

Эффективность сушилки аэродинамического подогрева с комбинированным теплообменником

Купреенко А.И., Исаев Х.М., Исаев С.Х.

Аннотация. Одним из перспективных направлений сушки плодово-ягодного сырья является использование сушилок аэродинамического подогрева, реализующих принцип трансформации электрической энергии, расходуемой на привод центробежного вентилятора, в тепловую энергию за счет взаимного трения циркулирующих в замкнутой камере воздушных потоков. Для снижения энергоёмкости процесса сушки предложено утилизировать теплоту отработанного сушильного агента за счёт оснащения сушилки комбинированным теплообменником. Комбинированный теплообменник позволяет снизить энергоёмкость процесса сушки за счет снижения расхода энергии на подогрев сушильного агента в сушильной камере. Наличие воздушного солнечного коллектора в составе комбинированного теплообменника позволило в данном случае повысить температуру сушильного агента на выходе из него ещё на 10 °С без дополнительных затрат электрической энергии. При этом на начальном этапе работы сушилки в дневное время подогрев сушильного агента осуществляется за счет воздушного гелиоколлектора комбинированного теплообменника.

Ключевые слова: сушильный агент, комбинированный теплообменник, сушилка аэродинамического подогрева, энергоёмкость процесса сушки.

Для цитирования: Купреенко А.И., Исаев Х.М., Исаев С.Х. Эффективность сушилки аэродинамического подогрева с комбинированным теплообменником // Инновационная техника и технология. 2020. № 3 (24). С. 29–36.

Efficiency of the aerodynamic dryer heated with a combined heat exchanger

Kupreenko A.I., Isaev Kh.M., Isaev S.Kh.

Abstract. One of the promising directions of drying fruit and berry raw materials is the use of aerodynamic heating dryers, which implement the principle of transformation of electric energy spent on the drive of a centrifugal fan into thermal energy due to mutual friction of air flows circulating in a closed chamber. To reduce the energy consumption of the drying process, it is proposed to utilize the heat of the spent drying agent by equipping the dryer with a combined heat exchanger. The combined heat exchanger reduces the energy consumption of the drying process by reducing the energy consumption for heating the drying agent in the drying chamber. The presence of an air solar collector as part of a combined heat exchanger made it possible in this case to increase the temperature of the drying agent at the outlet by another 10 °C without additional electrical energy costs. At the same time, at the initial stage of operation of the dryer in the daytime, the drying agent is heated by the air solar collector of the combined heat exchanger.

Keywords: drying agent, combined heat exchanger, aerodynamic heating dryer, energy intensity of the drying process.

For citation: Kupreenko A.I., Isaev Kh.M., Isaev S.Kh. Efficiency of the aerodynamic dryer heated with a combined heat exchanger. Innovative Machinery and Technology. 2020. No.3 (24). pp. 29–36. (In Russ.).

Введение

В настоящее время в Брянской области ряд сельхозпроизводителей начинает активно развивать плодоводство и яговодство [1, 2, 3]. Одним из

видов продукции в результате переработки плодово-ягодного сырья являются сухофрукты. Одним из перспективных направлений в снижении энергоёмкости сушки плодово-ягодного сырья является использование сушилок аэродинамического подо-

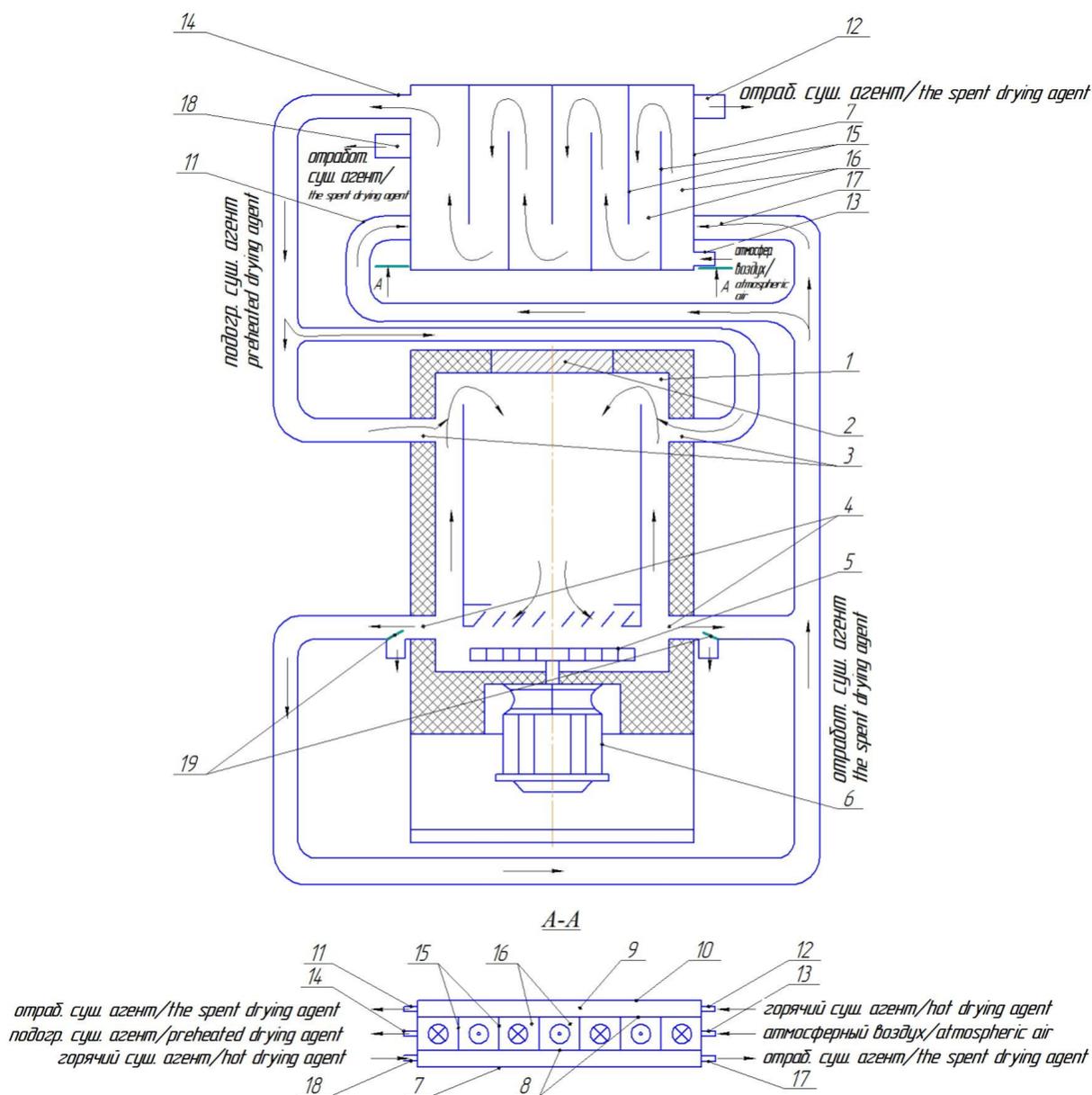


Рис. 1. Схема сушилки с комбинированным теплообменником:

1 – теплоизолированная камера; 2 – дверь; 3 – патрубки для подсоса сушильного агента; 4 – патрубки для выброса сушильного агента; 5 – нагревательный ротор центробежного вентилятора; 6 – приводной электродвигатель; 7 – комбинированный теплообменник; 8 – теплообменные поверхности; 9 – воздушный солнечный коллектор; 10 – светопрозрачное покрытие; 11 – патрубок для входа отработанного сушильного агента в верхнюю камеру; 12 – патрубок для выхода отработанного сушильного агента из верхней камеры; 13 – входной патрубок средней камеры; 14 – выходной патрубок средней камеры; 15 – перегородки; 16 – каналы для прохода подогреваемого атмосферного воздуха; 17 – патрубок для входа отработанного сушильного агента в нижнюю камеру; 18 – патрубок для выхода отработанного сушильного агента из нижней камеры; 19 – заслонка

грева, реализующих принцип работы изолированного ротора (т.е. ротора без корпуса) центробежного вентилятора в режиме роторного нагрева. В этом случае подавляющая часть подводимой к ротору электрической энергии расходуется на преодоление аэродинамических потерь в проточной части рабочего колеса, в сушильной камере, преобразуясь при этом в тепловую энергию. В этом заключается принцип работы печей аэродинамического подогрева (ПАП) или печей аэродинамических потерь.

В последнее время проведен ряд исследований по повышению эффективности работы суши-

лок плодово-ягодного сырья [4, 5, 6, 7]. Повысить эффективность работы сушилки плодово-ягодного сырья, работающей по принципу печи аэродинамических потерь, было предложено путем оборудования ее комбинированным теплообменником [8, 9, 10], с учетом перспективности использования в условиях Брянской области воздушных гелиоколлекторов [11, 12]. Были проведены испытания модернизированной сушилки, оборудованной комбинированным теплообменником, на сушке яблок.

Цель исследований:

Определение эффективности использования



Рис. 2. Общий вид сушилки с комбинированным теплообменником



Рис. 3. Вид средней камеры комбинированного теплообменника



Рис. 4. Вид сушильной камеры



Рис. 5. Оборудование для фиксации результатов измерений

комбинированного теплообменника в составе сушилки аэродинамического подогрева.

Объекты и методы исследования

Принцип работы сушилки с комбинированным теплообменником следующий (рис. 1).

Сырье загружают в теплоизолированную камеру 1 через дверь 2. В начале сушки на этапе разогрева сушилки заслонки 19 находятся в положении, перекрывающем подачу отработанного сушильного агента в камеры комбинированного теплообменника 7. Атмосферный воздух через входной патрубок 13 поступает в среднюю камеру пластинчатого теплообменника. Двигаясь по каналам 16, атмосферный воздух подогревается за счет теплообмена с теплообменной поверхностью солнечного коллектора 9 и через выходной патрубок 14 средней камеры и входной патрубок 3 теплоизолированной камеры 1 поступает к нагревательному ротору 5, который обеспечивает дальнейший нагрев и циркуляцию сушильного агента по замкнутому контуру теплоизолированной камеры 1. Контактывая с высушиваемым сырьём, сушильный агент насыщается удаляемой влагой, а через выходные патрубки 4 частично сбрасывается в атмосферу. При этом подогрев атмосферного воздуха (сушильного агента) в пластинчатом теплообменном аппарате 7 осуществляется за счет энергии солнечного излучения.

При достижении температуры сбрасываемого из сушильной камеры отработанного сушильного агента температуры подогретого сушильного агента, поступающего из комбинированного теплообменника 7, заслонки 19 ставят в положение, обеспечивающее подачу отработанного сушильного агента через входные патрубки 11 и 17 обратно в комбинированный теплообменник 7. Это обеспечивает дополнительный подогрев атмосферного воздуха (сушильного агента) за счет передачи теплоты отработанного сушильного агента через теплообменные поверхности 8. Отработанный сушильный агент удаляется из комбинированного теплообменника 7 через выходные патрубки 12 и 18. При этом обеспечивается повышение коэффициента регенерации теплоты и использование энергии солнечного излучения для подогрева сушильного агента в начальный период работы сушилки до её выхода на рабочую температуру в теплоизолированной камере.

Общий вид сушилки с комбинированным теплообменником представлен на рис. 2.

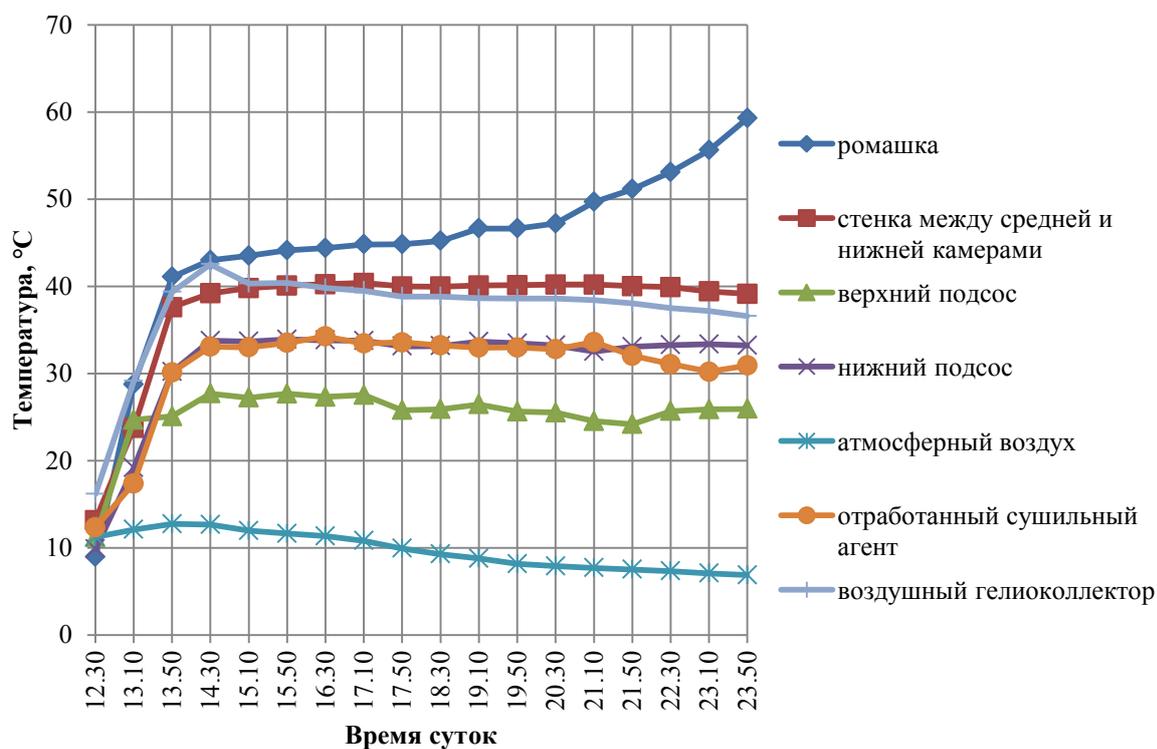


Рис. 6. Изменение температуры сушильного агента при использовании комбинированного теплообменника (начало опыта)

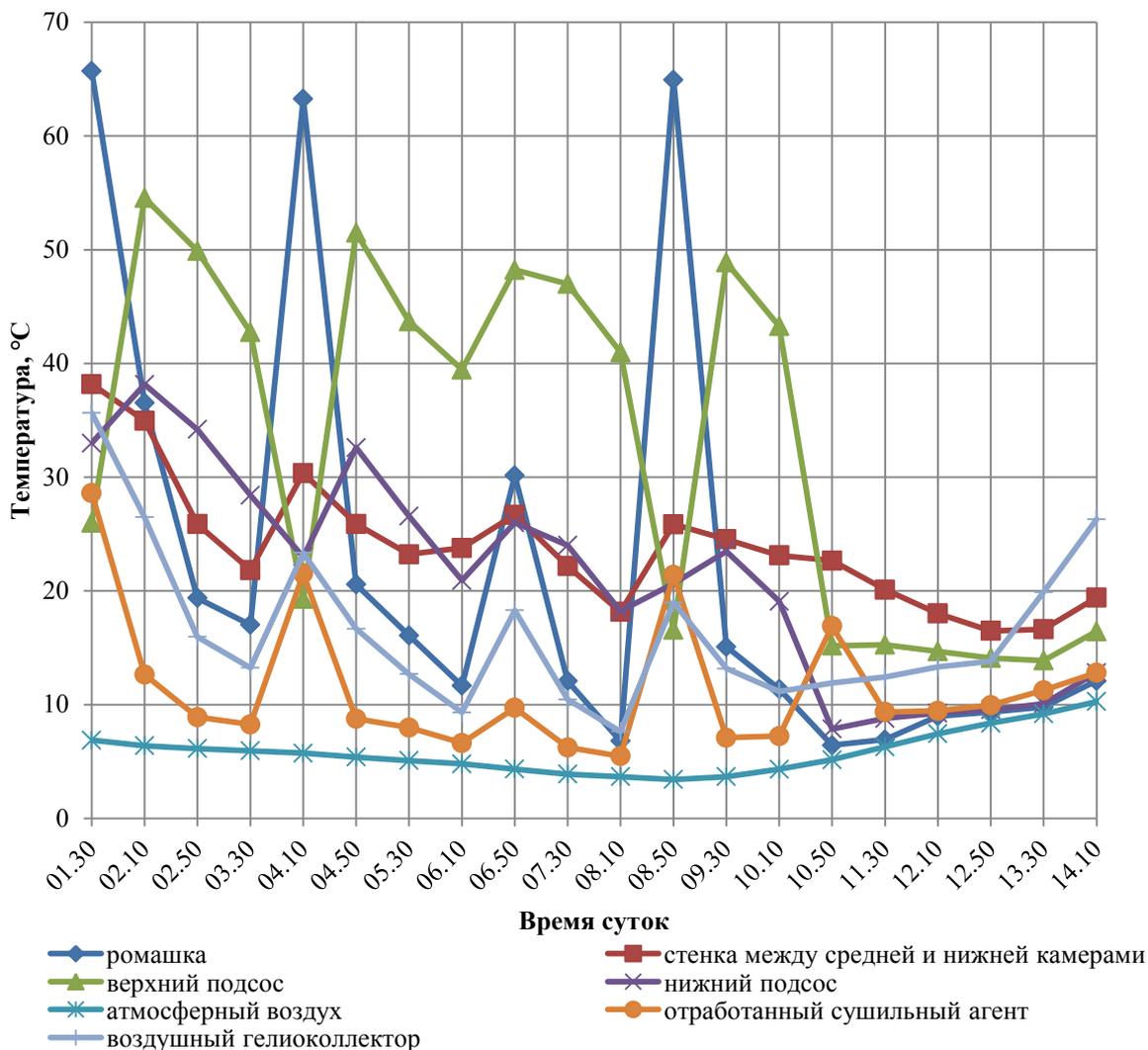


Рис. 7. Изменение температуры сушильного агента при использовании комбинированного теплообменника (окончание опыта)

Исследуемая сушилка имеет следующие технические характеристики: мощность электродвигателя привода нагревательного ротора – 17,5 кВт, частота вращения ротора – 1500 мин⁻¹, наружный диаметр ротора – 700 мм; внутренний диаметр ротора – 550 мм; ширина ротора – 150 мм; число лопаток – 20; рабочий объем сушильной камеры – 3,72 м³, масса загружаемого сырья – 280 кг, выход готового продукта – 13%; регулируемый диапазон температуры в сушильной камере в процессе сушки – от 40 до 80 °С.

В сушильной камере перед нагревательным ротором установлены жалюзи для регулировки его производительности. С помощью жалюзи в форме ромашки на боковой стенке сушилки напротив ротора также можно регулировать расход отработанного сушильного агента, направляемого в теплообменник.

Крыша сушильной камеры является стенкой нижней камеры комбинированного теплообменника, расположенного сверху сушилки в пределах ее габаритных размеров. Средняя камера теплообменника имеет 8 каналов сечением 220x50 мм (рис. 3).

Масса одной загрузки яблок в сушилку составила 280 кг, размещенных на 54 лотках в 3 яруса (рис. 4).

Для фиксирования параметров сушильного агента, окружающей среды, расхода электроэнергии использовали восьмиканальный измеритель-терморегулятор ТРМ-138 с датчиками термосопротивления, 3-х фазный счетчик электрической энергии (рис. 5).

Результаты и их обсуждение

На рис. 6, 7 представлены результаты изменения температуры сушильного агента при использовании теплообменника.

Линия «ромашка» показывает температуру отработанного сушильного агента, подаваемого из сушильной камеры в верхнюю и нижнюю камеры комбинированного теплообменника. Линия «верхний подсос» и «нижний подсос» соответствует температуре подогретого в комбинированном теплообменнике сушильного агента, подаваемого в сушильную камеру с двух ее сторон и на разной высоте относительно уровня пола сушильной камеры. Линия «воздушный гелиоколлектор» показывает температуру воздуха под светопрозрачным покрытием над его тепловоспринимающей поверхностью. Линия «стенка между средней и нижней камерами» соответствует температуре поверхности, разделяющей среднюю и нижнюю камеры теплообменника. Линия «отработанный сушильный агент» показывает температуру отработанного сушильного агента, выходящего из теплообменника в атмосферу.

На рис. 8, 9 представлены результаты изменения температуры сушильного агента без использования теплообменника.

Анализ рис. 6 и 8 показывает, что использование комбинированного теплообменника позволяет повысить температуру поступающего в сушильную камеру сушильного агента в среднем на 20 °С относительно температуры атмосферного воздуха. Это

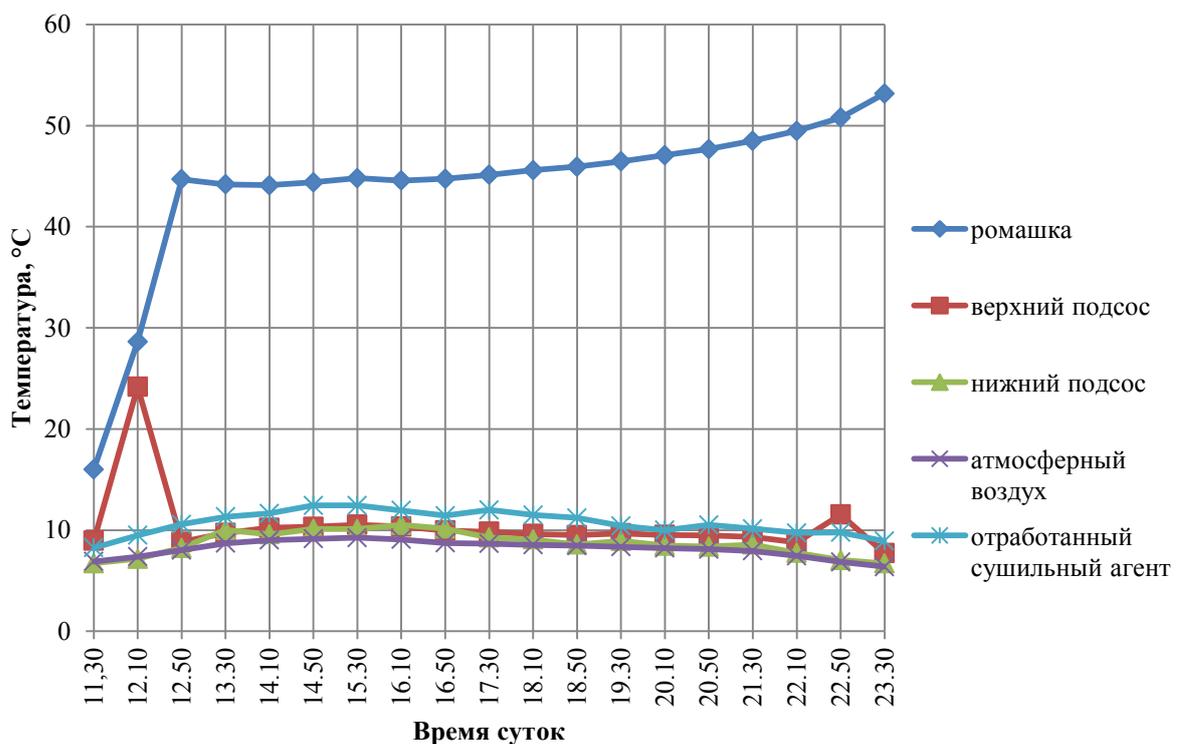


Рис. 8. Изменение температуры сушильного агента без использования комбинированного теплообменника (начало опыта)

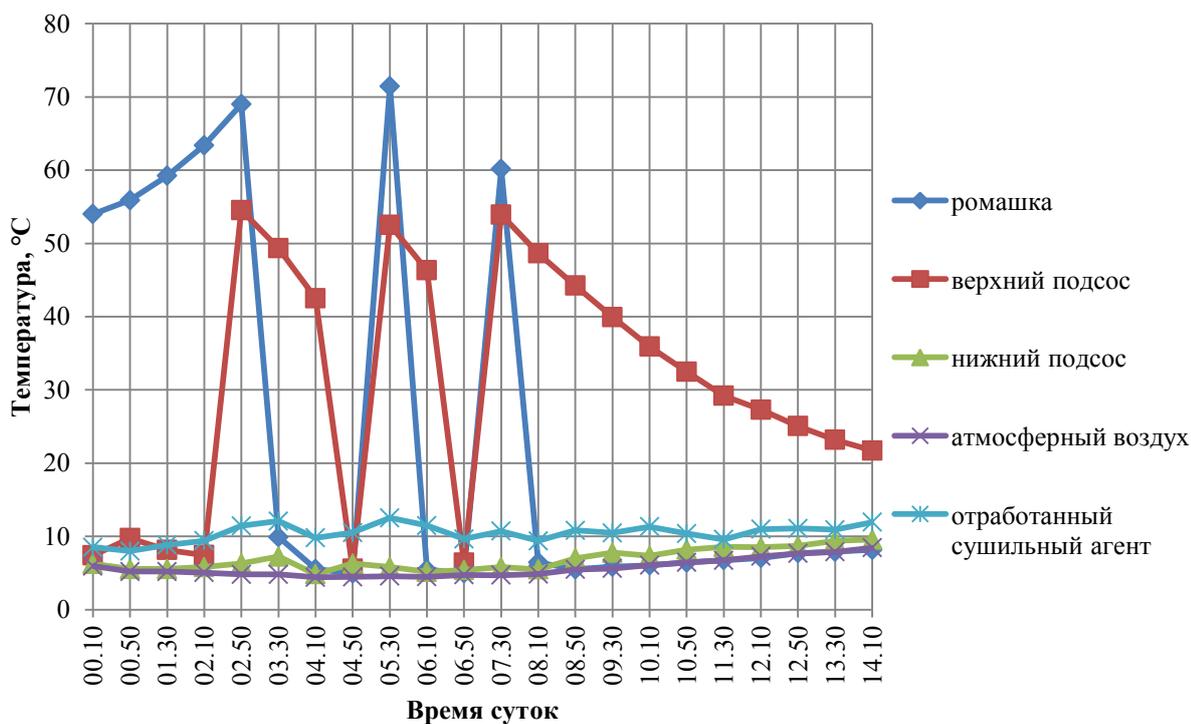


Рис. 9. Изменение температуры сушильного агента без использования комбинированного теплообменника (окончание опыта)

снижает энергозатраты на процесс сушки, ускоряет ее.

Продолжительность сушки при использовании комбинированного теплообменника составила 12 ч 40 мин., без него – 15 ч. 40 мин. Расход электроэнергии при использовании комбинированного теплообменника составил 1 кВт·ч/кг испаренной влаги.

Пиковый характер изменения температуры «ромашки» и других линий в ночное время (рис. 7, 9) связан с отключением и включением нагревательного ротора термостатом.

Выводы

Таким образом, использование комбинированного теплообменника позволит снизить энергоёмкость процесса сушки за счет снижения расхода энергии на подогрев сушильного агента в сушильной камере. При этом на начальном этапе подогрев сушильного агента осуществляется за счет воздушного гелиоколлектора комбинированного теплообменника.

Список литературы

- [1] Ториков В.Е., Евдокименко С.Н., Сазонов Ф.Ф. Перспективы развития садоводства в Брянской области // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. № 5 (51). С. 3-8.
- [2] Результаты сотрудничества ученых Брянского ГАУ и Кокинского опорного пункта ВСТИСП по развитию садоводства / Белоус Н.М., Евдокименко С.Н. // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 1 (65). С. 15-22.
- [3] Ягодные культуры в Центральном регионе России / И.В Казаков, С.Д. Айтжанова, С.Н. Евдокименко, В.Л. Кулагина, Ф.Ф. Сазонов. Брянск, 2009.
- [4] Купреенко А.И. К определению поверхности теплообмена утилизатора теплоты сушилки / А.И. Купреенко, Х.М. Исаев, И.И. Коновалова // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. Сб. науч. работ. Брянск: Изд. Брянского ГАУ. 2016. С. 72-79.
- [5] Сушилка аэродинамического подогрева. / Х.М. Исаев, А.И. Купреенко, И.И. Коновалова // Сельский механизатор, №10, 2016. – С. н.5.-п.19.
- [6] Патент на полезную модель № 161162 РФ, МПК F26B 59/06. Сушилка / Исаев Х.М., Купреенко А.И., Кулипатова И.И. - № 2015108195/06, заявл. 10.03.15; опубл. 23.03.16, Бюл. 10.
- [7] Купреенко, А.И. Модернизированная сушилка / А.И. Купреенко, Х.М. Исаев, И.И. Кулипатова / Научный журнал «Вестник Брянской ГСХА», № 4, 2015. – с. 49-51.
- [8] Патент на полезную модель 192350 РФ, МКИ F26B 9/06; F26B 3/28, F26B 21/04. Сушилка / А.И. Купреенко, Х.М. Исаев, С.Х. Исаев. № 2019103013; заявлено 04.02.19; опубл. 13.09.19, Бюл. № 26.

- [9] Исаев С.Х. Сушильная установка аэродинамического подогрева с утилизатором теплоты / С.Х. Исаев // Современные аспекты развития АПК: труды Всероссийского совета молодых учёных и специалистов аграрных образовательных и научных учреждений. М.: ФГБНУ «Росинформагротех». 2019. С. 60-64.
- [10] Купреенко А.И. Плодово-ягодная сушилка с комбинированным теплообменником / Х.М. Исаев, А.И. Купреенко, С.Х. Исаев // Сельский механизатор. 2020. № 1. С. 16-17.
- [11] Купреенко А.И. Конструкция зернохранилища со встроенной гелиосушильной системой / А.И. Купреенко, Е.М. Байдаков, Х.М. Исаев // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения: сб. науч. работ. Брянск: Изд. БГСХА. 2010. С. 3-8.
- [12] Купреенко А.И. Зерносушильный комплекс на основе альтернативного источника энергии / А.И. Купреенко, Е.М. Байдаков, Х.М. Исаев, А.Н. Ченин // Труды ГОСНИТИ. 2015. Т. 120. С. 49-53.

References

- [1] Torikov V.E., Evdokimenko S.N., Sazonov F.F. Perspektivy razvitiya sadovodstva v Bryanskoj obla-sti // Vestnik Bryanskoj gosudarstvennoy selskohozyaystvennoy akademii. 2015. # 5 (51). S. 3-8.
- [2] Rezultaty sotrudnichestva uchenyih Bryanskogo GAU i Kokinskogo opornogo punkta VSTISP po raz-vitiyu sadovodstva / Belous N.M., Evdokimenko S.N. // Vestnik Bryanskoj gosudarstvennoy selskohozyaystvennoy akademii. 2018. # 1 (65). S. 15-22.
- [3] Yagodnyie kulturyi v Tsentralnom regione Rossii / I.V Kazakov, S.D. Aytzhanova, S.N. Evdokimenko, V.L. Kulagina, F.F. Sazonov. Bryansk, 2009.
- [4] Kupreenko A.I. K opredeleniyu poverhnosti teploobmena utilizatora teploty sushilki /A.I. Kup-reenko, H.M. Isaev, I.I. Konovalova // Konstruirovaniye, ispolzovanie i nadezhnost mashin selskohozyay-stvennogo naznacheniya. Sb. nauch. rabot. Bryansk: Izd. Bryanskogo GAU. 2016. S. 72-79.
- [5] Sushilka aerodinamicheskogo podogreva. / H.M. Isaev, A.I. Kupreenko, I.I. Konovalova // Selskiy mehanizator, #10, 2016. – S. n.5.-p.19.
- [6] Patent na poleznuyu model # 161162 RF, MPK F26B 59/06. Sushilka / Isaev H.M., Kupreenko A.I., Kulipatova I.I. - # 2015108195/06, zayavl. 10.03.15; opubl. 23.03.16, Byul. 10.
- [7] Kupreenko, A.I. Modernizirovannaya sushilka / A.I. Kupreenko, H.M. Isaev, I.I. Kulipatova / Nauchnyiy zhurnal «Vestnik Bryanskoj GSHA», # 4, 2015. – s. 49-51.
- [8] Patent na poleznuyu model 192350 RF, MKI F26B 9/06; F26B 3/28, F26B 21/04. Sushilka / A.I. Kupreenko, H.M. Isaev, S.H. Isaev. # 2019103013; zayavleno 04.02.19; opubl. 13.09.19, Byul. # 26.
- [9] Isaev S.H. Sushilnaya ustanovka aerodinamicheskogo podogreva s utilizatorom teploty / S.H. Isaev // Sovremennyye aspekty razvitiya APK: trudyi Vserossiyskogo soveta molodyih uchYonyih i spetsialistov agrarnyih obrazovatelnyih i nauchnyih uchrezhdeniy. M.: FGBNU «Rosinformagroteh». 2019. S. 60-64.
- [10] Kupreenko A.I. Plodovo-yagodnaya sushilka s kombinirovannyim teploobmennikom / H.M. Isaev, A.I. Kupreenko, S.H. Isaev // Selskiy mehanizator. 2020. # 1. S. 16-17.
- [11] Kupreenko A.I. Konstruktsiya zernohranilischa so vstroennoy geliosushilnoy sistemoy / A.I. Kupreenko, E.M. Baydakov, H.M. Isaev // Konstruirovaniye, ispolzovanie i nadezhnost mashin selskohozyay-stvennogo naznacheniya: sb. nauch. rabot. Bryansk: Izd. BGSXA. 2010. S. 3-8.
- [12] Kupreenko A.I. Zernosushilnyiy kompleks na osnove alternativnogo istochnika energii / A.I. Kupreenko, E.M. Baydakov, H.M. Isaev, A.N. Chenin // Trudyi GOSNITI. 2015. T. 120. S. 49-53.

Сведения об авторах

Information about the authors

<p>Купреенко Алексей Иванович доктор технических наук профессор кафедры «Технологическое оборудование животноводства и перерабатывающих производств» ФГБОУ ВО «Брянский государственный аграрный университет» 243365, Россия, Брянская обл., Выгоничский р-н, с. Кокино, ул. Советская 2а. Тел.: 8(48341) 24-7-59 E-mail: kupreenkoai@mail.ru</p>	<p>Kupreenko Alexey Ivanovich D.Sc. in Technical Sciences professor at the department of «Technological equipment for livestock breeding and processing industries» Bryansk State Agrarian University Phone: 8(48341) 24-7-59 E-mail: kupreenkoai@mail.ru</p>
--	---

<p>Исаев Хафиз Мубариз-оглы кандидат экономических наук заведующий кафедрой «Технологическое оборудование животноводства и перерабатывающих производств» ФГБОУ ВО «Брянский государственный аграрный университет» 243365, Россия, Брянская обл., Выгоничский р-н, с. Кокино, ул. Советская 2а. Тел.: E-mail: kaftogpp@bgsha.com</p>	<p>Isaev Hafiz Mubariz-oglu PhD in Economics head of the department of «Technological equipment for livestock breeding and processing industries» Bryansk State Agrarian University Phone: E-mail: kaftogpp@bgsha.com</p>
<p>Исаев Самир Хафизович ассистент «Технологическое оборудование животноводства и перерабатывающих производств» ФГБОУ ВО «Брянский государственный аграрный университет» 243365, Россия, Брянская обл., Выгоничский р-н, с. Кокино, ул. Советская 2а. Тел.: E-mail: kaftogpp@bgsha.com</p>	<p>Isaev Samir Khafizovich assistant «Technological equipment for livestock breeding and processing industries» Bryansk State Agrarian University Phone: E-mail: kaftogpp@bgsha.com</p>