

**В. С. БОДРОВ, В. Л. ЗАВЬЯЛОВ**, канд. техн. наук

Киев. технол. ин-т пищ. пром-сти

**М. И. АВРАМОВ**, ст. науч. сотр.

Краснодар. фил. ВНИИПК

## **РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУР СУШИЛЬНОГО АГЕНТА ПО ДЛИНЕ БАРАБАНА ПРИ КОНВЕКТИВНОЙ СУШКЕ ЯБЛОЧНЫХ ВЫЖИМОК**

---

Изложены результаты экспериментального изучения распределения температуры сушильного агента-воздуха по длине барабана при конвективной сушке яблочных выжимок в барабанной сушилке.

В условиях лаборатории исследовано влияние различных режимов сушки яблочных выжимок в барабанной сушилке на распределение температур сушильного агента (подогретого в электрокалорифере воздуха) по длине сушильного барабана ( $L=3000$  мм), имеющего внутренний диаметр 300 мм.

---

© Бодров В. С., Завьялов В. Л., Аврамов М. И., 1992.

Наличие электроприводов постоянного тока для барабана и воздуходувки и регулировочных автотрансформаторов дало возможность установить планируемые частоты вращения барабана в пределах  $0,1 \leq n \leq \leq 5$  мин<sup>-1</sup> и скорость сушильного агента на выходе из барабана в пределах  $0,1 \leq V \leq \leq 1,5$  м/с, регулируемые напряжения электрического тока, подаваемые на электронагреватели калорифера (общей мощностью 10 кВт) позволили установить температуру сушильного агента на выходе в барабан в пределах  $t_0 \leq \leq t_1 \leq \leq 250$  °С, где  $t_0$  — температура воздуха в помещении.

С помощью винтовых домкратов стало возможным устанавливать угол наклона барабана к горизонту (в сторону выгрузки продукта) в пределах  $0 \leq \alpha \leq \leq 5$  град. Наконец, вмонтированные в барабан по его длине три лючка-пробоотборника и четыре термометра позволили в течение каждого опыта отбирать пробы высушиваемого материала (с целью его анализа) и регистрировать температуру сушильного агента в процессе его контакта с материалом в прямоочном их движении по известной схеме нормального сушильного процесса.

В качестве высушиваемого материала использовали выжимки яблок сорта Джонатан в количестве, одинаковом для всех опытов  $G_1 = \text{const} = 0,5$  кг/мин с начальной влажностью  $W_1 = \text{const} = 76$  % на общую массу.

В качестве существенных факторов, влияющих на процесс сушки, были выделены следующие: температура сушильного агента на входе в барабан  $t_1$ ; скорость движения сушильного агента в сечении, близком к выходу из барабана,  $V$ ; частота вращения барабана  $n$ ; угол наклона барабана к горизонту  $\alpha$ . По данным предварительных опытов, были назначены области и пределы варьирования названных факторов; на основе теории планирования эксперимента была разработана матрица планирования как полуреплика от полного 4-факторного эксперимента типа 2<sup>4</sup> (см. таблицу).

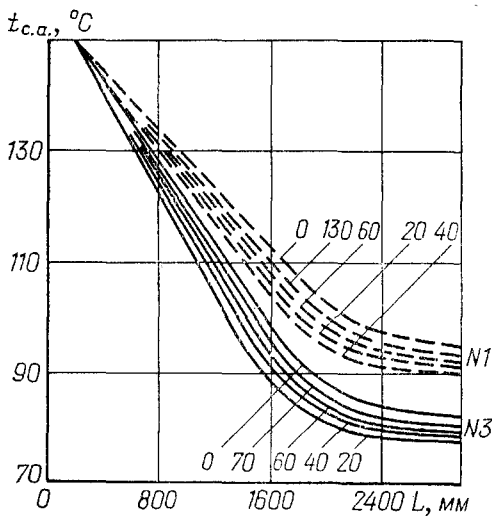
Реализация двух серий каждого из восьми запланированных режимов сушки и одного, девятого, сравнительного режима, дала возможность определить распределение температур сушильного агента  $t_{с.а.}$  по длине  $L$  барабана. Анализ полученных графиков  $t_{с.а.} = f(L)$  свидетельствовал, что характер изменений  $t_{с.а.}$  для всех девяти режимов — нелинейный:  $t_{с.а.}$  снижается на 16—20 % от  $t_1$  на третьей части (примерно) длины барабана, и на 35—42 % от  $t_1$  на всей длине барабана. Наибольшее устойчивое снижение наступает с момента установления стационарной загрузки — выгрузки барабана выжимками, т. е. с момента стабилизации тепло-массообмена в рабочем объеме барабана. Длительность неустойчивого периода снижения  $t_{с.а.}$  зависит от параметров режимов и составляет от 56 до 88 мин, что соответствует времени пребывания одной из дискретных масс выжимок от момента ее ввода в барабан до полного ее выхода из барабана.

В качестве примера на рисунке приведены графики  $t_{с.а.} = f(L)$  для режимов № 1 и № 3 (см. таблицу). Меньшее время пребывания выжимок в режиме № 3, вызванное большим углом наклона барабана к горизонту, хотя и при несколько меньшей скорости сушильного агента, приводит к более интенсивному снижению  $t_{с.а.}$ , чем в режиме № 1, что объясняется более интенсивным тепло-массообменом, особенно в первом периоде сушки. Резкое снижение  $t_{с.а.}$  в первой зоне контакта сушильного агента с выжимками до температуры мокрого термометра обусловлено интенсивным удалением большой массы свободносвязанной влаги из выжимок и началом их интенсивного прогрева.

На следующих участках по длине барабана по мере прогрева материала до текущей температуры сушильного агента и уменьшения количества уда-

Матрица планирования типа 2<sup>4</sup>

Номер режима, опыта	Кодированные (числитель) и натуральные (знаменатель) уровни существенных факторов			
	$x_1/t_1, ^\circ\text{C}$	$x_2/v, \text{м/с}$	$x_3/n, \text{мин}$	$x_4/\alpha, ^\circ$
1	+/150	+/1,2	-/2	-/0,66
2	-/100	-/0,5	-/2	-/0,66
3	+/150	-/0,5	-/2	+/2,0
4	-/100	+/1,2	-/2	+/2,0
5	+/150	+/1,2	+/5	+/2,0
6	-/100	-/0,5	+/5	+/2,0
7	+/150	-/0,5	+/5	-/0,66
8	-/100	+/1,2	+/5	-/0,66
9	-/100	-/0,5	-/2	+/2,0



Изменение температуры сушильного агента,  $t_{с.а.}$ , по длине барабана; время замера  $t_{с.а.}$ , от начала эксперимента, мин

ляемой из материала влаги, снижение  $t_{с.а.}$  замедляется и на последнем участке длины составляет  $8-3^{\circ}\text{C}$ . Этот участок составляет от 30 до 10 % длины барабана, зависит от параметров режима сушки и, по данным анализа распределения влагосодержания выжимок по длине барабана, совпадает со вторым периодом сушки.

Мы сделали общий вывод о том, что наличие по длине барабана трех условных зон интенсивности измене-

ния температуры сушильного агента не противоречит, с одной стороны, известному характеру обезвоживания влажных выжимок в процессе их конвективной сушки, а с другой, и это главное, свидетельствует, что, во-первых, резкое снижение  $t_{с.а.}$  в первой зоне необходимо компенсировать ее увеличением на 15—18 % от первоначальной (путем, например, увеличения напряжения электрического тока, подаваемого на теплоэлектронагреватели, или увеличения давления греющего пара, подаваемого на калорифер), установленной до устойчивой во времени подачи в барабан влажных выжимок: во-вторых, третья зона, длина которой менее 30 % общей длины барабана, для принятого диапазона изменения существенных факторов, не обеспечивает требуемое конечное влагосодержание выжимок (8—10 %); в-третьих, массовый расход влажных выжимок на входе в аппарат конкретной конструкции должен быть строго выбран для конкретного режима сушки, т. е. каждому режиму сушки должна соответствовать строго определенная нагрузка по вводимой в аппарат влаге (и наоборот).

Как следствие отмеченного выше, следует вывод о целесообразности влиять направленно на длительность пребывания и интенсивность перемешивания выжимок в каждой из названных зон: в первой зоне следует установить насадку, обеспечивающую максимально свободное, но одновременно интенсивное перемешивание влажных выжимок, длительность которого должна быть достаточной для примерного выравнивания температур сушильного агента и выжимок; в третьей зоне, наоборот, следует установить насадку, обеспечивающую увеличение времени пребывания выжимок в этой зоне, стесненную гидродинамику их перемешивания и перемещения.

Секционирование длины барабана по различным типам насадок (по зонам) в зависимости от предельно допустимой нагрузки по влаге, поступающей в барабан с выжимками, требует дополнительных экспериментов и анализов их результатов.

**Выводы.** Выявлены три характерные зоны изменения температуры сушильного агента ( $t_{с.а.}$ ) по длине барабана: зона интенсивного снижения  $t_{с.а.}$  от начальной до температуры мокрого термометра; зона снижения  $t_{с.а.}$ , в которой происходит сближение (выравнивание) температуры материала и  $t_{с.а.}$ ; зона устойчивой разности температур сушильного агента и материала, с тенденцией уменьшения этой разности. В сушильном барабане необходимо устанавливать различные типы насадок, соответствующие различной интенсивности тепло-массообмена в каждой из выявленных зон изменения  $t_{с.а.}$

Поступила в редколлегию 18.06.90.