

Терзиев С.Г., Кураков О.М., Борщ А.А., Макиевская Т.Л.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ПИЩЕВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ

Введение. Системный подход к проблеме энергоэффективности дает возможность правильно выбрать приоритеты, четко координировать работы по совершенствованию энерготехнологий. Приоритеты обосновываются на базе результатов энергетического аудита, сравнения альтернативных проектов. Затраты на внедрение энергоэффективных технологий и оборудования возвращаются быстро, если исследования проведены на основе современных методов энергетического менеджмента. Практика показывает, что одним из приоритетных путей совершенствования энерготехнологий является утилизация энергии технологических выбросов [1]. Эффект существенно усиливается, если решается задача комплексной утилизации теплоты и продукта из аэрозольных выбросов сушильного оборудования и печей.

Энергетический аудит пищевых концентратных технологий. Методами энергетического менеджмента [1] проведен анализ теплового состояния цехов по производству растворимого кофе и пищевых концентратов (рис. 1). Со всего основного энергоёмкого оборудования потери теплоты в окружающую среду (через корпус аппарата) составляют $Q_{пот(общ)} = 115$ кВт.

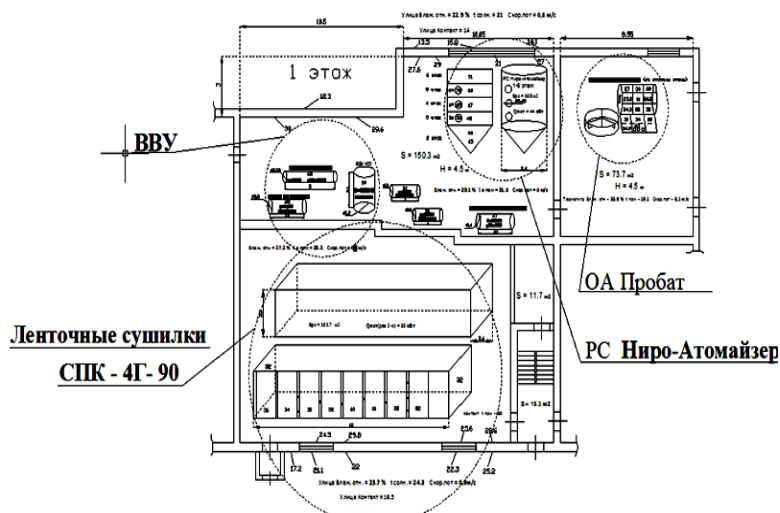


Рисунок 1 – Основное энергоёмкое оборудование

Наибольшие потери теплоты от корпуса обжарочного аппарата (АО) Пробат – 4.5 кВт; от вакуум выпарной установки (ВВУ) – 5.3 кВт; от распылительной сушилки (РС) – 44 кВт; от 2-х ленточных сушилок 46 кВт. Видно, что основной источник потерь тепловой энергии – это сушильные установки. Если учесть, что именно на этих установках ощутимые потери энергии еще и с отработавшим сушильным агентом. В результате затраты энергии на удаление влаги в процессе сушки в несколько раз выше, чем энергия фазового перехода при парообразовании [2].

Технологические выбросы сушильного оборудования сопровождаются ощутимыми потерями пыли пищевого продукта. За год на одной установке теряется до 30т сухого молока, до 125 т сахара, 4,5 т порошка кофе. Именно пыль пищевого продукта не позволяет использовать традиционные конструкции теплоутилизаторов, поскольку пыль забивает теплопередающую поверхность и аппарат становится неэффективным.

Схема с тепломассоутилизатором. Техническая идея предложенной системы комплексной утилизации теплоты и пыли пищевого продукта [3] основана на использовании в аппарате уникальных теплообменных модулей (термосифонов) и оригинальной организацией процесса теплопередачи. Суть поясняется схемой (рис. 2).

Термосифонный тепломассоутилизатор (ТМУ) секцией охлаждений 3 подключается к выходу из цикла 2. В результате комбинированных взаимодействий аэродинамических, теплообменных и массообменных процессов поток в ТМУ очищается от пыли и водяного пара, образуется раствор пищевого про-

дукта, который стекает с поверхности термосифонов. Достигается 3 положительных результата. Во-первых, очищенный теплоноситель обеспечивает экологическую чистоту технологии. Во-вторых, улавливаются частицы дорогого пищевого продукта. В-третьих, снижается расход энергии. Более того, работа аппарата в таком режиме обеспечивает «самоочищение» поверхности теплообмена. Таким образом, достигаются режимы переноса с предельными теплотехническими характеристиками аппарата.

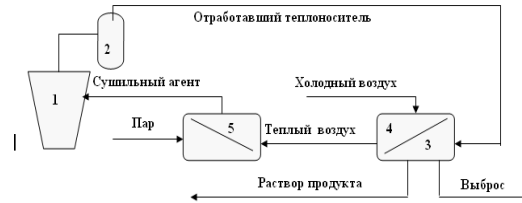


Рисунок 2 – Система комплексной утилизации теплоты и пыли из аэрозольных выбросов сушилок
1 – сушилка, 2 – циклон, 3 – секция охлаждения ТМУ, 4 – секция нагрева ТМУ, 5 – паровой калорифер

Эффект самоочищения теплопередающей поверхности и дает возможность использовать предложенную систему комплексной утилизации теплоты и пыли в схемах сушильного и печного оборудования пищевых производств. Техническая идея системы состоит в том, что используется специфика отработанного сушильного агента (водорастворимость пыли и наличие в потоке теплоносителя чистого водяного пара) и уникальные особенности современных модулей для организации теплопередачи – двухфазных термосифонов (ТС). По сути, предложен принципиально новый аппарат – тепломассоутилизатор (ТМУ), в котором обеспечивается режим самоочищения ТС от пыли, т.е. высокие и стабильные значения коэффициента теплопередачи.

Паропылегазовый поток при обтекании оребренной поверхности испарителей ТС, размещенных в секции охлаждения ТМУ, инициирует три процесса. Во-первых, это конвективный теплоперенос от горячего теплоносителя к ТС. Во-вторых, это парциальная конденсация водяного пара из потока на поверхности ТС, если достигнуты соответствующие условия. В-третьих, это осаждение твердой фазы, мелкодисперсных частиц продукта в межреберном пространстве ТС. В-четвертых, взаимодействие конденсата и слоя пыли (рис. 2).

Модель формирования слоя твердых отложений базируется на гипотезе предельного равновесия массопереноса (m). Т.е. пропорциональности m коэффициенту скорости процесса (k), концентрации частиц продукта в потоке (c), скорости набегающего потока (w), резерву массы осаждения на поверхности (Δm) и времени эксплуатации (τ). Причем, Δm определяется как разность конечной массы осаждения m_∞ и массы осаждения пыли m в момент τ . Так, в условиях пограничного слоя определяется закон роста толщины слоя загрязнений [2,3]:

$$\delta = a\sqrt{Re} [1 - \exp(-kcw\tau)]. \quad (1)$$

Формула имеет одну независимую переменную τ , один конструктивный размер, три параметра потока (c , v , w) и два эмпирических коэффициента (k и a).

Пыль сахара, кофе, сухого молока и т.п. хорошо растворяется водой, поэтому, в условиях парциальной конденсации будет проходить насыщение конденсатом слоя загрязнений. Модель такого процесса представляется как трехзонная. В первой зоне (консолидации) происходит расширение площади пятен контакта “продукт-поверхность ТС”, растут адгезионно-когезионные силы. На границе первой и второй зон достигается максимальное значение адгезионных сил. Вторая зона (релаксации) переходит в третью – текучести. Модель подтверждена экспериментально, получены количественные зависимости адгезионных сил от влагосодержания пыли. Толщина пленки на поверхности в третьей зоне определяется совместным действием сил инерции потока, адгезии (Pa) и поверхностного натяжения (σ).

Обработка экспериментальных данных выполнена в виде критериального уравнения [2,3]:

$$\Omega = \rho g R n / \sigma = A (We)^n (P)^m. \quad (2)$$

Из Ω рассчитывается толщина пленки, как разность радиусов пленки (Rn) и ТС (Rm) в зависимости от числа Вебера (We) и безразмерного комплекса $P = PaRm/\sigma$, который показывает соотношение сил адгезии и сил поверхностного натяжения. Для разных видов продукта найдены постоянные в уравнении (2).

Технические характеристики ТМУ. Исходя из номенклатуры сушильного оборудования, разработан типоразмерный ряд термосифонных тепломассоутилизаторов (табл. 2).

Таблица 2 – Характеристики термосифонных аппаратов

Тип тепломассоутилизатора	Число ТС, шт	Число рядов ТС, шт	Поверхность теплопередачи	Площадь живого сечения, м ²	Высота, м	Ширина, м	Глубина, м
ТГ-2-100	102	6	106,5	0,61	2	1	0,35
ТГ-2-200	200	8	208,8	0,89	2	1,4	0,4
ТГ-2-300	297	9	310,1	1,29	2	1,85	0,45
ТГ-2-400	400	8	417,6	1,78	2	2,8	0,4
ТГ-2-500	500	10	522	1,78	2	2,8	0,5
ТГ-4-300	297	9	620,2	2,58	4	1,85	0,45
ТГ-4-400	400	8	835,2	3,56	4	2,8	0,4
ТГ-6-400	400	8	1252,8	5,34	6	2,8	0,4
ТГ-6-600	600	10	1879,2	8,01	6	2,8	0,5

Поскольку расходы теплоносителя в теплогенераторе и в теплоутилизаторе практически равны, то эти же конструкции могут быть использованы в качестве теплогенераторов.

В марке теплоутилизатора указывается длина термосифонов и их число. В аппарате использованы медные термосифоны с накатно-винтовым оребрением из пластически-деформируемого дюралюминия. Диаметр оребрения 43 мм, диаметр основания ребер 19 мм, шаг между ребрами 3 мм, толщина ребер 0,7 мм. В зависимости от типа сушильных установок срок окупаемости системы утилизации составляет от 3 до 15 месяцев.

На фотографии (рис. 3) приведен аппарат ТГ-2-200, который установлен в линии производства растворимого кофе на Одесском комбинате пищевых концентратов:

- тепловая мощность модуля из 200 термосифонов 0,1...0,5 МВт;
- снижает расход пара либо топлива на 10–25 %;
- извлекает из газовых выбросов при сушке пищевых продуктов от 40 до 99 % пыли продукта;
- габаритные размеры 1650x2000x600.

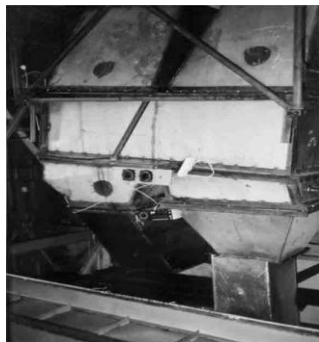


Рисунок 3 – Тепломассоутилизатор ТГ-2-200

Надежность в работе аппарата гарантируется использованием в качестве теплопередающих элементов двухфазных термосифонов, а стабильность теплотехнических характеристик – режимом “самоочищения” поверхности.

Модернизация ленточной сушилки. Техническая идея модернизации состоит в замене паровых калориферов генераторами инфракрасного (ИК) обогрева. Это снизит потери теплоты, как от корпуса сушилки, так и с отработавшим теплоносителем. Энергия ИК-излучателей поглощается, в основном, продуктом, расход воздуха в сушилке согласовывается с задачей отвода влаги. Воздух используется только как диффузионная среда. Перевод сушилки на ИК – энергоподвод требует решения следующих задач:

- исследование кинетики ИК-сушки продукта в зависимости от удельной мощности нагревателей, вида продукта, расхода воздуха;

– анализ зависимости энергетических затрат на обезвоживание от удельной мощности излучателей и расхода воздуха через камеру.

Для проведения комплексных экспериментальных исследований создан стенд, основными узлами которого являлись сушильная камера с двумя ИК-излучателями и система сбора и компьютерной обработки информации. Решалась задача построения на мониторе компьютера линий сушки, линий скорости сушки, термограммы для продукта, воздуха в камере, «сухого» и «влажного» термометров на выходе воздуха из сушильной камеры (рис. 4).

К компьютеру приходит одновременно два сигнала по интерфейсу RS-232. Сигнал с ОВЕНА обрабатывается с помощью SCADA-системы OWEN PROCESS MANAGER (OPM). Это позволяет строить термограммы, как в режиме онлайн так и после окончания процесса. Для обработки сигнала по интерфейсу RS-232 с весов с помощью delphi 7 разработана оригинальная программа, которая позволила не только считывать сигнал с весов, но и строить графики линии сушки и скорости сушки в режиме онлайн.

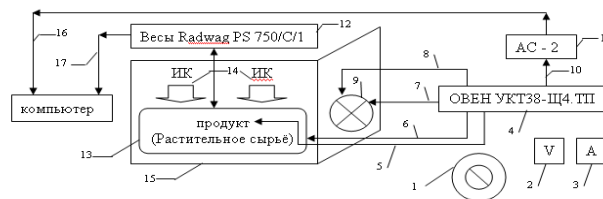


Рисунок 4 – Автоматизированный экспериментальный стенд

- 1 – регулятор мощности ИК излучателей; 2 – вольтметр; 3 – амперметр;
- 4 – устройство контроля температуры восьмиканальное с аварийной сигнализацией;
- 5, 6 – термопары, измеряющие температуры, соответственно, продукта и воздуха в камере; 7 – сухая термопара;
- 8 – мокрая термопара; 9 – вентилятор; 10 – «токовая петля»;
- 11 – преобразователь интерфейсов «токовая петля»/RS-232 ОВЕН АС-2; 12 – весы электронные лабораторные;
- 13 – подвесная платформа для продукта; 14 – ИК излучатели; 15 – камера;
- 16 – сигнал из АС-2 по интерфейсу RS-232 к COM2 порту компьютера;
- 17 – сигнал из весов по интерфейсу RS-232 к COM1 порту компьютера

В качестве датчиков температуры использовались термопары типа *L*, регулирование и регистрация мощности нагревателей и расхода воздуха осуществлялось в ручном режиме. Иллюстрация регистрации и обработки результатов опытов по кинетическим характеристикам процесса сушки дана на рис. 5. Аналогично в автоматическом режиме фиксировались термограммы.

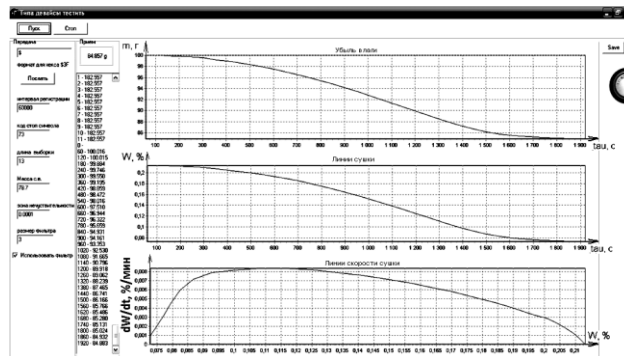


Рисунок 5 – Типичные картины представления параметров по кинетике сушки гороха

Комплексные экспериментальные исследования определили влияние удельной нагрузки на ленту ($\text{кг}/\text{м}^2$) и удельной мощности нагревателей на главный показатель – скорость сушки (рис. 6).

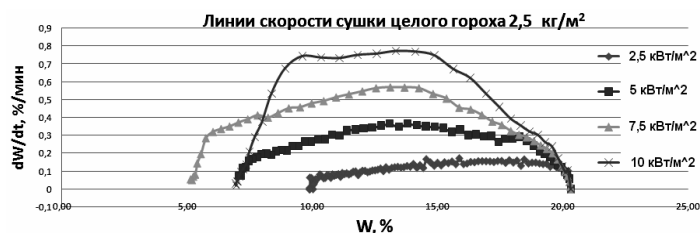


Рисунок 6 – Влияние мощности подводимой энергии

Полученные результаты позволяют проектировать модернизированную ленточную сушилку с ИК-нагревателями.

Повышение эффективности экстрагирования. Использование комбинированных процессов при экстрагировании открывает новые возможности для создания экономичного экстрактора [4], максимально соответствующего требованиям ресурсосбережения. Использование электромагнитного подвода энергии микроволнового диапазона дает возможность извлекать экстрактивные вещества из пор микро- и, даже, наномасштабных размеров. Конструктивно такой экстрактор выполняется в виде шахты, внутри которой подъемный механизм перемещает лотки с молотыми зернами кофе или шламом. Сверху стекает экстрагент, а на боковых стенках шахты смонтированы генераторы электромагнитной энергии. В микроволновом поле проходит обработка сырья, мощный бародиффузионный механизм позволяет извлекать сухие вещества из сырья. Причем, достигается даже разрыв оболочек глухих пор, что делает доступным содержимое этих пор. В такой конструкции важно достичь четкого согласования мощности электромагнитного излучения, расхода экстрагента и сырья. Факторами, которые также оказывают влияние на кинетику процесса экстрагирования, являются толщина слоя сырья, размер частиц и температура продукта. Проведенные исследования методом калориметрирования камер позволили установить характер распределения потоков энергии в модуле микроволнового экстрактора.

Выводы. Система с термосифонным утилизатором включена в линию прессосушильных автоматов Одесского сахаро-рафинадного завода, внедрена в линию сушки растворимого кофе на Одесском комбинате пищевых концентратов, апробирована на зерносушильной установке ДСП-32. Испытания системы с ТМУ подтвердили высокую эффективность разработки и ее перспективность в практическом решении задач экономии энергии и снижении потерь готового продукта на сушильном оборудовании.

Литература

1. Бурдо О.Г. Энергетический мониторинг пищевых производств – Одесса: Полиграф, 2008 – 244 с.
2. Бурдо О.Г. Эволюция сушильных установок – Одесса: Полиграф, 2010 – 368 с.
3. Burdo O.G., Terziev S.G., Peretyaka S.N. Energy-saving Food Technologies on Heat Pipe Exchanger Basis /Proc. 9-th Int. Heat Pipes. Conf.– Albuquerque (New Mexico, USA).– 1995.– P. 7–14.
4. Бурдо О.Г., Ряшко Г.М. Экстрагирование в системе «кофе-вода». Одесса, 2007. – 176 с.

УДК 664.87.012.3

Терзієв С.Г., Кураков О.М., Борщ А.А., Макієвська Т.Л.

УДОСКОНАЛЕННЯ ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ХАРЧОВИХ КОНЦЕНТРАТІВ

В роботі проведено аналіз енергетичних втрат в технологіях харчових концентратів. Розглянуто системи комплексної утилізації теплоти і пилу готового продукту на основі термосифонного апарату. Наведено типорозмірний ряд термосифонних тепломасоутилізаторів. Наведено результати експериментальних досліджень процесу сушіння при комп'ютеризованому зборі і обробці інформації. Розглянуто питання вдосконалення конструкцій стрічкової сушарки і екстрактора на основі використання електромагнітних джерел енергії.

Terziev S.G., Kurakov O.M., Borsh A.A., Makievskaya T.L.

IMPROVEMENT OF ENERGY TECHNOLOGIES IN FOOD CONCENTRATES PROCESSING

In current paper the food concentrates technology energy wastes have been analyzed. The thermosyphon based system of heat and final product dust complex utilization is considered. Dimension type range of thermosyphon heat-mass-utilizer is presented. The computer information acquisition and processing results of drying process experimental research are given. The problems of electromagnetic energy sources using based improvement of band drier and extractor construction are considered.