



РАДИАЦИОННО-КОНВЕКТИВНАЯ ГЕЛИОСУШИЛЬНАЯ УСТАНОВКА КАРУСЕЛЬНОГО ТИПА

1. О.С.Комилов
2. А.Б.Мухамадова
3. И.Ш.Садыков
4. М.И.Ахрарова

Received 15th May 2021,
Accepted 26th May 2021,
Online 28th May 2021

^{1,2,3,4} Преподаватели Бухарского
инженерно технологического
института.

ABSTRACT: В данной статье освещается материал экспериментальных исследований проведённых на разработанной радиационно - конвективной гелиоустановке карусельного типа предназначенной для сушки различных овощей и фруктов. Даны физико-математические доказательства о механизмах процесса сушки подтверждаемые экспериментальными исследованиями. Результаты полученные в ходе исследований представлены графическом виде.

Keywords: конвективная сушка, теплоноситель, гелиоустановка, воздухонагреватель – аккумулятор, теплофизические параметры.

I. Introduction

Традиционная конвективная сушка связана с необходимостью перемещения больших объемов сушильного агента. В результате – значительные потери энергии с отработанным сушильным агентом. Их доля составляет 70% от общих потерь энергии при сушке. Проблемы с равномерным распределением потоков сушильного агента не исключают локальный перегрев объектов сушки и его недостаточное нагревание. Все это определяет проблемы сушильных технологий в пищевой и перерабатывающей промышленности [1,2].

Анализ характера развития сушильной техники и литературных источников показывает, что энергетическому анализу сушильной техники уделяется мало внимания. Сушка – это комплекс тепловых и массообменных процессов, который логично требует комплексного подхода к его изучению и решению сопутствующих ему проблем. Исходя из этого, целью работы является – изучение комбинированного воздействия различных факторов на процесс сушки.

Представляется, что сушилки нового поколения должны основываться на следующих концептуальных положениях: во-первых, нужно снять с воздуха роль теплоносителя и оставить для него только функцию диффузионной среды, что существенно улучшит энергетические характеристики; во-вторых, следует формировать как отдельные задачи транспортировку влаги из середины продукта к его поверхности и отвод влаги в поток воздуха.

Вот почему актуальной задачей на сегодняшний день является оптимизация и интенсификация процесса сушки, что позволит повысить качество и улучшить условия хранения продукта, сократить продолжительность процесса, сберечь материальные и энергоресурсы, решить проблемы экологии. Интенсификация процесса тесно связана с развитием новых направлений в технологии и теории сушки [3].

В процессе сушки растительных материалов интенсификация процесса не всегда возможна повышением температуры теплоносителя и его скорости, т.к. повышение температуры материала выше предельно допустимой для конкретного материала вызывает его глубокие качественные изменения, а повышение скорости теплоносителя ограничено скоростью витания частиц материала [4].

II. Main part

Для интенсификации процесса сушки и улучшения качества конечного продукта нами разработана и построена экспериментальная радиационно-конвективная гелиоустановка карусельного типа для сушки сельхозпродуктов (виноград, яблоки, абрикос, персики, слива и др.), состоящая из воздухонагревателя-аккумулятора 1 и сушильной камеры 2 (рис. 1). Воздухонагреватель, сделанный в виде горячего ящика, заполнен галькой, служащей аккумулятором тепла; угол наклона прозрачного ограждения к горизонту 30°. В нижней части воздухонагревателя-аккумулятора предусмотрен ряд регулирующих отверстий 3 для поступления воздуха извне

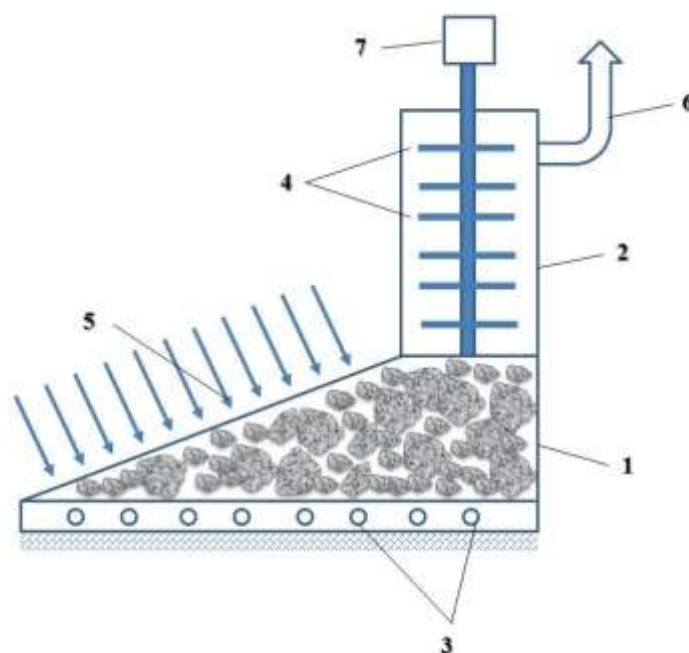


Рис. 1. Радиационно-конвективная гелиосушильная установка карусельного типа;

1 — воздушнонагреватель аккумулятор ; 2 - сушильная камера; 3- регулирующие отверстия; 4 —подносы; 5 - прозрачное ограждение; 6-вытяжная труба; 7- электродвигатель с редуктором:

Сушильная камера представляет собой деревянный каркас шкафного типа размером 500х500х2000 мм³ и в нем установлен вращающийся многоярусный стеллаж (карусельного типа) с подносами 4, на которых можно разместить по 6 кг плодов.

Все стороны гелиоустановки застеклены обыкновенным оконным стеклом толщиной 3 мм и хорошо загерметизированы. Для заправки свежими порциями продуктов в северной части сушильной камеры предусмотрена дверь.

В дневное время солнечные лучи, проходя через прозрачную изоляцию, нагревают воздух и аккумулирующий материал в нижней камере, высушиваемые продукты — в верхней. Воздух, нагретый в обеих частях установки, проходя через высушиваемые продукты, поднимается вверх и через вытяжную трубу выводится из - под зонта наружу. Аккумулирующий (галечный) материал, нагретый в дневные часы, в ночное время постепенно остывает и отдает накопленное тепло воздуху, который, проходя через сушильную камеру, продолжает участвовать в процесс сушки в течение суток.

Благодаря градиенту температур воздуха внутри установки и вне ее, также вследствие вращаемого движения стеллажа (карусель) создаются условия для интенсивной циркуляции воздуха и его конвекции. Таким путем в созданной экспериментальной установке температурный режим процесса сушки сохраняется в пределах 55÷60°C

Для изучения температурных и тепловых режимов, а также эффективности установки нами проведен ряд экспериментов с высушиваемыми продуктами (виноград, урюк, нарезанные яблоки, помидор и т. д.) в различных метеорологических условиях и в разное время. Для

контроля за процессом сушки измерялась температура различных частей установки термометрами. Проводился непрерывный замер и запись различных теплофизических параметров внутри сушильной камеры и вне ее.

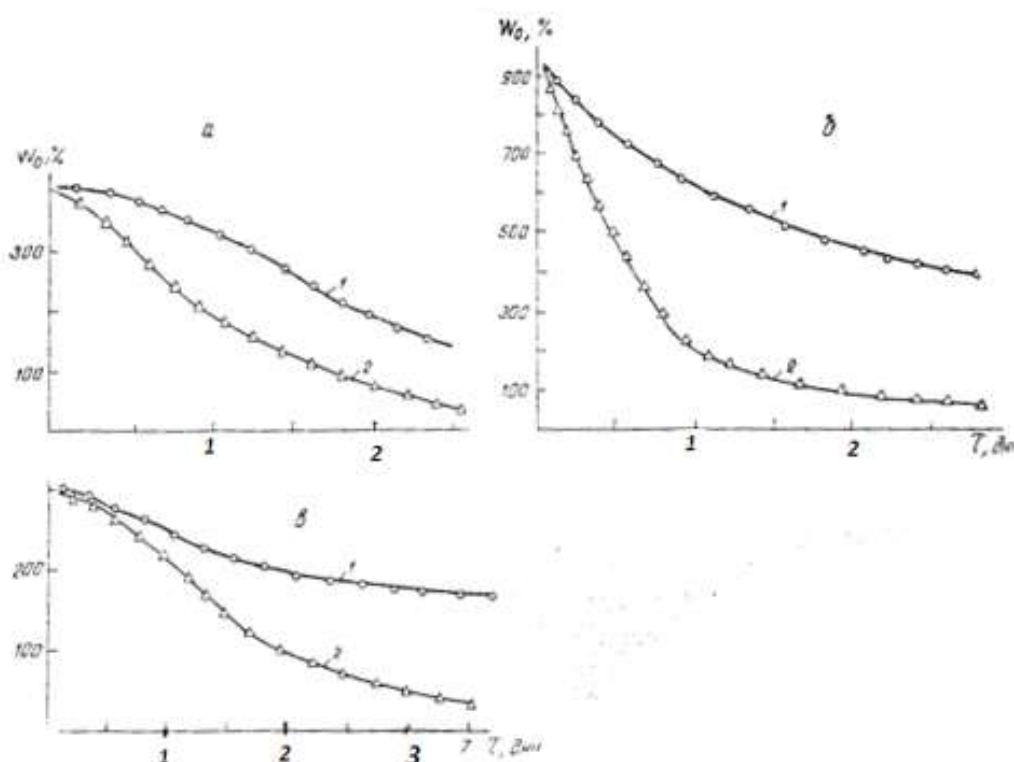


Рис.2. Сравнительные кривые сушки урюка (а, с 15 до 19.07.2020), помидор (б, с 2 по 6.08.2020) и винограда (в, с 7 по 15.10.2020);

1-на открытом воздухе под солнечными лучами; 2- на радиационно-конвективной установке карусельного типа.

Опыты по сушке осуществлялись естественным способом в идентичных условиях. Скорость сушки, т. е. изменение влажности во времени, определялась взвешиванием образцов продуктов в начале сушки и в процессе ее через определенные промежутки времени. По массе образцов рассчитывали относительную влажность материала и строили кривую зависимости влажности от времени (рис. 2).

Для практического расчета процесса, протекаемого в радиационно-конвективной гелиосушилке, необходимо знать зависимости скорости сушки N в первом периоде от основных параметров процесса: скорости, температуры и влагосодержания теплоносителя, размера и высоты высушиваемого материала. Нами исследована сушка различных фруктов при

температуре теплоносителя 60-65⁰ С, скорости потока воздуха 0,1- 3 м/с при однослойной раскладке плодов (высота слоя фруктов 0,015- 0,05 м). Опыты по сушке различных сельхозпродуктов проводились как в описанной выше сушильной установке, так и на открытом воздухе. Результаты экспериментальных исследований приведено на рисунок 3 и 4.

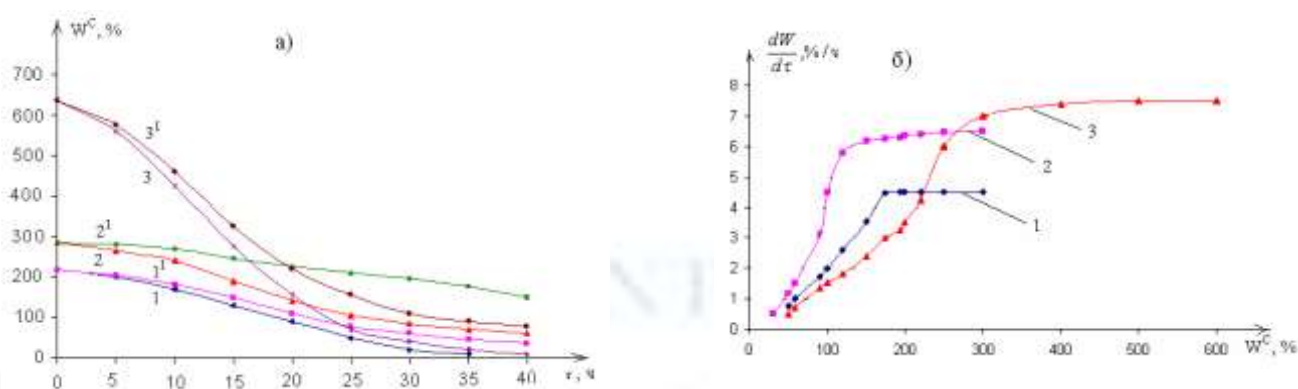


Рис. 3. Зависимость влагосодержания от продолжительности (а) и скорости (б) сушки урюка (1), киви (2) и томата (3).

1,2,3 – в гелиоустановке при $t = 65^\circ \text{C}$, $v = 0,8 \text{ м/с}$; 1', 2', 3' на открытом воздухе.

Рассчитали кинетику сушки всего слоя продукта. Скорость сушки

$$N = \frac{\alpha \cdot f \cdot \Delta t}{2}, \quad (1)$$

где α - коэффициент теплообмена при движении воздуха через слой, определяемый по формуле А.В.Чечеткина [2],

$$\alpha = 0,0146 \cdot a^{0,17} \cdot \lambda_b \left(\frac{g \cdot \gamma_b^{0,83}}{\mu_b} \right). \quad (2)$$

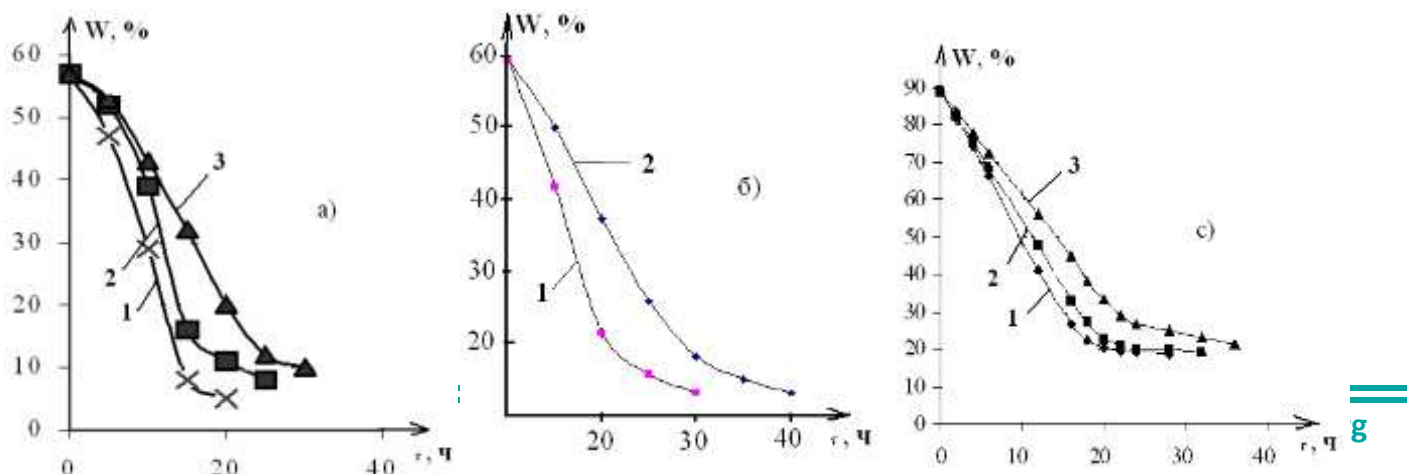


Рис 4. Зависимость кривых сушки тыквы (а), инжира (б) и дыни (с) от толщины слоя. 1) $\delta = 2$ см; 2) $\delta = 4$ см; 3) $\delta = 5$ см.

Тогда скорость сушки в первом периоде

$$N = 0,0146 \cdot a^{0,17} \cdot \lambda_b \left(\frac{\vartheta \cdot \gamma_b}{\mu_b} \right) \cdot f \cdot (t_i - t_m) / r, \quad (3)$$

здесь $\Delta t = t_i - t_m$ - разность между температурой теплоносителя на входе в слой и температурой мокрого термометра; f - удельная поверхность влажного материала, приходящаяся на 1 кг сухого; r - теплота парообразования при температуре мокрого термометра, Дж/кг; a - коэффициент; $\vartheta \cdot \gamma_b$ - массовая скорость воздуха, кг/м² · с; μ_b - динамическая вязкость, н · с/м².

Анализ показал, что с достаточной для практических целей точностью зависимости в полулогарифмических координатах можно представить как прямые, углы наклона которых численно равны коэффициенту сушки

$$K = \chi \cdot N = 2,3 \cdot \lg[(W_i - W_p)/(W_2 - W_p)] / (\tau_2 - \tau_1). \quad (4)$$

Влагосодержание во втором периоде сушки

$$(W_{kp1} - W_p)/(W_k - W_p) = \exp(-N \chi \tau), \quad (5)$$

где W_{kp1} - критическое влагосодержание, соответствующее началу второго периода сушки; W_k - конечное влагосодержание; χ - относительный коэффициент сушки [4]

$$\chi = 1,8 \cdot W_0^{-1}. \quad (6)$$

Во втором периоде опытные значения χ для абрикоса - 0,54, кишмиша - 0,45, томата - 0,2.

Продолжительность сушки τ для различных сельхозпродуктов в продуваемом слое от начального влагосодержания W_h до конечного W_k в общем виде

$$\tau = \frac{1}{N} \left\{ (W_h - W_{kp1}) + (2,3 / \chi) \cdot \lg[(W_{kp1} - W_p)/(W_k - W_p)] \right\}. \quad (7)$$

Подставляя экспериментальные значения N , W_{kp} , χ , W_k в (7), получаем

$$\tau_a = \frac{r(W_h - 19,2)}{5,92 \cdot \vartheta^{0,83} \cdot \Delta t} \quad (8)$$

$$\tau_{киш} = \frac{r(W_h - 24)}{8,2 \cdot \vartheta^{0,83} \cdot \Delta t} \quad (9)$$

$$\tau_{том} = \frac{r(W_h - 26,05)}{6,3 \cdot \vartheta^{0,83} \cdot \Delta t} \quad (10)$$

Conclusion

Результаты расчетов по (8) - (10) удовлетворительно совпадают с экспериментальными данными. Предложенная методика позволяет рассчитать время сушки в широком диапазоне изменения параметров процесса.

Таким образом, предлагаемая экспериментальная установка сокращает процесс сушки в 4 - 5 раз по сравнению с воздушно солнечной, причем готовая продукция имеет высокое качество. За счет аккумуляции солнечной энергии и циркуляции сушильного агента производительность и КПД установки повышается в 1,5 - 2 раза по сравнению с подобными установками. Радиационно-конвективная гелиосушильная установка может применяться в полевых условиях.

References:

1. О.С. Комилов, С.Х. Астанов и др. Комбинированная гелиосушительная установка. // Гелиотехника. 2009. №4. С.71-75.
2. О.С.Комилов, М.Р.Назаров Радиационно-конвективная гелиосушительная установка Гелиотехника, 1990 №1. С.75-76.
3. Назаров М.Р. Разработка и исследование эффективности опытно-производственной радиационно-конвективной солнечной сушильной установки для плодов и ягод. Автор.дисс.канд.техн.наук. Т.1997 г. С.19.
4. 4.М.А.Гришин, Ю.Г.Семенов. Установки для сушки пищевых продуктов.-М.; Агропромиздат,1989.С.36-39.
5. Файзуллаев А.Р., Комилов О.С., Хайитов Д.Э. Исследование кинетики сушки сельхозпродуктов в комбинированной гелиоконвективной сушилке. «Развитие науки и технологий» Бухара №4. 2016 г. С.11-16.

CENTRAL ASIAN
STUDIES