

**УТВЕРЖДАЮ**

Зам. директора ФГБНУ ФНАЦ ВИМ

кандидат технических наук

Александр Вячеславович Соколов



2026 г.

### **ОТЗЫВ**

ведущей организации - федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ) на диссертационную работу Купреенко Олега Алексеевича «Обоснование параметров модульной сушилки аэродинамического нагрева для зерна», представленную к защите в диссертационный совет 35.2.031.01 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки).

#### **Актуальность темы исследования**

Обеспечение продовольственной безопасности страны связано не только с ростом объемов производства сельскохозяйственной продукции, но и с обеспечением ее сохранности в условиях ограниченного времени послеуборочной обработки и недостатком техники для ее осуществления.

Зерновые культуры представляют собой основу сельскохозяйственной продукции как для обеспечения питания собственного населения и производства различных кормов, так и в качестве экспортного продукта. При этом сушка, являющаяся одной из первоочередных технологических операций послеуборочной обработки зерна, является одним из наиболее энергозатратных процессов.

Современной тенденцией сельскохозяйственного производства является использование многофункциональных, модульных машин, обеспечивающих выполнение ряда технологических операций за один проход агрегата, либо имеющих возможность обработки различных видов сырья. Таким образом, расширение функциональных возможностей существующего оборудования, ведущее к увеличению его годовой загрузки на основе создания модульной сушилки аэродинамического нагрева с режимами камерной и непрерывной сушки за счет использования дополнительного модуля в виде сушильной шахты для зерна является актуальной задачей.

**Значимость полученных автором диссертации результатов для развития науки в инженерной сфере АПК**

**Научная новизна** данного исследования состоит в обосновании двухконтурной схемы циркуляции сушильного агента в модульной сушилке аэродинамического нагрева.

**Теоретическая значимость** исследования заключается в полученных аналитических зависимостях, позволяющих определить основные параметры дополнительного модуля аэродинамического нагрева для режима сушки семенного зерна.

**Практическая значимость** работы заключается в получении обоснованных параметров дополнительного модуля сушилки аэродинамического нагрева для зерна.

**Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационного исследования**

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационного исследования основаны на практических и теоретических разработках автора и направлены на расширение функциональных возможностей существующего оборудования аэродинамического нагрева для увеличения его годовой загрузки и реализации энергоэффективных режимов обработки материала.

Модульная сушилка аэродинамического нагрева успешно прошла проверку в производственных условиях учхоза Брянского ГАУ. Материалы исследования, рабочие чертежи дополнительного модуля переданы в ООО «ОКБ по теплогенераторам» г. Брянск.

**Оценка содержания диссертации, ее завершенность в целом и замечания по ее оформлению**

Диссертационная работа представлена введением, пятью главами, заключением, списком литературы из 117 наименований и приложения. Работа изложена на 156 страницах, содержит 3 таблицы, 102 рисунка и 5 приложений.

**Во введении** обоснованы актуальность темы исследования и описана степень ее разработанности, поставлены цель и задачи исследований, раскрыты методология и методы исследований, приведены научная новизна, теоретическая и практическая значимости работы, основные положения диссертации, выносимые на защиту, отражены сходимость теоретических и экспериментальных исследований и апробация результатов исследования.

**В первой главе «Анализ направления исследования»** дан анализ способов и технических средств нагрева сушильного агента, отмечены перспективы использования модульной сушилки аэродинамического нагрева для сушки зерна и возникающие при этом трудности, связанные с нахождением баланса между объемами сбрасываемого увлажненного сушильного агента и подсасываемого свежего воздуха, не ухудшающими температурно-влажностный режим сушки. Установлено, что по совокупности параметров наиболее подходящим типом дополнительного модуля для сушилки аэродинамического нагрева является сушильная шахта.

**Во второй главе «Теоретическое обоснование параметров модульной сушилки аэродинамического нагрева»** обоснована конструктивно-технологическая схема модульной сушилки.

В предлагаемой схеме используется двухконтурная рециркуляции сушильного агента с внешним и внутренним контурами, соединяющими

дополнительный модуль с базовым. Пневмотранспортирование зерна осуществляется за счет отбора части сушильного агента из рабочей камеры ротора-нагревателя. Получено дифференциальное уравнение, определяющее взаимосвязь температуры сушильного агента в процессе сушки с конструктивными и режимными параметрами сушилки. Определен коэффициент рециркуляции отработанного сушильного агента в зависимости от начального и конечного влагосодержания сушильного агента. Получено выражение баланса воздушных потоков в сушилке.

В третьей главе *«Подготовка экспериментальной части исследований»* представлены программа и методика экспериментальных исследований, позволяющие получить необходимые данные для подтверждения теоретических положений диссертационной работы, вид и описание экспериментальных установок, методы обработки полученных данных. Представлена методика экспериментальных исследований модульной сушилки аэродинамического нагрева. В ходе экспериментальных исследований определялись физико-механические свойства зерна пшеницы сорта «Московская-39», проводились исследования сушилки аэродинамического нагрева с дополнительным модулем при организации двухконтурной циркуляции сушильного агента. Для определения продолжительности процесса сушки использовано планирование эксперимента типа с уровнями факторов: влажность зерна  $\omega_3 = 16; 18; 20 \%$ ; температура сушильного агента  $T_3 = 50; 55; 60 \text{ }^\circ\text{C}$ .

В четвертой главе *«Результаты экспериментальных исследований»* приведены результаты исследования модульной сушилки в режимах сушки зерна: без рециркуляции сушильного агента, при его одноконтурной и двухконтурной рециркуляции.

Установлено, что с ростом температуры сушильного агента и понижением влажности зерна продолжительность сушки снижается. При этом в продолжительность сушки входит время прогрева самой сушилки, которое составляет порядка 20 мин до набора температуры сушильного

агента в пределах 45°C. Исследование модульной сушилки в производственных условиях были проведены на базе учхоза Брянского ГАУ.

В режиме двухконтурной рециркуляции сушке подвергалось зерно пшеницы средней влажностью 18 % в количестве 450 кг. Вначале в течение 10 минут производился разогрев сушильного агента при его рециркуляции только по внутреннему контуру до температуры 40 °С. При этом сушильный агент в сушильную шахту не поступал. Затем подключался внешний контур рециркуляции с подачей сушильного агента в сушильную шахту.

Установлено, что при организации двухконтурной рециркуляции отработанного сушильного агента температура его нагрева достигает 53...60 °С. Коэффициент рециркуляции в процессе сушки меняется незначительно, имея тенденцию некоторого уменьшения к концу процесса, и составляет в среднем 3,8. При этом, максимальная температура нагрева зерна составляет 35...40°C, а максимальная скорость сушки составила 2 %/ч. После выгрузки зерна его влажность составила 13,5...13,8 %, что соответствует уровню кондиционной влажности пшеницы.

В пятой главе *«Технико-экономическая оценка модульной сушилки аэродинамического нагрева»* приведены результаты оценки модульной сушилки аэродинамического нагрева по критерию прямых эксплуатационных затрат на процесс, которые показали, что в сравнении с использованием сушилки АТМ-10 они снижаются на 537 руб./т или 24 %. Срок окупаемости капитальных вложений определяется временем сушки 727 т зерна в модульной сушилке.

**Заключение** работы включает результаты проведенных исследований, рекомендации производству, а также перспективы дальнейших исследований в данной области.

#### **Замечания по диссертационной работе**

1. Актуальность работы не в полной мере отражает энергоемкость сушки зерна, степень совершенства существующего оборудования, объемы собираемого урожая, потребность в оборудовании для сушки и хранения

зерна и т.д.

2. В первой главе работы не обоснован критерий эффективности сушильного оборудования, не приведена сравнительная таблица характеристик рассмотренных технологий сушки и установок для обоснования необходимости совершенствования данного процесса.

3. На рисунке 1 автореферата представлена сушильная камера для сушки плодово-ягодного сырья и одновременно сушильная шахта для зерна. Из текста автореферата не ясно, сушилка предназначена для зерна, ягодной продукции или сочетает в себе возможность сушки и ягодной продукции и зерна.

4. Не понятно, почему температура сушильного агента  $5,6^{\circ}\text{C}$ ? В какое время года проводился эксперимент? Сравнивались ли температуры  $52,34^{\circ}\text{C}$  и  $52,16^{\circ}\text{C}$  через 2 часа?

5. В работе не представлена сходимость теоретических и экспериментальных исследований для одинаковых исходных условий.

6. Не отражено, насколько эффективно (теоретически и экспериментально) воздух реализуется в качестве агента сушки, например, на основе критерия Гухмана).

7. Не оценивается равномерность сушки зерна в предлагаемой установке, например, на основе расчета равномерности скорости фильтрации (прохождения) воздуха в объеме обрабатываемого зерна.

8. Автор пренебрег возможностями программных средств для математического моделирования рассматриваемых процессов и визуального их представления. Таким образом, могли быть упущены проблемные области, характеризующие качество процесса сушки в предлагаемой технологической схеме.

9. Не ясно, какие параметры модульной сушилки при двухконтурной циркуляции агента сушки учтены в математической модели, так как в уравнении (2.74), (3) есть только начальная, максимальная температура агента сушки и постоянная времени.

10. Не совсем ясны результаты расчета экономической эффективности. Насколько сопоставимы результаты экономических расчетов по базовой сушилке АТМ-10 производительностью 4,5 т/ч и модульной сушилке - 0,2 т/ч?

11. Автором приведены данные о затратах на заработную плату: 59 руб./т для сушилки АТМ-10 и 660 руб./т для предлагаемой модульной сушилки (таблица 5.1.) Требуется пояснение, за счет каких факторов модульная сушилка сможет компенсировать резкое увеличение фонда оплаты труда и быть предпочтительнее для фермера, чем АТМ-10.

12. Достигнутая энергоемкость процесса сушки 352 МДж/т соответствует 5,03 МДж/кг испаренной влаги соответствует шахтным сушилка, обладающим существенно большей производительностью. Необходимо более четкое обоснование применения предлагаемой установки.

13. В выводах есть неточности, например: вывод 1 не отражает показатель, по которому может быть усовершенствована рассматриваемая технология; вывод 2 не отражает, для какого диапазона температур приведены значения точности прогнозирования и т.д.

### **Завершенность и качество оформления диссертации**

Представленная диссертация является завершенной научно-квалификационной работой. В работе представлено значительное количество иллюстраций, наглядно доказывающих эффективность и полноту полученных автором результатов. Основные положения, научные результаты, выводы и рекомендации диссертации Купреенко О.А. обоснованы, имеют научную новизну и в целом соответствуют решению поставленных задач.

Достоверность результатов диссертационных исследований подтверждена применением современных методик, а также сертифицированных приборов. Основные научные результаты, положения, выводы и рекомендации апробированы на Международных научно-практических конференциях. По теме диссертационной работы опубликовано 10 научных работ, в том числе 4 – в изданиях, включенных в "Перечень

российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук", получено 2 патента на полезную модель. Диссертация и автореферат изложены технически грамотным языком. Диссертация соответствует паспорту специальности 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки), в частности пункту 2. Теория и методы технологического воздействия на объекты сельскохозяйственного производства (почву, растения, животных, зерно, молоко и др.); 4. Механизированные, автоматизированные и роботизированные технологии и технические средства для агропромышленного комплекса; 6. Методы и средства оптимизации технологий, параметров и режимов работы машин и оборудования.

Содержание автореферата соответствует предъявляемым требованиям и достаточно полно отражает основные положения и научные результаты диссертации, выносимые на защиту.

### **Заключение**

Диссертационная работа Купреенко Олега Алексеевича «Обоснование параметров модульной сушилки аэродинамического нагрева для зерна» представляет собой самостоятельно выполненную автором научно-квалификационную работу, в которой содержится решение научной задачи, имеющей важное научное и практическое значение для развития сельскохозяйственной отрасли и зерносушильного оборудования, и соответствует паспорту специальности 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса.

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, которая по актуальности, новизне и практической значимости, а также объему выполненных исследований соответствует критериям, изложенным в пунктах 9, 10, 11, 13 и 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, а ее автор, Купреенко Олег Алексеевич, заслуживает

присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 4.3.1 Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса.

Диссертационная работа, автореферат диссертационной работы и отзыв ведущей организации на диссертационную работу рассмотрены на заседании секции Ученого совета по направлению «Механизация животноводства» федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (протокол № 2 от «18» февраля 2026 г.)

Зав. отделом «Механизации и автоматизации процессов в животноводстве»,

Член.-корр. РАН, д.т.н., профессор

(спец. 05.20.01, технические науки)



Кирсанов В.В.

Зав. лабораторией электрофизического воздействия на сельскохозяйственные объекты и материалы, д.т.н.

(спец. 05.20.02, технические науки)



Будников Д.А.

Подписи Кирсанова В.В. и Будникова Д.А. заверяю:

Ученый секретарь  
ФГБНУ ФНАЦ ВИМ

к.т.н., доцент



Ещин А.В.

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ)

Россия, 109428, РФ, г. Москва, 1 – й Институтский проезд, д. 5.

Телефон: 8(499) 174-87-04

E-mail: [vim@vim.ru](mailto:vim@vim.ru)

Официальный сайт: <https://vim.ru/>