

УДК 664.40.1.372

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЦЕССА СУШКИ ФЕРРОЦИНСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ ВИНODEЛИЯ

Гербер Ю.Б., к.т.н.

ЮФ НУБ и П Украины «КАТУ»

Тел. (0652) 26-31-78

Аннотация - на основе проведенного анализа теоретических исследований сушки растительного сырья предложен комбинированный способ сушки ферроцинсодержащих отходов виноделия; с учетом универсального показателя k_v – отношения скорости сушки к тепловому потоку построена сравнительная графическая модель конвективной и инфракрасной сушки.

Ключевые слова - ферроцинсодержащие отходы виноделия (ФВВ), влагосодержание, влагообмен, конвективная сушка, инфракрасная сушка.

Постановка проблемы. Предыдущими исследованиями установлена целесообразность использования отходов винодельческого производства, содержащих ферроцин, на корм животным для нейтрализации радионуклидов и тяжелых металлов, попадающих в организм с кормами на загрязненных сельскохозяйственных территориях [1,2]. Для реализации указанного способа необходима подготовка ферроцинсодержащих отходов виноделия (ФВВ), в частности, сушка до влажности 18-20%, дозирование и смешивание их с остальными компонентами комбикорма. Наиболее энергозатратным процессом, который требует дальнейших исследований, является сушка.

Анализ последних исследований. Изучению процесса теплообмена в условиях массообмена посвящено большое количество работ теоретического и экспериментального характера. Изучаемые вопросы рассматривались в работах А.В. Лыкова, А.С. Клячко, А.В. Нестеренко, Б.И. Котова, В.Ф. Дидука, А.Д. Гарькавого, Г.К. Филоненко, А.А. Гухмана, Л.Д. Бермана, А.А. Грязнова, Д. Дальтона, Г. Рихмана, В. Нуссельта, Г. Грасгофа, Л. Прандтля, Т. Шервуда, Х. Аоки, Ш. Киккава, Ю. Накатани и других.

Результаты исследований процессов тепло- и массообмена при испарении жидкостей, проведенных различными авторами, недостаточно согласуются, а иногда носят противоречивый характер: в одних работах замечено увеличение теплообмена по сравнению с

«чистым» теплообменом, т.е. теплообменом, не осложненным массообменом, в других – снижение коэффициента теплообмена [4,5].

Цель исследований. Целью данного исследования является обоснование и дальнейшее развитие методов расчета количественных характеристик при испарении жидкости с открытой поверхности, исследование тепло - и массообмена при различных условиях обтекания поверхности испарения, а также обоснование способа сушки, обеспечивающего минимальные энергозатраты на указанный процесс.

Основная часть. Процесс сушки состоит из перемещения влаги внутри материала, парообразования и перемещения влаги с поверхности материала в окружающую среду. При соприкосновении влажного материала с нагретым воздухом жидкость на поверхности испаряется и покидает поверхность материала, переходя в окружающую среду. Испарение влаги с поверхности создает перекач влагосодержания между последующими слоями и поверхностным слоем, что вызывает перемещение влаги из внутренних слоев материала к поверхностным. Наличие разности температур на поверхности и в центральных слоях осложняет механизм переноса влаги. Происходит термодиффузия влаги от более нагретых слоев к слоям с меньшей температурой. Следовательно, характеристика протекания процесса сушки определяется механизмом перемещения влаги внутри материала, кинетикой испарения и перемещения влаги с поверхности материала в окружающую среду.

Общий поток влаги материала равен

$$v_c \cdot a_m \cdot \rho_0 \cdot \bar{V}U - a_m^t \cdot \rho_0 \cdot \bar{V}T = -a_m \cdot \rho_0 (\bar{V}U + \delta \cdot \bar{V}T) \quad (1)$$

где a_m и a_m^t – соответственно коэффициенты диффузии и термодиффузии влажных тел;

ρ_0 – плотность сухого тела;

$\bar{V}U$ и $\bar{V}T$ – соответственно разности влагосодержания и температуры на поверхности и в глубине материала;

δ – относительный коэффициент термодиффузии ($\delta = a_m^t / a_m$).

В качестве гипотезы предложен способ комбинированной сушки, включающий инфракрасную сушку на первом этапе и конвективную сушку на втором. Для обоснования последовательности выполнения этапов и параметров процесса построим графоаналитическую модель сушки отходов виноделия, базируясь на основных положениях конвективной и инфракрасной сушки.

Конвективная сушка.

При изотермических условиях, а также при малых перепадах температуры в пограничном слое (в период постоянной скорости

сушки), для определения интенсивности сушки можно применить следующую формулу

$$v_{c1} = \alpha_p \cdot (p_n - p_c) = Nu_m \frac{D_p}{l} \cdot (p_n - p_c), \quad (2)$$

где α_p - коэффициент влагообмена;

D_p - коэффициент диффузии пара в воздухе, отнесенный к разнице давлений;

p_n и p_c - значения парциального давления паров.

Для потока тепла

$$q_{c1} = \alpha_q \cdot (t_c - t_n) = Nu_p \frac{\lambda_E}{l} \cdot (t_c - t_n). \quad (3)$$

Индекс «n» означает поверхность материала, а «с»- окружающую среду;

α_q - коэффициент теплообмена;

l – длина поверхности тела вдоль потока газа;

λ_E - коэффициент теплопроводности влажного воздуха.

Тепло- и массообменные числа Нусельта (коэффициенты тепломассоотдачи) определяются по уравнениям [4]

$$Nu_p = \alpha_q \cdot l / \lambda_E = K_1 + 0,59 Re^{0,5} (1 + 1,55 \cdot 10^{-4} Re)^{0,25}, \quad (4)$$

$$Nu_m = \alpha_p \cdot l / D_p = K_1 + 0,55 Re^{0,5} (1 + 1,43 \cdot 10^{-4} Re)^{0,25}, \quad (5)$$

где $Re = V_m \cdot l / \nu$ – критерий Рейнольдса;

V_m - скорость теплоносителя;

ν - кинематическая вязкость паровоздушной смеси в воздушном пограничном слое, м²/с;

K_1 – коэффициент, зависящий от формы материала:

для пластин, обтекаемых тепловым агентом $K_1=0$;

для поверхности цилиндрической формы $K_1=0,3$;

для поверхности шарообразной формы $K_1=2$.

Инфракрасная сушка.

Интенсивность сушки при использовании инфракрасных лучей может быть выражена формулой

$$v_{c2} = r \cdot \alpha_p \cdot (p_n - p_c) = \frac{r \cdot D \cdot Nu_m}{l} \cdot (p_n - p_c), \quad (6)$$

где r - удельная теплота парообразования;

D - коэффициент диффузии пара в пограничном слое.

Тепловой поток для инфракрасной сушки описывается формулой

$$q_{c2} = r \cdot \alpha_q \cdot (t_c - t_n) = \frac{r \cdot I \cdot Nu_p}{l} \cdot (t_c - t_n), \quad (7)$$

где I - интенсивность лучистого потока; $I = I_0 \cdot \exp(-k_\lambda \cdot b_m)$, (8)

I_0 - интенсивность лучистого потока, падающего на поверхность материала;

k_λ - коэффициент ослабления ИК- луча;

b_m - толщина слоя материала.

Так как сушка происходит в два этапа, вначале под действием инфракрасных лучей, затем конвективным способом, общее количество теплоты за период сушки будет складываться из суммы этого показателя за первый и второй этапы:

$$q_{об} = Nu_p \frac{\lambda_\varepsilon}{l} \cdot (t_c - t_n) + \frac{r \cdot I \cdot Nu_p}{l} \cdot (t_c - t_n) = \frac{Nu_p}{l} (t_c - t_n) \cdot (\lambda_\varepsilon + r \cdot I). \quad (9)$$

Для сравнения эффективности двух видов сушки, о которых сказано выше, необходим универсальный показатель, который будет учитывать такие параметры процесса, как продолжительность τ_c ; общие, а также удельные энергетические затраты Q_c , $Q_{c,уд}$. В качестве указанного показателя предложена величина k_v – отношение скорости сушки v_c к тепловому потоку q_c . Указанное отношение учитывает как скорость процесса, так и затраты тепловой энергии. Для определения указанной величины воспользуемся полученными ранее зависимостями. При конвективной сушке величину k_v определим делением формулы (2) на (3)

$$k_{vI} = \frac{v_{c1}}{q_{c1}} = \frac{Nu_m \frac{D_p}{l} \cdot (p_n - p_c)}{Nu_p \frac{\lambda_\varepsilon}{l} \cdot (t_c - t_n)} = \frac{Nu_m \cdot D_p \cdot (p_n - p_c)}{Nu_p \cdot \lambda_\varepsilon \cdot (t_c - t_n)}. \quad (10)$$

В случае инфракрасной сушки величину k_v определим делением формулы (4) на (5)

$$k_{v2} = \frac{v_{c2}}{q_{c2}} = \frac{\frac{r \cdot D \cdot Nu_m}{l} \cdot (p_n - p_c)}{\frac{r \cdot l \cdot Nu_p}{l} \cdot (t_c - t_n)} = \frac{D \cdot Nu_m \cdot (p_n - p_c)}{l \cdot Nu_p \cdot (t_c - t_n)}. \quad (11)$$

Проведенные расчеты численным методом позволили получить графические зависимости, которые приведены на рис. 1,2. На графиках представлены зависимости энергетических затрат на процесс сушки от скорости воздуха в сушильной камере при различных значениях температуры воздуха, контактирующего с объектом сушки.

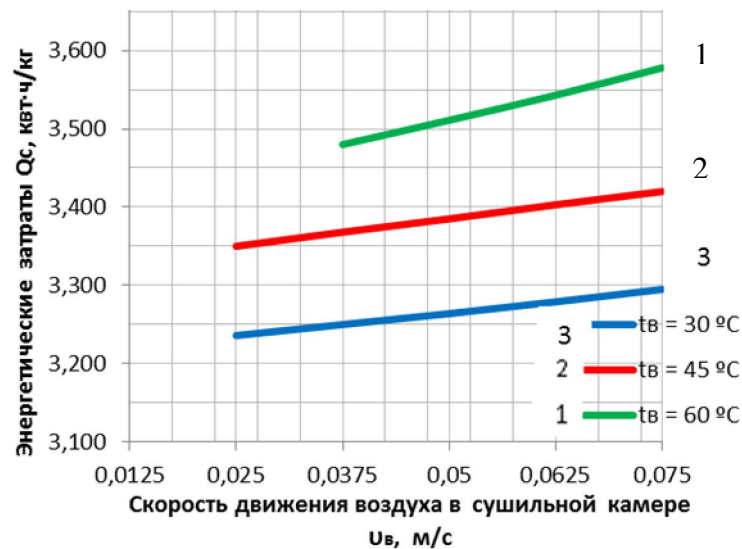


Рис. 1. Зависимость энергетических затрат на сушку от скорости движения воздуха в сушильной камере (конвективная сушка).

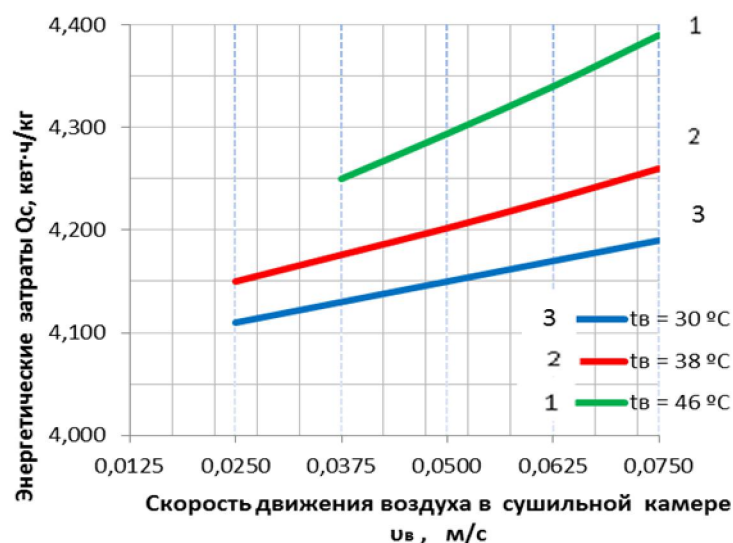


Рис. 2. Зависимость энергетических затрат на сушку от скорости движения воздуха в сушильной камере (ИК-сушка).

Из приведенных графиков видно, что динамика роста энергозатрат от скорости воздуха имеет более выраженный характер при инфракрасном способе сушки, а также увеличивается с ростом температуры в сушильной камере.

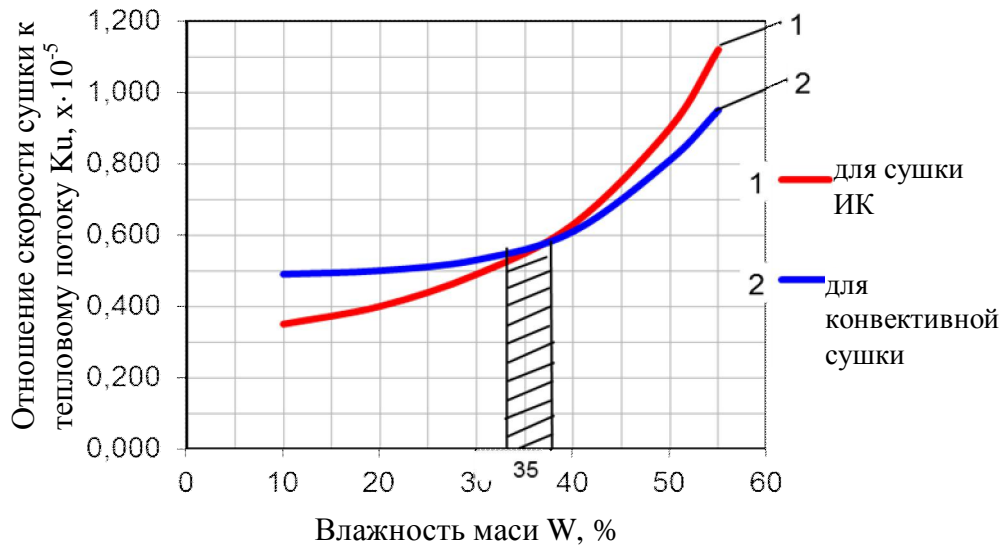


Рис. 3. Закономерность динамики процесса для ИК и конвективной сушки.

На графике (рис. 3) приведена модель сушки в виде сравнительных графических зависимостей приведенной величины k_v от величины влажности массы, подвергаемой сушке. Полученная модель позволяет сделать следующие выводы:

1. В начальный период сушки скорость процесса выше при ИК-сушке (это отражает большее значение величины k_v на графике); объясняется это тем, что ИК-лучи проникают вглубь материала и нагревают его, образуется градиент температур между материалом сушки и окружающим воздухом, что создает хорошие условия для движения влаги к поверхностному слою; при снижении влажности материала, скорость уменьшается.

2. В дальнейшем скорость протекания процесса в двух описываемых способах выравнивается, а затем скорость сушки при конвективном способе превышает эту величину для ИК-сушки; объясняется это тем, что переместившаяся к поверхностному слою влага испаряется быстрее в случае более интенсивного уноса влаги тепловым агентом (его более высокой влагопоглощающей способности), что имеет место при конвективном способе.

3. Энергетические затраты на предложенный процесс могут быть значительно снижены при использовании возобновляемых

источников энергии (в частности гелиоколлекторов) для подогрева теплового агента сушки.

Литература:

1. *Гербер Ю.Б.* Елементи СР-технології виробництва молока в умовах агропідприємства / Ю.Б. Гербер, І.М. Гудков // Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь, ТДАТУ, 2011. -№3, –с.25-33.

2. *Гудков І.М.* Особливості ведення сільського господарства на забруднених радіонуклідами територіях Лісостепу / І.М. Гудков, М.М. Лазарев // Наукове забезпечення сталого розвитку сільського господарства в Лісостепу України. - Т. 1. -К.: Вид-во ТОВ «Алефа», 2003.- с. 747-775.

3. *Кутателадзе С.С.* Основы теории теплообмена / С.С. Кутателадзе. - 5-е изд., перераб. и доп. - М.: Атомиздат, 1979. - 416с.

4. *Лыков А.В.* Теория сушки / А.В. Лыков. -М.: Энергия, 1968.

ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ФЕРОЦИНВІСТНИХ ВІДХОДІВ ВІНОРОБСТВА

Гербер Ю.Б.

Анотація - на основі проведеного аналізу теоретичних досліджень сушіння рослинної сировини запропоновано комбінований спосіб сушіння ферроцинвмістних відходів виноробства; запропоновано універсальний показник k_v - відношення швидкості сушіння до теплового потоку, з урахуванням якого побудована порівняльна графічна модель конвективного та інфрачервоного сушіння.

THEORETICAL BASIS OF DRYING FERROTCIN CONTAIN WINE WASTERS

J. Gerber

Summary

Based on the analysis of theoretical studies of drying plant materials proposed a combined method of drying ferrotcin contain wine wastes, proposed universal indicator k_v - ratio of the rate of drying to the heat flow, which is built with the comparative graphical model convection and infrared drying.