

## ОТЗЫВ

**официального оппонента на диссертационную работу Каменских Александра Дмитриевича, выполненную на соискание ученой степени кандидата технических наук на тему «Разработка и обоснование аэрофонтанных аппаратов применительно к технологическим процессам в молочном животноводстве» и представленную к защите в диссертационный совет Д 006.048.02, созданный на базе Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого» по специальности 05.20.01 – технологии и средства механизации сельского хозяйства**

*Работа представлена в рукописи на 187 страницах и включает: титульный лист (1 с.); оглавление (3 с.); введение (8 с.); разделы 1...5 (144 с.), в том числе: 28 таблиц, 55 иллюстраций; заключение (2 с.); библиографический список (109 наименований, 14 с.); приложения (15 с.), в том числе: результаты исследований (9 с.); паспорт на катализатор (1 с.); документ подтверждающие техническую новизну и государственную регистрацию программы для ЭВМ (3 с.); документы, подтверждающие внедрение (2 с.).*

### 1. Актуальность темы

Комплексы по производству товарного молока, потребляя значительное количество тепловой и электрической энергии, загрязняют окружающую среду. При этом заметных тенденций снижения потребления ими тепловой энергии из внешних источников в настоящее время не наблюдается, хотя в результате жизнедеятельности животные выделяют в окружающую среду тепловую энергию, сопоставимую по величине с потреблением на подогрев приточного воздуха. Существенно снизить энергопотребление и загрязнение окружающей среды технологическими линиями обеспечения микроклимата, подогрева воды, утилизации навоза и другими процессами молочного животноводства, по мнению соискателя, можно путем широкого использования аэрофонтанных адсорбционных аппаратов, которые способны быть как нагревателями в системах рекуперации тепловой энергии, так и фильтрами в системах очистки. Широкому использованию аэрофонтанных адсорбционных аппаратов препятствуют недостаточное теоретическое исследование и отсутствие экспериментального обоснования их конструктивно-технологических параметров применительно к условиям функционирования в технологических линиях животноводческих комплексов. Разработанная конструктивно-технологическая схема и оптимизированные режимы аэрофонтанных адсорбционного нагревателя и фильтра, в совокупности, способны значительно улучшить экологию и снизить энергозатраты. Поэтому актуальность темы диссертационной работы не вызывает сомнений.

## 2. Степень обоснованности выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, и их достоверность

Основным научным результатом А.Д. Каменских являются теоретическое обоснование, а также экспериментальное исследование и подтверждение эффективности функционирования аэрофонтанных адсорбционных нагревателя и фильтра, позволяющих обеспечить рекуперацию теплоты и термохимическую нейтрализацию вредных компонентов вентиляционных выбросов помещений молочного животноводства.

**Первый вывод в диссертации** информирует о разработке нового технического решения аэрофонтанного адсорбционного нагревателя и фильтра. Приведены конструктивные параметры активной зоны экспериментального образца аэрофонтанного адсорбционного аппарата. Вывод констатирует о достигнутом техническом результате, достоверен, является новым и обосновывает первое и частично второе защищаемые положения.

**Второй вывод** посвящен результатам теоретических исследований. Разработанная математическая модель функционирования аэрофонтанных аппаратов, устанавливая качественную и количественную взаимосвязь между конструктивными параметрами устройств, режимами их работы и показателями эффективности, позволяет определить рекомендуемые скорости движения потока газов для режимов адсорбции, десорбции и фильтрации. Содержание вывода, базирующееся на обширном теоретическом материале и сопровождающееся результатами вычислительного эксперимента на разработанной математической модели, не вызывает сомнений и обосновывает второе защищаемое положение.

**Третий вывод** констатирует о результатах разработки технологического процесса рекуперации теплоты вентиляционных выбросов коровников и нейтрализации их вредных компонентов с применением аэрофонтанных адсорбционных аппаратов и используемого биогаза, получаемого при анаэробной переработке образующегося в коровнике навоза. На основе теоретических исследований технологического процесса установлена взаимосвязь между параметрами рекуперативной системы вентиляции и критериями эффективности. Достигнут высокий коэффициент использования тепловой энергии удаляемого из помещения воздуха разработанной системой вентиляции коровника на базе аэрофонтанных адсорбционных аппаратов. Вывод обобщает значимость проделанной соискателем работы и обосновывает третье защищаемое положение о высокой эффективности и целесообразности использования аэрофонтанных адсорбционных аппаратов в технологических линиях животноводческих помещений.

**Четвертый вывод** посвящен результатам экспериментальных исследований разработанного соискателем опытного образца аэрофонтанного адсорбционного фильтра и нагревателя. Показана высокая сопоставимость результатов экспериментальных исследований и вычислительного эксперимента. Вывод нов, достоверен, поскольку результаты исследований подтвержде-

ны протоколами, а также актами внедрения. Вывод подтверждает четвертое защищаемое положение.

**Пятый вывод** содержит результаты расчетов технико-экономической эффективности использования разработанной автором системы рекуперации и нейтрализации вентиляционных выбросов коровника на 200 голов на базе аэрофонтанных адсорбционных аппаратов. Экономическая эффективность рассчитана по приведенным затратам, приведены результаты расчетов дисконтированного экономического эффекта и срока окупаемости.

В целом общие выводы обосновывают научные положения, выносимые на защиту, содержат новую и полезную информацию о совершенствовании технологических процессов в молочном животноводстве с обоснованием конструктивно-технологической схемы аэрофонтанных адсорбционных нагревателя и фильтра. Достоверность общих выводов подтверждена результатами испытаний в лабораторных условиях, актами о внедрении.

### **3. Ценность для науки и практики проведенной соискателем работы**

**Ценность для науки** представляет научно обоснованные и экспериментально подтвержденные конструктивно-технологические решения аэрофонтанных адсорбционных нагревателя и фильтра с гранулированным наполнителем, утилизирующих биогаз за счет термохимической нейтрализации вредных компонентов вентиляционных выбросов и обеспечивающих снижение влагосодержания и подогрев удаляемого из помещения воздуха путем адсорбции содержащегося в нем водяных паров в режиме «кипящего слоя». Наиболее существенными научными результатами, полученными лично соискателем, являются:

- математическая модель процесса функционирования аэрофонтанных нагревателя и фильтра с каталитическим наполнителем, находящегося в режиме циркулирующего «кипящего слоя» (с. 49...56,) и устанавливающая взаимосвязь между конструктивно-технологическими параметрами и критериями эффективности (с. 57...71);

- математические модели (2.63, 2.64, 2.75, 2.76, 2.77) устанавливающие взаимосвязь между конструктивно-технологическими параметрами системы рекуперации и нейтрализации вентиляционных выбросов коровника и критериями ее эффективности функционирования (с. 92...100).

**Практическую значимость диссертации** составляют:

- разработанная схема рекуперативной системы вентиляции и нейтрализации вентиляционных выбросов животноводческих помещений по производству молока с биогазовой установкой и аэрофонтанными адсорбционными аппаратами (с. 75...79);

- опытный образец адсорбционного нагревателя и фильтра (с. 103...105), функционирующего в режиме циркулирующего «кипящего слоя», и экспериментальное подтверждение эффективности его функционирования (с. 139...143).

#### 4. Оценка содержания диссертации, ее завершенности в целом и замечания по оформлению работы

**Введение** включает актуальность, общую характеристику, степень работанности темы исследований, цель и задачи исследования, а также основные положения, выносимые на защиту. Приведены результаты апробации работы.

**В первом разделе** «Состояние вопроса и задачи исследований» приведены данные о загрязнении окружающей среды вентиляционными выбросам, объемах потребления отрасли животноводства электрической энергии и природного газа. Выполнен анализ вентиляционных систем и теплообменных аппаратов для рекуперации теплоты удаляемого из помещения воздуха, а также фильтров для очистки вентиляционных выбросов. Установлено, что устройства каталитического окисления необходимо широко использовать для преобразования энергии вентиляционного воздуха. Показана высокая перспективность разработки для рекуперативных систем обеспечения микроклимата каталитических аэрофонтанных аппаратов, осуществляющих эффективный процесс адсорбции влаги из вытяжного воздуха с сопутствующим его подогревом за счет теплоты парообразования, а также адсорбционную фильтрацию осушенного вытяжного воздуха от вредных газообразных примесей. Очень подробно и обстоятельно выполнен анализ методов проектирования и математических подходов по исследованию и описанию рабочего процесса рекуперации теплоты и нейтрализации вентиляционных выбросов.

На основании выполненного обзора и анализа соискатель сформулировал цели и задачи диссертационной работы. Материал раздела изложен последовательно, квалифицированно, кратко и вместе с тем исчерпывающе полно формулирует необходимость и целесообразность широкого применение методов математического моделирования для обоснования структуры, параметров и исследования аэрофонтанных аппаратов в рекуперативной системе вентиляции коровников.

Замечания по первому разделу:

1. На наш взгляд, автору не следовало так подробно приводить общедоступные сведения о вредных свойствах веществ, содержащихся в вытяжном воздухе (с. 14, с. 15).

2. Отсутствуют информация и мнение автора по эффективности применения в системах вентиляции регенеративных теплообменников и частичной рециркуляции предварительно очищенного вытяжного воздуха для экономии затрат энергии на нагрев приточного воздуха и защиту от обмерзания теплопередающих поверхностей рекуперативных теплообменников.

**Во втором разделе** «Математическое обоснование конструктивных и технологических параметров аэрофонтанных аппаратов» разработана имитационная математическая модель аэрофонтанного адсорбционного аппарата, позволяющая оптимизировать его конструктивно-технологические параметры. Выполнено математическое описание процессов, протекающих при ре-

куперации теплоты и нейтрализации вентиляционных выбросов коровника аэрофонтанными адсорбционными аппаратами.

Разработана технологическая схема рекуперативной системы вентиляции. Математическое описание процессов, протекающие в отдельных элементах рекуперативной системы вентиляции, устанавливает количественную и качественную взаимосвязь между конструктивно-технологическими параметрами системы микроклимата и показателями ее эффективности функционирования.

Материалы раздела содержит новизну и представляют практический интерес при проектировании и разработке аэрофонтанных адсорбционных аппаратов для нагрева воды и систем рекуперации и нейтрализации вентиляционных выбросов.

Замечания по второму разделу:

1. В выражениях 2.29 (с. 60), 2.32 (с. 62), 2.34, 2.35 (с. 63) 2.69 (с. 86) отсутствует расшифровка входящих в уравнения величин, или не указана их размерность.

2. Вызывают сомнения выражения 2.18 (с. 56), 2.31 (с. 62), 2.36 (с. 64), 2.37 (с. 64), 2.84, 2.64 (с. 84), 2,76 (с. 89).

3. Непонятно: выражение 2.29 (с. 60) получено автором самостоятельно или взято из литературных источников, поскольку нет ссылок на литературные источники и отсутствует логическая связь с предшествующими в тексте математическими выражениями.

4. В тексте диссертации одинаковыми символами обозначены величины, имеющие разный физический смысл и размерности, что затрудняет анализ уравнений и вызывает сомнение в их справедливости, например,  $v$  – скорость (с. 59), массовый расход (с. 82), объемный расход (с.83);  $c_p$  – изобарные объемная и массовая теплоемкости (с. 82, с. 83). Наоборот, разными буквами обозначен один и тот же параметр с одинаковой размерностью:  $a$ ,  $k$  и  $K$  - коэффициенты теплопередачи (с. 37, с. 51, с. 53).

5. При наличии равенства водяных эквивалентов теплоносителей, условно принятого в работе ( $w=c_p v^{(ex)} = idem$ , с. 83), температурный напор будет одинаковый по всей длине противоточного теплообменника, поэтому непонятно, почему при принятом допущении автор оперирует средним логарифмическим напором и как его вычисляет (с. 84).

6. Из текста раздела не следует явным образом вывод автора об содержании именно 1% метана в смеси для обеспечения заданного режима регенерации силикагеля при каталитическом горении вытяжного воздуха и биогаза (с. 89, последний абзац пункта 2.5.4).

**В третьем разделе** «Программа и методика экспериментальных исследований аэрофонтанного аппарата» уточнены условия, задачи и разработан план экспериментальных исследований. Подробно выполнено описание стенда для проведения исследований экспериментального образца аэрофонтанного адсорбционного аппарата. Методики проведения экспериментальных

исследований и обработки данных дополнены фотографиями приборов и оборудования, используемых в опытах.

Замечания по третьему разделу:

1. Имеет место дублирование в тексте информации, представленной в табличной форме (с. 103, с. 105).

2. Промежуточный вывод 3 (с.113) не связан с содержанием раздела, а повторяет сведения, представленные в разделе 2 (с. 100).

**Четвертый раздел** «Результаты экспериментальных исследований аэрофонтанного аппарата» содержит результаты вычислительных экспериментов на математической модели функционирования аэрофонтанного адсорбционного аппарата, и экспериментальных исследований процесса функционирования опытного образца на стенде в лабораторных условиях.

Материал четвертого раздела, наполнен практическим содержанием, подтверждающим эффективность предложенной автором схемы аэрофонтанного абсорбционного аппарата и определенных соискателем его конструктивно-технологических параметров. Выполненные экспериментальные исследования полностью подтвердили теоретические предпосылки. Материал вычислительного эксперимента на математической модели свидетельствует о современном уровне исследований, а выполненные полигонные испытания опытного образца аэрофонтанного абсорбционного аппарата на стенде констатируют достоверность и высокую степень сходимости результатов.

Замечания по четвертому разделу:

1. Непонятно, почему вычислительный эксперимент начался именно с температуры, равной 400°C (с. 118).

2. На наш взгляд, в обозначении критериев отклика следовало применить подстрочный знак, а не надстрочный  $Y^1$ ,  $Y^2$ ,  $Y^3$  (с.119, с.120).

3. Часть вывода 4, касающаяся утверждения автора относительно соотношения скоростей регенерации наполнителя аэрофонтанного адсорбционного аппарата и его насыщения водяным паром из влажного воздуха, на наш взгляд, в тексте раздела не получила явно выраженного экспериментального подтверждения (с. 146).

**Пятый раздел** «Оценка экономической эффективности» посвящен расчетам чистого дисконтированного эффекта при использовании аэрофонтанных адсорбционных аппаратов в технологических линиях нагрева воды, а также в системах рекуперации и нейтрализации вентиляционных выбросов. Результаты оценки экономической эффективности, выполненные с учетом экспериментальных, теоретических и литературных материалов, возражений не вызывают. Их достоверность подтверждена расчетами и актом о внедрении.

В целом диссертационная работа, имеющая классическую структуру, выстроена последовательно и аргументировано, разделы содержат промежуточные выводы. Задачи, поставленные соискателем для исследований, успешно выполнены.

## 5. Оформление диссертации и ее редактирование

Текст диссертации изложен грамотно, материалы исследований сопровождаются схемами и рисунками. Вместе с тем имеются замечания:

1. Непонятно, почему в тексте диссертации при ссылках автора на таблицы и рисунки последнее начинается с заглавной буквы, т.е. их правописание приравнивается к правописанию имен собственных, высших государственных органов, наград и т.д.

2. В тексте допущены опечатки, например, «конспективно» вместо «конвективно» (с. 88), буквальное повторение материала (с. 93, 94).

4. На наш взгляд, рисунки 2.16, 2.17, 2.18 и другие, содержащие несколько самостоятельных зависимостей, оформленных графически, следовало дополнительно именовать, например, «а», «б» и т.д., а также сопроводить принятые обозначения расширенной подрисуночной надписью.

5. На графике  $P = (NTU)$  (рис. 2.18, с. 99) приведены на шкале ординат только минимальное и максимальное значения уровня обеспеченности, что неудобно для чтения и анализа.

6. В диссертации в отличие от автореферата не приведены рекомендации производству и перспективы дальнейшей разработки темы исследования.

В целом оформление диссертации А.Д. Каменских соответствует требованиям нормативно-технической документации.

## 6. Подтверждение опубликования основных результатов в научной печати и соответствия содержания диссертации литературным источникам и автореферату

Основные положения диссертации исчерпывающе полно опубликованы в 21 работе, в том числе: 3 статьи в журналах, индексируемых в базах данных WoS и Scopus; 10 в изданиях, включенных в список ВАК; 2 монографии; 1 патент на полезную модель, 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ; 3 работы выполнены самостоятельно. Диссертационная работа по своему содержанию соответствует материалу, представленному в литературных источниках соискателя, а в автореферате сконцентрированы основные положения, исчерпывающе отражающие существо выполненной работы.

## 7. Заключение

Диссертационная работа Каменских Александра Дмитриевича на тему «Разработка и обоснование параметров аэрофонтанных аппаратов применительно к технологическим процессам в молочном животноводстве» является завершенной научной работой, в которой изложены научно обоснованные технические и технологические решения аэрофонтанных абсорбционных аппаратов, значительно повышающие экологическую и энергетическую эффективность рекуперативных систем. Внедрение результатов исследований внесет существенный вклад в повышение эффективности производства продук-

ции молочного животноводства.

Диссертация выполнена на высоком методическом уровне, отличается новизной, достаточной степенью готовности к практическому использованию, высокими технико-экономическими показателями аэрофонтанного фильтра и нагревателя, разработанных соискателем для рекуперации теплоты и нейтрализации вентиляционных выбросов коровника.

Отмеченные в отзыве недостатки не имеют принципиального значения, поскольку носят частный характер и направлены в большей степени на повышение уровня научных исследований, они могут быть устранены в последующей работе соискателя.

В целом диссертационная работа соответствует требованиям действующего положения «О порядке присуждения ученых степеней», утвержденных Постановлением Правительства от 24.09.13 года №842. Ее автор, Каменский Александр Дмитриевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.20.01 – технологии и средства механизации сельского хозяйства (технические науки).

Официальный оппонент, доктор технических наук,  
профессор кафедры технологического  
и энергетического оборудования  
ФГБОУ ВО Вятский ГАТУ

В.Н. Шулятьев

25.05.2022 г.

УДОСТОВЕРЯЮ ПОДПИСЬ

ученый секретарь ФГБОУ ВО Вятский ГАТУ



ФИО лица, представившего отзыв	Шулятьев Валерий Николаевич
Место работы	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вятский государственный агротехнологический университет»
Адрес	610017, РФ, г. Киров, Октябрьский проспект, 133
E-mail	shulyatsev.valeriy@mail.ru
Телефон	8 9127242197; 8(8332)35-13-86