

УДК 662.997.534

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА СУШКИ ЖИДКОВЯЗКИХ СЕЛЬХОЗПРОДУКТОВ В СОЛНЕЧНОЙ СУШИЛЬНОЙ УСТАНОВКЕ

*А.И. Исманжанов, Н.М. Ташиев*

Приведены результаты исследований температуры сушки жидковязких сельхозпродуктов в солнечных сушильных установках радиационно-конвективного типа. Установлено, что средняя по толщине температура высушиваемых продуктов зависит от плотности солнечной радиации, поглощательной способности продуктов, а также от их геометрических размеров. Температура продуктов, высушиваемых в жидко-вязком состоянии при плотности солнечной радиации в 820–840 Вт/м<sup>2</sup> доходит до 74 °С, а для продуктов, имеющих темные цвета, что на 10–12 °С ниже по сравнению с продуктами белого цвета.

*Ключевые слова:* солнечная сушильная установка; сельхозпродукты; сушка; жидковязкое состояние; термопара; температура; влажность; порошок.

## КҮНДҮН ЖАРДАМЫ МЕНЕН КУРГАТУУЧУ ТҮЗҮЛҮШТӨРДӨ СУЮК ИЛЭЭШМЕ АЙЫЛ ЧАРБА АЗЫКТАРЫНЫН ТЕМПЕРАТУРАЛЫК АБАЛЫН ИЗИЛДӨӨ

Конвективдүү-радиация тибиндеги күндүн жардамы менен кургатуучу түзүлүштө суюк илээшме айыл чарба азыктарынын кургоо температурасын изилдөөнүн жыйынтыктары көрсөтүлдү. Кургатылып жаткан азыктардын калыңдыгынын орточо температурасы күндүн радиациясынын тыгыздыгынан, азыктын жутуу касиетинен жана алардын геометриялык өлчөмдөрүнөн көз каранды экендиги белгиленди. Суюк илээшме айыл чарба азыктарынын кургоо температурасы күндүн радиациясынын тыгыздыгынын 820-840 Вт/м<sup>2</sup> абалында 74 °С ка жетээри, ал эми күнүрт түстөгү азыктардыкы ачык түстөгү азыктарга салыштырганда 10-12 °С төмөн болоору аныкталды.

*Түйүндүү сөздөр:* күндүн жардамы менен кургатуучу түзүлүш; айыл чарба азыктары; кургатуу; суюк-илээшме абал; термопара; температура; нымдуулук; күкүм.

## INVESTIGATION OF THE TEMPERATURE DRYING REGIME OF LIQUID-VISCOUS AGRICULTURAL PRODUCTS IN SOLAR DRYING EQUIPMENT

*A.I. Ismanzhanov, N.M. Tashiev*

The article presents the results of investigations of the drying temperature of liquid viscous agricultural products in solar radiation installations of radiation – convective type. It is established, that the average thickness of dried products depends on: the density of solar radiation, the absorptive capacity of products, and also on their geometric dimensions. The temperatures of products that are dried in a liquid-viscous state at a solar radiation density of 820–840 W / m<sup>2</sup> reach 74 °C for products with dark colors; and 10–12°C lower for products with white colors.

*Keywords:* solar dryer device; agricultural product; drying; liquid-viscous state; term sensor; temperature; moisture; powder.

Процесс получения порошка из сельхозпродуктов достаточно энергоемкий. Если учесть сегодняшние масштабы производства порошковых продуктов, это требует больших затрат топливно-энергетических ресурсов. Кроме этого, использование органического топлива приводит к загрязнению окружающей среды. В этой связи разработка технологии сушки продуктов с помощью солнеч-

ной энергии для получения их порошков имеет большое народнохозяйственное значение.

Зависимость температуры высушиваемого материала от его влагосодержания и времени сушки при искусственной тепловой сушке с постоянным по величине и во времени подводом теплоты от традиционных источников изучена достаточно подробно [1, 2]. Однако процесс сушки продуктов,

особенно жидко-вязких, в солнечных сушильных установках (ССУ), при изменяющейся по величине подводимой теплоты, напрямую зависящей от плотности солнечной радиации, изучен еще недостаточно.

На качество получаемой продукции существенное влияние оказывает температура, при которой происходит удаление влаги с продуктов. Чрезмерный нагрев приводит в ухудшению питательных свойств получаемых продуктов. Снижение температуры сушки, с одной стороны улучшает качество получаемой продукции, а с другой, приводит к удлинению времени сушки.

В данной статье приведены результаты исследований температуры жидко-вязких сельхозпродуктов, высушиваемых в ССУ с целью получения их порошков.

Как известно, высушенные СХП можно превратить в порошок измельчением, если их остаточная влажность не превышает 3–8 % [3, 4].

Последовательность операций предлагаемой нами технологической схемы получения порошков СХП с помощью солнечной энергии (блок-схема) показана на рисунке 1.

Согласно схеме, исходный продукт начала очищается от посторонних предметов (листьев, мелких веток, сорных трав и т. д.). Затем он моется (очищается от пыли и грязи). После этого крупные плоды (дыня, арбуз, яблоко, груша, тыква, репа, морковь, томаты и т.д.) разделяются на мелкие куски размером не более 1,5–2 см. Эти куски затем измельчаются на измельчителе, где они принимают жидко-вязкий (пореобразный) вид.



Рисунок 1 – Блок-схема технологии получения порошка сельхозпродуктов с помощью солнечной энергии

Мелкие фрукты и ягоды – клубника, малина, виноград, вишня, черешня и т. п. после мойки прямо отправляются на измельчение.

Сушка жидко-вязких продуктов проводится на солнечной сушильной установке (ССУ) радиационно-конвективного типа: высушиваемые продукты, размещенные в поддонах в камере сушки с верхним прозрачным стеклянным покрытием, в основном нагреваются от непосредственного поглощения солнечной радиации и частично – в результате конвективного теплообмена с нагретым воздухом, поступающим в КС от солнечного воздухонагревательного коллектора (СВК), соединенного с камерой сушки (КС). Начальная толщина продуктов составляет  $6 \pm 1$  мм.

После достижения необходимой степени сушки, т. е. необходимой остаточной влажности, не превышающей 3–8 %, они вынимаются из КС.

На следующем этапе высушенные продукты измельчаются на измельчителе (блендере) до необходимой дисперсности, т. е. превращаются в порошок. Полученный порошок сепарируется и после проверки качества, упаковывается в герметичные пластиковые пакеты.

В различные периоды года, т. е. при различной плотности солнечной радиации и температуры окружающего воздуха была измерена температура высушиваемых продуктов с помощью предварительно отградуированных медно-константановых термопар. Погрешность измерений составлял  $\pm 2$  °С.

Как показали эксперименты, температура высушиваемых продуктов зависит как от плотности солнечной радиации, так и от их поглощательной способности. Температура продуктов практически не зависит от их вида и при прочих равных условиях зависит от их поглощательной способности, т. е. от их цвета.

На рисунке 2 показана температура продуктов с различными поглощательными способностями. Продукты, имеющие темную окраску (виноград черный, черешня, слива, свекла красная) нагреваются до 74 °С при плотности солнечной радиации в 820–840 Вт/м<sup>2</sup>, наблюдающейся в июле месяце.

Продукты, имеющие белую окраску (лук, дыня, груша), имеют температуру на 10–12 °С ниже, чем продукты темного цвета, а продукты, имеющие промежуточные цвета, – на 7–9 °С (тыква, айва, клубника, и др.). Однако по мере высушивания белые продукты и продукты с промежуточными цветами приобретают темную окраску, и все продукты имеют температуру, отличающуюся на 3–4 °С, что сравнимо с погрешностью измерений.

В октябре месяце, при плотности солнечной радиации 540–550 Вт/м<sup>2</sup>, продукты, имеющие более темную окраску, как видно на рисунке 2,

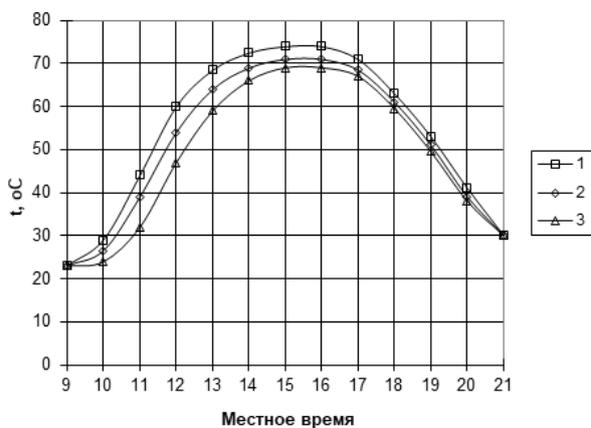


Рисунок 2 – Температура высушиваемых продуктов при сушке в июле месяце: 1 – темного цвета, 2 – промежуточных цветов, 3 – белого цвета

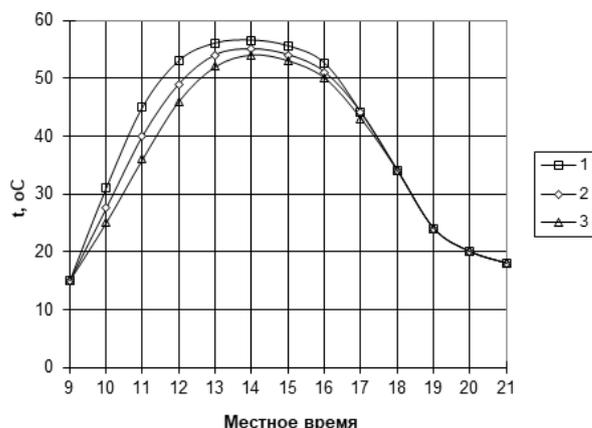


Рисунок 3 – Температура высушиваемых продуктов при сушке в октябре месяце: 1 – темного цвета, 2 – промежуточных цветов, 3 – белого цвета

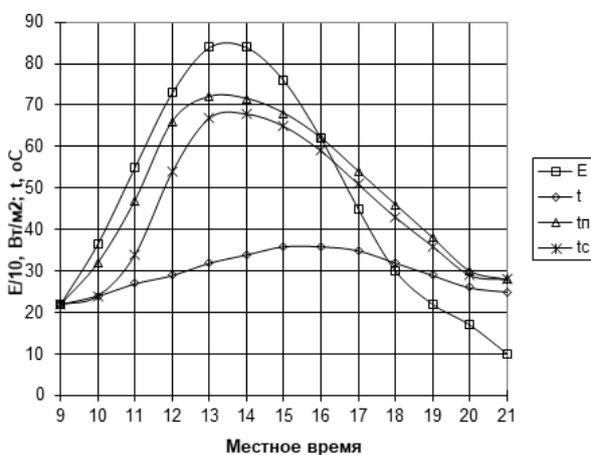


Рисунок 4 – Температура на поверхности ( $t_n$ ) и в глубине ( $t_c$ ) урюка, разделенного на две половинки: E – плотность солнечной радиации, t – температура окружающей среды

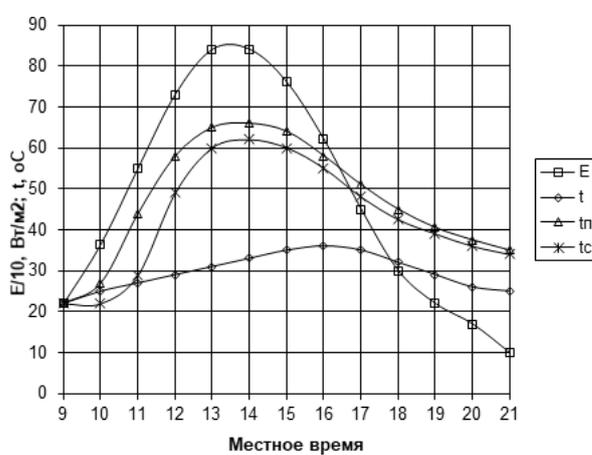


Рисунок 5 – Температура на поверхности ( $t_n$ ) и в глубине ( $t_c$ ) томатов, разделенных на четыре части: E – плотность солнечной радиации, t – температура окружающей среды

нагреваются до температуры 55–57 °С. Продукты белого цвета имеют температуру на 10–12 °С ниже, а продукты, имеющие промежуточные цвета на 4–6 °С ниже, чем продукты темного цвета (рисунок 2). При низких значениях плотности солнечной радиации (после 17 часов) все продукты имеют практически одинаковую температуру, хотя процесс сушки еще продолжается.

Как видно на рисунке, максимальная температура высушиваемых продуктов находится в допустимых пределах, обеспечивающих сохранность их основных питательных качеств [3, 4].

Как видно на рисунках 3 и 4, в ССУ радиационно-конвективного типа температура высушиваемых СХП напрямую зависит от плотности солнечной радиации. При низких значениях плот-

ности солнечной радиации наблюдается снижение температуры всех продуктов, независимо от их поглощательных способностей.

При сушке СХП в ССУ не наблюдается рост температуры продукта на конечных этапах сушки, как в тепловых сушильных установках с постоянной интенсивностью подвода теплоты. В таких сушильных установках, на конечных этапах сушки, когда интенсивность испарения влаги с поверхности (и из глубин тоже) замедляется, подводимая теплота идет на увеличение температуры продукта, и он перегревается [1, 2].

В ходе сушки жидко-вязких СХП их толщина непрерывно уменьшается, т. е. происходит их усадка. При этом термометры в высушиваемых продуктах остаются внутри них.

Как показали наши эксперименты, в крупно измельченных продуктах, температура на приповерхностном слое и внутри продукта отличается.

На рисунках 4 и 5 приведена температура вблизи поверхности и в середине высушиваемых урюка, разделенного на две половинки и томатов, разделенных на четыре части. Характерные размеры половинки урюка составляли около 2 см, а томатов – около 3 см. При этом термодатчики располагались в глубине 3 мм от поверхности продуктов и в глубине около 1,5 см от поверхности продуктов.

Как видно на рисунках, чем толще продукт, тем температура во внутренних слоях в течение всего процесса сушки ниже, чем на поверхности. Во всех продуктах происходит отставание температуры продукта от его температуры на поверхности и это отставание тем существенней, чем толще продукт.

Таким образом, полученные результаты позволяют сделать следующие выводы.

При сушке жидко-вязких сельхозпродуктов в солнечной сушильной установке радиационно-конвективного типа их температура зависит от их поглощательной способности: более темные продукты имеют температуру на 10–12 °С выше, чем продукты, имеющие белый цвет.

По истечении времени белые продукты и продукты со средней поглощательной способностью

темнеют, а температура всех продуктов практически выравнивается.

При наблюдающихся максимальных плотностях солнечной радиации (840–860 Вт/м<sup>2</sup>) в летние месяцы температура высушиваемых продуктов доходит до 70–74 °С в зависимости от их поглощательной способности. В осенние месяцы, при плотностях солнечной радиации в 540–570 Вт/м<sup>2</sup> температура продуктов доходит до 54–57 °С.

Максимальная температура высушиваемых продуктов находится в допустимых пределах, обеспечивающих сохранность их основных питательных качеств.

#### *Литература*

1. *Гинзбург А.С.* Основы теории и техники сушки пищевых продуктов / А.С. Гинзбург. СПб.: Университетская книга, 1997. 728 с.
2. *Панин Б.Г.* Основы теплотехники, отопление, вентиляция, сушка и охлаждение: учебник / Б.Г. Панин. М.: Легкая индустрия, 1980. 384 с.
3. *Галиакберов З.К.* Получение сухих порошков из растительного сырья / З.К. Галиакберов, Н.А. Николаев, Н.З. Галиакберова // Пищевая промышленность. 1995. № 5. С. 32–35.
4. *Кац З.А.* Новое в технологии производства овощных и плодовых порошков / З.А. Кац, Р.Я. Грановская. М.: ЦНИИТЭпищепром, 1972. 44 с.