКТОВ

Терзиев С.Г., канд. техн. наук

Одесская национальная академия пищевых технологий

Приведены результаты энергетического и экологического мониторинга в пищекопцентратном производстве. Формулируются научные гипотезы путей решения задач. Предложены инновационные проекты совершенствования теплотехнологий пищевых концентратов. Анализируются перспективы электромагнитных принципов сушки и экстрагирования. Приведены результаты производственных испытаний системы тепломассоутилизации, микроволнового экстрактора кофе и масла кофе. Обсуждается линия переработки шлама и производства топливных пеллет.

The results of energy and ecological monitoring in production of food concentrates are shown. Scientific hypotheses of problems solutions are formulated. Innovative projects of improving thermotechnologies of food concentrates are proposed. The prospects of electromagnetic principles of drying and extraction are analyzed. The results of the production test of heat-mass utilization system, microwave extractor of coffee oil and coffee are shown. The line of coffee sludge processing and fuel pellets production are discussed.

Ключевые слова: теплотехнология, кофепродукты, моделирование, переработка отходов, микроволновой экстрактор, тепломассоутилизатор.

Введение. Промышленное производство пищевых концентратов (ПК) началось в канун первой мировой войны. На территории нашей страны предприятия, выпускающие ПК, появились в 1936г. Специфика продукции, ее ориентация на нужды армии и флота определили требования к ПК: быстрота приготовления, продолжительные сроки хранения и высокое качество. Именно эти качества ПК привлекают интерес широкого круга потребителей, и сейчас большинство жителей планеты все чаще обращаются к

продуктам пищекоцентрационной отрасли. Быстро расширяется ассортимент ПК и их рынки. Самым востребованным продуктом ПК в мире стал порошок растворимого кофе. Численность работников кофейной индустрии на планете достигло 25 млн. человек.

В последние годы в Украине стремительно растут продажи растворимого кофе. Конкурировать с ведущими производителями кофепродуктов украинским предприятиям сложно: дорогое импортное сырье, выросшие до мирового уровня цены на энергоносители. Традиционные технологии ключевых операций производства – экстрагирование и сушка – отличаются высокой энергоемкостью [1, 2]. Поскольку влиять на стоимость сырья украинские производители кофепродуктов не могут, то есть два конкурентных направлений. Первое – это инновационные технологии, направленные на совершенствование процессов сушки и экстрагирования. Второе – инновационные технологии глубокой переработки сырья, перевод производства на принципы экоиндустрии. Первый этап работы – это энергетические исследования, определение тепловых балансов, расчет потоков энергии.

Энергетический мониторинг производства. Инструментом системного анализа теплотехнологического комплекса являлась методология энергетического менеджмента. Ключевым параметром, по которому проводились исследования и оптимизация теплотехнологической системы, были удельные затраты энергии на единицу продукции (j , Дж/кг). Установлены варианты минимизации параметра j , который выражает суммарную теплотехническую эффективность системы «генератор тепловой энергии – транспортная система – потребитель энергии». В основе анализа использована оригинальная методика расчётно – экспериментального определения тепловых потерь. Сформированы структурные модели теплотехнологии ПК. Выполнена декомпозиция технологической линии «парогенератор – варочный аппарат – ленточная сушилка» (производство вторых блюд) и линии «обжарочный аппарат – экстрактор – вакуум выпарной аппарат – распылительная сушилка» (производство растворимого кофе). Определены (рис.1) источники тепловых и сырьевых выбросов (отходы в виде шлама из экстракторов и мелкодисперсного порошка кофе с отработавшим сушильным агентом). На рис.1 приняты обозначения: Пт – потери энергии; От – отопление; Оа – обжарочный аппарат; Ва – варочный аппарат; Рс – распылительная сушилка; Лс – ленточная сушилка; Пр – продукт; Эн – энергоноситель; Кр – корпус.

Основным энергоносителем предприятия является природный газ, удельные расходы которого составляют 75,56 МДж на 1кг растворимого кофе и водяной пар, удельные расходы которого составляют 6,83 МДж на 1кг пищевых концентратов. На основе выполненного энергетического аудита предложены пути повышения эффективности использования природного газа в технологиях [2, 3].

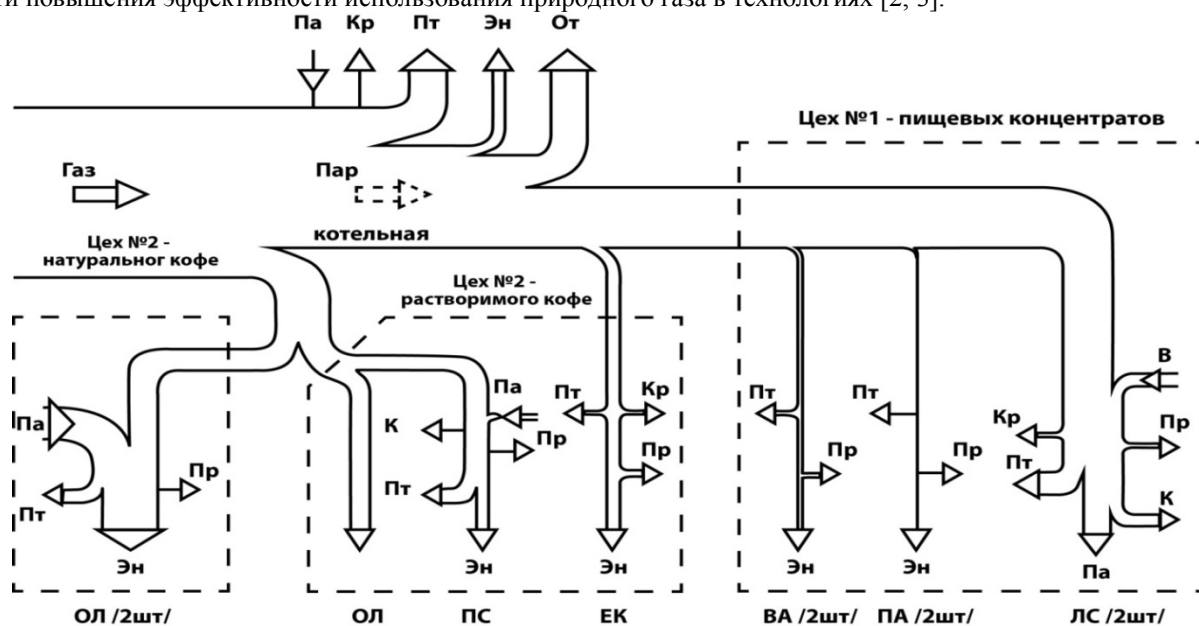


Рис. 1 – Энергетические потоки производства

1. Серьезные резервы существенного снижения расхода энергетических ресурсов заключаются в организационных мероприятиях. Только соблюдение нормативных режимов работы оборудования даст сокращение расхода энергетических ресурсов от 18 % (в котельной) до 50% (на распылительной сушилке).

2. Вторым этапом совершенствования теплотехнологий считаются технические мероприятия по утилизации тепловых выбросов (на РС, ЛС, Э, обжарочном аппарате, в котельной), монтажу тепловой изоляции и т.п.

3. Третьим этапом модернизации теплотехнологий являются внедрения инновационных проектов эффективных приемов подвода энергии в технологиях сушки и экстрагирования.

Экологический мониторинг производства. Серьезную нагрузку на окружающую среду оказывает оборудование по производству растворимого кофе. Загрязнителями атмосферы являются составляющие потока отработавшего теплоносителя: влага и пыль кофе, а также, теплота. Источниками загрязнений литосферы является кофейный шлам. На 1кг готового продукта образуется 6...8 кг кофейного шлама. Так, при производстве растворимого кофе основной продукт составляет 20...33 % от массы сырых зерен, 10...15 % приходится на влагу, 57...63 % составляет кофейный шлам. Отходы производства - кофейные шлам, не утилизируются, создают экологически опасную ситуацию, загрязняя окружающую среду. Вместе с тем, эти отходы содержат до 4 % экстрактивных веществ, до 22 % масел и значительное количество других ценных компонентов, извлечение которых имеет коммерческую целесообразность. Наиболее ценными компонентами шлама, пригодными для дальнейшей переработки являются: кофейное масло (7...12 %), целлюлоза и лигнин (60...75 %), смесь вкусоароматических веществ (3...5 %), белков (5...7 %). Техника выгрузки предполагает получение на выходе жидкой и твердой частей шлама. Несмотря на серьезные экологические проблемы, которые связаны со спецификой кофейного шлама, и на потери в традиционных технологиях с ним ценных веществ, практических примеров его переработки в Украине нет. Выбросы теплоносителя из сушильного оборудования содержат 0,055г пыли порошка кофе в 1 м³ теплоносителя, а их температура составляет 105 °С. В результате за год с одной сушильной установки теряется: 8200 ГДж тепловой энергии и 4560 кг готового продукта.

Предложены системы экологической защиты, которые направлены на улавливание из аэрозольных выбросов распылительной сушилки теплоты, влаги и пыли пищевого продукта и глубокой переработки шлама. Обоснованы пути совершенствования теплотехнологий производства [4].

Формирование инновационных проектов. На распылительной сушилке целесообразно установить систему комплексной утилизации теплоты и пыли пищевого продукта (СТМУ) [5, 6, 7]. В технологии сушки пищевых концентратов (ТПК) ленточную сушилку конвективного типа можно заменить на рекуперативную со шнековым вращающимся термосифоном (ВТС). Особые перспективы можно ожидать от внедрения современных принципов эффективного подвода энергии, использования электромагнитных генераторов (ЭМГ). Генераторы инфракрасного диапазона (ИКГ) представляют интерес в ленточной сушилке, как дополнительные или самостоятельные регистры. Генераторы микроволнового диапазона (МВГ) позволяют создать эффективные экстракторы для получения жидких концентратов кофе (ЭК) и выделения кофейного масла (ЭМ). Решать проблемы энергообеспечения предприятия можно за счет альтернативных источников энергии (АИЭ). Для этого следует установить линию переработки шлама (ЛПШ) на агропеллеты (АП), которые могут полностью заменить природный газ в системе отопления (СО) и в распылительной сушилке (РС). Предложения иллюстрируются схемой (рис.2).



Рис. 2 – Классификация инновационных проектов.

В основе предлагаемых инновационных проектов лежат исследования методом энергетического менеджмента, которые определили объекты модернизации, и ряд научно-технических гипотез, которые обосновали пути реализации проектов [4, 7].

Результаты реализации инновационных проектов. Порошок кофе получают в производительной распылительной сушилке. Передовые сушильные теплотехнологии используют теплоту отработавшего теплоносителя для предварительного нагрева воздуха, поступающего в калорифер сушилки. В качестве такого теплоутилизатора предпочтение отдают рекуператорам на тепловых трубах [7]. Однако наличие в отработавшем сушильном агенте пыли пищевого продукта не давало возможности применить мировой опыт. Найдено оригинальное решение подключить к решению проблемы водяной пар, который всегда есть в отработавшем теплоносителе сушилки [6]. В основе 2 научно-технических гипотезы.

1. Согласование компоновочных характеристик аппарата (числа рядов и шага ТС) и параметров паропылегазового теплоносителя (температуры, содержания пыли и влаги, его расхода) при нисходящем движении потока воздуха и восходящем теплоносителя обеспечивают работу рекуператора в режиме «самоочищения» теплопередающей поверхности. При этом, на верхних рядах ТС возникают условия парциальной конденсации водяных паров из теплоносителя, конденсат взаимодействует с водорастворимой пылью продукта, осевшей в межреберном пространстве ТС. При увлажнении пыли адгезионно-когезионные силы сначала растут, достигая максимума, а затем уменьшаются и при условии, когда определяющими станут силы гравитации, слой осадений перейдет в состояние текучести.

2. Процесс образования слоя пыли продукта из паропылегазового потока теплоносителя на поверхности ТС определяется условиями предельного равновесия массопереноса, а пористая структура слоя может способствовать капиллярной и поверхностной (на границе ТС – слой продукта) конденсации водяных паров и быстрому растворению пыли.

Гипотезы доказаны результатами производственных испытаний ТМУ [8, 9]. Разработанный «тепло-массоутилизатор» способен в комплексе решать проблемы экологии, ресурсо- и энергоэффективности. По сути это современный аппарат экоиндустрии не только пищекокнцентратных, но и сахарных, молочных, консервных и пр. технологий.

Ощутимая эффективность получена от внедрения ТМУ в линию растворимого кофе (рис.3).

Комплекс энергетических и экологических проблем характерен для экстракционного отделения [4]. Высокий уровень термического воздействия на сырье определяет основные недостатки производства растворимого кофе: значительная энергоемкость оборудования и длительность технологического процесса (7...8 ч) и использование высокого давления в экстракторах (0,3...1,5 МПа).



Рис. 3 – Внедрение тепломассоутилизатора

Эксплуатируется в технологии растворимого кофе предприятия «Энни Фудз» с 1999 г. Снижает расход топлива на 20-25 %. Извлекает из газовых выбросов от 40 до 99 % пыли продукта. Состоит из 200 термосифонов. Тепловая мощность модуля 0,1...0,5 МВт. Габаритные размеры: 1650х2000х600. Конструкция аппарата, состоящего из отдельных высокоэффективных модулей – термосифонов, отличается простотой монтажа и эксплуатации. Разработан типоразмерный ряд воздухоподогревателей на термосифонах [7], который может использоваться в различных теплотехнологиях АПК. Срок окупаемости ТМУ в пределах 1 года.

Методы математического моделирования рассмотренных выше объектов предусматривали детерминированные подходы. Все задачи специфичны, отличаются физическими представлениями. Поэтому, их решения находились в соответствии с особенностями и целью моделирования. Схема моделирования соблюдалась об-

щей: «переход от физической реальности к физической модели – формирование системы уравнений с граничными условиями – упрощение и поиск путей ее решения». Составлялась система дифференциальных уравнений, которая учитывала все движущие силы комбинированных процессов переноса, обосновывается переход к явной математической модели в обобщенных переменных. Используются теория подобия и метод «анализа размерностей».

Новыми эффективными технологиями экстрагирования и переработки сырья считаются объемные безградиентные принципы подвода энергии к элементам растительного сырья. Интенсификация процессов переноса в таких системах достигается в несколько раз и, иногда, и на порядки [10 – 14].

Именно эти принципы адресной доставки энергии при переработке пищевого сырья применяются в работе для совершенствования теплотехнологии растворимого кофе. В традиционные промышленные технологии остаток полнокачественных экстрактивных веществ в кофейном шламе (составляет 10...15 % от общего содержания водорастворимых веществ в сырье) содержится в микро- и нанокапиллярах зерен и в условиях стесненности поэтому их не удастся удалить промышленными технологиями. Возможность перехода на принципиально новые технологии экстрагирования защищается следующей научной гипотезой:

- применение в процессе экстрагирования из кофепродуктов электромагнитного подвода энергии позволит организовать процесс при эффективном противоточном движении сырья и экстрагента, в условиях атмосферного давления, при извлечении из капиллярной структуры зерен остатков экстрактивных веществ за счет специфического гидродинамического потока, возникающего при взаимодействии импульсного микроволнового поля с полярными молекулами жидкости в капиллярах сырья.

Разработанный способ получения кофейных экстрактов под воздействием МВ поля существенно интенсифицирует внутренние процессы массообмена, позволяет сократить потери вкусоароматических веществ в экстракте, улучшить качество готового продукта, снизить потери целевых компонентов, снизить величину затрат энергии, перевести экстрактор на уровень рабочих температур до 100 °С и атмосферных давлений. Компьютерная программа расчета микроволнового экстрактора, основанная на результатах экспериментального моделирования кинетики взаимодействия кофепродуктов и воды, может быть применена для проектирования подобных систем в широком диапазоне изменения параметров. Обоснованный типоразмерный ряд МВ экстракторов непрерывного действия рекомендуется к внедрению. Опытно-промышленный образец МВ экстрактора непрерывного действия обеспечивает интенсификацию процесса и позволяет увеличить выход готовой продукции за счет дополнительного извлечения водорастворимых веществ из кофейного шлама на 10 – 15 %, таким образом, сокращая нормы расхода кофе – сырья. МВ экстрактор и рабочие режимы для экстрагирования кофейного сырья переданы для внедрения на ПАО «Енни Фудз» г. Одесса. Корпус выполнен из каскада резонаторных камер с 5 магнетронами. Блоки кассет с сырьем перемещаются с помощью домкрата через шлюзовые каналы. Рабочий объем, 180л. Производительность по сырью 24кг/ч [4, 11].

Габаритные размеры (д/ш/в): 0,52/0,68/2,05м.

Приведены результаты анализа и дегустации принципиально новых образцы неэнергоемких концентратов жидкого кофе, которые были получены в микроволновой вакуум-выпарной установке. Температура процесса составляла 35...100 °С, а концентрация сухих веществ - 54 – 70 %.



Рис.3 – Микроволновой экстрактор кофе

На основе полученных концентратов купажируются новые продукты: «кофе с сахаром», «кофе с коньяком», «кофе с молоком», «кофе с сахаром и коньяком». Образцы получили высокую оценку при дегустации [15].

Экологические регламентации требуют глубокой переработки кофейного шлама. Кофейный шлам из диффузионных батарей выгружается с влажностью 70...80 %. Остатки кофейного экстракта, разбавлен-

ные конденсатом до концентрации сухих веществ 0,8...1,2 %, сосредоточены в жидкой части шлама, и имеют полноценный химический состав. С кофейным шламом теряется около 5 % водорастворимых веществ. Это составляет до 16 % от их общего содержания в обжаренном кофе. При этом 3 % приходится на потери с жидкой частью шлама и 2 % - на потери с твердой фракцией. Применение инновационных технологий дополнительного извлечения водорастворимых компонентов из шлама в микроволновом экстракторе позволяет на вход в диффузионные батареи подавать не воду, а экстракт концентрацией до 2...4 %. Твердая часть (истощенный шлам) идет на сушку (рис.4).

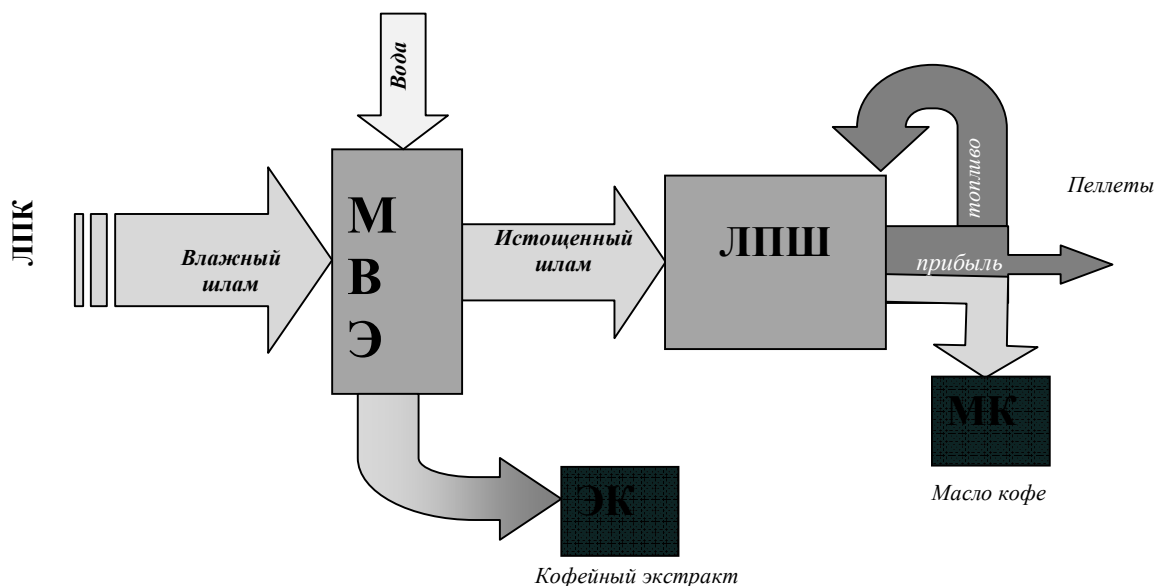


Рис. 4 – Линия переработки кофейного шлама

Далее истощенное сырье идет на линию переработки шлама для получения масла кофе. Это масло (аналог масло какао) имеет серьезные перспективы. Обезжиренный шлам направляется на участок производства топливных пеллет линии переработки шлама.

Проведены испытания опытного образца ленточной ИК- сушилки шлама. Установка состоит из 3 модулей, мощность излучателей каждого модуля плавно регулируется в пределах 30 – 100 %. Установлены режимы, при которых энергозатраты составляли 3,1...3,2 МДж на 1кг удаленной влаги [16].

Применение бародиффузионных принципов при организации процессов экстрагирования масла из шлама кофе должно обеспечить больший выход целевого компонента при снижении затрат энергии, снижении времени процесса и повышении качества готового продукта. Плавное повышение давления выдержка при максимальном давлении и последующий резкий сброс давления приведет к частичному либо полному разрушению клеточных оболочек и активации структурированных белоксодержащих отходов переработки кофейного сырья [17]. Активация обезжиренного шлама позволяет получить связующий компонент и изготавливать на основе только шлама строительные материалы, кирпичи. Последовательная обработка шлама в сушилке, пресс – грануляторе даст возможность производства агропеллет. Это новый способ деструкции растительного сырья, предложенный на кафедре процессов, аппаратов и энергетического менеджмента ОНАПТ. В основе технической идеи способа – реакция оболочки клетки при последовательном подводе к ней энергии, выдержке и резкого сброса давления на третьем этапе. В основе анализа непрерывно – гетерогенная модель системы.

Выводы. В мире ужесточаются регламентации по загрязнению окружающей среды отходами производства. Внедрение предложенных технологий позволит полностью снять вопросы экологической безопасности пищевого производства в технологиях растворимого кофе. Шлам становится ценным дополнительным источником для увеличения выхода готового продукта, для производства перспективного кофейного масла. Пеллеты из кофейного шлама снизят энергетическую зависимость предприятия от природного газа и могут быть источником дохода на рынках агропеллет.

Разработанный способ получения кофейного масла из шлама с использованием МВ поля позволяет получать рафинированное масло и кофеоль при снижении потерь целевых компонентов и уменьшении удельных затрат энергии. Определены пути переработки кофейного шлама (например, для производства пеллет), предложен проект линии по утилизации шлама. Дана оценка бизнесперспектив технологий ути-

лизации. Продукты переработки кофейного шлама – это новые виды вкусоароматических и функциональных концентратов (препаратов), добавок и материалов для различных отраслей экономики, топливных элементов, удобрения и пр.

Инновационными являются и сами принципы переработки кофейного шлама – это использование комбинированных процессов, нанотехнологий. Возможности новых принципов получения концентратов подтверждены комплексом исследовательских работ. Изготовлены экспериментальные образцы оборудования, на котором получены концентраты кофе, масел, и других вкусо-ароматических добавок.

Общий вывод по проведенным разработкам заключается в том, что микроволновые технологии – новый и выгодно отличающийся метод производства кофепродуктов.

Коммерческая привлекательность проектов определяется за счет:

- дополнительного извлечения растворимых водой экстрактивных веществ, что повышает выход в экстракт на 10...12 %;

- дорогого и качественного масла кофе (рафинированного и кофеоля), спрос на которое на рынке повышается;

- топливных элементов – пеллет, энергия которых может использоваться на предприятии;

- аппарата для возврата из отработавшего сушильного агента в технологию теплоты и пыли кофе.

Таким образом, из экологически проблемных отходов предприятием может быть получена ощутимая прибыль.

Литература

1. Терзиев С.Г. Энергетический мониторинг пищевого концентратного производства // Наукові праці ОНАХТ. – Одеса, 2008. – Вип. 32. – С. 300–333
2. Терзиев С.Г. Системный анализ потоков сырья и энергетических ресурсов в технологиях пищевых концентратов / Терзиев С.Г. // Харчова наука і технологія. – 2011. – №1(14). – С. 98-102.
3. Терзиев С.Г. Совершенствование энерготехнологий при производстве пищевых концентратов / Терзиев С.Г., Ружицкая Н.В., Борщ А.А., // Щоквартальний науково-практичний журнал «ІТЕ» Національний технічний університет «ХПІ», – Харків, 2014. – №4. – С.138-142
4. Процессы переработки кофейного шлама / Бурдо О.Г., Терзиев С.Г., Ружицкая Н.В., Макиевская Т.Л. – К.: ЭнтерПринт, 2014. – 228с.
5. Бурдо О.Г. Стратегія розвитку та перспективи впровадження високих енерготехнологій в АПК / Бурдо О.Г., Терзиев С.Г. // Наукові праці ОДАХТ. – 1996. – Вип. 16. – С. 244 – 245
6. Бурдо О.Г. Терзиев С.Г., Перетяка С.М. Спосіб утилізації тепла та пилу продукту при сушінні продукту Патент України № 26470. Приоритет від 16.03.93. Опубл. 11.10.99. Бюл. №6.
7. Инновационные теплотехнологии АПК на основе тепловых труб / [О.Г. Бурдо, Г.Ф. Смирнов, С.Г. Терзиев, А.В. Зыков]. – Одесса: «ИНВАЦ», 2014. – 376 с.
8. Бурдо О.Г. Тепломассоперенос в утилизаторах теплоты паропылегазовых выбросов пищевых производств / Бурдо О.Г., Терзиев С.Г., Перетяка С.Н. // III Минский междунар. Форум по тепломассообмену, 20 – 24 мая 1996г.: Т. X, Ч. 1. – Минск, 1996. – 173 – 177.
9. Терзиев С.Г. Моделирование задач тепломассопереноса при взаимодействии дисперсных компонентов в аэрозольном потоке // Наукові праці ОНАХТ. – Одеса, 2006. – Вип. 28. – Т.2. – С. 182-186.
10. Наномасштабные подходы при переработке пищевого сырья / Бурдо О.Г., Терзиев С.Г., Яровой И.И., Ружицкая Н.В., Макиевская Т.Л. // Высокие технологии, образование, промышленность. Сборник статей одиннадцатой международной научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные исследования, разработка и применение высоких технологий в промышленности», – Санкт-Петербург, «Издательство политехнического университета», 2011– Т.3. – С. 129 – 132.
11. Использование микроволновых технологий в процессах комплексной переработки шлама кофе / Терзиев С.Г., Ружицкая Н.В., Макиевская Т.Л., Бурдо О.Г. // Харчова наука і технологія. – 2014. – №3(28) – С. 85–88.
12. Моделирование процессов обезвоживания пищевого сырья в электромагнитном поле / Бурдо О.Г., Терзиев С.Г., Яровой И.И., Борщ А.А. // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий, – Воронеж, 2013. – № 3 (57) – С. 62 – 65
13. Пути совершенствования теплотехнологий сушки в АПК / Бурдо О.Г., Терзиев С.Г., Зыков А.В., Безбах И.В. // Современные энергосберегающие тепловые технологии (сушка и термовлажностная обработка материалов): 1-я Международная конференция: Труды. – Т.4. – Москва, 2002 – С. 153 – 156
14. Электромагнитные технологии обезвоживания сырья / Бурдо О.Г., Терзиев С.Г., Яровой И.И., Борщ А.А. // Научный информационно-аналитический инженерный журнал «Problemele energetici regionale (Проблемы региональной энергетики)» – Кишинев, 2012г. – №2 (19) – С.69–79

15. Неэнергоёмкие пищевые добавки, натуральные красители и ароматизаторы / Бурдо О.Г., Терзиев С.Г., Ружицкая Н.В., Харенко Д.А. // Наукові праці ОНАХТ, – Одеса, 2014. – Вип. 45, Т.2. – С. 221 – 224
16. Кінетика ІЧ-сушіння шлему кави / Бурдо О.Г., Терзиев С.Г., Ружицька Н.В., Борщ А.А. // Харчова наука і технологія. – 2011. – №4(17) – С. 96–99.
17. Терзиев С.Г. Математическое моделирование процессов переработки структурированных отходов в пищекопцентратном производстве / Терзиев С.Г. // Наукові праці ОНАХТ. – Одеса, 2010. – Вип. 37. – С.132-136

УДК 515.124.4:51-73

РАЗМЕРНОСТИ: ГЕНЕЗИС ПРЕДСТАВЛЕНИЙ И ФИЗИЧЕСКИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ

Герега А.Н., д-р техн. наук, профессор

Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса

В обзоре описаны некоторые универсальные и специальные размерности, вошедшие в математический аппарат теоретической физики в двадцатом столетии.

In the review describes some of the universal and special dimensions included in the mathematical formalism of theoretical physics in the twentieth century.

Ключевые слова: покрытия, адекватность меры, размерность Хаусдорфа-Безиковича, энтропия меры, эффективная размерность.

1. Введение

Теория размерности, основы которой, как известно, были заложены в работах А. Пуанкаре, А.Л. Лебега и Л. Брауэра [1-3], опубликованных в 1911-13 годах, открыла «доступ к изучению ряда интересных свойств точечных множеств, к построению обширной теории...» [4, 5]. Понятие размерности оказалось полезным и удобным концептом и в теоретической физике.

В физике сформировались две основные группы задач, в которых размерность стала реальным инструментом получения и анализа решений. Первая – это задачи стохастической динамики, в частности, проблемы турбулентности. В этих задачах размерности являются доступными для измерения и структурно устойчивыми характеристиками системы, связанными, в частности, с показателями Ляпунова; позволяют провести классификацию странных аттракторов и связанного с ними хаотического поведения [6].

Вторая группа – задачи перколяционной теории: раздела статистической физики, который на протяжении полувек изучает критические явления [6, 7]. Перколяционная теория адекватно описывает особенности возникновения и эволюции, а также свойства связанных областей в системах, в которых имеет место геометрический фазовый переход. Она нашла применение в широком круге научно-технических задач: исследовании белковых структур, пористых тел, создании фильтров, изучении легированных полупроводников, при борьбе с эпидемиями, в исследованиях процессов полимеризации, при создании композиционных материалов, изучении мировоззренческих вопросов и многих других. При этом для критических показателей физических величин, описывающих процессы и явления, как правило, можно указать множество, с размерностью которого этот показатель связан. В свою очередь, исследование структуры этих множеств много даёт для понимания критического поведения системы и соотношений между показателями, позволяет проследить связь между поведением системы в промежуточной асимптотике и её геометрией [6].

Перколяционная теория известна также как раздел теории вероятностей, имеющий собственные приложения в естественных и инженерных науках [8 – 11].

В математических и физических исследованиях используется большое количество размерностей, и в конкретном исследовании всегда встаёт вопрос выбора, который обусловлен содержанием задачи. Размерности, представленные в обзоре, соотносятся с совершенно разными понятиями, в частности, имеют отношение и к описанным группам задач (в первую очередь, к перколяционной теории), и к топологическим исследованиям.

Далее в тексте, как и во всех физических приложениях, размерности определяются как показатель степени в выражениях типа $a \sim b^c$.