

Терзиев С.Г., Ружицкая Н.В., Борщ А.А.

**ЭТАПЫ ВНЕДРЕНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЙ
В ПРОИЗВОДСТВО ПИЩЕВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ**

Введение. В технологиях пищевых концентратов ведущее место отводится кофепродуктам. Объем переработки кофейных зерен находится на втором месте в мире, уступая нефти. В кофейной индустрии занято 20 млн. человек, а рынок кофепродуктов стабильно растет. Наиболее динамичным считается рынок кофе в Украине, где прирост составляет 12...16 % в год. Вместе с тем, усугубляются технологические проблемы переработки сырья. Отрасль работает на дорогом импортируемом сырье, обязательным этапом технологии является процесс обезвоживания. А это чрезвычайно энергоемкий процесс, и в условиях стабильного роста цен на энергоносители вопросам эффективного использования ресурсов следует постоянно искать резервы сокращения расходов топлива [1].

Теплоэнергетический аудит пищевого концентратного производства. Основным источником энергии производства является природный газ, доля которого в общем энергетическом балансе предприятия составляет практически 70 %. Преимущественно природный газ расходуется в технологии растворимого кофе и в котельной. Главными потребителями водяного пара являются цех пищевых концентратов и система отопления (рис. 1).

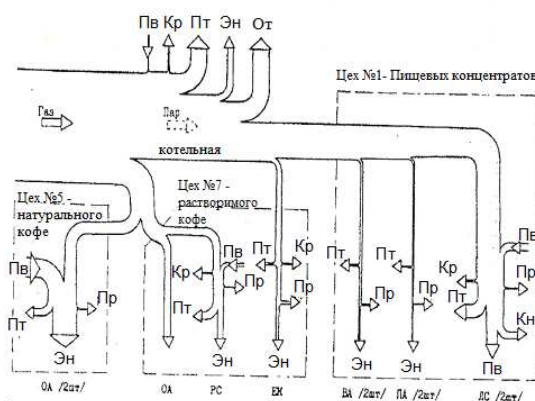


Рисунок 1 – Энергетический баланс предприятия

Типичная картина потребления энергии за год приведена на рис. 2. Важным этапом расчетов являлась оценка удельных затрат энергии (j), т.е. отношение объема потребленной энергии к объему выпущенной продукции. Анализ расчетов показал, что удельные расходы пара на технологию лежат в пределах 6...7 МДж на 1 кг пищевых концентратов и 70...80 МДж на 1 кг кофе. Исходя из этого проведена оценка затрат пара отдельно на отопление и на технологии.

Расход тепловой энергии на технологические задачи определен по следующей схеме. На первом этапе анализировались результаты в тех месяцах, когда отопление отключено и единственным потребителем остаются технологические линии. Далее выделялись месяцы неотапительного сезона, когда выпускался только один продукт. На предприятии брикеты (пищевые концентраты) гороха выпускают в течение всего года, а кофе лишь в определённые месяцы. Так определены удельные затраты тепловой энергии на производство пищевых концентратов ($j_{пк}$). Расчет проведен для 4,5,6,8 месяцев в течение 2011 года. Так:

$$j_{пк} = (7,49+7,06+5,948)/3 = 6,83 \text{ МДж/кг.} \tag{1}$$

По аналогичной схеме определено значение удельных затрат энергии на производство растворимого кофе ($j_{кф} = 75,56 \text{ МДж/кг}$).

Расход тепловой энергии на отопление определялся как разница между суммарными и технологическими затратами

$$Q_i^0 = \Sigma Q_i - Q_{i_{пк}} - Q_{i_{кф}}. \tag{2}$$

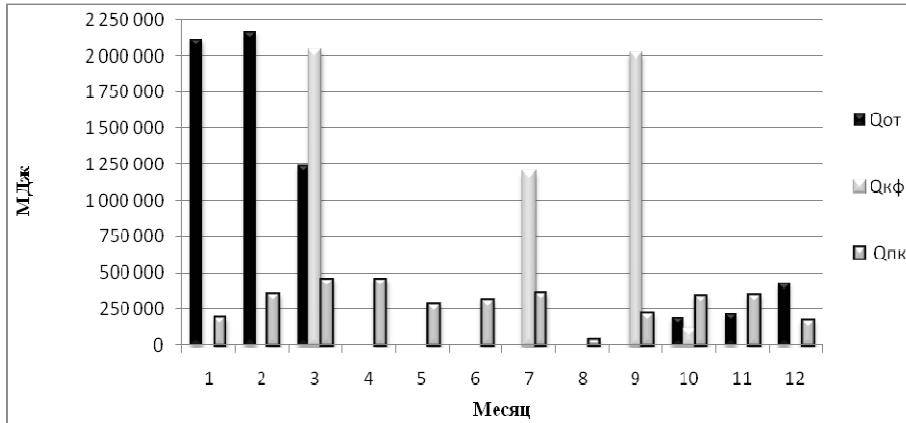


Рисунок 2 – Расход энергии инженерными комплексами

Результаты расчетов (рис. 2), показывают, что в отопительный период расходы топлива значительно выше, чем летом, а работа линии растворимого кофе увеличивает расход энергетических ресурсов по сравнению с остальными цехами в разы. Поэтому, приоритетной задачей является энергетика растворимого кофе.

Первый этап модернизации. Это организационные мероприятия: внедрение рациональных режимов эксплуатации оборудования; установка паромеров и конденсатоотводчиков.

Работы этого этапа не требуют значительных капиталовложений и быстро окупаются. Они наиболее эффективны: позволяют снизить энергозатраты на 60–80 % и значительно превзойти отраслевой уровень по эффективности энергопотребления.

Внедрение рациональных режимов эксплуатации подразумевает сведение к минимуму продолжительности процессов разгона (прогрева) аппарата и приближение к максимуму длительности процессов функционирования (использования) машин при номинальной производительности, то есть увеличение продолжительности рабочих циклов и уменьшение промежутков между циклами. Рассматриваемая проблема связана с потребностью в обеспечении необходимого количества равномерно поставляемого сырья и сбываемой продукции.

Второй этап модернизации. Энергетический и экологический мониторинг линии производства растворимого кофе показал, что с аэрозольными выбросами распылительной сушилки за год теряется 4,5 т порошка готового продукта и 8200 ГДж тепловой энергии. Поэтому, на линии уходящего после циклонов теплоносителя установлен инновационный аппарат [2, 3] – тепломассоутилизатор. Оригинальная организация процессов тепломассопереноса в аппарате [4] обеспечивает режим «самоочистения» теплопередающей поверхности и стабильные значения коэффициента теплопередачи. Эксплуатация тепломассоутилизатора на протяжении 6 лет подтвердила его высокую эффективность как фильтра порошка кофе, скруббера и рекуператора для подогрева воздуха перед поступлением в калорифер. Тепломассоутилизатор (рис. 3) снижает расход газа на 20–22 % и улавливает до 90 % порошка кофе из выбросов сушилки.

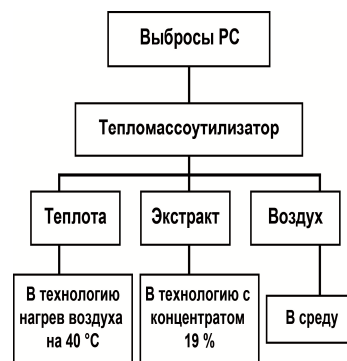
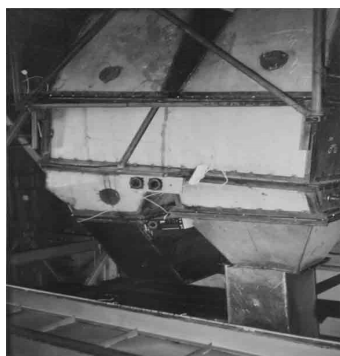


Рисунок 3 – Тепломассоутилизатор

При осуществлении второго этапа программы становится возможным приблизиться к физическому предельному уровню потребления энергии для осуществления требуемой технологической переработки продукта. Уровень характеризует минимально возможные затраты энергии (определяемые теплоемкостью нагреваемого продукта или теплотой фазового перехода удаляемой влаги), достижимые на пределе совершенствования рассматриваемых теплотехнологий. Однако данный уровень реально превзойти на третьем этапе.

Третий этап модернизации. На третьем этапе разрабатывается новое технологическое оборудование на основе альтернативных физических принципов воздействия на продуктовые и материальные среды. Приоритет отдается не традиционным термодинамическим методам обработки, а низкотемпературным. При этом снижается энергоемкость, и улучшаются свойства дорогостоящего готового продукта.

Ключевым процессом в технологии кофе является экстрагирование. В традиционных технологиях это энергоемкий, низкоэффективный процесс, который требует громоздкого и металлоемкого оборудования. Высокие температуры и давления в аппарате исключают использование каких-либо средств для интенсификации массопереноса. Переход на принципы электромагнитного подвода энергии [5] показало существенную интенсификацию массопереноса при сушке пищевого сырья. Поставлены эксперименты по оценке возможностей использования микроволнового поля при экстрагировании кофейного сырья.

Для определения влияния действия микроволнового поля на интенсивность процесса экстрагирования, опыты проводились как в условиях традиционного теплового подвода энергии, так и в микроволновом поле. Сравнение интенсивности экстрагирования в микроволновом экстракторе и в термостате приведено на рис. 4.

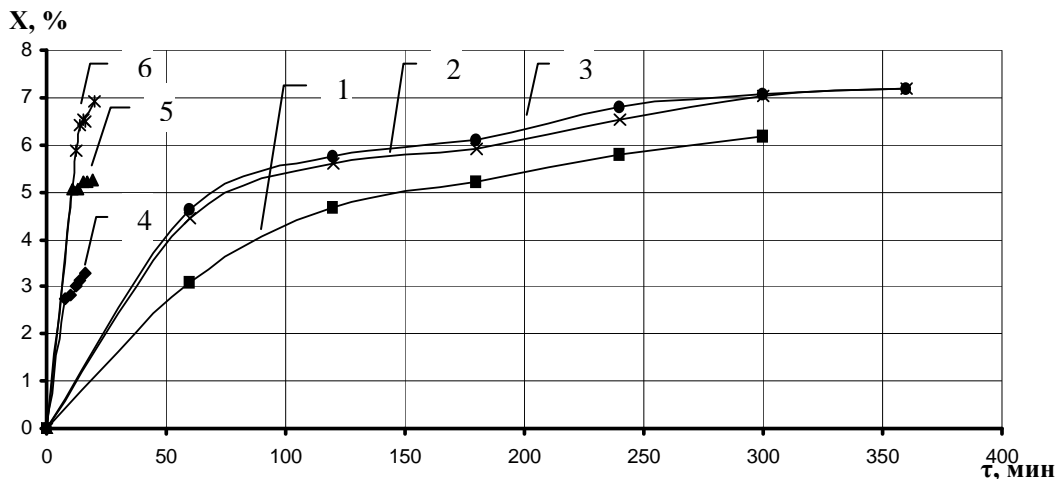


Рисунок 4 – Влияние характера подвода энергии на экстрагирование гексаном:
1, 2, 3 – опыты в термостате; 4, 5, 6 – опыты в МВ- поле;
температурный режим: 1, 4 – 40 °С ; 2, 5 - 50 °С; 3, 6 - 60 °С.

Видно (рис. 4), что скорость переноса экстрактивных веществ из кофейного сырья в микроволновом поле в 10–15 раз выше. Первым этапом при формировании алгоритма расчета является обоснование параметрической модели аппарата. Важно корректно определить группы параметров, системы, которые являются значимыми в процессе экстрагирования. Серьезным вопросом считается обоснование функции цели. Представляется, что в качестве функции цели логично определить два параметра: концентрация целевого компонента в экстракте и величина удельных затрат энергии на процесс (рис. 5). Влияние на значение функции цели оказывают такие элементы системы: экстрагент, шлам (либо зерна кофе), конструкция аппарата и система микроволновой подачи энергии (рис. 5).

Основная проблема при проектировании экстрактора связана с расчетом массопереноса в системе «кофейное сырье–вода». Главными независимыми входными параметрами являются: начальные состояния экстрагента, твердой фазы и производительность аппарата. Для расчета необходимо знать концентрации экстрактивных веществ в твердом теле (C_H) и экстракте (X_H), температуру экстрагента (t) и давление в аппарате. Важную роль играют свойства экстрагента: плотность (ρ), теплоемкость (c_p), вязкость (ν), удельная теплота фазового перехода (r) и коэффициент диффузии (D). Для твердой фазы следует учитывать эквивалентный размер частицы (d_3), пористость слоя (ϵ) и его толщину (δ). Сам аппарат характеризуется габаритными размерами, объемом реакционной зоны (V_p) и массой загрузки твердой фазы

(G_{III}). В принципі, указанні вище параметри являються традиційними для всіх екстракторів. Принципово вперше учитываются характеристики системи підводу енергії. Определяющими здесь считаются мощность одного генератора (N), его КПД (η) и количество излучателей (z) (рис. 5).

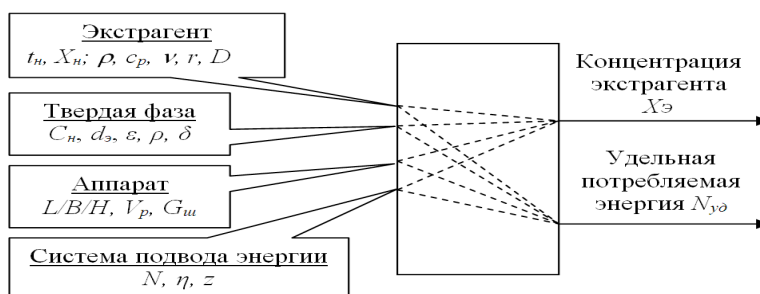


Рисунок 5 – Параметрическая модель микроволнового экстрактора

В результате комплексных экспериментальных исследований определены частные зависимости влияния всех факторов на интенсивность массоотдачи при экстрагировании из кофейного сырья [6]. На основе теории подобия [7] проведено обобщение базы экспериментальных данных для систем: «кофе–этанол», «кофе–гексан» и «кофе–вода». Соответствующие критериальные уравнения сведены в табл. 1.

Таблица 1 – Обобщение экспериментальных данных

	расчетное соотношение	режим	экстрагент
1	$Sh = 0,01(Sc)^{0,33}(\Gamma)^{0,05}(Bu)^{0,32}$	периодический	этанол
2	$Sh = 0,006(Sc)^{0,33}(\Gamma)^{0,17}(Bu)^{0,71}$	периодический	гексан
3	$St_m = 0,004(Re)^{-0,5}(Sc)^{0,43}(\Pi)^{0,6}(Bu)^{0,33}$	непрерывный	вода

В приведенных соотношениях использованы числа подобия: массообменное Стантона (St), Шмидта (Sc), гидромодуля (Γ), Рейнольдса (Re), параметрической проницаемости (Π) и числа Бурдо (Bu), которое показывает соотношение энергии излучения (N) и той энергии, которая необходима для перевода в паровую фазу всего экстрагента в экстракторе. Полученные соотношения использованы при проектировании микроволновых экстракторов и обоснования их типоразмерного ряда.

Выводы. По результатам энергетических исследований можно сделать следующие выводы:

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, монтажу тепловой изоляции и т.п.
3. Третьим этапом модернизации теплотехнологий являются внедрения инновационных проектов эффективных приемов подвода энергии в технологиях сушки и экстрагирования.

Литература

1. Бурдо О.Г. Энергетический мониторинг пищевых производств – Одесса: Полиграф, 2008 – 244 с.
2. 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. №б.
3. Бурдо О.Г. Эволюция сушильных установок – Одесса: Полиграф, 2010 – 368 с.
4. Бурдо О.Г., Смирнов Г.Ф., Терзиев С.Г., Зыков А.В. Инновационные теплотехнологии АПК на основе тепловых труб. – Одесса: «ИНВАЦ», 2014. – 376 с.
5. 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.
6. Терзиев С.Г., Макиевская Т.Л., Ружицкая Н.В. Стендовые испытания микроволнового экстрактора для производства кофепродуктов // Зб. наук. праць ОНАХТ, Одеса, 2014. – Вип.45, Т. 2. – С. 80–84.

7. Терзиев С.Г., Макиевская Т.Л. Применение теории подобия в задачах экстрагирования в микроволновом поле // Зб. наук. праць ОНАХТ Одеса, 2014. – Вип.45, Т. 3. – С. 158–162.

Bibliography (transliterated)

1. Burdo O.G. Energeticheskiy monitoring pischevyykh proizvodstv – Odessa: Poligraf, 2008 – 244 p.
2. Burdo O.G. Terziev S.G., Peretyaka S.M. Sposib utilizatsiyi tepla ta pilu produktu pri sushinni produktu Patent Ukrayini # 26470. Prioritet vid 16.03.93. Opubl. 11.10.99. Byul. #6.
3. Burdo O.G. Evolyutsiya sushilnykh ustanovok – Odessa: Poligraf, 2010 – 368 p.
4. Burdo O.G., Smirnov G.F., Terziev S.G., Zyikov A.V. Innovatsionnyie teplotehnologii APK na osnove teplovykh trub. – Odessa: «INVATs», 2014. – 376 p.
5. Burdo O.G., Terziev S.G., Yarovoy I.I., Borsch A.A. Elektromagnitnyie tehnologii obezvozhvaniya syiry / Problemele energeticii regionale, Chisinau, #1 (18), 2012.– p. 69–79.
6. Terziev S.G., Makievskaya T.L., Ruzhitskaya N.V. Stendovyye ispytaniya mikrovolnovogo ekstraktora dlya proizvodstva kofeproduktov // Zb. nauk. prats ONAHT, Odessa, 2014. – Vip.45, T. 2. – P. 80–84.
7. Terziev S.G., Makievskaya T.L. Primenenie teorii podobiya v zadachah ekstragirovaniya v mikrovolnovom pole // Zb. nauk. prats ONAHT Odessa, 2014. – Vip.45, T. 3. – P. 158–162.

УДК 663.918.23

Терзієв С.Г., Ружицька Н.В., Борщ А.А.

**ЕТАПИ ВПРОВАДЖЕННЯ ІНОВАЦІЙНИХ ТЕПЛОТЕХНОЛОГІЙ У ВИРОБНИЦТВО
ХАРЧОВИХ КОНЦЕНТРАТІВ**

Показано, що харчоконцентратне виробництво і, зокрема, виробництво каво продуктів характеризуються високою енергоємністю. Наводиться теплоенергетичний аудит виробництва розчинної кави. Запропоновано три етапи модернізації виробництва кавопродуктів: організаційні заходи, впровадження тепломасоутилізаторів та впровадження нового технологічного обладнання на основі альтернативних фізичних принципів дії на продуктіві та матеріальні середовища.

Terziev S.G., Ruzhytskaya N.V., Borshch A.A.

**THE STAGES OF INNOVATIVE TECHNOLOGIES IMPLEMENTATION INTO FOOD
CONCENTRATES PRODUCTION**

It is noticed that food concentrates production is highly energy consumptive. The brief case study on energy audit is presented. The three stages of technology modernization are proposed including use of modern equipment with alternative physical principles of processing.