

УДК: 662.997

МОДЕРНИЗАЦИЯ СОЛНЕЧНОЙ СУШИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ НЕПРЯМОГО ДЕЙСТВИЯ С ЕСТЕСТВЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИЕЙ ВОЗДУХА

Мирзаев Шавкат Мустакимович¹ - доктор технических наук, профессор,
ORCID: 0000-0002-2205-0450, E-mail: mirzayevshavkat53@mail.ru

Ибрагимов Салим Сафарович¹ – старший преподаватель,
ORCID: 0000-0001-5519-1324, E-mail: salim.ibragimov.89@mail.ru

Кадиров Жобир Рuzиматович¹ - кандидат технических наук, доцент,
ORCID: 0000-0003-4596-405X, E-mail: godirov.jobir@mail.ru

Хамраев Сардор Илхомович² – доктор философии по техническим наукам (PhD), доцент,
ORCID: 0000-0002-0847-9488, E-mail: xamrayevs@bk.ru

Бухарский государственный университет, г. Бухара, Узбекистан
Каршинский инженерно-экономический институт, г. Карши, Узбекистан

***Аннотация.** В данной статье представлены результаты научно-исследовательской работы модернизированной солнечной сушильной установки с тепловыми трубами непрямого действия и естественной вентиляцией воздуха. Установлены зависимости температур, влагосодержания паровоздушной смеси на поверхности осушаемого винограда, скорость сушки от времени процесса сушки, также сопоставлены с результатами кинетики процесса сушки винограда, полученными на солнечной сушильной установке прямого действия.*

Полная физическая характеристика конструкционной модели и его элементов установлена полуэмпирическими методами расчета и вычислена на основе соответствующих концепций и экспериментальных результатов.

Высокая температура сушки твердого слоя (образование корки), образующегося на поверхности, затрудняет выход жидкости, которая еще не была удалена изнутри, и препятствует высыханию. Такая проблема решена путем изменения условий сушки, за счет солнечной сушильной установки с тепловой трубой и естественной конвекцией воздуха в солнечном коллекторе реализованы следующие коэффициенты эффективности: тепловых труб 34%, теплообменников 25% и сушильного шкафа 11%.

На основе сопоставительного анализа результатов экспериментальных исследований установлено, что размер осушаемого винограда (капилляров) не имеет значения на начальном этапе сушки, в то время как на более поздних этапах он влияет на скорость сушки. Также из-за высокой температуры сушки твердый слой (образование корки), образующийся на поверхности, затрудняет выход жидкости, которая еще не была удалена изнутри и препятствует высыханию. Следует избегать образования корки, так как это влияет на скорость высыхания и качество продукта, подлежащего сушке. Такая проблема может быть решена путем наблюдения или изменения условий сушки. В данной научной работе условия сушки, несомненно, были реализованы за счет установки тепловой трубы в солнечном коллекторе.

***Ключевые слова:** сушильная камера, естественная вентиляция, температура, конвекция, скорость сушки, виноград, коллектор, солнечная радиация.*

UDC: 662.997

UPGRADE OF SOLAR INDIRECT DRYING PLANT WITH NATURAL VENTILATION

Mirzayev, Shavkat Mustaqimovich¹ - Doctor of Technical Sciences, Professor

Ibragimov, Salim Safarovich¹ – Senior lecturer

Kodirov, Jobir Ruzimamatovich¹ - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Khamraev, Sardor Ilkhomovich² – Doctor of Philosophy in Technical Sciences (PhD), Associate Professor

Bukhara State University, Bukhara city, Uzbekistan

²Karshi Engineering-Economics institute, Karshi city, Uzbekistan

Abstract. *This article presents the results of research work on a modernized solar drying plant with indirect heat pipes and natural air ventilation. The dependences of temperatures, moisture content of the steam-air mixture and on the surface of the dried grapes, the drying speed on the time of the drying process were established, and were also compared with the results of the kinetics of the grape drying process, obtained in a direct-acting solar drying installation.*

The complete physical characterization of the structural model and its elements is established by semi-empirical calculation methods and calculated on the basis of relevant concepts and experimental results.

The high drying temperature of the hard layer (crust formation) that forms on the surface makes it difficult for liquid that has not yet been removed from the inside to escape and prevents drying. This problem was solved by changing the drying conditions and were implemented through a solar drying installation with a heat pipe and natural air convection in the solar collector, with the following efficiency factors: heat pipes 34%, heat exchangers 25% and drying cabinet 11%.

Based on a comparative analysis of the results of experimental studies, it was found that the size of the dried grapes (capillaries) does not matter at the initial stage of drying, while at later stages it affects the drying rate. Also, due to the high drying temperature, the hard layer (crust formation) that forms on the surface makes it difficult for the liquid that has not yet been removed from the inside to escape and prevents drying. The formation of a crust should be avoided as this affects the drying speed and quality of the product to be dried. This problem can be solved by monitoring or changing the drying conditions. Such a problem can be solved by monitoring or changing the drying conditions. In this scientific work, the drying conditions were undoubtedly realized by installing a heat pipe in the solar collector.

Keywords: *drying chamber, natural ventilation, temperature, convection, drying speed, grapes, collector, solar radiation.*

UO‘K: 662.997

TABIIY HAVO KONVEKSIYASI BILAN BILVOSITA QUYOSH QURITISH QURILMASINI MODERNIZATSIYA QILISH

Mirzayev Shavkat Mustaqimovich¹ - texnika fanlari doktori, professor

Ibragimov Salim Safarovich¹ – katta o‘qituvchi

Qodirov Jobir Ro‘zimamatovich¹ - texnika fanlari nomzodi, dotsent

Xamrayev Sardor Ilxomovich² – texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD), dotsent

¹Buxoro davlat universiteti, Buxoro sh., O‘zbekiston

²Qarshi-muhandislik iqtisodiyot instituti, Qarshi sh., O‘zbekiston

Annotatsiya. *Ushbu maqolada bilvosita issiqlik quvurlari va tabiiy havo konveksiyasi bilan modernizatsiya qilingan quyosh quritish qurilmasining ilmiy-tadqiqot ishlari natijalari keltirilgan. Quritilgan uzum yuzasida harorat, bug ‘-havo aralashmasining namlik miqdori, quritish jarayonining quritish tezligiga bog‘liqligi, shuningdek, to‘g‘ridan-to‘g‘ri quyosh quritish moslamasida olingan uzumni quritish jarayonining kinetikasi natijalari bilan taqqoslanadi.*

Konstruksiyali model va uning elementlarining to‘liq fizik tavsifi yarim empirik hisoblash usullari bilan o‘rnatilgan va tegishli tushunchalar hamda eksperimental natijalar asosida hisoblangan.

Sirtida hosil bo‘lgan qattiq qatlamning yuqori quritish harorati (qobiq hosil bo‘lishi) hali ichkaridan olib tashlanmagan suyuqlikning chiqishini qiyinlashtiradi va quritishga to‘sqinlik qiladi.

Bunday muammo quritish sharoitlarini o'zgartirish orqali hal qilindi va quyosh kollektorida issiqlik quvurlari va tabiiy havo konveksiyasi bilan quyosh quritish moslamasida, quyidagi samaradorlik koeffitsiyentlari bilan amalga oshirildi: 34% issiqlik quvurlari, 25% issiqlik almashinuvchilari va 11% quritish shkafi.

Eksperimental tadqiqotlar natijalarini qiyosiy tahlil qilish asosida quritilgan uzumning (kapillyarlarning) hajmi quritishning dastlabki bosqichida muhim emasligi, keyingi bosqichlarda esa quritish tezligiga ta'sir qilishi aniqlandi. Bundan tashqari, quritish harorati yuqori bo'lganligi sababli, sirtida hosil bo'lgan qattiq qatlam (qobiq shakllanishi) hali ichkaridan chiqarilmagan suyuqlikning chiqishini qiyinlashtiradi va quritishni oldini oladi. Qobiq paydo bo'lishining oldini olish kerak, chunki bu quritish tezligiga va quritilishi kerak bo'lgan mahsulot sifatiga ta'sir qiladi. Bunday muammoni quritish sharoitlarini kuzatish yoki o'zgartirish orqali hal qilish mumkin. Ushbu ilmiy ishda quritish shartlari, shubhasiz, quyosh kollektorida issiqlik quvurini o'rnatish orqali amalga oshirildi.

Kalit so'zlar: quritish kamerasi, tabiiy shamollatish, harorat, konveksiya, quritish tezligi, uzum, kollektor, quyosh radiatsiyasi.

Введение

Виноград - один из самых популярных и вкусных фруктов в мире. Консервирование винограда путем сушки является основной отраслью промышленности во многих частях мира, где выращивают виноград.

Для получения готовой продукции изюма с низкой среднегодовой стоимостью (в Греции среднегодовая стоимость экспорта составляет 140÷160 долларов США [1]), в сельском хозяйстве необходимо не только экономить энергию за счет интенсификации процесса сушки, улучшения конструкции сушилок и т.д., но и за счет использования возобновляемых источников энергии для процесса сушки.

Автором [6] установлено, что для качественного обезвоживания сельскохозяйственных продуктов желательны низкие температуры и поддержание почти равномерной температуры по всей площади поверхности осушаемого продукта, которые можно легко получить с помощью непрямо́й солнечной сушильной установки.

Известно, что сушка - это явление, которое, как известно, напрямую связано со структурой продукта, подлежащего сушке, это движение потери жидкости, вызванное внешними факторами. Структура продукта, подлежащего сушке, также является фактором, определяющим скорость сушки [2, 6]. Сушка сельскохозяйственных продуктов наблюдается в виде характеристик изменения скоростей сушки, периода постоянной скорости и периода убывающей скорости [2, 4]. Важным определением процессов сушки является скорость сушки. На это влияют множество факторов, которые зависят от массы и теплопередачи. Этими факторами являются такие характеристики, как температура, влажность и скорость сушки воздуха, а также физические (геометрические размеры плодов) свойства и состав продукта, подлежащего сушке [2].

Во время сушки и после сушки происходит множество физических и химических изменений в структуре продукта. Некоторые из этих изменений являются желательными и ожидаемыми, а некоторые нежелательными. Из-за высокой (больше 60-65 °С) температуры, неравномерного распределённого температуры на поверхности продукта также резких изменений температур на поверхности продукта в процессе всей сушки образуются твердые слои (корки), затрудняющие выход жидкости, которая ещё не была удалена изнутри и препятствует высыханию. Это часто случается, особенно при сушке фруктов, богатых сахаром и подобными веществами [2, 5].

Физических изменения, в высушиваемом продукте приводят к химическим изменениям. Главными из этих изменений является цвет, питательная ценность, вкус, вязкость и стабильность при хранении. Как во время сушки, так и во время хранения, наблюдается потеря

пищевых ценностей продукта. В основу этих потерь входят витамины С и А, которые наиболее подвергаются разрушению. Тиамин (В1), который очень чувствителен к нагреванию, также сильно теряется при сушке [1, 2]. Эти потери в основном зависят от условий сушки. Например, известно, что потеря витамина С и каротина в продуктах, высушенных на солнце, намного выше, чем при использовании других методов сушки.

Однако, возможны, изменения цвета, не вызванные ферментами. Это также наблюдается при повышении температуры, особенно при резких перепадах температур и увеличения плотности реагирующих веществ в окружающей среде.

Из вышеизложенной информации следует, что для качественного обезвоживания желательны: низкая температура, равномерное распределение температуры на поверхности продукта; не допущение резких перепадов температуры осушаемых продуктов в процессе всей сушки.

На основе поставленного требования выбран цель данной работы: разработать опытно-конструкторскую модель солнечной сушильной установки непрямого действия с низкой естественной конвекцией (вентиляцией) воздуха, равномерно распределенной, также без резких изменений температуры на поверхности осушаемого продукта и на основе научных исследований установить оптимальный режим его работы при средних условиях облачности.

Постановка проблемы качественной сушки

Многими учеными мира опубликованы научные работы в открытой печати, которые посвящены научно-исследовательским разработкам солнечных сушильных установок непрямого действия.

Данные солнечные установки непрямого действия состоят в основном из плоского солнечного коллектора для нагрева воздуха и сушильной камеры, используемой для хранения лотков, в которых раскладывается виноград, подлежащий сушке. Коллектор и сушильная камера расположены последовательно (соединены между собой). Солнечный коллектор состоит из прозрачной крышки, фольги и черного металлического листа - поглотителя солнечной радиации (аккумуляторы тепла: горные камни, гальки; нитрат калия и натрия и т.д.). Сушильная камера была покрыта прозрачной пленкой или тепловой изолированной стенкой, которые защищают виноград от дождя, пыли и насекомых. Вентиляция воздуха обеспечивается естественной конвекцией внутри коллектора и сушильной камеры. Максимальная температура, зарегистрированная в сушильной камере, составляла 50 °С при температуре окружающей среды 30 °С вместимость сушильных камер составляет 100 кг свежего (влажного) винограда на квадратный метр сушильной камеры.

Эти сушилки сокращают время сушки винограда до семи-восьми дней, полностью защищают от дождя, пыли и насекомых, что способствует улучшению качества изюма. Недостатком этих сушилок являются небольшая производительность [9]. Сделаны выводы, что разнообразные пищевые продукты могут быть высушены в сушильных установках такого типа эффективно, действенно и экономично.

Несмотря на достигнутые положительные характеристики в солнечных сушильных установках непрямого действия с естественной вентиляцией воздуха, в открытой печати редко встречаются научно-исследовательские работы, в которых принципиально учитываются резкие изменения температуры на поверхности осушаемого продукта в процессе всей сушки, за счет которого предвидится [1, 2, 5] резкое ухудшение качества осушенной продукции.

Материалы и методы

На основе сравнительного анализа научно-исследовательских работ учёных мира по этому направлению, установлено, что для устранения резкого температурного перепада (температурного напора) на поверхности осушаемого продукта в процессе сушки необходимо модернизировать солнечную сушильную установку непрямого действия с естественной вентиляцией воздуха и тепловой трубой, которая устанавливается в плоский коллектор. Соответствующий теплообменник тепловой трубы располагается последовательно в

сушильную камеру. Также коллектор и сушильная камера расположены последовательно: коллектор расположен под 45 градусов и сушильная камера под 90 градусов относительно горизонта (т.е. вертикально). Плоский солнечный коллектор плотно-устойчив, герметизирован от попадания воздуха из окружающей среды в сушильную установку.

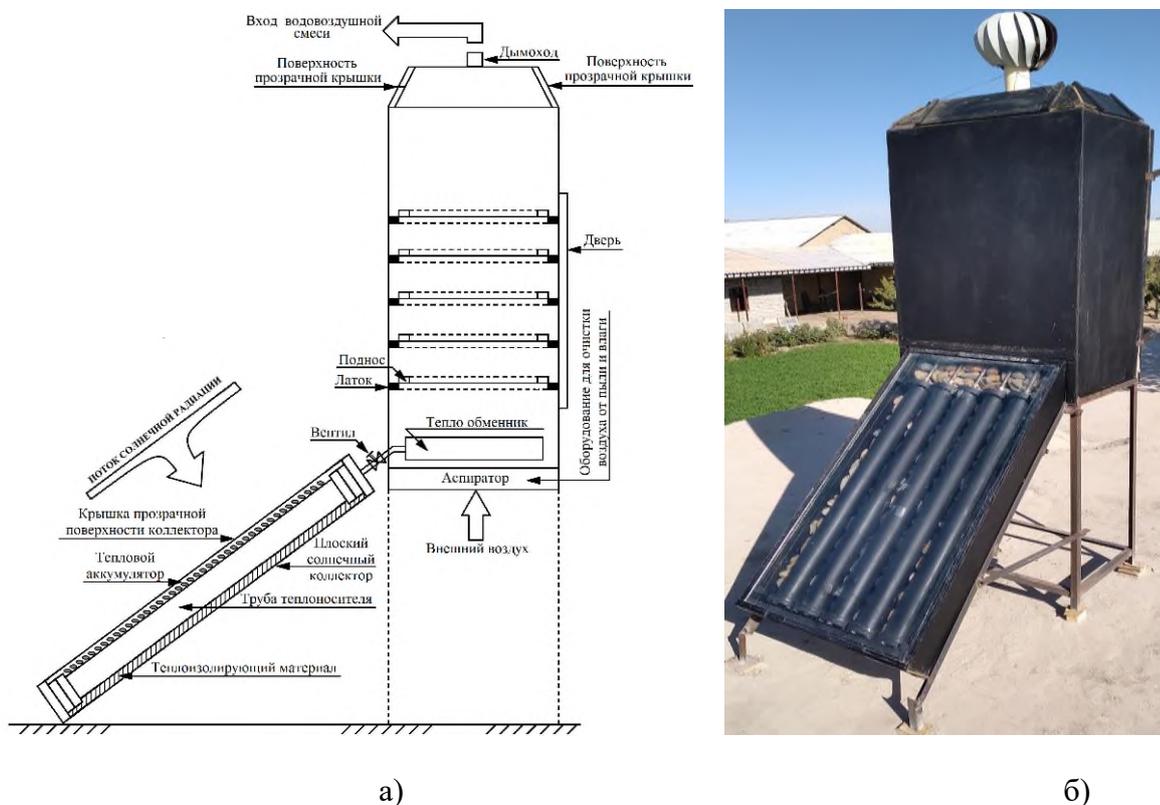


Рис. 1. Солнечная сушильная установка непрямого действия:
а) принципиальная схема; б) реальное изображение.

На рисунке 1 приведены принципиальная схема и реальное изображение разработанной нами солнечной сушильной установки непрямого действия с естественной вентиляцией воздуха в сушильной камере и с тепловой трубой в плоском коллекторе, также на рисунке 1 представлены подписи элементов конструктивной модели установки. Полная физическая характеристика конструкционной модели и его элементов установлена полуэмпирическими методами расчета и вычислена на основе соответствующих концепций и экспериментальных результатов.

Принцип действия предлагаемой солнечной сушильной установки.

Поток солнечной радиации падает на площадь поверхности прозрачной крышки солнечной сушильной установки. Малая часть потока поглощается прозрачным материалом, другая малая часть отражается от него и основная часть потока солнечной радиации входит во внутрь камеры плоского коллектора.

Солнечная радиация поглощается воздухом, тепловым аккумулятором, металлическим корпусом тепловой трубы, боковыми стенками, дном корпуса коллектора и нагревает их. Тепло получаемое боковыми стенками, дном и прозрачной крышкой корпуса коллектора передается в окружающую среду. Тепло, получаемое тепловой трубой, нагревает воду, находящуюся внутри, вода испаряется. Водяные пары через трубопроводы передаются в теплообменники, которые расположены на дне сушильной камеры.

Крылья теплообменников нагреваются, воздух находящийся над поверхностью крыльев, также нагревается. Нагретый воздух получает дополнительную внутреннюю энергию (кинетическую энергию), за счет которой поток теплового воздуха из поверхности крыльев теплообменника поднимается вертикально вверх, в направлении дымохода. Нагретый воздух,

соскальзывая на поверхности сушащегося продукта в процессе вертикального подъема, отдает продукту тепло, которое он получает от теплообменника. Из состава продукта испаряется водяной пар и образуется паровоздушная смесь, которая выбрасывается из дымохода в окружающую среду.

Для организации проведения экспериментальных исследований и получения научно-исследовательских результатов, их анализов рекомендуемая солнечная сушильная установка было установлена в научно-исследовательской лаборатории Бухарского государственного университета и проведены длительно-сезонные эксперименты. При проведении реальных естественных экспериментов сделаны измерения основных тепловых параметров в соответствующих точках: температура, влажность (воздух и паровоздушная смесь), атмосферное давление воздуха и относительное давление паровоздушной смеси, скорость атмосферного воздуха окружающей среды, выявлены скорость сушки, влагосодержания осушаемых продуктов, паровоздушной смеси и т.д.

Результаты

Для проверки достоверности полученных экспериментальных результатов исследования на рекомендуемой солнечной установке непрямого действия авторами данной статьи была опубликована научная работа [8, 10, 11], в которой изложены результаты экспериментальных исследований кинетики процесса сушки винограда на солнечной сушильной установке прямого действия. Установлены стадии и периоды сушки винограда сорта «Кишмиш черный». На рисунке 2, а представлены их экспериментальные результаты, которые получены 15-30 октября 2018 года (емкость сушильной камеры 165 кг). Для сопоставления результатов на рисунке 2, б представлены результаты экспериментальных исследований сушки винограда сорта «Кишмиш черный» на солнечной сушильной установке непрямого действия с тепловыми трубами, которые получены 18-25 августа 2022 года (емкость сушильной камеры 100 кг).

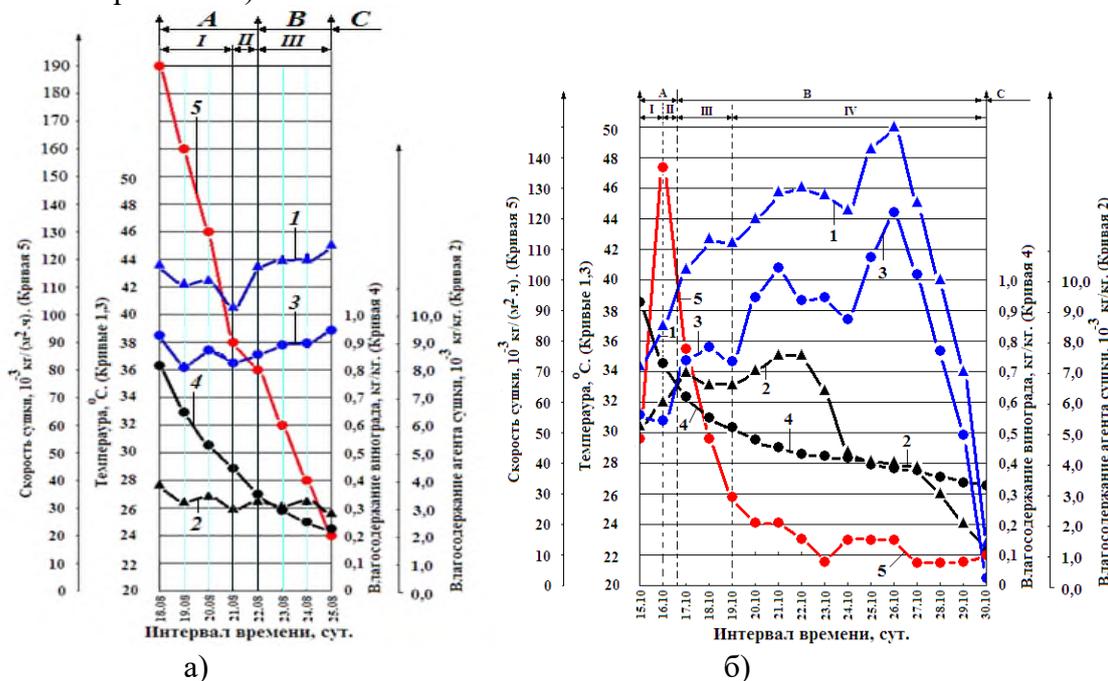


Рис. 2. Стадии и периоды процесса сушки винограда:

а, V и С - стадии влажности, гигроскопичности и равновесного состояния винограда соответственно; I, II, III и IV - периоды резкого увеличения, резкого уменьшения, понижения и медленного снижения скорости сушки; 1 и 2 - температура и влажность содержание сушильного агента; 3 и 4 - температура и влажность винограда; 5-скорость сушки:
а) 15-30 октября 2018 года; б) 18-25 августа 2022 года.

Также на рисунке 2 представлены кривые зависимости суммы прямой солнечной радиации ($\text{Вт}/\text{м}^2$) на горизонтальную поверхность при средних условиях облачности от суточных интервалов. Видно, что среднесуточный интенсивность потока солнечной радиации в период проведения экспериментов 18-25.08.2022 г. в сушильной установке с тепловой трубой в два раза больше (рис.3, б), чем среднесуточная интенсивность потока солнечной радиации в период проведения экспериментов 15-30 октября 2018 года в сушильной установке прямого типа (рис.3, а). Хотя разные условия для проведения экспериментов в сушильных установках, но изменения средне суточной температуры (температурный напор) паровоздушной смеси и температуры на поверхности осушаемого винограда на сушильной установке с тепловой трубой во весь период сушки не превышает $3-4\text{ }^\circ\text{C}$ (рис.2, б, 1, 3- кривые). На солнечной сушильной установке прямого типа эти значения достигают $(11-19)\text{ }^\circ\text{C}$.

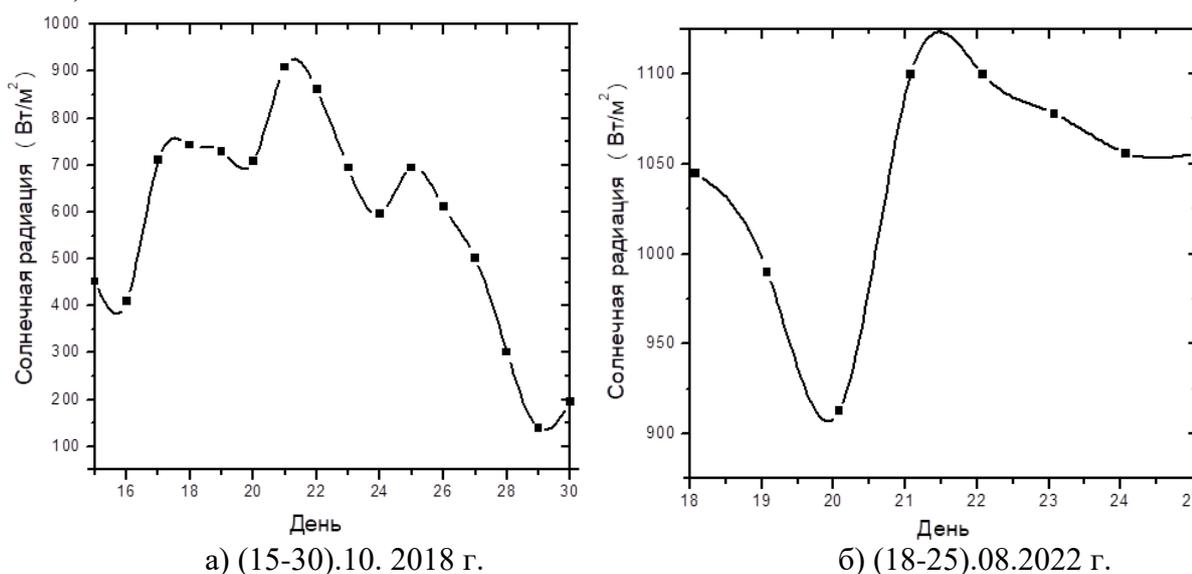


Рисунок 3. Изменение суммы прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность при средних условиях облачности в суточный интервал:

а) эксперименты проведены 15-30.10. 2018 г.; б) эксперименты проведены 18-25.08.2022 г.

На солнечной сушильной установке с тепловыми трубами среднесуточная скорость сушки винограда в период всей сушки (за 8 суток) уменьшается плавно (без резких перепадов) от $0,190\text{ кг}/\text{м}^2\text{ час}$ до $0,020\text{ кг}/\text{м}^2\text{ час}$, на солнечной сушильной установке прямого действия скорость сушки уменьшается (начиная с 2-ой сутки сушки) от $0,137\text{ кг}/\text{м}^2\text{ час}$ до (до 5- сутки сушки) $0,030\text{ кг}/\text{м}^2\text{ час}$, в остальные 12 суток скорость сушки достигает от $0,030\text{ кг}/\text{м}^2\text{ час}$ до $0,005\text{ кг}/\text{м}^2\text{ час}$.

Выводы

Отметим, что размер осушаемого винограда (капилляров) не имеет значения на начальном этапе сушки, в то время как на более поздних этапах он влияет на скорость сушки. Также из-за высокой температуры сушки твердый слой (образование корки), образующийся на поверхности, затрудняет выход жидкости, которая еще не была удалена изнутри, и препятствует высыханию. Следует избегать образования корки, так как это влияет на скорость высыхания и качества продукта, подлежащего сушке [2, 5]. Такая проблема может быть решена путем наблюдения или изменения условий сушки. В этой научной работе условия сушки, несомненно, были реализованы за счет установки тепловой трубы в солнечном коллекторе.

Литература

- [1] Michael Tsamparlis. “Solar drying for real applications”, *Drying Technology* 1990; 8 (2): 261-85.
- [2] Gee M. “Some flavor and color changes during low temperature dehydration of grapes”, *Journal of food science* 1980; 45: 146-147.
- [3] Сафаров Ж.Э., Султанов Ш.А., Дадаев Г.Т., Жумаев Б.М. “Исследование инновационного способа сушки лекарственных растений”, Монография 2017. 106-107.
- [4] Рахман М., Перейра С., Теббуне К.О. “Изотерма десорбции и кинетика сушки гороха тепловым насосом”, *Food Research International*. 485-491 с.
- [5] Дадаев Г.Т., Сафаров Ж.Э. “Моделирование процесса сушки пищевых трав в естественных природно-климатических условиях”, *Universes: технические науки: электрон. Научно. Журн.* 2022. 4 (97).
- [6] Сафаров Ж.Э., Дадаев Г.Т. “Результаты исследования технологии сушки лекарственных трав”, *Химическая технология. Контроль и управление.* -Ташкент. 2017.- №3. - С. 27-31.
- [7] Дадаев Г.Т. “К вопросу о разработке технологии получения высушенной продукции с новыми качествами. *Universes: технические науки: электрон*”, *Науч. журнал.* 2017. №12 (45). – С. 31-33.
- [8] Мирзаев Ш.М., Ибрагимов С.С. “Исследование стадии и периодов процесса сушки винограда на солнечной сушилке и выбор технологии сушки”, *Scientific-technical journal (STJ FerPI, ФарПИ ИТЖ, НТЖ ФерПИ, 2022, Т.26, №6)*
- [9] Sharma V .K., Sharma S., Ray R.A., Garg H.P. “Design and performance of a dryer suitable for rural applications”, *Energy Convers Mgmt.* 1986; 26 (1): 11-9.
- [10] S I Khamraev. Study of the combined solar heating system of residential houses. *BIO Web of Conferences* 71, 02017 (2023) <https://doi.org/10.1051/bioconf/20237102017> CIBTA-II-2023
- [11] Uzakov G. N., Charvinski V. L., Ibragimov U. Kh., Khamraev S. I., Kamolov B. I. (2022) Mathematical Modeling of the Combined Heat Supply System of a Solar House. *Energetika. Proc. CIS Higher Educ. Inst. and Power Eng. Assoc.* 65 (5), 412–421. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2022-65-5-412-421>
- [12] Sh Mirzaev, J Kodirov, S I Khamraev. Method for determining the sizes of structural elements and semi-empirical formula of thermal characteristics of solar dryers// *APEC-V-2022 IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 1070(2022) 012021 IOP Publishing doi:10.1088/1755-1315/1070/1/012021