

## «УТВЕРЖДАЮ»

Ректор федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», доктор экономических наук, доцент



Агибалов А.В.

2023 г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации - федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I» (ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ) на диссертационную работу Путан Алексея Александровича на тему «Повышение энергоэффективности вентиляционного оборудования для свиноводства при отрицательных наружных температурах», представленную в диссертационный совет 35.2.030.03 на базе ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса

### **Актуальность темы диссертации, связь работы с планом соответствующих отраслей науки и народного хозяйства**

В программных документах правительства Российской Федерации большое внимание уделяется продовольственной безопасности и независимости страны, при этом в отрасли свиноводства большая роль отводится задачам создания и поддержания оптимального микроклимата для животных, а также совершенствованию технических средств их реализации. Обеспечение вышеуказанных параметров микроклимата для поддержания на высоком уровне продуктивности животных на свиноводческих комплексах требует в настоящее время применения энергосберегающего оборудования на основе систем утилизации

тепла выбросного воздуха, которое позволяет вторично использовать тепло выделяемое животными для отопления производственных помещений, за счёт возврата части этого тепла с приточным воздухом. Поэтому рецензируемая диссертационная работа Путан А.А, направленная на обоснование и создание энергосберегающих вентиляционных систем, работающих в условиях низких наружных температур за счет вторичного использования тепла выброшенного в атмосферу, является актуальной.

Тема диссертации соответствует приоритетному направлению развития сельского хозяйства, определенному в рамках:

1. Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013-2025 годы;

2. Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации.

### **Оценка новизны и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций**

Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, теоретически обоснованы, подтверждены результатами испытаний и актами внедрения.

Материалы, относящиеся к отмеченным выше положениям, изложены по тексту диссертации достаточно полно, имеют завершение в виде математических закономерностей для расчета процесса теплопередачи противоточного рекуператора в условиях низких наружных температур и при инееобразовании в вытяжном канале рекуператора и процесса регенерации вытяжного канала рекуператора.

Степень достоверности научных положений подтверждается совокупностью проведенных теоретических исследований и испытаний с использованием общепринятых методик исследований и современных измерительных устройств.

Результаты диссертационного исследования приняты к использованию в ООО «Куединский мясокомбинат», ООО «Кампоферма», ООО «Агровент-М».

Результаты диссертационного исследования прошли апробацию:

на международной научной конференции, посвященной 125-летию со дня рождения В.С. Немчинова, РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева 2019 г.;

на международной научной конференции профессорско-преподавательского состава, посвященной 155-летию РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева 2020 г.;

на ежегодном семинаре «Чтения академика В.Н. Болтинского», РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева в 2022 г.

Научная новизна диссертации подтверждается публикациями, сделанными в открытой печати. Основные результаты диссертации изложены в соответствующих отраслевых журналах, в том числе рекомендуемых ВАК РФ, доступных широкому кругу специалистов и ученых.

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

*Для науки значимыми являются:*

- алгоритм расчета рекуператора в условиях работы низких наружных температур и при инееобразовании в вытяжном канале и с регенерацией вытяжного канала рекуператора;
- аналитические зависимости, характеризующие работу рекуператора в условиях низких наружных температур и при инееобразовании в вытяжном канале рекуператора;
- аналитические зависимости, характеризующие регенерацию вытяжного канала рекуператора.

*Значимыми практическими результатами являются:*

- рекомендации по разработке рекуператоров с возможностью работы оборудования при низких наружных температурах и при инееобразовании в вытяжном канале;
- характеристика работы рекуператора в условиях низких наружных температур для последующего расчёта оборудования с системой микроклимата.

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

Результаты и выводы представленных научных исследований являются основой для разработки алгоритма автоматического управления процессом регенерации рекуператора с учётом его производительности, величины наружной и внутренней температуры, частоты промывки рекуператора и других влияющих факторов, а также основой для проектирования и создания рекуператоров, предназначенных для работы в условиях низких наружных температур.

### **Оценка содержания диссертации в целом**

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Диссертация изложена на 177 страницах, включая 80 рисунков и 21 таблицу, 113 источников литературы (18 на иностранном языке) и приложений.

**Во введении** обоснованы актуальность проблемы, представлена цель, сформулированы задачи исследований, их научная и практическая значимость, определены основные научные положения, выносимые на защиту и их новизна.

В первой главе **«Состояние вопроса, постановка задачи исследования»** обоснована актуальность применения рекуператоров теплоты на свиноводческих комплексах, позволяющих снизить затраты на отопление производственных помещений за счёт вторичного использования теплоты от вентиляционного воздуха, проведен обзор математических моделей процесса теплопередачи при использовании вентиляционных установок и выявлено отсутствие единой модели, позволяющей прогнозировать работу противоточного рекуператора в холодное время года, процесс теплопередачи при обмерзании вытяжного канала и процесс регенерации вытяжного канала рекуператора.

Во второй главе **«Математическое моделирование процесса теплообмена»** разработан алгоритм расчета рекуператора в условиях низких наружных температур и при образовании инея в вытяжном канале и при его регенерации. Представлен расчет процесса теплопередачи противоточного рекуператора в

«сухом» режиме работы, режиме работы «с образованием конденсата», когда в вытяжном канале есть зоны теплообмена с конденсатом и без конденсата, и в режиме работы «с образованием инея», когда в вытяжном канале есть зоны теплообмена с инеем, с конденсатом и без конденсата.

Обоснованы:

количество теплоты возвращаемой в помещение при работе рекуператора и коэффициент эффективности утилизации теплоты на всех режимах работы рекуператора;

наружная температура, при которой начнётся обмерзание вытяжного канала;

температура приточного и вытяжного воздуха на выходе из рекуператора;

количество образовавшегося инея в вытяжном канале и длительность режима регенерации рекуператора;

производительность рекуператора по вытяжке при работе в условиях обмерзания вытяжного канала.

В третьей главе **«Результаты расчёта математической модели»** представлена реализация алгоритма расчета рекуператора УТ-6000 с графической визуализацией аналитических зависимостей, полученных с использованием соответствующего программного обеспечения.

Реализация алгоритма расчета рекуператора УТ-6000 в условиях низких наружных температур и при инееобразовании в вытяжном канале рекуператора позволяет определить динамику роста инея в вытяжном канале, скорость роста границы инея навстречу теплоте потоку воздуха при разных наружных температурах, и температуру приточного воздуха в зависимости от наружной температуры и длительности работы рекуператора в режиме «рекуперация».

Реализация алгоритма расчета регенерации вытяжного канала рекуператора УТ-6000 позволяет определить длительность режима регенерации в зависимости от работы на режиме «рекуперация».

Четвертая глава **«Испытания рекуператора тепла»** посвящена испытаниям рекуператора УТ-6000 на участке карантина свиноводческого комплекса

ООО «Кампоферма» для подтверждения адекватности предложенного алгоритма расчета рекуператора и сравнения результатов расчётов с экспериментальными значениями.

Экспериментально подтверждена адекватность разработанных теоретических уравнений, характеризующих процесс работы рекуператора в условиях низких наружных температур и при инееобразовании в вытяжном канале.

Экспериментальные данные температуры приточного воздуха, имеют максимальное отклонение от расчётных значений:

1) до 0,3 °С в режиме «сухой» работы рекуператора для наружной температуры от +10,2 до +20 °С;

2) до 0,6 °С в режиме работы рекуператора «с образованием конденсата» для наружной температуры от -16,4 до +10,2 °С;

3) до 1,2 °С в режиме работы рекуператора «с образованием инея» (при длительности режима «рекуперация», равным 40 мин) для наружных температур от -25 °С до -18 °С.

В результате расчёта тепловлажностного баланса помещения карантина установлено, что при использовании рекуператора максимальная потребность в теплоте будет меньше на 14,4 кВт, чем без использования рекуператора и составит 29,2 кВт; расчётная годовая экономия газа при использовании рекуператора составит 3 248 783,1 кВт·ч, что будет соответствовать экономии газа до 88,8 %; при наружной температуре выше -5 °С, теплоты возвращаемой рекуператором будет хватать для отопления помещения карантина.

**В заключении** представлены выводы, **рекомендации производству и перспективы дальнейшей разработки темы.**

### **Завершенность и качество оформления диссертационной работы.**

#### **Личный вклад автора.**

Основные положения, научные результаты, выводы и рекомендации диссертационной работы Пуган А.А., направленные на обоснование и создание энергосберегающих вентиляционных систем, работающих в условиях низких наружных температур за счет вторичного использования тепла выброшенного в

атмосферу, являются обоснованными и имеют научную новизну.

Обоснованность, представленных в работе научных положений, выводов и рекомендаций обеспечена использованием в качестве ее исходной основы ведущих научных работ российских и зарубежных ученых.

Достоверность результатов и выводов, полученных в диссертации, обеспечивается применением общенаучных методов и приемов. Испытания рекуператора выполнены на сертифицированном современном оборудовании. Полученные результаты исследований позволяют говорить об их адекватности, они не противоречат фактам, известным из специальной литературы.

На основании анализа теоретических исследований и испытаний сформулировано заключение диссертационной работы, включающее в себя 8 общих выводов, рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы.

Использование результатов исследований на производстве подтверждается актами внедрения.

Материалы диссертации отражены в 8 научных работах, в том числе 4 - в изданиях, рекомендованных ВАК для опубликования результатов кандидатских и докторских диссертаций. Опубликованные материалы по результатам исследований достаточно полно отражают основное содержание диссертации.

Диссертационная работа соответствует паспорту научной специальности 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса.

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

Автором лично сформулированы и составлены задачи исследования на основе опыта разработки и испытаний рекуператоров теплоты на свиноводческих комплексах, предложен алгоритм расчета и получены аналитические зависимости, характеризующие работу рекуператора, подготовлены и проведены испытания рекуператора, проведена обработка результатов испытаний и выполнен анализ данных.

Основным достоинством диссертационной работы являются моделирова-

ние процесса теплопередачи на всех режимах работы рекуператора, включая его регенерацию, детальная реализация алгоритма расчета рекуператора, подчеркивающая его несомненную работоспособность и позволяющая получить необходимые выходные параметры для достижения оптимальной энергоэффективности.

### **Замечания по диссертационной работе**

1. Непонятно, почему в автореферате указаны объект и предмет исследования, а в диссертационной работе нет.

2. Некорректно поставлена 1-я задача исследований «Разработать методику и математическую модель работы рекуператора...». Наверное, соискатель хотел сказать методику расчета рекуператора...

3. Температура стенки вытяжного канала (форм. 2.22) определяется по частному случаю уравнения 2.10, а не уравнения 2.7, как указывает автор.

4. Хотелось бы услышать ответ на вопрос, что автор подразумевает под математической моделью работы рекуператора и математической моделью регенерации вытяжного канала рекуператора. Я увидел алгоритм расчета при заданных условиях тех или иных составляющих процесса теплопередачи. Причем большинство приведенных аналитических зависимостей общеизвестны. Поэтому еще один вопрос, какие зависимости получены лично автором?

5. Нет соответствия между задачей 1 и выводами по главе 2. В задаче указано разработать методику и математическую модель работы рекуператора, а в выводах автор предлагает только методики.

6. Построение и реализация математической модели должны быть в одном разделе диссертации и называться «Теоретическое обоснование процесса теплообмена...» с приведением полученных моделей и аналитических зависимостей и их графической визуализацией на основе расчета с использованием соответствующего программного обеспечения.

7. Поясните, соответствуют ли принятые значения температуры и влажности вытяжного воздуха указанным значениям (исходные данные вначале расчёта: соответственно  $21^{\circ}\text{C}$  и 62%, табл. 3.3, стр. 81), ведь основная задача вытяжной вентиляции удалять избыточное тепло и влагу. У Вас указаны допусти-



мые регулируемые параметры воздуха.

8. Для доказательства адекватности математической модели отклонения расчетных и экспериментальных значений температуры приточного воздуха желательно указывать не в абсолютных, а в относительных величинах (%).

9. Почему производительность вентилятора указывается от  $6000 \text{ мин}^{-1}$  до  $1000 \text{ мин}^{-1}$  (стр. 83, 86, 87): диапазон должен задаваться от меньшего значения к большему.

10. Также необходимо отметить, что в диссертационной работе отсутствует оценка экономической эффективности использования рекуператора тепла в свиноводческих помещениях при отрицательных наружных температурах воздуха в условиях инееобразования в вытяжном канале.

11. В диссертационной работе имеются неудачные выражения (с. 5, и др.), редакционные неточности (с. 15, 20, 22, 29, 32, 33, 34, 37, 38, 47 и др.) орфографические ошибки (с. 7, 10, 12, 13, 17, 18, 21, 22, 24 и др.).

12. Список литературы оформлен не по ГОСТ Р 7.0.11-2011 (не по алфавиту и не в порядке первого упоминания в тексте). Нет ссылок на источники 65, 66 и 67. В списке литературы пропущены источники 107, 110, 111, 112.

Указанные недостатки носят характер дополнений, уточнений и пожеланий и не оказывают определяющего влияния на положительную оценку диссертации в целом.

### **Заключение**

Диссертационная работа Пуган Алексея Александровича на тему «Повышение энергоэффективности вентиляционного оборудования для свиноводства при отрицательных наружных температурах» является законченной научно-квалификационной работой, имеет научную новизну и практическую значимость, содержит научно-обоснованные решения по повышению эффективности энергосберегающих вентиляционных систем, работающих в условиях низких наружных температур за счет вторичного использования тепла выброшенного в атмосферу, внедрение которых имеет существенное значение для развития сельского хозяйства России и соответствует паспорту научной специальности 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплек-

са.

Считаем, что диссертационная работа соответствует критериям, изложенным в пунктах 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, а её автор Путан Алексей Александрович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса.

Диссертация, автореферат диссертации и отзыв ведущей организации рассмотрены на заседании кафедры технологического оборудования, процессов перерабатывающих производств, механизации сельского хозяйства и безопасности жизнедеятельности федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I» (протокол №7 от 2 марта 2023 г.).

Доктор сельскохозяйственных наук (06.02.04; 05.20.01 – 2008 г.), профессор (4.3.1. – 2022 г.), профессор кафедры технологического оборудования, процессов перерабатывающих производств, механизации сельского хозяйства и безопасности жизнедеятельности

Андрианов Евгений Александрович

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I» (ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ).

Почтовый адрес: Россия, 394087, г. Воронеж, ул. Мичурина, 1.

Телефон 8(473)253-86-51, 8(473)2537136.

Адрес электронной почты: [bgd@agroeng.vsau.ru](mailto:bgd@agroeng.vsau.ru)

Официальный сайт организации: <http://www.vsau.ru>

