

Научная статья

УДК 638.142.384.1:66.047.41

DOI 10.48012/1817-5457_2025_4_169-178

РАЗРАБОТКА КОНВЕКЦИОННОЙ ПАСЕЧНОЙ СУШИЛКИ УЛЬЕВЫХ РАМОК

Максимов Николай Михайлович[✉], Попов Александр Викторович

ФГБОУ ВО Великолукская ГСХА, Великие Луки, Россия

max@vgsa.ru

Аннотация. Разработка новых эффективных агрегатов для сушки пчеловодческих продуктов повышает эффективность и рентабельность пчеловодства. Целью исследований явилась разработка и испытание новой конвекционной пасечной сушилки, предназначенной для сушки деревянных ульевых рамок и продуктов пчеловодства. Разработанная конструкция сушилки позволяет работать в циклическом режиме с рециркуляцией сушильного агента внутри сушильной камеры и последующего сброса влажного воздуха в атмосферу. В основе ее конструкции заложена воздухонагнетающая сборка, состоящая из тангенциального вентилятора, диффузора и нагревательного элемента (ТЭНа), смонтированных на съемной раме. Блок автоматического управления пасечной сушилки выполнен на базе контроллера *Arduino*, который осуществляет включение ТЭНа и вентилятора посредством электромагнитных реле. Влажность воздуха внутри сушильной камеры измерялась при помощи двух датчиков *DHT11*, размещенных в нижней и верхней частях сушильной камеры, сигналы с которых передавались на контроллер *Arduino*. В ходе эксперимента были выбраны равные интервалы времени нагрева воздуха (15 минут) и интервалы сброса воздуха из сушильной камеры (2 минуты). Общее время сушки опытной партии ульевых рамок составило 52 минуты. Средняя начальная влажность рамок была 22,0 %, средняя конечная влажность рамок по окончании процесса сушки – 9,8 %, что соответствует требованиям ГОСТ 16588-91 «Пилопродукция и деревянные детали. Методы определения влажности» и позволяет обеспечить хранение рамок на складе. Неравномерность сушки рамок в ходе испытаний не превышала 10 %. Среднее энергопотребление сушилки составило 980 Вт·ч. В качестве материала теплоизоляции наружного корпуса использован экструдированный пенополистирол толщиной 30 мм, закрепленный к стенке камеры на клеевую основу. Результаты показали, что разработанная пасечная сушилка позволяет эффективно сушить деревянные ульевые рамки, извлеченные из паровой воскотопки, для приведения их в пригодное для хранения состояние с производительностью до 10 рамок/час.

Ключевые слова: пчеловодство, пасечная сушилка, сушка продуктов пчеловодства, рамки ульевые, контроллер *Arduino*.

Для цитирования: Максимов Н. М., Попов А. В. Разработка конвекционной пасечной сушилки ульевых рамок // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. №4 (84). С. 169-178. https://doi.org/10.48012/1817-5457_2025_4_169-178.

Актуальность. Сушка продуктов пчеловодства позволяет перевести их в стойкое для хранения состояние и сохранить их ценные питательные свойства [1, 3-6, 8, 9]. Одним из важных технологических процессов в пчеловодстве является переработка пасечного воскосыря и получение воска из ульевых рамок. Переработка пасечного воскосыря с использованием рамочных паровых воскотопок предполагает обработку соторамок водяным паром, что неизбежно влечет за собой насыщение рамок влагой. Такие рамки без проведения сушки будут подвержены порче, так как остатки меда, впитавшиеся в древесину, создают питательную среду для размножения плесени, а впитавшийся в древесину воск создает препятствия для выхода влаги при естественной сушке рамок. Сушка

направлена не только на удаление влаги из рамок, но и на термическую обработку, способствующую уничтожению патогенных микроорганизмов. Повторное использование деревянных ульевых рамок без соответствующей сушки и дезинфекции может привести к распространению заболеваний в пчелиных семьях и ухудшению общего состояния пасеки. Эффективная сушка рамок возможна при поддержании заданной температуры в течение определенного времени. Важно также, чтобы в процессе сушки сохранялась геометрия рамки, не происходило деформации древесины и растрескивания.

На сегодняшний день на пасеках применяются различные подходы к сушке рамок, начиная от естественной сушки на открытом воздухе и заканчивая специализированными

сушильными камерами, оборудованными нагревательными элементами и вентиляцией. Однако уровень механизации и автоматизации этих процессов, особенно на небольших пасеках, остается крайне низким. Качество сушки рамок, выполненное естественным способом, зачастую оказывается недостаточным для их дальнейшего хранения [9].

Наиболее перспективным способом сушки ульевых рамок является использование сушильных камер с принудительным нагревом воздуха внутри камеры и рециркуляцией агента сушки. В пчеловодческой практике получили распространение простейшие сушильные камеры, представляющие собой изолированные деревянные или металлические ящики с установленными внутри нагревательными элементами. В качестве нагревателей могут использоваться лампы накаливания, ТЭНЫ, газовые горелки или дровяные печи. Для улучшения циркуляции воздуха в таких камерах иногда монтируют бытовые вентиляторы. Несмотря на простоту конструкции, подобные камеры позволяют добиться удовлетворительных результатов при сушке рамок, особенно в зимне-весенний период. Однако отсутствие автоматизации и контроля температурно-влажностного режима снижает эффективность и безопасность их использования [8].

Одним из наиболее распространенных решений среди пчеловодов является самодельная сушилка, выполненная на базе старого холодильника. Такая конструкция представляет собой переоборудованный бытовой холодильник, из которого удалены компрессор и полки. Внутреннее пространство используется в качестве сушильной камеры [10]. Для нагрева воздуха внутри устанавливаются один или два ТЭНа общей мощностью от 1 до 2 кВт. В качестве нагревательных элементов пчеловоды нередко используют спирали от электрических плит или промышленные трубчатые электронагреватели. Для равномерной циркуляции воздуха в камере монтируется осевой или центробежный вентилятор мощностью до 50 Вт, чаще всего заимствованный из разных систем вентиляции.

Несмотря на ряд ограничений, такие сушилки активно используются на небольших пасеках благодаря доступности компонентов и возможности самостоятельной сборки с минимальными затратами. Они позволяют проводить обработку рамок в зимне-весенний период, когда атмосферные условия не позволяют применять естественную сушку.

В зарубежной практике встречаются модульные сушильные комплексы, например, производства фирм Lyson (Польша) или Logar Trade (Словения), которые могут включать в себя конструктивные решения по дезинфекции обрабатываемого материала, основанные на генерации озона и подачи его в зону сушки. Стоит отметить, что такие комплексы не получили широкого распространения в России из-за высокой стоимости, трудностей с поставками в условиях санкционных ограничений, а также отсутствия сервисной поддержки и адаптации к условиям эксплуатации на отечественных пасеках [9].

В последние годы предпринимаются попытки внедрения автоматизированных систем управления на базе микроконтроллеров, таких, как Arduino или ESP32. Эти решения позволяют отслеживать температуру и влажность в сушильной камере с помощью цифровых датчиков (например, DHT11, DHT22, AM2320 и др.) и реализовывать алгоритмы управления вентиляцией и нагревом в зависимости от текущих параметров среды [4]. Подключение жидкокристаллического дисплея и кнопок управления обеспечивает пользователю наглядный интерфейс и возможность настройки режимов сушки.

Более перспективной версией управления сушилкой может быть использование беспроводного Wi-Fi-мониторинга, управление сушилкой через смартфон и логирование параметров сушки.

На данный момент не существует серийно выпускаемых пасечных сушилок для пчелиных рамок с микроконтроллерным управлением, что подчеркивает актуальность разработки доступного, надежного и энергоэффективного устройства на базе современных технологий.

Целью исследования является снижение энергозатрат на сушку влажных ульевых рамок и продуктов пчеловодства.

Для достижения поставленной цели следует решить следующие **задачи**:

- разработать пасечную сушилку для сушки ульевых рамок и продуктов пчеловодства, оснащенную системой циркуляции сушильного агента внутри сушилки и системой автоматического управления ее работой.

- провести испытание пасечной сушилки и определить производительность и энергоэффективность разработанной пасечной сушилки, работающей в автоматическом режиме.

Объектом исследований выступает технологоческий процесс переработки пасечного воско-

сырья, ульевые рамки с различной начальной влажностью.

Предметом исследований выступают основные конструктивно-технологические параметры пасечной сушилки, работающей в составе технологической линии по переработке пасечного воскосырья.

Материал и методы исследования. Для решения задачи эффективной подготовки рамок была разработана универсальная пасечная сушилка, которая представляет собой компактную автоматизированную установку, включенную в состав технологической линии (рис. 1). В качестве источника нагрева воскосырья в рассматриваемой линии используется твердотопливный парогенератор, прошедший полевые испытания [13].

Сушилка пасечная в составе технологической линии предназначена для проведения равномерной сушки пчелиных рамок в условиях ограниченных ресурсов, характерных для малых и средних пасек. Ее конструкция проектировалась с учетом требований к мобильности, энергоэффективности, технологичности и надежности.

При разработке сушилки пасечной универсальной учитывался опыт ученых Рязанского ГАТУ им. П. А. Костычева, которые внесли значительный вклад в механизацию пчеловодства [5, 12]. Была разработана универсальная пасечная сушилка, представленная на рисунке 2. Сушилка имеет корпус 1, выполненный из листовой оцинкованной стали, и наружное утепление, выполненное из листов экструдированного пенополистирола (ЭППС) 2 толщиной 30 мм. В передней части имеется дверка, выполненная на петлях для возможности загрузки и извлечения рамок. В задней части внизу располагается крышка-клапан 7, через который происходит сброс влажного воздуха и установка воздухонагревательной сборки, состоящей из вентилятора

9, короба воздушного 10 и ТЭНа 11 для нагрева воздуха.

В нижней части сушильной камеры 3 располагается поддон 12 для сбора упавшего с рамок мусора. На боковой стенке размещается блок реле 14, к которому подводится питание от сети 220 В и который перераспределяет ток на питание ТЭНа и вентилятора. В передней части сушилки закреплена панель, на которой располагается блок Arduino 15 и тумблер включения сушилки 16. Для возможности перемещения сушилки предусмотрены поворотные колеса 13.

Сушилка пасечная универсальная работает следующим образом. Внутрь сушильной камеры 3 загружаются влажные ульевые рамки 4 и при помощи тумблера 16 подается электропитание и включается вентилятор 9 и ТЭН 11. Клапан 7 при этом закрыт и находится в вертикальном положении. Воздух внутри камеры 3 циркулирует по кругу, быстро прогревается и прогревает ульевые рамки, которые начинают отдавать влагу.

По завершении цикла нагрева и сушки рамок посредством сервопривода 8 открывается клапан 7 и сбрасывает влажный воздух в окружающую среду, одновременно с этим запуская порцию холодного воздуха, имеющего низкое влагосодержание. После кратковременного открытия, составляющего от 20 до 40 секунд, клапан 7 закрывается и начинается новый цикл сушки рамок. Значения температуры и влажности воздуха внутри камеры выводятся на электронное табло контроллера Arduino 15.

Был предусмотрен блок управления сушилкой, который состоит из шин 1, реле твердотельное включения ТЭНа на 1 кВт 2, реле твердотельное включения вентилятора 3, преобразователя напряжения с 220 на 12 В и реле включения дополнительного ТЭНа на 0,5 кВт (рис. 3).

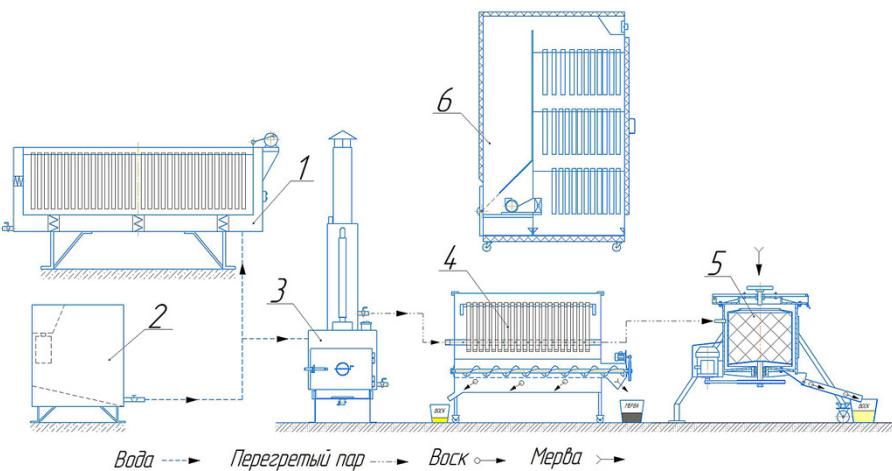


Рисунок 1 – Технологическая схема оборудования по переработке воскосырья:
 1 – бак для вымачивания пчелиных сот; 2 – бак для хранения воды; 3 – парогенератор; 4 – рамочная воскотопка со шнековым транспортером; 5 – воскотопка-центрифуга; 6 – сушилка пасечная

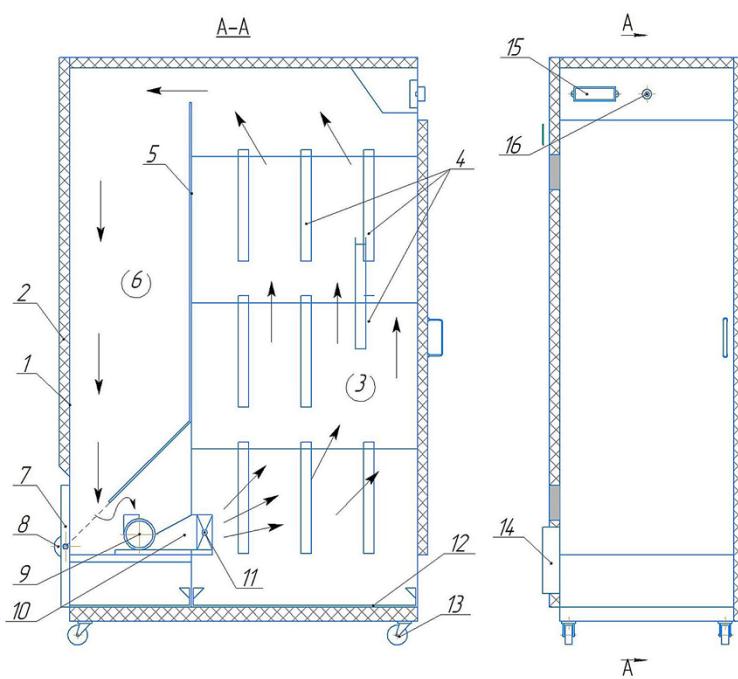


Рисунок 2 – Схема сушильной камеры:
 1 – корпус внутренний;
 2 – утеплитель;
 3 – камера сушильная;
 4 – рамки ульевые;
 5 – перегородка;
 6 – камера рециркуляционная;
 7 – крышка-клапан;
 8 – сервопривод;
 9 – вентилятор;
 10 – короб воздушный;
 11 – ТЭН;
 12 – поддон;
 13 – колесо поворотное;
 14 – блок реле;
 15 – контроллер Arduino;
 16 – тумблер двухпозиционный

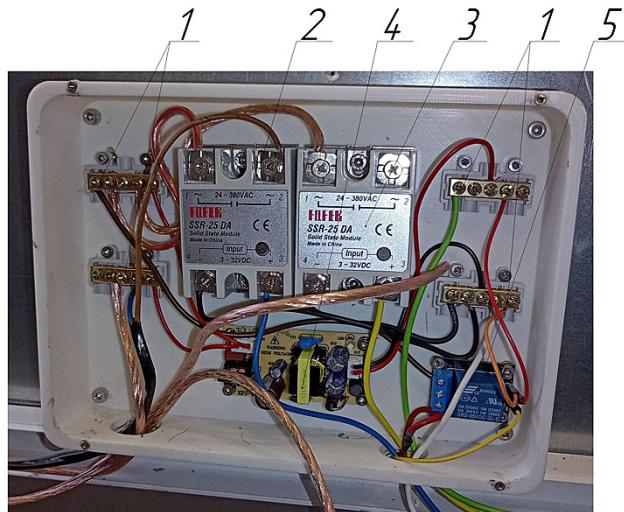


Рисунок 3 – Блок управления пасечной сушилки: 1 – шины; 2 – реле твердотельное включения ТЭНа (1 кВт); 3 – реле твердотельное включения вентилятора; 4 – преобразователь напряжения; 5 – реле включения ТЭНа (0,5 кВт)

К реле подходят питающие провода от сети 220 В и линии управления от контроллера Arduino.

Для создания циркулирующего потока воздуха внутри сушильной камеры была собрана воздухонагнетающая сборка (рис. 4).

Циркуляция воздуха внутри сушильной камеры осуществлялась с использованием тангенциального вентилятора 3, закрепленного на выдвижной раме 1 и сочлененного с ним воздушного короба 4, задачей которого было направить поток на разогретый ТЭН 5 и далее в сушильную камеру. Достоинством данной сборки следует отметить равномерную подачу нагретого воздуха

по всей ширине сушильной камеры. Общий вид воздухонагнетающей сборки представлен на рисунке 4.

Влажность воздуха внутри сушильной камеры измерялась при помощи двух датчиков DHT11, размещенных в нижней и верхней частях сушильной камеры и передающих сигнал на контроллер Arduino. Предел измерения влажности от 20 до 80 %. Напряжение питания датчика от 3 до 5 вольт.

Схема управления сушилкой и ее основные электронные компоненты представлены на рисунке 5. Согласно схеме, в контроллер Arduino поступает информация от датчиков влажности и температуры воздуха внутри сушильной камеры.



Рисунок 4 – Воздухонагнетающая сборка:
 1 – рама;
 2 – электродвигатель;
 3 – тангенциальный вентилятор;
 4 – воздухонаправляющий короб;
 5 – ТЭН

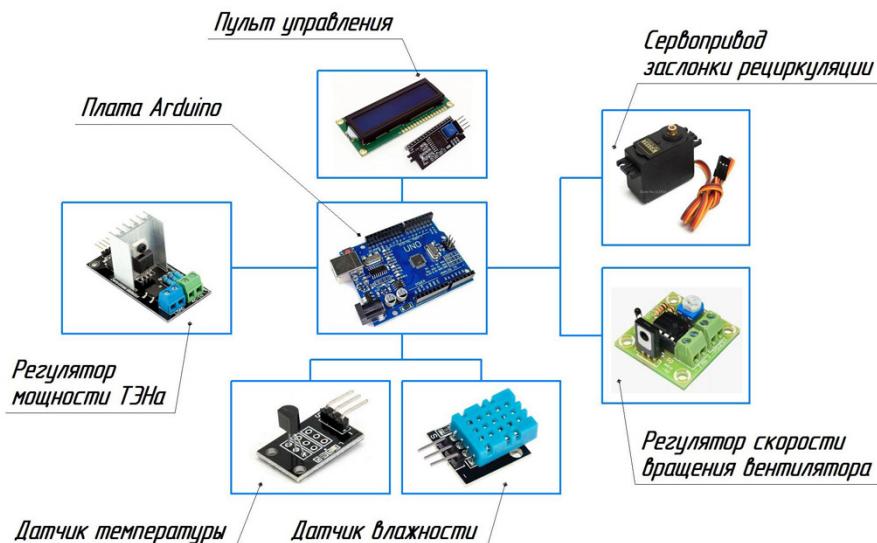


Рисунок 5 – Схема управления сушилкой

Температура нагрева контролируется посредством регулятора мощности ТЭНа. Движение агента сушки осуществляется внутри сушильной камеры по замкнутому контуру. При насыщении воздуха влагой, отдаваемой деревянными рамками, датчик влажности дает сигнал на контроллер Arduino, который посредством сервопривода открывает заслонку рециркуляции, и влажный воздух сбрасывается в атмосферу, а внутрь сушильной камеры поступает свежая порция воздуха из атмосферы, имеющая более низкое влагосодержание по сравнению с насыщенным влагой воздухом внутри камеры.

Для обеспечения эффективной и стабильной работы сушилки для пчелиных рамок в ее составе реализован управляющий алгоритм на базе микроконтроллера Arduino. Алгоритм автоматически регулирует работу нагревательных элементов и вентилятора на основании показаний датчиков температуры и влажности, обеспечивая заданный температурно-влажностный режим сушки [10].

В основу алгоритма положены следующие принципы:

- считывание текущей температуры и влажности с двух цифровых датчиков DHT22: один установлен до ТЭНа, второй – после прохода воздуха через рамки;

- вывод текущей информации о температуре и разнице влажности (дельте) на жидкокристаллический дисплей 16×2 мм;

- управление вентилятором осуществляется через твердотельное реле с ШИМ-регулированием: скорость вентилятора изменяется в зависимости от разницы влажности (ΔH) до и после рамок;

- управление ТЭНами реализовано через два канала: первый 1000 Вт ТЭН включается

через SSR-реле по условию достижения заданной температуры, второй 500 Вт ТЭН управляется через механическое реле при пониженной температуре или для поддержания фона;

- работа системы происходит в реальном времени, без участия оператора, при заданных установках, запрограммированных в скетче контроллера Arduino.

Для проверки корректности и эффективности работы управляющего алгоритма применялась следующая методика:

1. Фиксация начальных условий: температура окружающей среды, влажность, исходная масса рамок.

2. Запуск автоматического режима: микроконтроллер начинает мониторинг входных данных и регулирует нагрев и вентиляцию по заданному алгоритму.

3. Наблюдение за откликом системы, включающей следующие параметры:

- время выхода на заданную температуру в камере, ΔT , мин.;

- стабильность температуры внутри сушильной камеры в течение цикла, Δt ;

- изменение разницы влажности до и после рамок как индикатора степени испарения влаги с ульевых рамок, ΔH , %.

4. Регистрация ключевых параметров:

- частота переключений реле;

- уровень ШИМ на вентилятор;

- цикличность включения/отключения ТЭНов;

5. Завершение цикла и анализ результатов:

- измерение остаточной влажности рамок, H_2 , %;

- визуальная оценка состояния (отсутствие перегрева, равномерность сушки);

— сопоставление энергозатрат (N , кВт) и времени сушки (T , мин.).

Контроль температуры проводился с шагом в 1 °C. ШИМ-регулирование вентилятора менялось пропорционально ΔH : чем выше разница влажности до и после рамок, тем интенсивнее работа вентилятора. Это позволяло адаптировать процесс под динамику испарения влаги.

Управляющий алгоритм оценивался по следующим показателям:

- точность поддержания заданной температуры в камере (± 2 °C);
- динамика изменения влажности ΔH во времени;
- надежность и отказоустойчивость логики включения исполнительных устройств;
- общее время сушки при автоматическом управлении, T , мин.

Все данные заносились в лабораторный журнал. На основании анализа были сделаны выводы о корректности логики управления, и при необходимости в алгоритм вносились корректировки (например, изменение порогов включения ТЭНов или уровней ШИМ).

Результаты и обсуждение. При испытаниях сушилки пасечной были определены рациональные параметры процесса сушки, влияющие на ее производительность, — G , кг/ч.

Работа пасечной сушилки осуществлялась в циклическом режиме. Первый этап — нагрев воздуха внутри сушильной камеры. Второй этап — съем влаги с рамок и насыщение воздуха влагой. Третий этап — сброс влажного воздуха посредством открытия клапана. Внутри сушильной камеры при помощи винтового соединения были установлены датчики контроля температуры и влажности воздушного потока, сигналы с которых поступали на контроллер Arduino.

В процессе эксперимента система запускалась в автоматическом режиме, где Arduino осуществлял управление ТЭНами и вентилятором на основе показаний DHT11.

Для каждой партии ульевых рамок фиксировались:

- температура в сушильной камере (t , °C), с интервалом в 5 минут;
- относительная влажность внутри сушилки, H , %;
- общее время сушки, T , мин.;
- разница массы рамок до и после цикла сушки, Δm , кг;
- наличие визуальных дефектов (потемнение древесины, коробление, следы перегрева и др.);
- энергопотребление, N , кВт.

Эксперименты проводились при различных режимах нагрева воздуха внутри камеры, в интервале от 35 до 60 °C, и различной интенсивности вращения вентилятора в интервале от 500 до 1000 мин⁻¹, которые задавались перед началом эксперимента. Количество загруженных ульевых рамок во время эксперимента составляло 9 шт. Максимальная загрузка рамок в сушильную камеру — 30 шт. Повторяемость каждого режима обеспечивалась трехкратным воспроизведением, что позволило в дальнейшем получить достоверные данные. Все полученные результаты заносились в лабораторный журнал.

Энергопотребление системы измерялось при помощи многофункционального цифрового измерителя мощности DDS6619 230M, что позволило оценить затраты энергии на один цикл сушки. Влажность ульевых рамок фиксировалась цифровым влагомером EMT01. Масса рамок до и после сушки определялась цифровым безменом «Штрих-М E-Scale 45» с максимальной нагрузкой 10 кг.

По результатам проведенных испытаний были получены экспериментальные данные. Было установлено, что величина влагосъема ΔW , % варьирует в пределах от 12 до 18 % в зависимости от начальной влажности рамок, плотности загрузки рамок в сушильную камеру и режимных параметров процесса сушки. Время сушки ульевых рамок, при котором происходило выведение влаги из дерева до кондиционной влажности, составляло от 50 до 120 минут, в зависимости от начальной влажности рамок.

Производительность пасечной сушилки по количеству высушенных рамок составила до 10 рамок за 1 час работы сушилки. Преимуществом разработанной пасечной сушилки явилось то, что утепление стенок сушилки обеспечивает быстрый прогрев сушильной камеры и выход на установившийся температурный режим. В установившемся режиме работы сушилки достигается минимальное энергопотребление сушилки на уровне 390 Вт · ч. Среднее энергопотребление сушилки составило 980 Вт · ч.

Циклы работы сушилки, полученные в ходе первичных испытаний, можно представить в виде графика, на котором показана зависимость относительной влажности воздуха (H , %) внутри камеры от времени сушки рамок (T , мин.) (рис. 6).

В ходе эксперимента были выбраны равные интервалы времени нагрева воздуха, составляющие по 15 минут, и интервалы сброса воздуха из сушильной камеры, составившие 2 минуты.

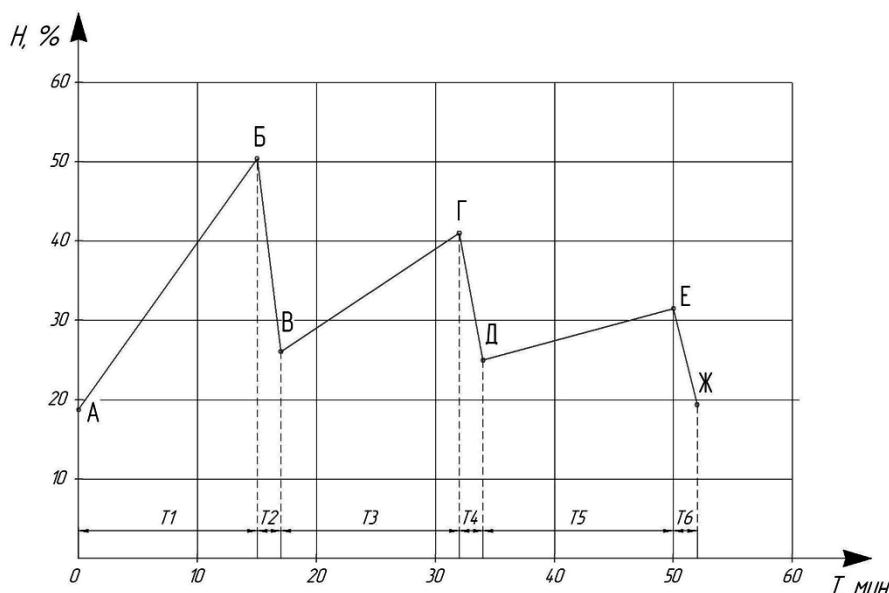


Рисунок 6 –
Зависимость
относительной
влажности воздуха
(H, %) от времени
сушки рамок (T, мин.)

На графике отрезками А-Б, В-Г и Д-Е отмечены циклы нагрева воздуха внутри сушильной камеры. Отрезками Б-В, Г-Д и Е-Ж отмечены циклы сброса влажного воздуха из сушильной камеры. По мере удаления влажности из рамок конечная влажность воздуха внутри камеры уменьшается с 51,3 % (в первом цикле сушки) до 25,1 % (в третьем цикле сушки).

Общее время сушки опытной партии ульевых рамок составило 52 минуты. Средняя начальная влажность рамок составила 22 %. Средняя конечная влажность рамок по окончании процесса сушки составила 9,8 %, что соответствует требованиям ГОСТ 16588-91 «Пилопродукция и деревянные детали». Методы определения влажности и позволяет обеспечить хранение рамок на складе. Неравномерность сушки рамок в ходе испытаний не превышала 10 %.

Испытания пасечной сушилки предполагали тепловизионный контроль нагрева наружных стенок корпуса с целью выявления тепловых потерь и равномерности прогрева сушильной камеры. Для этого был использован портативный тепловизор с возможностью сохранения снимков на карту памяти [11]. В качестве материала теплоизоляции наружного корпуса использован ЭППС толщиной 30 мм, закрепленный к стенке на клеевую основу. Полученные данные тепловизионного контроля дают основание полагать, что корпус сушилки не имеет явных утечек тепла и утеплителя достаточно, чтобы обеспечить процесс сушки ульевых рамок с минимальными теплопотерями.

Проведенные производственные испытания конвекционной пасечной сушилки для сушки ульевых рамок позволили получить основные

технические характеристики, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики конвекционной пасечной сушилки

Параметр	Единица измерения	Значение
Габаритные размеры	Д x Ш x В, мм	1000x500x1000
Напряжение питания	U, В	220
Потребляемая электрическая мощность	Н, Вт	500...1500
Рабочая температура сушильного агента	t, °C	40...70
Номинальная частота вращения вентилятора	n, мин ⁻¹	1000
Производительность	Г, рамок/час	10

Выводы:

1. Была разработана и испытана конструкция конвекционной пасечной сушилки для сушки рамок и продуктов пчеловодства, выполненная на контроллере Arduino и работающая от сети 220 В. Для контроля процесса сушки рамок использовались датчики температуры и влажности, размещенные внутри сушильной камеры.

2. Испытания показали, что среднее энергопотребление сушилки составляет 980 Вт·ч. Средняя конечная влажность рамок по окончании процесса сушки составила 9,8 %, что соответствует требованиям ГОСТ 16588-91 «Пилопродукция и деревянные детали». Методы определения влажности. Производительность сушилки составила до 10 рамок/час при средней начальной влажности 22,0 %.

Список источников

1. Бышов Н. В., Каширин Д. Е. Модернизированная энергосберегающая установка для сушки перги // Техника в сельском хозяйстве. 2012. № 1. С. 26-27. EDN XEYXBT.
2. Бышов Д. Н., Каширин Д. Е., Павлов В. В. Анализ перспективных направлений повышения качества и выхода сортового пчелиного воска // Технологические новации как фактор устойчивого и эффективного развития современного агропромышленного комплекса: материалы Нац. науч.-практ. конф., Рязань, 20 ноября 2020 г. Том Часть II. Рязань: Рязань гос. агротехнол. ун-т им. П. А. Костычева, 2020. С. 77-81. EDN FAYRYT.
3. Виноградов А. Н., Халиуллин Д. Т., Хусаинов Р. Р. Инновационные технологии в растениеводстве и животноводстве // Научное сопровождение технологий агропромышленного комплекса: теория, практика, инновации: науч. тр. I Междунар. науч.-практ. конф., Казань, 06–07 февр. 2020 г. Казань: Казань гос. аграр. ун-т, 2020. С. 255-258. EDN CYJQWZ.
4. Волхонов М. С., Коваленко Р. М., Зимин И. Б. Система управления рециркуляцией агента сушки в аэродинамической сушилке // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 2(82). С. 153-160. DOI 10.48012/1817-5457_2025_2_153-160. EDN IUDRUZ.
5. Исследование процесса вакуумной инфракрасной сушки перги / Д. Е. Каширин [и др.] // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2017. № 3. С. 168-173. EDN PINRJR.
6. Исследование процесса получения воска из воскового сырья различного качества / Н. В. Бышов [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2015. № 6(105). С. 145-149. EDN UDTMEL.
7. К вопросу разработки методики оценки сушильных установок с применением тепловизора / В. М. Попов [и др.] // Актуальные вопросы агротехнологии: теория и практика: материалы Нац. (Всерос.) науч. конф. Ин-та агротехнологии, Челябинск, 06–09 дек. 2022 г. / Под ред. Н. С. Низамутдиновой. Челябинск: Южно-Уральский гос. аграр. ун-т, 2022. С. 244-251. EDN JYPTGA.
8. Классификация и направления совершенствования передвижных зерновых сушилок / М. С. Волхонов [и др.] // Аграрный вестник Верхневолжья. 2021. № 3(36). С. 53-62. DOI 10.35523/2307-5872-2021-36-3-53-62. EDN KNLALA.
9. Максимов Н. М. Предпосылки к разработке универсальной пасечной сушилки // Развитие агропромышленного комплекса на основе современных научных достижений и цифровых технологий: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Великие Луки, 29 ноября 2022 г. Великие Луки: Великолук. гос. с.-х. акад., 2022. С. 75-78. EDN WQUYGL.
10. Попов А. В., Максимов Н. М. Анализ сушильных установок, применяемых в пчеловодстве // Актуальные проблемы интенсивного развития в АПК: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посв. Дню работника с.-х. и перераб. пром-ти, Великие Луки, 10–12 окт. 2023 г. Великие Луки: Великолук. гос. с.-х. акад., 2023. С. 112-118. EDN CKXSET.
11. Попов А. В., Максимов Н. М. Описание конструкции и принципа работы универсальной пасечной сушилки // Сельскохозяйственные науки: вопросы и тенденции развития: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Великие Луки, 20 дек. 2023 г. Великие Луки: Великолук. гос. с.-х. акад., 2023. С. 254-259. EDN VUHJEN.
12. Патент № 2578782 С1 Российская Федерация, МПК F26B 9/06. Установка для сушки перги: № 2015109205/06 : заявл. 16.03.2015 : опубл. 27.03.2016 / Д. Е. Каширин [и др.]; заявитель ФГБОУ ВПО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева» (ФГБОУ ВПО РГАТУ). EDN KYOTBV.
13. Патент на полезную модель № 232561 U1 Российская Федерация, МПК F24C 1/00, A01K 59/06. парогенератор твердотопливный: заявл. 06.08.2024: опубл. 13.03.2025 / Н. М. Максимов; заявитель ФГБОУ ВО «Великолукская государственная сельскохозяйственная академия». EDN WLUVUV.

References

1. By'shov N. V., Kashirin D. E. Modernizirovannaya energosberegayushhaya ustanovka dlya sushki pergi // Teknika v sel'skom khozyajstve. 2012. № 1. S. 26-27. EDN XEYXBT.
2. By'shov D. N., Kashirin D. E., Pavlov V. V. Analiz perspektivnyx napravlenij povy'sheniya kachestva i vy'xoda sortovogo pchelinogo voska // Texnologicheskie novacii kak faktor ustoichivogo i effektivnogo razvitiya sovremenennogo agropromy'shennogo kompleksa: materialy' Nacz. nauch.-prakt. konf., Ryazan', 20 noyab. 2020 g. Tom Chast' II. Ryazan': Ryazan' gos. agrotexnol. un-t im. P. A. Kosty'cheva, 2020. S. 77-81. EDN FAYRYT.
3. Vinogradov A. N., Xaliullin D. T., Xusainov R. R. Innovacionnye texnologii v rastenievodstve i zhivotnovodstve // Nauchnoe soprovozhdenie texnologij agropromy'shennogo kompleksa: teoriya, praktika, innovacii: nauch. tr. I Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., Kazan', 06–07 fevr. 2020 g. Kazan': Kazan' gos. agrar. un-t, 2020. S. 255-258. EDN CYJQWZ.
4. Volxonov M. S., Kovalenko R. M., Zimin I. B. Sistema upravleniya recirkulyacij agenta sushki v aërodinamicheskoy sushilke // Vestnik Izhevskoj gosudarstvennoj sel'skoxozyajstvennoj akademii. 2025. № 2(82). S. 153-160. DOI 10.48012/1817-5457_2025_2_153-160. EDN IUDRUZ.
5. Issledovanie processa vakuumnoj infrafkrasnoj sushki pergi/ D. E. Kashirin [i dr.] // Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2017. № 3. S. 168-173. EDN PINRJR.
6. Issledovanie processa polucheniya voska iz voskovogo sy'ya razlichnogo kachestva / N. V. By'shov [i dr.] // Vestnik KrasGAU. 2015. № 6(105). S. 145-149. EDN UDTMEL.

7. K voprosu razrabotki metodiki ocenki sushil'nyx ustyanovok s primeneniem teplovizora / V. M. Popov [i dr.] // Aktual'nye voprosy agroinzhenernyx nauk v sfere texnicheskogo servisa mashin i e`nergetiki: teoriya i praktika: materialy Nacz. (Vseros.) nauch. konf. In-ta agroinzhenerii, Chelyabinsk, 06–09 dek. 2022 g. / Pod red. N. S. Nizamutdinovoj. Chelyabinsk: Yuzhno-Ural'skij gos. agrar. un-t, 2022. S. 244-251. EDN JYPTGA.

8. Klassifikaciya i napravleniya sovershenstvovaniya peredvizhnyx zernovyx sushilok / M. S. Volxonov [i dr.] // Agrarnyj vestnik Verxnevolzh'ya. 2021. № 3(36). S. 53-62. DOI 10.35523/2307-5872-2021-36-3-53-62. EDN KNLALA.

9. Maksimov N. M. Predposy'ki k razrabotke universal'noj pasechnoj sushilki // Razvitiye agropromyshlennogo kompleksa na osnove sovremennoj nauchnoj dostiженij i cifrovych texnologij: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., Velikie Luki, 29 noyab. 2022 g. Velikie Luki: Velikoluk. gos. s.-x. akad., 2022. S. 75-78. EDN WQUYGL.

10. Popov A. V., Maksimov N. M. Analiz sushil'nyx ustyanovok, primenyaemyx v pchelovodstve // Aktual'nye problemy intensivnogo razvitiya v APK: materialy

Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posv. Dnyu rabotnika s.-x. i pererab. prom-ti, Velikie Luki, 10–12 okt. 2023 g. Velikie Luki: Velikoluk. gos. s.-x. akad., 2023. S. 112-118. EDN CKXSET.

11. Popov A. V., Maksimov N. M. Opisanie konstrukcii i principa raboty universal'noj pasechnoj sushilki // Sel'skoxozyajstvennye nauki: voprosy i tendencii razvitiya: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., Velikie Luki, 20 dek. 2023 g. Velikie Luki: Velikoluk. gos. s.-x. akad., 2023. S. 254-259. EDN VUHJEH.

12. Patent № 2578782 C1 Rossijskaya Federaciya, MPK F26B 9/06. Ustanovka dlya sushki pergi: № 2015109205/06 : zayavl. 16.03.2015 : opubl. 27.03.2016 / D. E. Kashirin [i dr.]; zayavitel' FGBOU VPO «Ryazanskij gosudarstvennyj agrotexnologicheskij universitet imeni P. A. Kosty'cheva» (FGBOU VPO RGATU). EDN KYOTBB.

13. Patent na poleznyu model' № 232561 U1 Rossijskaya Federaciya, MPK F24C 1/00, A01K 59/06. parogenerator tverdotoplivnyj: zayavl. 06.08.2024: opubl. 13.03.2025 / N. M. Maksimov; zayavitel' FGBOU VO «Velikolukskaya gosudarstvennaya sel'skoxozyajstvennaya akademiya». EDN WLUVUVW.

Сведения об авторах:

Н. М. Максимов✉, кандидат технических наук, доцент, <https://orcid.org/0000-0001-6671-7424>;

А. В. Попов, магистр

ФГБОУ ВО Великолукская ГСХА, 182112, Россия, Великие Луки, пр. Ленина, 2

max@vgsa.ru

Original article

DEVELOPMENT OF A CONVECTION APIARY DRYER FOR HIVE FRAMES

Nikolaj M. Maksimov✉, **Aleksandr V. Popov**

Velikiye Luki State Agricultural Academy, Velikiye Luki, Russia

max@vgsa.ru

Abstract. The development of new efficient units for drying beekeeping products increases the efficiency and profitability in beekeeping. The purpose of the research was to develop and test a new convection apiary dryer, designed for drying wooden hive frames and beekeeping products. The design of the developed dryer allows for cyclic operation, recycling the drying agent within the chamber and then expelling moist air into the atmosphere. The design is based on an air-pumping system consisting of a tangential fan, a diffuser, and a heating element (heating coil) mounted on a removable frame. The automatic control unit of the apiary dryer is based on an Arduino controller, which activates the heating coil and fan using electromagnetic relays. The air humidity inside the drying chamber was measured using two DHT 11 sensors placed at the bottom and top of the drying chamber, and the signals were transmitted to the Arduino controller. During the experiment, equal intervals of air heating time were selected, each lasting 15 minutes, and the intervals of air release from the drying chamber were set at 2 minutes. The total drying time for the experimental batch of hive frames was 52 minutes. The average initial moisture of the frames was 22.0 %. The average final moisture content of the frames at the end of the drying process was 9.8 %, which meets the requirements of the National State Standard – GOST 16588-91 "Sawn timber and wooden parts. Methods for determining moisture" and allows for the storage of frames in a warehouse. Frames dried unevenly during the tests, with variations not exceeding 10 %. The average power consumption of the dryer was 980 watt-hour. Thirty-millimeter-thick extruded polystyrene foam, attached to the chamber wall with the adhesive, served as the thermal insulation for the outer casing. The research results have revealed that the innovative apiary dryer effectively dries wooden hive frames removed from a steam wax extractor, preparing them for storage at a rate of up to 10 frames per hour.

Key words: beekeeping, apiary dryer, drying of beekeeping products, hive frames, Arduino controller.

For citation: Maksimov N. M., Popov A. V. Development of a convection apiary dryer for hive frames. The Bulletin of Izhevsk State Agricultural Academy. 2025; 4 (84): 169-178. (In Russ.). https://doi.org/10.48012/1817-5457_2025_4_169-178.

Authors:

N. M. Maksimov✉, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, <https://orcid.org/0000-0001-6671-7424>;
A. V. Popov, Master degree
 Velikiye Luki State Agricultural Academy, 2 Prospekt Lenina St., Velikiye Luki, Russia, 182112
 max@vgsa.ru

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare that they have no conflict of interests.

Статья поступила в редакцию 24.09.2025; одобрена после рецензирования 13.10.2025;
 принята к публикации 01.12.2025.

The article was submitted 24.09.2025; approved after reviewing 13.10.2025; accepted for publication 01.12.2025.

Научная статья

УДК 631.331.024.2/3

DOI 10.48012/1817-5457_2025_4_178-184

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СОШНИКОВ СЕЯЛКИ PRIMERA DMC 9000 И ОЦЕНКА ИХ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ

Первушин Владимир Федорович✉, **Ипатов Алексей Геннадьевич**,
Костин Александр Владимирович, **Касимов Николай Гайсович**,
Салимзянов Марат Зуфарович

Удмуртский ГАУ. Ижевск, Россия

pervushin54@mail.ru

Аннотация. Цель исследований – импортозамещение сошника сеялки *Primera DMC 9000* при сохранении его износостойкости и эксплуатационного ресурса. В статье на основании данных исследований и полевых испытаний 2024 и 2025 гг. описываются два направления изготовления сошников. Первым направлением является изготовление сошников из листового проката (сталь 65Г) методом лазерной резки с поверхностью закалкой рабочей поверхности. Второе направление предполагает изготовление сошников с наплавленным слоем фронтальной рабочей поверхности износостойким электродом Т-590 с содержанием сорбита. Полевые испытания проводились в условиях СХПК-колхоз «Заря» Можгинского района Удмуртской Республики на машинно-тракторном агрегате в составе колесного трактора К-744 «Кировец» и сеялки *Primera DMC 9000*, а также в условиях СХПК-колхоз «Луч» Вавожского района Удмуртской Республики на машинно-тракторном агрегате в составе колесного трактора «Беларус-3023» и сеялки *Primera DMC 9000*. Контрольная наработка на одну сеялку была принята 500 га. По результатам исследований установлено, что износ сошников увеличивает тяговое сопротивление и расход топлива. По весовому и линейному износу получены следующие данные: эксплуатационный ресурс сошников, изготовленных с наплавленным слоем электродами Т-590, выше, чем сошников, изготовленных с поверхностью закалкой. Изнашиванию подвергается как фронтальная поверхность сошника, так и боковые утолщения, причем с различной интенсивностью. Износ носка сошника увеличивает тяговое сопротивление и расход топлива. Износ боковой поверхности и боковых утолщений изменяет параметры посевного ложа для заделки семян, а именно уменьшается ширина посевной полосы, которая влияет на качество внесения удобрений и химикатов, что снижает урожайность сельскохозяйственных культур. Износ фронтальной поверхности сошника, расположенного выше износостойкой пластины, приводит к сгруживанию растительного материала и нарушению параметров заделки семян.

Ключевые слова: сеялка, анкерный сошник, эксплуатационный ресурс, наработка, пайка.

Для цитирования: Технология изготовления сошников сеялки *Primera DMC 9000* и оценка их износостойкости / В. Ф. Первушин, А. Г. Ипатов, А. В. Костин [и др.] // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 4 (84). С. 178-184. https://doi.org/10.48012/1817-5457_2025_4_178-184.

Актуальность. Интенсивный износ рабочих органов почвообрабатывающих и посевных машин является общей проблемой для всех

сельхозтоваропроизводителей. Самыми распространенными рабочими органами современных посевных машин в настоящее время