УДК [664.046-027.3:66.085.4]:536.4

ИЗМЕНЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ В КЛЕТОЧНЫХ СТРУКТУРАХ ПРИ МИКРОВОЛНОВОМ ПОДВОДЕ ЭНЕРГИИ.

Калинин Л.Г. д.т.н., профессор
Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса

Показано, что при подводе микроволновой энергии к клеточной структуре часть энергии идет на увеличение давления внутри клетки. На основании основного дифференциального уравнения термодинамики получена расчетная зависимость p = f (t).

In this article show, that a part of microwave energy, assimilated in cell structure. Spend to increase of pressure in cell. At basics low of thermodynamics obtained the formula p = f (t).

Ключевые слова: микроволновая энергия, клетка, давление, температура.

При микроволновом нагреве структур, в состав которых входим вода или другие жидкости, заполняющие ограниченные микрообъемы тела, наблюдается эффект очевидно связанный с проявлением градиента давления, направленного изнутри тела. Практически это выглядит в виде отдельных выбросов паро-газовой смеси наружу, причем координаты этих выбросов случайны, а их интенсивность (частота следования) прямо пропорциональна времени подвода энергии, т.е. дозе воспринятого излучения.

Если рассматривать растительную клетку как естественный начальный объем сырья, содержащий в себе все элементы, составляющие предмет последующих технологических операций, то для такого одиночного объема (клетки) справедливо общее уравнение первого закона термодинамики:

$$dQ = dA + dU \tag{1}$$

где Q – подводимая энергия
A – работа, совершаемая в объеме
U – внутренняя энергия

Обычно полагают, что dA = 0 и уравнение (1) упрощается до вида:

$$dQ = dU = c_p \cdot dT \tag{2}$$

т.е. вся подводимая энергия идет на увеличение температуры клетки. На самом деле ситуация выглядит иначе. Для замкнутой системы справедливы соотношения

$$dA = \begin{cases} V \cdot dP \\ P \cdot dV \end{cases} \tag{3}$$

В зависимости от того, какой вид процесса реализуется. В [Л.1] были показаны условия существования двух видов процессов: изобарического и изохорического.

Первой из них (P = const) реализуется в системе клеток при подводе энергии за счет увеличения начального объема клетки (dV), причем этот рост осуществляется за счет изменения объема межклеточного пространства, а его содержимое вытесняется в поверхностные слои тела. Этот эффект можно наблюдать непосредственно после подвода микроволновой энергии, когда на поверхности растительной ткани появляются микрокапли «псевдоросы».

По окончании этого периода, когда клетка не может увеличивать свой объем, наступает второй этап изохорический процесс (V = const), который характеризуется ростом давления при продолжающемся подводе энергии. Существуют две гипотезы, суть которых заключается в следующем:

при неизменном объеме клеток (V = const) давление внутри нее остается практически неизменным вплоть до возникновения паровой фазы, что ведет к скачку давления, который сопровождается разрушением клеточной структуры;

вторая гипотеза полагает, что давление в клетке при V=const определяется термодинамическими свойствами содержимого клетки (в первом приближении воды) и рост давления с увеличением температуры при неизменном объеме определяется частной производной

$$\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V \tag{4}$$

которая входит в состав основного дифференцированного уравнения термодинамики

$$\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_V \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_P \cdot \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P = -1 \tag{5}$$

откуда

$$\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V = \frac{\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P}{\left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_T} \tag{6}$$

Таким образом задача сводится к нахождению частных производных, входящих в правую часть уравнения (6).

Для вычисления $\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V$ воспользуемся опытными данными, полученными для атмосферного давления и приведенными [Л.2] для диапазона температур 10...100 °С, характерного для процессов энергообмена в пищевых продуктах.

Таблица 1 – Температурная зависимость y = f(T)

T, °C	y	T, °C	y
10	0,9389	60	5,284
20	2,002	70	5,962
30	2,950	80	6,611
40	3,798	90	7,241
50	4,505	100	7,865

$$y = 10^6\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P \quad [м^3/кг\ К]$$

где V – удельный объём.

Обработка этих данных методом наименьших квадратов приводит к зависимости:

$$\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P = A \cdot T \quad [м^3/кг\ К] \tag{7}$$

где $A = 9{,}5 \cdot 10^{-8}$ $[м^3/кг\ К^2]$

Для нахождения производной рассмотрим известное выражение:

$$\beta = -\frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_T \ [Па^{-1}] \tag{8}$$

Здесь V – удельный объем воды $[м^3/кг]$.

Из уравнения (6) следует, что

$$\left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_T = -\beta \cdot V = f(T) \tag{9}$$

Значения β очень мало и для рассматриваемого диапазона температур 10...100 ˚С можно принять среднее значение

$$\beta = 4{,}5 \cdot 10^{-10} \ [Па^{-1}] \tag{10}$$

Значение V = f (T) может быть найдено, если определить вид этой зависимости по результатам обработки данных эксперимента [Л.2], что приводит к среднему $V = 1{,}0166 \cdot 10^{-3}$ $[м^3/кг]$.

Тогда

$$\left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_V = 1{,}0166 \cdot 10^{-3} \cdot 4{,}5 \cdot 10^{-10} = 4{,}57 \cdot 10^{-13} \quad [м^3/кг\ К] \tag{11}$$

Подставляя (7) и (11) в (6), получим

$$\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V = \frac{9{,}9 \cdot 10^{-8} \cdot t}{4{,}57 \cdot 10^{-13}} = 2{,}2 \cdot 10^5 \cdot t \tag{12}$$

или, переходя к полным производным,

$$dP = 2{,}2 \cdot 10^5 \, tdt \tag{13}$$

Интегрирование дает

$$\Delta P = P_2 - P_1 = 2{,}2 \cdot 10^5 \cdot \left(\frac{t_2^2 - t_1^2}{2}\right) \tag{14}$$

Приведенная формула и определяет зависимость давления от температуры для воды, находящейся в абсолютно герметичном объеме.

На самом деле рост давления в клетке не будет так велик по следующим причинам:

Вода составляет лишь 60-70% содержимого клетки.

Стенки клетки являются слабопроницаемыми из-за наличия каналов в стенках плазмодесм и клетки.

При микроволновом нагреве всегда существует неравномерность распределения температуры (а, следовательно, и давления) как следствие неравномерности выделения электромагнитной энергии в этом диапазоне частот. Это ведет к формированию полей давления в теле, что может вызвать переток жидкости из одних клеток в другие.

В любом случае, учитывая трудности численной оценки снижения эффекта роста давления в клетке, можно утверждать, что такой рост существует. Даже если его величина на порядок ниже расчетной по (14), то речь идет о перепаде давлений в Мпа, что необходимо учитывать при оценке процессов нагрева продуктов, имеющих основой клеточную структуру.

Литература

1. Калинин Л.Г., Бошкова И.Л. Физическая модель отклика растительной ткани на ЭМП. Биофизика. том 48. вып.1 2003г.
2. Кириллин В.А., Сычов В.В., Шейдлин А.Е. Техническая термодинамика. «Энергия» М., 1974, 448с.

УДК 536.71

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СУСПЕНЗІЙ З ВУГЛЕЦЕВИМИ НАНОТРУБКАМИ ОТРИМАНИМИ З КОКСОВОГО ПИЛУ.

Потапов В.О., д-р техн. наук, професор,
Шевченко С.О., аспірант.,
Харківський державний університет харчування та торгівлі, м. Харків

У статті наведені експериментальні дані суспензій з вуглецевих нанотрубк отриманих з коксового пилу.

The article contains experimental data from carbon nanotube suspensions obtained in the process of coking coal.

Ключові слова: наносуспензія, вуглецева нанотрубка,температуропровідність, спін-спінова релаксація,в'язкість.

Традиційні робочі тіла і теплоносії, які використовуються в системах перетворення енергії, практично вичерпали теоретичні можливості подальшого зростання коефіцієнта теплопровідності. Значний прогрес у цій області був досягнутий останніми роками за рахунок вживання нанотехнологій – суспензій наночасток у класичних теплоносіях. Наносуспензії – розчини наночасток, розміри яких знаходяться в діапазоні від 20 до 100 А, стали об'єктом інтенсивних наукових досліджень, завдяки раніше невідомим ефектам і аномальній поведінці фізико-хімічних властивостей, зокрема, коефіцієнта теплопровідності.

У работах [1-5] опублікованих впродовж останнього десятиліття, явище аномального зростання коефіцієнта теплопровідності в суспензіях було продемонстроване для широкого спектру наночасток, у тому числі, вуглецевих нанотрубок (ВНТ) у різних теплоносіях де стали використовувати так звані фуле-