

УДК 664.8.022.1:66.047.3.085.1

Кинетика сушки плодовых косточек инфракрасным излучением в виброкипящем слое

Д-р техн. наук **Поперечный А.Н., Миронова Н.А.**

Mironova_nad@mail.ru

Донецкий национальный университет экономики и торговли им. Михаила Туган-Барановского
83055, Донецк, пр. Театральный, 28

Утилизации косточек отводится особая роль, поскольку они являются ценным сырьем для масло-жировой промышленности, на предприятиях которой проводится комплексная переработка косточек: из ядер получают масло, из скорлупы - крошку и порошок. Прежде чем поставить косточки на масло-жировые предприятия, их необходимо очистить от примесей и высушить, так как выделенные из плодов косточки имеют повышенную влажность 25-60% и содержат значительное количество примесей в виде мякоти и выжимок. Однако из-за отсутствия специализированного оборудования для сушки плодовых косточек на консервных заводах, их поставка заводам косточковых масел с каждым годом идет на убыль. При этом тонны косточек просто уничтожаются. Попытки применить уже существующие промышленные сушилки оказались неэффективными, так как они не учитывают структурных особенностей плодовых косточек, а также мало приспособлены к значительным колебаниям влажности сырых косточек и неравномерности их поступления на сушку. Наиболее целесообразным способом сушки плодовых косточек является применение инфракрасного излучения и виброкипящего слоя.

Целью данной работы является исследование кинетики сушки плодовых косточек инфракрасным излучением в виброкипящем слое для выявления рациональных параметров процесса и создания промышленной сушильной установки.

Ключевые слова: плодовые косточки, инфракрасное излучение, виброкипящий слой, сушка, влагосодержание, температура, плотность теплового потока.

Kinetics of drying of fruit stones infrared by a radiation in a vibroboiling layer

D. Sc. **Poperechnyi A.N., Myronova N.A.**

Mironova_nad@mail.ru

Donetsk national university of economics and trade named after Mykhayilo Tugan-Baranovsky
83055, Donetsk, Theatrestr., 28

Utilization of stones is taken the special role, as they are valuable raw material for oil industry, on the enterprises of that the complex processing of stones is conducted: from kernels get oil, from a shell - crumb and powder. Before to put stones on oil enterprises, they must be cleaned from admixtures to dry up, as the stones abstracted from garden-stuffs have enhanceable humidity of 25-60% and contain the far of admixtures as pulp, spues. However for lack of the specialized equipment for drying of fruit stones on canneries, their supplying to the plants of drupaceous oils with every year goes to the decrease. The tons of stones are simply destroyed thus. Attempts to apply already existent industrial dryers appeared uneffective as they do not take into account the structural features of fruit stones, and also small adjusted to the considerable vibrations of humidity of raw stones and unevenness of their receipt on drying. The most expedient method of drying of fruit stones is application of infrared and vibroboiling layer.

An aim hired is research of kinetics of drying of fruit stones an infrared in a vibroboiling layer for the exposure of rational parameters of process and creation of the industrial drying setting.

Keywords: fruit pits, infrared radiation, vibroboiling layer, drying, the moisture content, temperature, heat flux-density.

Фруктовые косточки около 20 тыс. тонн в год образуются в консервной промышленности при переработке фруктового сырья в производстве джемов, компотов, варенья, пюре соков и т.д.

Утилизации косточек отводится особая роль, поскольку они являются ценным сырьем для масложировой промышленности, на предприятиях которой проводится комплексная переработка косточек: из ядер получают масло, из скорлупы - крошку и порошок. Косточковые масла, благодаря высокому содержанию в них триглицеридов жирных кислот, преимущественно ненасыщенных, используются в фармакопее, медицине, парфюмерной и пищевой промышленности. Крошка из скорлупы применяется для полировки и очистки деталей в космической технике, авиационной, судостроительной, автомобильной и других отраслях промышленности. Косточковый порошок служит для очистки изделий из пластмасс и резины, а также для производства активированного угля и в качестве наполнителя при производстве специальных клеев [1,2]

Прежде чем поставить косточки на масложировые предприятия, их необходимо очистить от примесей и высушить, т.к. выделенные из плодов косточки имеют повышенную влажность 25-60% и содержат значительное количество примесей в виде мякоти и выжимок. Все эти факторы способствуют быстрой порче косточек и содержащегося в их ядрах масла.

Однако из-за отсутствия специализированного оборудования для сушки плодовых косточек на консервных заводах, их поставка заводам косточковых масел, несмотря на ежегодное увеличение объемов выпуска продукции из плодов с каждым годом идет на убыль и составляет не более 50-60% от планируемых, довольно заниженных объемов поставок. При этом тонны косточек просто уничтожаются.

Попытки применить уже существующие промышленные сушилки оказались неэффективными т.к. они не учитывают структурных особенностей плодовых косточек, а также мало приспособлены к значительным колебаниям влажности сырых косточек и неравномерности их поступления на сушку.

В связи с вышеизложенным, актуальным является создание и внедрение эффективной технологии и оборудования для сушки плодовых косточек непосредственно на консервных заводах, что позволит повысить коэффициент использования сырья, которое содержат косточки, с учетом их особенностей.

Проведенный анализ современных способов сушки плодовых косточек, теоретических и экспериментальных работ в этой области [3-8] позволил сделать выводы, что наиболее целесообразным способом сушки косточек является использование комбинированного процесса инфракрасного излучения и виброкипящего слоя.

Целью данной работы является исследование кинетики сушки плодовых косточек инфракрасным излучением в виброкипящем слое для выявления рациональных параметров процесса и создания промышленной сушильной установки.

Исследование процесса сушки плодовых косточек проводилось на экспериментальной установке, принципиальная схема и внешний вид которой представлены на рис. 1.

Установка состоит из следующих основных узлов: блока излучателей (ТЭНов) 1, отражателей 2, цилиндрической стальной сковороды 3, эксцентрикового вибратора 4, автотрансформаторов 5, стойки 6 и контрольно-измерительных приборов.

Принцип работы установки следующий. Включается питание ТЭНов 1 и с помощью одного из автотрансформаторов 5 устанавливается нужное значение напряжения питания, которое совместно с расстоянием от блока излучателей к поверхности продукта, регулируемое при помощи стойки 6, определяет конкретное значение плотности теплового потока инфракрасного излучения.

Включается питание вибратора 4 и с помощью другого автотрансформатора 5 устанавливается нужное значение частоты колебаний сковороды 4. С помощью упругих элементов 11, сковорода 3 крепится на раме 9 и совершает возвратно-поступательные движения за счет жестко закрепленного на ней вибратора эксцентрикового типа 4 с регулируемой возмущающей силой.

Амплитуда колебаний регулируется с помощью механического изменения эксцентриситета колебательной массы (это делается перед началом работы установки). После выхода установки на стационарный режим работы в лоток 10 загружается продукт 7, который сразу же переходит в виброкипящее состояние. Тепловые лучи, падающие от ТЭНов 1 вверх, направляются на продукт отражателями 2. Для измерения температуры в различных точках установки и продукта используется потенциометр КСП-4 (поз. 8) в комплекте с хромель-копелевыми термопарами.

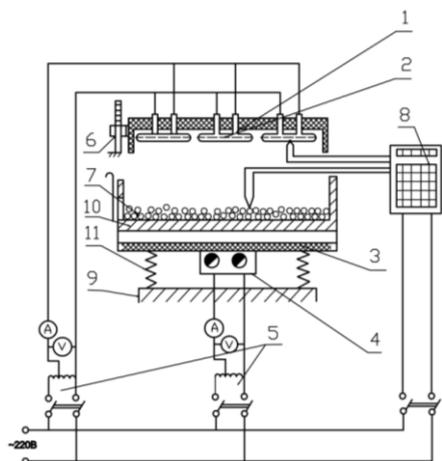


Рис. 1. Экспериментальная установка для сушки плодовых косточек инфракрасным излучением в виброкипящем слое:

На рис. 2 приведены кривые сушки скорости сушки плодовых косточек: абрикоса (начальное влагосодержание 28,7...32,2%), вишни (начальное влагосодержание 19,4...21,4%) и черешни (начальное влагосодержание 25,5...27,3%) в зависимости от плотности теплового потока инфракрасного облучения при удельной нагрузке на вибрирующую поверхность 5,7 кг/м² для косточек абрикоса, 4,8 кг/м² для черешни и 4,67 кг/м² для вишни.

Как видно из полученных кривых, процесс сушки протекает в соответствии с закономерностями удаления влаги из коллоидных капиллярно-пористых тел: присутствуют два периода - постоянной и убывающей скорости сушки, участки которых четко отделяются на кривых сушки скорости сушки.

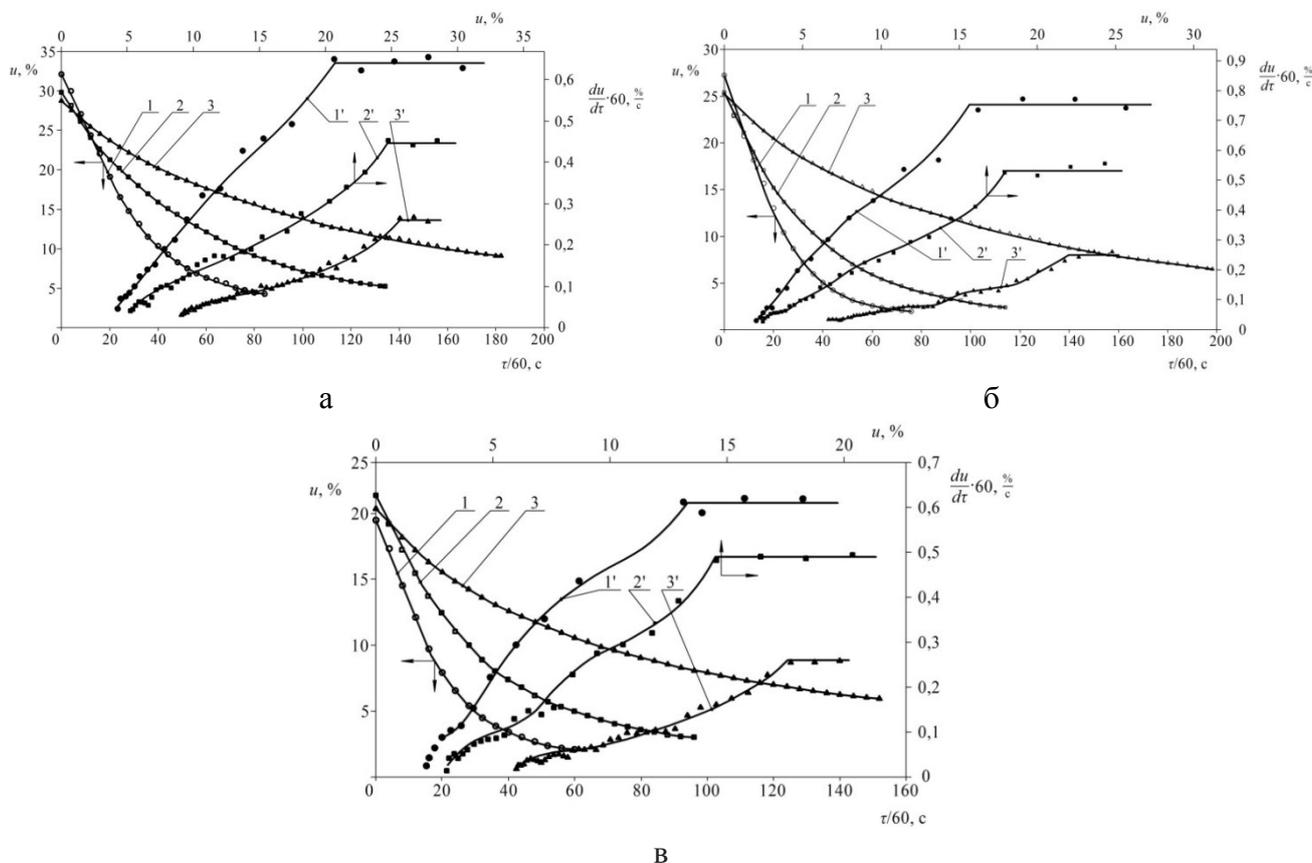


Рис. 2. Кривые сушки(1-3) и скорости сушки(1'-3') косточек (а-абрикоса; б- вишни; в- черешни) в зависимости от плотности теплового потока инфракрасного облучения: 1, 1 □ - 1400 Вт/м²; 2, 2 □ - 900 Вт/м²; 3, 3 □ - 400 Вт/м²

Начальная стадия процесса - прогревание продукта - на графиках не просматривается.

Полученные данные по кинетике сушки следованных плодовых косточек в зависимости от плотности теплового потока инфракрасного облучения сведены в таблицах 1-3.

Таблица 1

Данные кинетики сушки косточек абрикоса

Параметры	Плотность теплового потока Вт/м ²	1400	900	400
Начальное влагосодержание, %		32,2	29,8	28,7
Скорость сушки в первом периоде, %/мин		0,64	0,45	0,26
Первое критическое влагосодержание, %		20,7	24,8	25,6
Равновесное влагосодержание косточки, %		4,3	5,2	9,2
Равновесное влагосодержание ядра, %		9,7	7,4	13,3
Равновесное влагосодержание оболочки, %		1,8	4,14	7
Продолжительность сушки до равновесного влагосодержания, мин.		84	134	182
Приведенные удельные энергозатраты		0,6	0,72	0,79

Таблица 2

Данные кинетики сушки косточек вишни

Параметры	Плотность теплового потока Вт/м ²	1400	900	400
Начальное влагосодержание, %		19,4	21,4	20,4
Скорость сушки в первом периоде, %/мин		0,62	0,49	0,26
Первое критическое влагосодержание, %		13,3	14,5	17,8
Равновесное влагосодержание косточки, %		2,1	3	6
Равновесное влагосодержание ядра, %		2,5	4,8	7,3
Равновесное влагосодержание оболочки, %		1,92	2,44	5,47
Продолжительность сушки до равновесного влагосодержания, мин.		60	94	150
Приведенные удельные энергозатраты		0,76	0,77	1

Таблица 3

Данные кинетики сушки косточек черешни

Параметры	Плотность теплового потока Вт/м ²	1400	900	400
Начальное влагосодержание, %		27,3	25,4	25,5
Скорость сушки в первом периоде, %/мин		0,75	0,53	0,25
Первое критическое влагосодержание, %		15,7	17,8	22
Равновесное влагосодержание косточки, %		2,0	2,4	6,6
Равновесное влагосодержание ядра, %		3,1	4,4	8,9
Равновесное влагосодержание оболочки, %		1,7	2,4	6,1
Продолжительность сушки до равновесного влагосодержания, мин.		76	114	198
Приведенные удельные энергозатраты		0,57	0,64	0,87

Рассмотрим кинетику изменения температуры в оболочке и ядре во время сушки плодовых косточек. На рис.3 приведены термограммы косточек абрикоса, которые соответствуют кривым сушки и скорости сушки на рис.2а. Термограммы 1 соответствуют середине оболочки, термограммы 2-центра ядра. Их анализ показывает, что в процессе сушки имеет место градиент температуры в середине косточек, причем он направлен от оболочки к ядру. Величина этого градиента увеличивается при повышении плотности теплового потока инфракрасного облучения. Так, при его значении 1400 Вт/м^2 в конце процесса температурный градиент достигает $13 \text{ }^\circ\text{C}$ (рис.3а), а при 400 Вт/м^2 – $1 \text{ }^\circ\text{C}$ (рисунок 3в). Значение плотности теплового потока влияет также и на форму термограмм. При его значении 400 Вт/м^2 термограммы имеют два участка: крутой в начале процесса, которому соответствует интенсивное повышение температуры продукта, и плавный, которому соответствует практически неизменная до конца процесса температура продукта. При других исследованных значениях плотности теплового потока термограммы имеют более сложный характер: между крутыми плавными участками присутствует промежуточный участок, имеющий промежуточную крутизну. Этому участку соответствует в основном связанная влага продукта, поэтому его появление вызвано прогреванием продукта до температуры около $100 \text{ }^\circ\text{C}$, что значительно повышает долю бародиффузии в процессе миграции влаги.

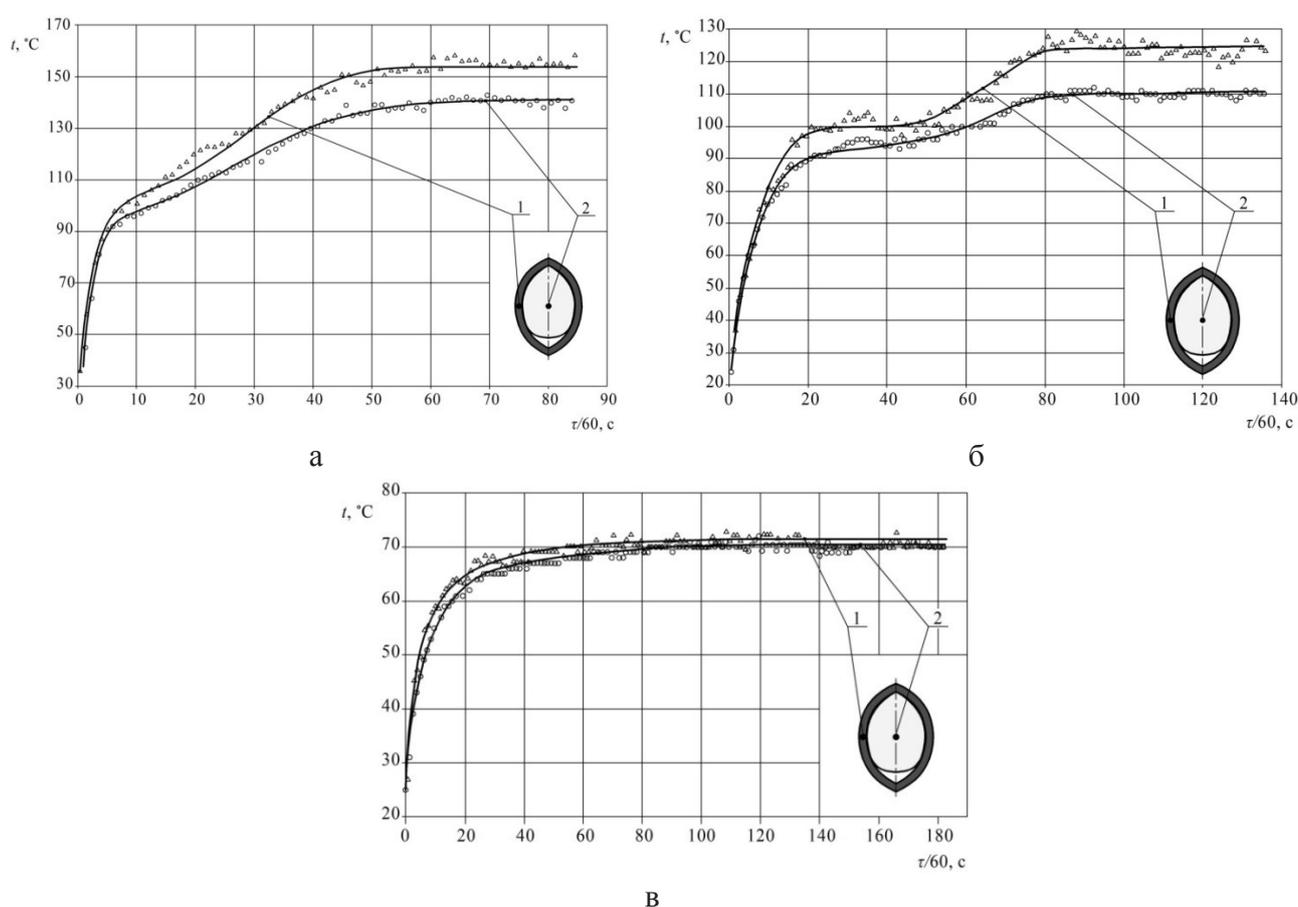


Рис. 3. Термограммы косточек абрикоса в зависимости от плотности теплового потока инфракрасного облучения: а - 1400 Вт/м^2 ; б - 900 Вт/м^2 ; в - 400 Вт/м^2

Аналогичный характер имеют термограммы, полученные при сушке косточек вишни и черешни. Для первой они приведены на рис. 4.

Некоторое отличие заключается в меньшем нагреве продукта и меньшем значении температурного градиента между центрами оболочки и ядра в конце процесса. Так, например, для косточек вишни при плотности теплового потока 1400 Вт/м^2 температурный градиент составил $9 \text{ }^\circ\text{C}$, черешни – $7 \text{ }^\circ\text{C}$, тогда как для косточек абрикоса, как уже упоминалось, $13 \text{ }^\circ\text{C}$.

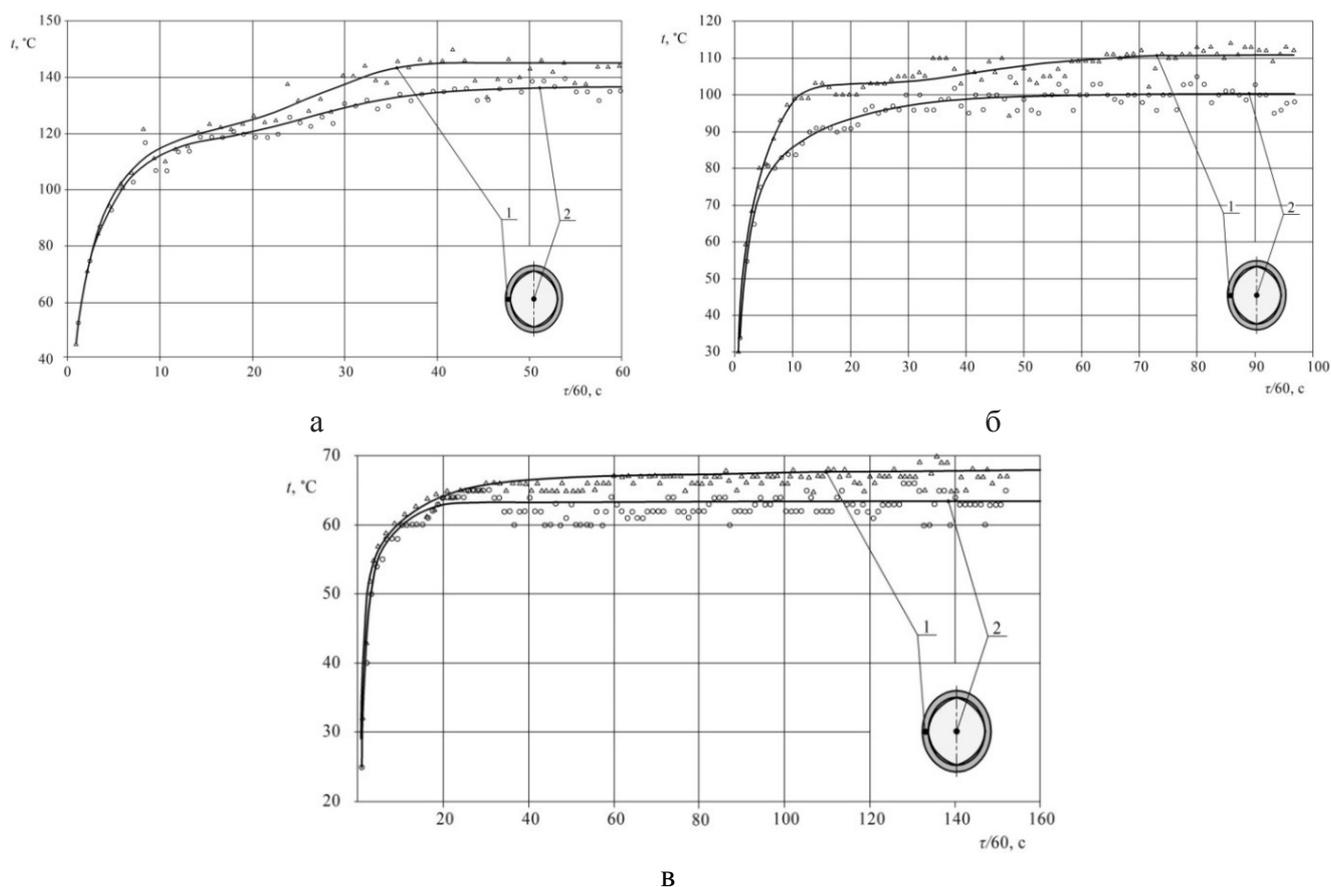


Рис. 4. Термограммы косточек вишни в зависимости от плотности теплового потока инфракрасного облучения: а - 1400 Вт/м²; б - 900 Вт/м²; в - 400 Вт/м²

Результаты экспериментальных исследований легли в основу проектирования промышленной сушильной установки инфракрасным излучением в виброкипящем слое [9,10]. Принципиальная схема сушилki приведена на рис. 5.

Сушилka представляет собой конструкцию, которая состоит из загрузочного бункера 2 с шибером 1 для регулирования количества продукта, поступающего в рабочую камеру, ограждения с теплоизоляцией 3, лотка спирального 4, смонтированного на конической колонне-трубе 7, инфракрасных излучателей (ТЕНов) 5, отражателей 6, патрубка для удаления влаги 8, разгрузочного лотка 9, смотрового люка 10, пружин витых - амортизаторов 12; подставки 13, стойки крепления кожуха 14. Привод 11 состоит из двух самосинхронизированных дебалансных вибровозбудителей с вмонтированными электродвигателями, которые размещены с двух сторон от вертикальной оси вибрационного подъемника. Они сообщают колонне движение, состоящее из винтовых крутильных колебаний вокруг оси колонны и колебаний, направленных по ее оси. Вибраторы прикреплены к колонне таким образом, чтобы их колебания происходили в плоскости, направленной под углом около 20° к направлению транспортирования продукта.

Работает сушилka следующим образом. Включаются блоки инфракрасных излучателей 5 и установка разогревается до рабочего состояния. Включается привод 11, который сообщает конической колонне 7 с закрепленным на ней грузонесущим органом 4 сложное колебательное движение.

Предварительно очищенные от мякоти и избыточной поверхностной влаги плодовые косточки через загрузочный бункер 2 с шибером 1 попадают равномерно по ширине на нижний лоток сушилki. Косточки транспортируются по поверхности лотка по спирали вверх. При этом косточки высушиваются инфракрасными излучателями 5 в соответствии с технологическим режимом. Оператор органолептически оценивает качество сушки продукта и может в процессе эксплуатации увеличивать или уменьшать мощность нагрева.

Готовый продукт ссыпается в разгрузочный лоток 9. Водяные пары, которые образуются при сушке косточек, удаляются через патрубок для удаления влаги 8.

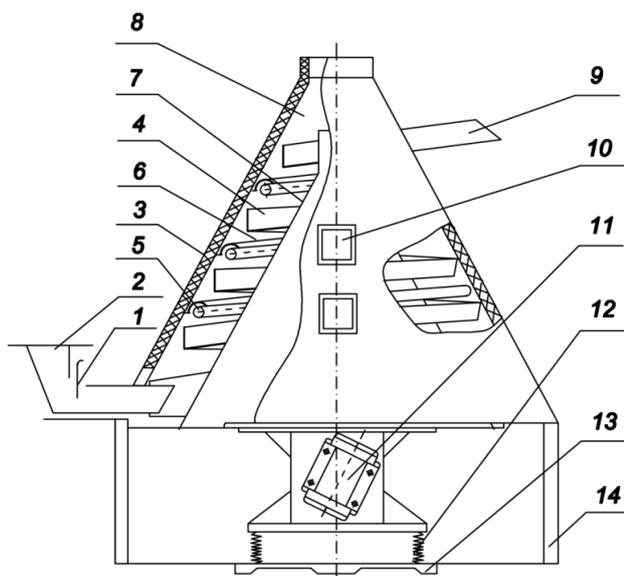


Рис. 5. Вертикальная вибросушилка с инфракрасным излучением

Скорость транспортирования продукта и, соответственно, времени его пребывания в сушилке регулируется параметрами вибрации (амплитудой, частотой). Угол наклона вибрлотка и направление колебаний, которые также влияют на скорость транспортирования, учитываются при конструировании сушилки для конкретного дискретного материала.

Параметры вибрации выбирают таким образом, чтобы материал передвигался по лотку в режиме непрерывного подбрасывания, когда частицы его дотрагиваются дна только в отдельные моменты времени, находясь, остальное время в полете. Такой режим приводит к возникновению в слое частиц (косточек) насосного эффекта.

Предложенная конструкция сушильной установки может быть использована для сушки плодовых косточек на специализированных предприятиях пищевой промышленности.

Список литературы

1. Алейникова А.В. Разработка метода и сушилки для сушки плодовых косточек: Дис. ... канд. техн. наук. - Киев, 1988. -134 с.
2. Лебедев Е.И. Комплексное использование сырья в пищевой промышленности. - М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. - 239с.
3. Гаджиев А.К. Исследование технологии комплексной переработки плодовых косточек: автореф. дис. ... канд. техн. наук. -Ташкент, 1974. – 24 с.
4. Улумиев А.А. К обоснованию предпочтительного метода сушки отходов переработки продуктов растительного происхождения для кормопроизводства. Известия вузов.-М.: Кормопроизводства, №11, 1998, 24- 27 с.
5. Камилов Р.К. Обоснование методов и режимов сушки отходов и технология переработки плодов и овощей: дис. ... канд. техн. наук. – Махачкала, 2003.-156с.
6. Гришин М.А. Интенсификация процесса сушки пищевых растительных материалов: автореф. дис. ... докт. техн. наук. - Одесса, 1973. - 58 с.

7. Гафуров К.Х. Системный анализ процесса термообработки ядер плодовых косточек. Техника и технология пищевых производств. - Бухара, 2011. С. 62-63.

8. Гинзбург А.С. Основы теории и техники сушки пищевых продуктов.- М.:Агропромиздат, 1985.-335с.

9. Пат. України № 07890, ПМК (2014) А 23 L3/005. Спосібсушінняплодовихкісточок / Поперечний А.М., Миронова Н.О., Жданов І.В.; заявник і власник

Донецьк. нац. ун-т економ. і тогр. ім. Михайла Туган-Барановського.- заявл 14.07.2014; опубл. 10.10.2014, Бюл. №4. - 4с.

10. Пат. України № 07887, ПМК (2014) А 23 L 3/005.Вібраційна радіаційна сушарка / Поперечний А.М., Миронова Н.О., Жданов І.В.; заявник і Донецьк. нац. ун-т економ. і тогр. ім. Михайла Туган-Барановського.- заявл 14. 07.2014; опубл. 10.10.2014, Бюл. №4.

References

1. Aleynikova A.V. Development of method and dryer for drying of fruit stones: Dis. ... ph. dyssertatsii. – Kyiv, 1988. -134 p.

2. Lebedev E.I. The complex use of raw material is in food industry // *lyogkaya ipishchevykh proizvodstv'*, 1982.- 239p.

3. Gadjiev A.K. Research of technology of the complex processing of fruit stones: Avtoreferat ph. dyssertatsii.-Tashkent, 1974. – 24 p.

4. Ylymiev A.A. To the ground of preferable method of drying of wastes of processing of products of phytogenous for кормопроизводства // *Izvestiyavizov. Kormoproizvodstva*, №11, 1998, 24- 27 p.

5. Kamilov R.K. Ground of methods and modes of drying of wastes and technology of processing of garden-stuffs and vegetables: Dis. ... ph. dyssertatsii.–Makhachkala, 2003. – 156 p.

6. Grichin M.A. Intensification of process of drying of food vegetable materials: Avtoreferat dok. dyssertatsii, O.: 1973. - 58 p.

7. Gafyrov K.X. Analysis of the systems of process of heat treatment of kernels of fruit stones // *Texnika i texnologiyapishchevykh proizvodstv'*. 2011. P. 62-63.

8. Ginzburg A.S. Bases of theory and technique of drying of food products.-M.:Агропромиздат, 1985.- 335 p.

9. Patent Ukraine № 07890, ПМК (2014) А23 L3/005. Sposibsyshinnyaplodovichkictochok/ Poperechniy A.N., Myronova N.A., Zhdanov I.V.; zayavivel'ipatentoobladatel' Donetsknationaluniversityofeconomic-sandtradenamedafterMykhayiloTugan-Baranovsky .- zayavl 14.07.2014; opybl. 10.10.2014, Byul.№4.

10. Patent Ukraine № 07887, ПМК (2014) А23 L 3/005. Vibratsiyonaradiatsiyjnasycharka / Poperechniy A.N., Myronova N.A., Zhdanov I.V.; zayavivel'ipatentoobladatel' Donetsknationaluniversityofeconomic-sandtradenamedafterMykhayiloTugan-Baranovsky .-zayavl14. 07.2014; opybl. 10.10.2014, Byul. №4.