

В роботі котла було досягнуто значної економії палива – 40 %, а також великого зниження викидів шкідливих речовин у довкілля. При роботі звичайного котла без додаткового обладнання спостерігався чорний дим, кіптява, що свідчило про неповне згоряння палива, що було надзвичайно негативним фактором для курортного містечка. Та після застосування каталізатора на котлі було досягнуто відмінного результату: сірий дим і зниження споживання палива. При застосуванні цих технологій було очищено димові гази від оксиду сірки, азоту, оксиду цинку та інших шкідливих речовин, які попадали та забруднювали навколишнє середовище. А також отримано цінну хімічну сировину. Випробовування на газовому котлі 50квт у смт.Щирець теж показало добрі результати, що ви-

дно на фотографіях 1 та 2. Встановлення системи на автомобіль Audi Q7 W12 TDI показало зменшення емісії CO₂, підвищення потужності та зниження витрат пального.(фото.6)

Висновки

Результати випробувань показали, що технологія, яку пропонується, є достатньо випробувана, економічно обґрунтована та надзвичайно перспективна. Адже вона, крім значної економії ресурсів, в значній мірі зменшує навантаження на природне середовище та дозволяє значно знизити собівартість енергії.

Література

1. Мисак Й.С., Гнатишин Я.М., Івасик Я.Ф. Паливні пристрої для спалювання низькосортних палив. Львів НУ „Львівська політехніка”, 2002, 135 с.
2. Янко П.І., Мисак Й.С. Режими експлуатації енергетичних котлів. Львів, НВФ „Українські технології”, 2004 – 271 с. – Монографія.
3. Мисак Й.С., Івасик Я.Ф., Гут П.О., Лашковська Н.М. Експлуатація об'єктів ТЕС. НУ „Львівська політехніка”, 2007 – 300 с.
4. Експлуатація та налагодження енергетичного устаткування ТЕС ВАТ „Західенерго”. За ред. Омеляновського П.Й., Мисак Й.С. АВФ, Українські технології 2005 – 410 с. Збірник публікацій

УДК 664.834.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА СУШКИ НА ОСНОВАНИИ ЭНТРОПИЙНОГО БАЛАНСА МОДЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

М. М. Цуркан

кандидат технических наук, доцент
Кафедра энергетики и физики
Харьковский государственный университет питания
и торговли
ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051
Контактный тел.: (057) 349-45-86, 095-696-47-77
E-mail: tsurkan_n@ukr.net

Розглянуто питання визначення шляхів підвищення енергоефективності процесу сушіння на підставі аналізу ентропійного балансу модельної термодинамічної системи

Ключові слова: процес сушіння, енергоефективність, рівняння балансу ентропії

Рассмотрен вопрос определения путей повышения энергоэффективности процесса сушки на основании анализа энтропийного баланса модельной термодинамической системы

Ключевые слова: процесс сушки, энергоэффективность, уравнение баланса энтропии

The problem of determining the ways to improve the energy efficiency of the drying process based on an analysis of the entropy balance of a model thermodynamic system is considered

Keywords: drying process, energy efficiency, entropy balance equation

Постановка проблемы в общем виде

В настоящее время разработка энерго и ресурсосберегающих технологий является актуальной про-

блемой для пищевой промышленности. В большой мере это касается технологий включающих процессы сушки различного пищевого сырья, как наиболее энергоемкие.

Анализ последних исследований и публикаций

Работа является продолжением цикла теоретических и экспериментальных исследований процессов рассеивания энергии в термодинамической системе, которую являет собой определенное пищевое сырье. Исследования проводятся в рамках научной концепции, в соответствии с которой процесс сушения являет собой эволюцию определенной термодинамической системы с некоторого начального неравновесного состояния до состояния равновесия, которое отвечает окончанию процесса [1].

Цели и задачи статьи

Целью данной работы является определение путей повышения энергоэффективности процесса на основании анализа энтропийного баланса модельной термодинамической системы, которую представляет собой обезвоживаемое пищевое сырье.

Изложение основного материала исследований

В качестве «эталонного» процесса сушки примем испарение воды со свободной поверхности. Элементарная теплота такого фазового перехода равна

$$dQ = -rdm, \tag{1}$$

где r – удельная теплота испарения.

Очевидно, что теплота фазового перехода любого произвольного процесса испарения воды будет отвечать неравенству

$$TdS > -rdm. \tag{2}$$

Таким образом, показателем энергоэффективности произвольного процесса сушки (для случая когда система получает энергию в виде теплоты) будет максимальное приближение значения теплоты (энергии) фазового перехода к «эталонному». Исходя из этого можно ввести показатель энергоэффективности процесса сушки $K_{ээ}$ в виде

$$K_{ээ} = -\frac{rdm}{TdS} = \max. \tag{3}$$

Учитывая, что величины r и T константы (к тому же значение T входит в r), условие (3) можно записать в виде

$$-\frac{dm}{dS} = \max \Rightarrow -\frac{dm}{dt} = \max \wedge \frac{dS}{dt} = \min \tag{4}$$

Это значит, что скорость убыли массы системы (скорость сушки) должна быть максимальной, при минимальной скорости изменения энтропии в данном процессе. И поскольку скорость сушки является величиной производной от параметров процесса, очевидно, что максимальная энергоэффективность процесса

будет определяться условием минимальной скорости изменения энтропии.

Из термодинамической теории известно, что удельная энтропия системы s является определенной функцией параметров, которые описывают равновесное состояние системы [2]. Примем, что в нашем случае s является функцией удельной внутренней энергии u , удельного объема v и массовых концентраций компонентов системы c_i .

$$s = s(u, v, c_i) \tag{5}$$

Для плотности энтропии ρ_s , как для полевой величины запишем следующее дифференциальное уравнение баланса

$$\frac{d\rho_s}{dt} = -\text{div}J_s + \sigma \tag{6}$$

где J_s – поток энтропии; σ – интенсивность внутреннего источника энтропии (производство энтропии), которая удовлетворяет условию второго начала термодинамики $\sigma \geq 0$.

Рассмотрим уравнение баланса энтропии для элементарного объема системы на которую не действуют внешние силы. Будем считать, что исследуемый объем находится в гомогенной двухкомпонентной области системы (коллоидное тело). Одним из компонентов (жидким) является вода с плотностью ρ_w и, соответственно, концентрацией c_w , другим (твердым) – сухая часть материала с плотностью ρ_s и концентрацией c_s . На границе локального объема существуют градиенты температуры и концентрации c_w и таким образом, возникают диффузионные потоки теплоты и массы.

Исходя из условия «локального» равновесия для данного объема системы (для случая отсутствия механической работы изменения объема системы), запишем уравнение Гиббса в виде:

$$T \frac{ds}{dt} = \frac{du}{dt} - \mu_w \frac{dc_w}{dt} \tag{7}$$

где μ_w – химический потенциал воды в данном объеме системы.

Используя уравнения баланса для удельной внутренней энергии u и концентрации c_w определим конкретный вид уравнения баланса энтропии (6).

Уравнение баланса удельной внутренней энергии u для выбранного модельного объема будет иметь вид

$$\frac{d\rho u}{dt} = -\text{div}J_q - \Pi \cdot \text{grad}v_w, \tag{8}$$

где J_q – плотность теплового потока; Π – тензор вязкого давления, v_w – скорость диффузии влаги.

Уравнение баланса для жидкой компоненты имеет вид:

$$\frac{d\rho c_w}{dt} = -\text{div}J_w \tag{9}$$

где $J_w = \rho_w v_w$ – плотность диффузионного потока влаги.

Перепишем уравнение (7) с учетом (8) и (9) в следующем виде:

$$\frac{d\rho s}{dt} = -\frac{1}{T} \operatorname{div} J_q - \frac{1}{T} \Pi \cdot \operatorname{grad} v_w + \frac{1}{T} \mu_w \cdot \operatorname{div} J_w, \quad (10)$$

и приведем его к виду уравнения баланса (6)

$$\begin{aligned} \frac{d\rho s}{dt} = & -\operatorname{div} \frac{J_q - \mu_w J_w}{T} - \frac{1}{T^2} J_q \operatorname{grad} T - \\ & - J_w \operatorname{grad} \frac{\mu_w}{T} - \frac{1}{T} \Pi \cdot \operatorname{grad} v_w \end{aligned} \quad (11)$$

Таким образом, исходя из вида уравнения (6), получим выражения для потока энтропии и производства энтропии:

$$J_s = \frac{1}{T} (J_q - \mu_w J_w), \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \sigma = & -\frac{1}{T^2} J_q \operatorname{grad} T - J_w \operatorname{grad} \frac{\mu_w}{T} - \\ & - \frac{1}{T} \Pi \cdot \operatorname{grad} v_w \geq 0 \end{aligned} \quad (13)$$

Учтем в выражении (13) следующую зависимость:

$$\operatorname{grad} \left(\frac{\mu_w}{T} \right) = \frac{1}{T} \operatorname{grad} \mu_w - \frac{\mu_w}{T^2} \operatorname{grad} T \quad (14)$$

После соответствующей группировки слагаемых в выражении (13) получим:

$$\begin{aligned} \sigma = & -\frac{1}{T} J_s \operatorname{grad} T - \frac{1}{T} J_w \operatorname{grad} \mu_w - \\ & - \frac{1}{T} \Pi \cdot \operatorname{grad} v_w \geq 0 \end{aligned} \quad (15)$$

Поскольку поток энтропии J_s входит в выражение для σ определяемого зависимостью (15), то можно дальнейший анализ проводить из условия, что каждое слагаемое этой зависимости должно удовлетворять условию

$$\sigma = \min \geq 0. \quad (16)$$

Прежде всего качественный анализ зависимости (15) показывает, что одним из факторов обеспечивающих условие (16) является максимально возможная температура реализации процесса, которая должна устанавливаться исходя из соответствующих граничных условий (свойств материала).

Проанализируем условие (16) для первого слагаемого зависимости (15)

$$-\frac{1}{T} J_s \operatorname{grad} T = \min \geq 0, \quad (17)$$

которое удовлетворяется в свою очередь следующими условиями:

$$J_s = \min \quad (18)$$

$$\operatorname{grad} T = \min \quad (19)$$

Минимум плотности потока энтропии J_s определяемого выражением (12) обеспечивается при фиксированном тепловом потоке максимальным значением плотности потока влаги J_w (требование усиливается условием $-\frac{dm}{dt} = \max$) с химическим потенциалом μ_w ,

который можно считать постоянным в данном локальном объеме.

Плотность потока влаги J_w в линейном приближении описывается законом Фика:

$$J_w = D \cdot \operatorname{grad} p_w \quad (20)$$

где D – коэффициент диффузии.

Поскольку градиент концентрации влаги является величиной производной от параметров процесса, то условие максимума плотности потока влаги будет определяться максимумом коэффициента D , который в общем случае является полевой величиной (зависящей от координат и изменяющейся во времени).

Таким образом, одним из условий повышения энергоэффективности процесса сушки является обеспечение максимального значения коэффициента диффузии как в объеме обезвоживаемого материала, так и на протяжении всего времени реализации процесса. Для этого необходимо экспериментальное исследование функциональной зависимости коэффициента D от параметров процесса, для задания соответствующих начальных условий, а также возможности управления условиями реализации процесса (комбинированные способы сушки или переменные параметры режимов). Дополнительное увеличение потока влаги может быть обеспечено также введением новых движущих сил (например, градиентов температуры за счет внутренних источников теплоты), что может быть достигнуто применением комбинированных способов сушки.

Для более строгого описания теплового потока, который входит в выражение для J_s , необходимо учитывать теплоту, которая уносится потоком влаги. В этом случае тепловой запишется в виде

$$J_q^* = J_q - h_w J_w \quad (21)$$

где h_w – удельная энтальпия удаляемой влаги.

Второе условие (19), которое вытекает из анализа выражения (17), обеспечивается при фиксированном потоке теплоты в виде линейного закона Фурье

$$J_q = \lambda \cdot \operatorname{grad} T \quad (22)$$

условием

$$\lambda = \max \quad (23)$$

По аналогии с коэффициентом диффузии D коэффициент теплопроводности λ также должен рассматриваться как полевая величина, которая связана определенной функциональной зависимостью с параметрами процесса.

Анализ второго слагаемого выражения (15) при фиксированном потоке J_w показывает, что необходимо выполнение условия

$$\text{grad}\mu_w = \min \quad (24)$$

Это значит, что должны быть предприняты меры по выравниванию химического потенциала влаги в рассматриваемом локальном объеме. Например, установлением оптимальной дисперсности материала или управление градиентами температуры для понижения градиента μ_w (при использовании некоторого комбинированного режима).

Минимальное значение третьего слагаемого в выражении (15) определяется постоянством скорости диффузии или минимальным значением

$$\text{grad}v_w = \min, \quad (25)$$

а также минимумом механических напряжений. Другими словами изменениями объема и формы мате-

риала не должно быть или они должны быть минимальными. Для выполнения этого условия должны быть проведены соответствующие экспериментальные исследования по определению объемных изменений в системе при различных режимных параметрах и для различных начальных условий.

Выводы

Таким образом, анализ баланса энтропии дает возможность задать параметры процесса с максимальной энергоэффективностью на основании установления функциональных зависимостей коэффициентов теплопроводности и диффузии, а также выбрать наиболее эффективный способ подвода энергии.

Литература

1. Погожих, Н. И. Процес сушіння як енергоефективний перехід термодинамічної системи у стан рівноваги [Текст] / Н. И. Погожих, Н. М. Цуркан // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі: Зб. наук. праць / Редкол.: О.І. Черевко (відпов. ред.) та ін.; Харк. Держ. Ун-т харчування та торгівлі. – Харків, 2009. – Вип. 1(9). – с. 172-179.
2. Дьямрти, И. Неравновесная термодинамика [Текст] : пер. с англ. – М. В. Коробов; М.: Изд. «МИР», 1974. – 304с.

Проведено оцінку впливу завдання граничних умов при моделюванні ґрунтових теплообмінників горизонтального типу на величину теплозбіру з ґрунтового масиву протягом опалювального періоду
Ключові слова: ґрунтовий теплообмінник, тепловий насос, теплозбір

Проведена оцінка впливу завдання граничних умов при моделюванні ґрунтових теплообмінників горизонтального типу на величину теплозбору з ґрунтового масиву в течение опалювального періоду

Ключевые слова: ґрунтовий теплообмінник, тепловой насос, теплозбор

An assessment of the influence of the boundary conditions for modeling of groundwater heat exchangers of horizontal type on the value of heat collection from ground mass during the heating season is made

Keywords: soil heat exchangers, heat pump, heat collection

УДК 621.577

ОБОСНОВАНИЕ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ГРУНТОВЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ

А. И. Тарасов

Доктор технических наук, профессор
 Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»
 Кафедра турбиностроения
 ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, 61002
 Контактный тел.: (057) 705-06-05

В. А. Тарасова

Кандидат технических наук, младший научный сотрудник
 Институт проблем машиностроения им. А. Н. Подгорного
 НАН Украины
 ул. Дм. Пожарского 2/10, г. Харьков, 61046
 Контактный тел.: (0572) 94-27-94, (0572) 94-46-35
 E-mail: VAT1971@mail.ru