

УДК 662.997.534
AGRIS J11

<https://doi.org/10.33619/2414-2948/89/42>

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ТЕМПЕРАТУРЫ ВЫСУШИВАЕМОГО В СОЛНЕЧНОЙ СУШИЛЬНОЙ УСТАНОВКЕ ПРОДУКТА ОТ ЕГО ВЛАГОСОДЕРЖАНИЯ

©*Tashiev N. M.*, ORCID: 0000-0001-9739-7638, SPIN-код 4962-3103, канд. техн. наук,
Ошский технологический университет, г. Ош, Кыргызстан, miali_n@mail.ru

INVESTIGATION OF THE TEMPERATURE DEPENDENCE OF A PRODUCT DRIED IN A SOLAR DRYER ON ITS MOISTURE CONTENT

©*Tashiev N.*, ORCID: 0000-0001-9739-7638, SPIN-code 4962-3103, Ph.D.,
Osh Technological University, Osh, Kyrgyzstan, miali_n@mail.ru

Аннотация. В данной работе приведены результаты исследований температуры жидко вязких СХП в процессе сушки в ССУ радиационно-конвективного типа, а также температура стеклянного покрытия КС в течение дня в различные периоды года. Приведены зависимости температуры наружной поверхности стеклянного ограждения КС в июле и октябре месяцах от плотности солнечной радиации и от температуры окружающего воздуха. Определены показатели исследований, что при прочих равных условиях на температуру высушиваемого продукта существенное влияние оказывает их поглощательная способность. Чем больше поглощательная способность, тем выше его температура. Чем меньшую поглощательную способность, тем их температура ниже.

Abstract. This paper presents the results of liquid-viscous temperature studies of agriculture products during in drying process in a solar-drying installation of a radiation-convective type. And also, the results of the temperature of the glass coating of the drying chamber during the day at different periods of the year. The outer surface temperature dependences of the drying chamber glass enclosure in July and October on the density of solar radiation and from the ambient air temperature are given. Research indicators have been determined that, other things being equal, the temperature of the dried product is significantly affected by their absorption capacity. The indicators of the research that in other equal conditions their observing feature significantly effects on temperature of drying products are defined absorption capacity.

Ключевые слова: солнечная энергия, сушильная установка, сельхозпродукты, техническая схема, пастообразный продукт, температура, остаточная влажность, порошок продукт.

Keywords: solar energy, drying plant, agricultural products, technical diagram, pasty product, temperature, residual moisture, powder product.

Зависимости температуры высушиваемых материалов t_n от их влагосодержания (N) при искусственной сушке с постоянным по величине и во времени подводом теплоты достаточно подробно исследованы [1]. Однако, этот вопрос еще недостаточно изучен для сушки продуктов, особенно жидковязких, в ССУ при изменяющейся величине подводимой теплоты, напрямую зависящей от плотности солнечной радиации.

Ранее были исследованы температуры жидковязких СХП в процессе сушки в ССУ радиационно-конвективного типа, а также температура стеклянного покрытия КС в течение дня в различные периоды года [3, 4, 6].

Температура поверхности продуктов, высушиваемых на открытом воздухе, а также температура стеклянного ограждения КС измерялись с помощью дистанционного бесконтактного инфракрасного термометра INF-200. Погрешность измерения данного прибора составляет $\pm 2\%$. Время стабилизации при измерениях составляет 500 миллисекунд. Интервал измеряемых температур — от -20°C до $+420^{\circ}\text{C}$. Измерения проводились в безветренную погоду, чтобы исключить конвективный унос теплоты с поверхности стекла и продуктов. В экспериментах нами измерены температура воздуха внутри КС лабораторным ртутным термометром, температуры жидковязкого СХП в глубине около 3 мм от поверхности, с помощью отградуированных медно – константановых термопар.

Для сравнения были исследованы также температурные режимы целых, а также разделенные на крупные части продукты (урюк, томаты, яблоко, дыня и др.). Термопары устанавливались в глубине 3 мм жидковязких продуктов и в середине цельных (урюк) или разделенных на крупные куски продукты (дыня, яблоко, томаты и др.), в глубине 1-1,5 см от их поверхности.

В ходе сушки жидковязкого СХП ее толщина непрерывно уменьшается. Термопары в фруктах и ягодах остаются внутри высушенного СХП. В то же время термопары, установленные в волокнистых овощах — моркови, тыквы, редьки, репы, лука, капусты в отдельных случаях оголяются. Такие высушенные продукты становятся хрупкими (рассыпчатыми), легко растираемые в порошки и термопары иногда выступают на поверхность продукта. На Рисунке 1 приведены зависимости температуры наружной поверхности стеклянного ограждения КС в июле и октябре месяцах от плотности солнечной радиации и от температуры окружающего воздуха.

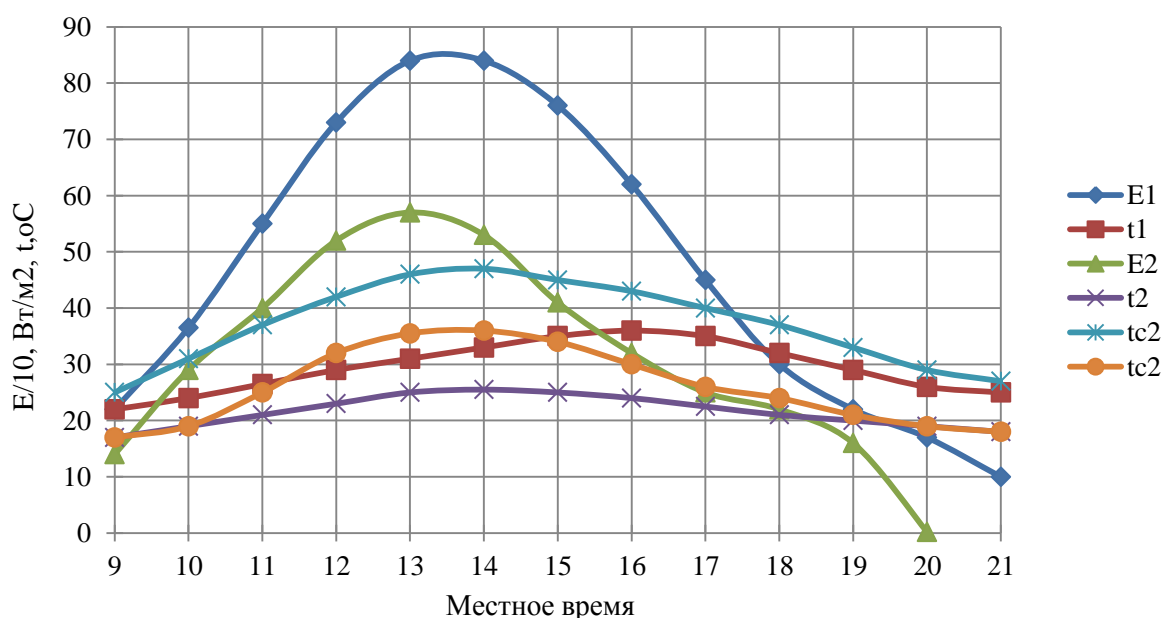


Рисунок 1. Температура стеклянного покрытия КС при различных плотностях солнечной радиации и температуры окружающего воздуха

Как видно из Рисунка 1, температура стеклянного ограждения в июле месяце при плотностях солнечной радиации $820-840 \text{ Вт/м}^2$ достигает $56-57^{\circ}\text{C}$, а в октябре месяце при плотностях солнечной радиации в $540-570 \text{ Вт/м}^2$ — $46-47^{\circ}\text{C}$.

Исследования показали, что при прочих равных условиях на температуру высушиваемого продукта существенное влияние оказывает их поглощательная способность. Чем больше поглощательная способность (чем темнее окраску имеет продукт) тем его температура выше. Чем меньшую поглощательную способность имеют продукты (белого или светлого цвета), тем их температура ниже. Это свидетельствует о том, что теплота к высушиваемым продуктам в основном подводится поглощаемой ими солнечной радиацией. Роль конвективной составляющей незначительна [7]. E_1 и E_2 — плотности солнечной радиации в июле и октябре месяце, t_1 и t_2 — температуры воздуха в июле и октябре месяце, t_{c1} и t_{c2} — температуры стекла в июле и октябре месяце.

На Рисунках 2-5 приведены измеренные температуры высушиваемых продуктов на открытом воздухе и в ССУ, измеренных с помощью термодатчиков, установленных в продуктах на глубине около 3 мм. Следует отметить, что температуры продуктов, имеющих разные оттенки темного цвета (темно коричневые (слива), темно красные (свекла красная, черешня, вишня, виноград черный и др.) в пределах ошибок измерений не отличаются. Такая же ситуация наблюдается и с продуктами, имеющие белые цвета (лук, дыня, груша и др.) а также с продуктами, имеющими промежуточные цвета (тыква, редька, перец болгарский зеленый, виноград белый и др.).

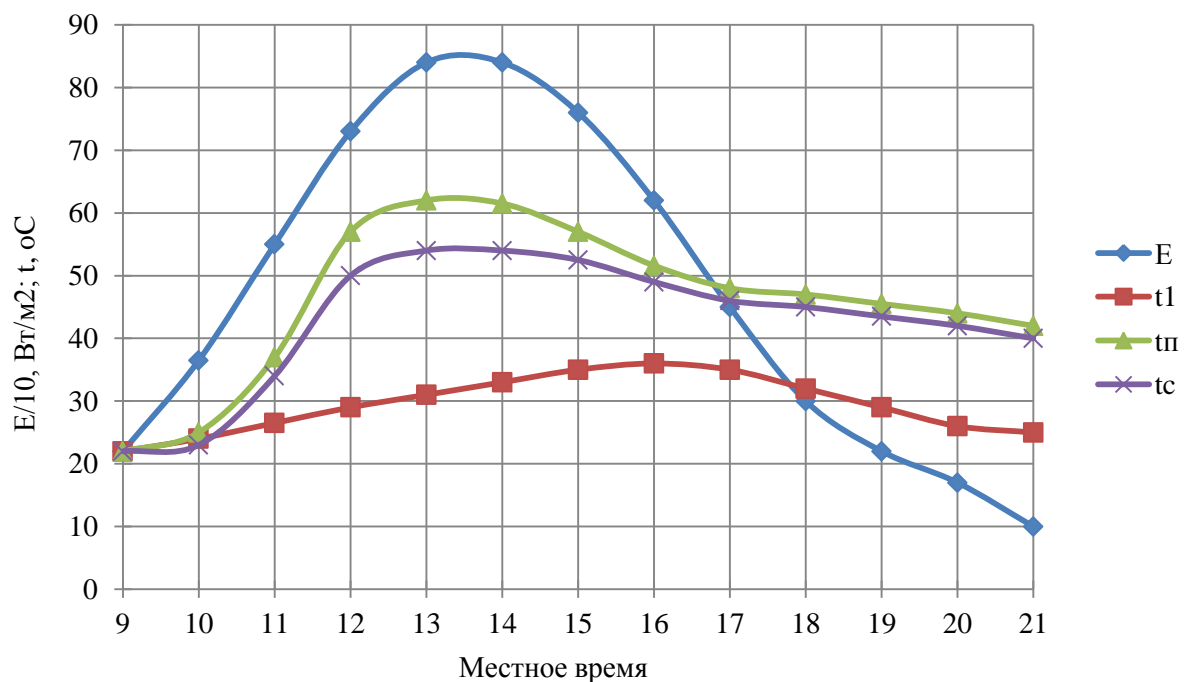


Рисунок 2. Температура продуктов с темными цветами при сушке на открытом воздухе в июле месяце: E – плотность солнечной радиации, t_1 – температура окружающего воздуха, t_n – температура на поверхности продукта, t_c – температура в середине продукта

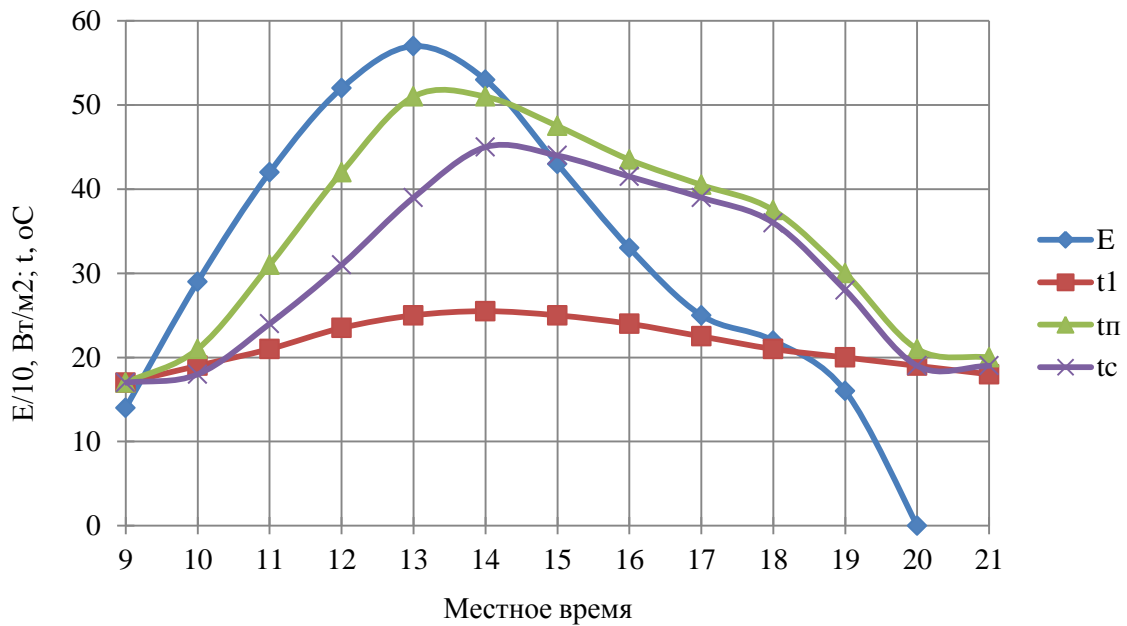


Рисунок 3. Температуры продуктов с темными цветами при сушке на открытом воздухе в октябре месяце: E – плотность интегральной солнечной радиации, t_1 – температура окружающего воздуха, $t_{п}$ – температура на поверхности продукта, t_c – температура в середине продукта

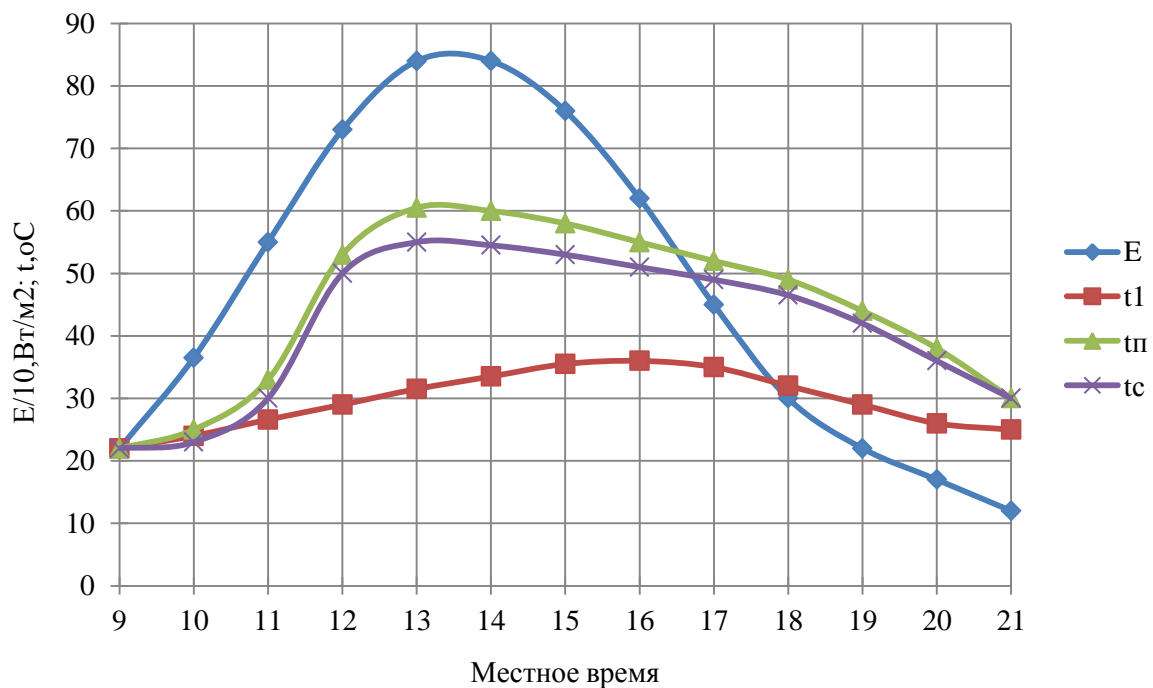


Рисунок 4. Температуры продуктов с белыми цветами при сушке на открытом воздухе в июле месяце: E – плотность солнечной радиации, t_1 – температура окружающего воздуха, $t_{п}$ – температура на поверхности продукта, t_c – температура в середине продукта

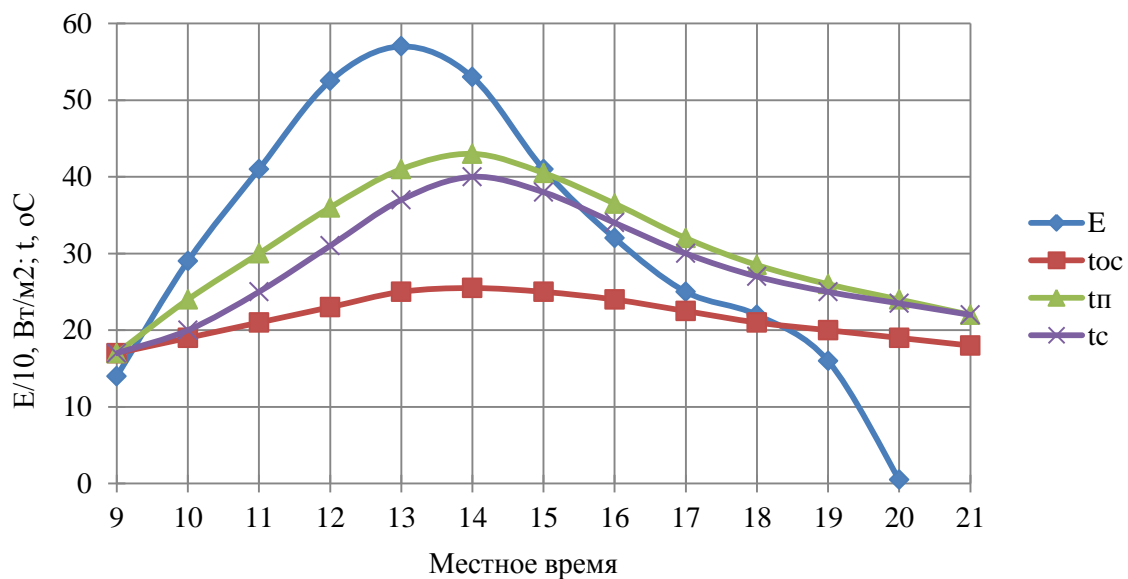


Рисунок 5. Температура продукта с белыми цветами при сушке на открытом воздухе в октябре месяце: E – плотность интегральной солнечной радиации, t₁ – температура окружающего воздуха, t_n – температура на поверхности продукта, t_c – температура в середине продукта

Как видно из рисунков, когда жидковязкий СХП поступает в КС ССУ, его температура постепенно повышается. Как показывают наши эксперименты, в цельных, или крупно измельченных продуктах, когда наблюдается два периода сушки, в первый период все тепло, подведенное к продукту, расходуется на испарение влаги с его поверхности и температура продукта практически остается постоянной до первой критической точки. Во втором периоде сушки испарение влаги с поверхности материала замедляется и из-за недостаточного подвода влаги к поверхности испарения температура последней непрерывно повышается. Когда влагосодержание уменьшится до равновесного и скорость испарения влаги падает до нуля, температура материала достигнет максимального значения. На Рисунке 6 приведены температуры высушиваемого урюка.

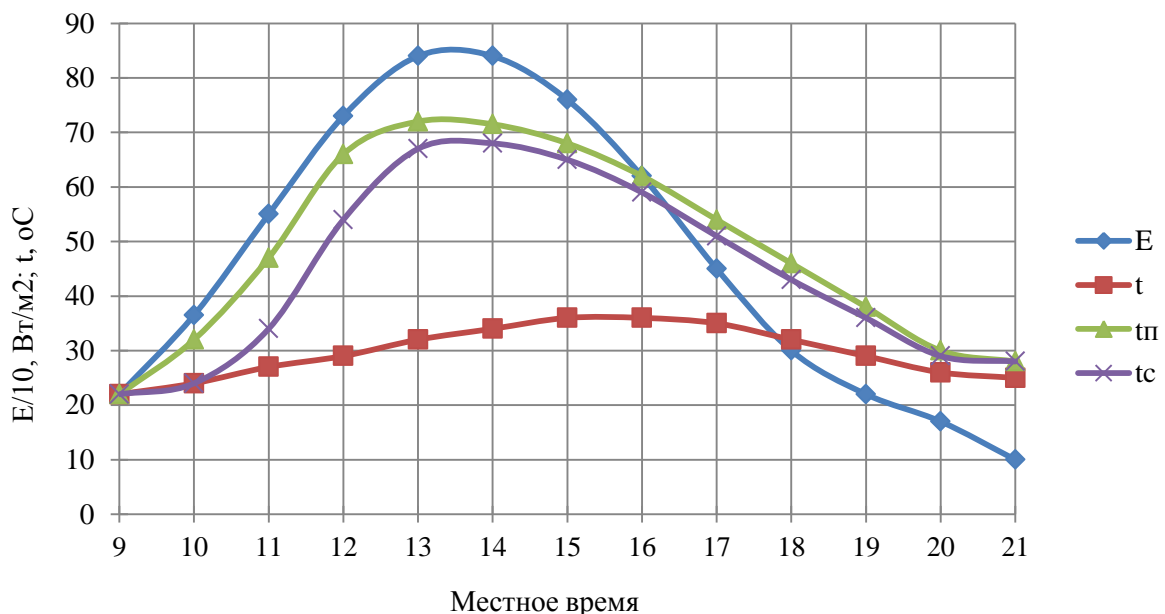


Рисунок 6. Температуры на поверхности и в середине урюка, разделенного на две половинки в июле месяце: E – плотность солнечной радиации, t – температура окружающего воздуха, t_n – температура на поверхности продукта, t_c – температура в середине продукта

Как видно из Рисунков, чем толще продукт, тем температура во внутренних слоях в течение всего процесса сушки ниже, чем на поверхности. Во всех исследованных продуктах наблюдается отставание температуры продукта в глубине от температуры на поверхности и это отставание тем больше, чем толще продукт. В жидковязком состоянии отставание температуры продукта во внутренних слоях меньше, чем в разделенных на крупные части продуктов. Это, видимо, происходит из – за относительно небольшой толщины жидко-вязких продуктов: расстояние между термопарами, установленными на приповерхностном слое и в середине продукта колеблется в пределах 2-4 мм.

Когда продукт поступает в КС ССУ, в утренние часы, в первую очередь температура его поверхности начинает расти по мере увеличения плотности солнечной радиации и соответственно роста проникающей в КС через стеклянное прозрачное покрытие его доли. Следует отметить, что при углах падения прямой солнечной радиации на поверхность стеклянного покрытия, больше чем 60° , доля проникающего в КС прямой солнечной радиации низкая, так как доля отраженной радиации велика [2, 5].

У продуктов, разделенных на крупные части, все тепло, подведенное к ним, расходуется в основном на испарение влаги с их поверхности, а также на нагрев ее внутренних слоев. Во втором периоде сушки испарение влаги с поверхности продукта замедляется и из – за снижения скорости подвода влаги к поверхности испарения, температура продукта постепенно повышается.

Когда влагосодержание продукта уменьшится до равновесного значения, то скорость испарения влаги снижается практически до нуля и температура продукта достигает максимального при данной плотности солнечной радиации значения. При сушке продуктов в ССУ, к вечеру плотность солнечной радиации уменьшается, следовательно и снижается температура высушиваемого продукта.

Список литературы:

1. Панин Б. Г. Основы теплотехники, отопление, вентиляция, сушка и охлаждение. М.: Легкая индустрия, 1980. 384 с.
2. Ландсберг Г. В. Оптика. М.: Высшая школа, 1972. 423 с.
3. Исманжанов А. И., Абдырахман уулу К., Ташиев Н. М. Солнечная сушильная установка. Патент Кыргызской Республики №1615, МПК6 F 24 J 2/46, F 26 B 17/09.
4. Исманжанов А. И., Ташиев Н. М. Исследование температурного режима сушки жидковязких сельхозпродуктов в солнечной сушильной установке // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. 2018. Т. 18. №8. С. 40-43.
5. Мальцев И. Д., Каракулина Г. А. Прикладная оптика и оптические измерения. М.: Машиностроение, 1968. 471 с.
6. Ташиев Н. М., Бокоев К. А. Техничко-экономические показатели получения порошков сельхозпродуктов с помощью солнечной энергии // Бюллетень науки и практики. 2022. Т. 8. №5. С. 404-410. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/78/46>
7. Ismanzhanov A. I., Tashiev N. M. Development and research of the technology for powdering agricultural products using solar energy // Applied Solar Energy. 2016. V. 52. P. 256-258. <https://doi.org/10.3103/S0003701X16040101>

References:

1. Panin, B. G. (1980). Osnovy teplotekhniki, otoplenie, ventilyatsiya, sushka i okhlazhdenie. Moscow. (in Russian).
2. Landsberg, G. V. (1972). Optika. Moscow. (in Russian).

3. Ismanzhanov, A. I., Abdyrakhman uulu, K., & Tashiev, N. M. Solnechnaya sushil'naya ustanovka. Patent Kyrgyzskoi Respubliki №1615, МПК6 F 24 J 2/46, F 26 B 17/09. (in Russian).
4. Ismanzhanov, A. I., & Tashiev, N. M. (2018). Issledovanie temperaturnogo rezhima sushki zhidkovyazkikh sel'khozproduktov v solnechnoi sushil'noi ustanovke. *Vestnik Kyrgyzsko-Rossiiskogo Slavyanskogo universiteta*, 18(8), 40-43. (in Russian).
5. Mal'tsev, I. D., & Karakulina, G. A. (1968). *Prikladnaya optika i opticheskie izmereniya*. Moscow. (in Russian).
6. Tashiev, N., & Bokoyev, K. (2022). Technical and Economic Indicators of Solar Production of Agricultural Powders. *Bulletin of Science and Practice*, 8(5), 404-410. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/78/46>
7. Ismanzhanov, A. I., & Tashiev, N. M. (2016). Development and research of the technology for powdering agricultural products using solar energy. *Applied Solar Energy*, 52, 256-258. <https://doi.org/10.3103/S0003701X16040101>

Работа поступила
в редакцию 09.03.2023 г.

Принята к публикации
15.03.2023 г.

Ссылка для цитирования:

Ташиев Н. М. Исследование зависимости температуры высушиваемого в солнечной сушильной установке продукта от его влагосодержания // Бюллетень науки и практики. 2023. Т. 9. №4. С. 369-375. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/89/42>

Cite as (APA):

Tashiev, N. (2023). Investigation of the Temperature Dependence of a Product Dried in a Solar Dryer on Its Moisture Content. *Bulletin of Science and Practice*, 9(4), 369-375. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/89/42>