

На правах рукописи



КУЗНЕЦОВ Алексей Николаевич

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АКТИВНОГО ШУМОПОДАВЛЕНИЯ
В ГЛУШИТЕЛЯХ ТРАКТОРОВ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Воронеж – 2015

Работа выполнена на кафедре тракторов и автомобилей федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I» (Воронежский ГАУ).

Научный руководитель	Заслуженный работник Высшей школы РФ, доктор технических наук, профессор Поливаев Олег Иванович
Официальные оппоненты:	Устинов Юрий Федорович, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный архитектурно-строительный университет», профессор кафедры строительной техники и инженерной механики; Павлов Павел Иванович, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова», профессор кафедры механики и инженерной графики
Ведущая организация	ФГОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет»

Защита диссертации состоится 03 марта 2016 г. в 13 часов 00 минут на заседании диссертационного совета Д 220.010.04, созданного на базе Воронежского ГАУ, по адресу: 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 13, учебный корпус агроинженерного факультета (корпус № 3), аудитория 319.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Воронежского ГАУ и на сайте www.vsau.ru («Информация о деятельности диссертационных советов» – «Защиты» – «Д 220.010.04»), а также по ссылке: <http://ds.vsau.ru/?p=2675>.

Автореферат разослан 29 декабря 2015 г.

Учёный секретарь

диссертационного совета



Афоничев Дмитрий Николаевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Требования, предъявляемые к новым тракторам сельскохозяйственного назначения, серьёзно видоизменились относительно тех, которые были актуальны еще пару десятилетий назад. Если раньше основным критерием качества и, соответственно, конкурентоспособности техники являлась её энергонасыщенность, надежность, а также возможность агрегатирования с широким набором сельскохозяйственных машин и орудий, то в настоящее время на первый план выходят такие свойства, как эргономичность и экологичность.

Одним из основных современных резервов повышения эффективности сельскохозяйственного производства является обеспечение наиболее комфортных условий труда для механизаторов, защита их от вредных и опасных факторов.

Как правило, наиболее интенсивным источником шума машинно-тракторных агрегатов (МТА), определяющим уровни звукового давления как снаружи, так и внутри трактора, является процесс выпуска отработавших газов (ОГ). Частотный спектр звука данного источника имеет заметный низкочастотный характер, что определяет слабое его поглощение при распространении в открытом пространстве, а также при прохождении сквозь преграды и экраны. Зачастую этот факт обуславливает превышение уровней звукового давления, устанавливаемых санитарными нормами, тракторами, оборудованными серийными глушителями шума.

Для качественного снижения амплитуд колебаний частотных полос шума до 500 Гц необходимо применение пассивных глушителей с огромными габаритами и массой. Это противоречит особым требованиям, предъявляемым к глушителям шума тракторной техники, поэтому весьма актуален вопрос применения новых конструкций глушителей, которые сочетали бы в себе высокую эффективность во всем диапазоне частот, низкое противодействие, малую массу и габариты.

Наиболее перспективным является применение системы активного шумоподавления (САШ) в глушителе, с целью улучшения его низкочастотных характеристик без значительного увеличения габаритов и массы. Применение подобных систем в условиях воздействия потока выхлопных газов в глушителях тракторов сельскохозяйственного назначения, с целью снижения шума выпуска рассматривалась в некоторых работах лишь тезисно. Кроме этого, отсутствует математический аппарат, позволяющий выявлять эффективность подобных систем в глушителях шума.

Снижение уровней шума, генерируемого тракторами сельскохозяйственного назначения, невозможно без знаний закономерностей работы пассивных и активных компонентов глушителей шума выпуска ОГ. В соответствии с этим решение задач по снижению шума процесса выпуска ОГ, используя САШ, является актуальным.

Диссертация выполнена в рамках научно-исследовательской работы агроинженерного факультета ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I» (Воронежский ГАУ) «Снижение динамических нагрузок в мобильных энергетических средствах и улучшение условий труда операторов», утвержденной ученым советом ФГБОУ ВО «Воронежский ГАУ» (номер государственной регистрации 01.200.1-003986).

Степень разработанности темы. Борьбе с повышенными уровнями шума и вибрации посвящено большое количество трудов отечественных ученых В. Н. Луканина, М. А. Разумовского, Н. И. Иванова, И. И. Клюкина, Ю. Ф. Устинова, С. П. Алексеева, Е. Я. Юдина, О. И. Поливаева, В. В. Шкрабак, Ю. И. Элькина и др. Следует отметить, что в некоторых из данных работ имеются лишь краткие упоминания об активном способе поглощения звуковых полей, а в некоторых совсем отсутствуют.

Использование САШ в глушителях шума выпуска рассматривалось в диссертациях А. И. Комкина, А. В. Васильева, С. Г. Семенцова и А. В. Мокринского. Однако в их трудах отсутствуют методики расчета эффективности глушителей шума, использующих адаптивные САШ.

Цель работы - снижение шума тракторов сельскохозяйственного назначения применением системы активного шумоподавления в глушителях.

Задачи исследования:

- исследовать акустические характеристики тракторов сельскохозяйственного назначения, оборудованных серийными глушителями, и выявить наиболее интенсивные источники шума, определяющие параметры внешних и внутренних звуковых полей;
- разработать методики расчета эффективности глушителя шума, использующего систему активного шумоподавления с одним фронтальным динамиком и подбора параметров адаптивного алгоритма, реализуемого блоком управления системы активного шумоподавления;
- разработать математическую модель рабочего процесса и обосновать наиболее рациональные геометрические параметры глушителя шума активного типа тракторов сельскохозяйственного назначения;
- определить вклад шума процесса выпуска отработавших газов в формирование внешнего и внутреннего звукового поля трактора при установленном серийном глушителе шума, а также влияние глушителя шума активного типа на уровни внешнего и внутреннего звуковых полей, создаваемых трактором.

Объектом исследования является процесс формирования звукового поля трактором класса тяги 2,0, оборудованного глушителем шума активного типа, в агрегате с сельскохозяйственными машинами.

Предметом исследований являются закономерности формирования внутренних и внешних звуковых полей машинно-тракторных агрегатов.

Научная новизна:

- методика определения эффективности глушителя шума активного типа, отличающаяся тем, что учитывает вклад как пассивных, так и активных компонентов реактивного глушителя шума, использующего системы активного шумоподавления с одним фронтальным динамиком;
- методика определения геометрических характеристик глушителя, обеспечивающих наибольшую результативность при его использовании, отличающаяся тем, что учитывает передаточные функции всех компонентов как во временной, так и в частотной областях;
- математическая модель рабочего процесса глушителя шума активного типа, учитывающая влияние одного фронтального динамика, используемого системой активного шумоподавления, на аэродинамическое сопротивление;
- закономерности изменения характеристик внешних и внутренних звуковых полей тракторов сельскохозяйственного назначения при использовании глушителей шума активного типа.

Теоретическая и практическая значимость работы. Алгоритм расчета эффективности использования системы активного шумоподавления в реактивном глушителе шума тракторов, методика подбора рациональных параметров, а также аналитическая зависимость, описывающая взаимосвязь противодействия с конструктивными параметрами глушителя, углубляют знания в области теории тракторов и технической акустики.

Практическая ценность работы состоит в том, что полученные результаты позволяют на стадии производства создавать конструкции наиболее подходящих для тракторов сельскохозяйственного назначения глушителей шума активного типа (ГШАТ) с точки зрения эффективности и аэродинамического сопротивления, тем самым способствуя снижению уровней шума и улучшению условий труда механизаторов.

Предложенное техническое решение, защищенное патентом Российской Федерации, позволит повысить эффективность реактивного глушителя шума путем применения системы активного шумоподавления с одним фронтальным динамиком.

Методология и методы исследования. Теоретические исследования проведены на основе методов математического моделирования, цифровой обработки сигналов, теории адаптивной фильтрации и технической акустики. Лабораторные эксперименты выполнялись по разработанной программе, для их проведения были использованы специально созданная лабораторная установка, а также имеющиеся на кафедре «Тракторы и автомобили» ФГБОУ ВО «Воронежский ГАУ» учебные стенды. При проведении расчётов и обработке результатов эксперимента использовали современную вычислительную технику с установленным программным обеспечением: Microsoft Excel 2010, Mathcad 15, Microsoft Visual Studio 2012, Delphi 2009.

Положения, выносимые на защиту.

1. Методика расчета, позволяющая определить эффективность реактивного глушителя шума, использующего систему активного шумоподавления с одним фронтальным динамиком.
2. Методика определения наиболее рациональных геометрических параметров глушителя и новое техническое решение, реализующее данные параметры в глушителе шума активного типа.
3. Математическая модель рабочего процесса глушителя шума активного типа, позволяющая определить аэродинамическое сопротивление, развиваемое глушителем, использующим систему активного шумоподавления с одним фронтальным динамиком.
4. Закономерности изменения характеристик внешних и внутренних полей при использовании глушителей шума активного типа.

Степень достоверности результатов и апробация работы. Результаты исследований получены с применением современных апробированных теоретических подходов, методов математического анализа, автоматического управления, цифровой обработки сигналов и технической акустики, реализацией математической модели на ЭВМ, сопоставлением результатов теоретических и экспериментальных исследований.

Достоверность результатов работы подтверждается: методологической базой исследований, проведением системного анализа решаемых задач и применением методов математического моделирования, применением современных средств вычислительной техники.

Результаты данной работы докладывались и обсуждались на: межвузовских научных конференциях на базе военно-воздушной академии имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина «Перспектива XIX – XXII» (Воронеж, 2009 – 2014г.); международной научной конференции «Социально-экономические проблемы развития муниципальных образований – XV» (Нижний Новгород, 2010г.); «Национальной научно-технической конференции – I» (Москва, 2011г.); форуме «Инженеры будущего – 2011» (Иркутск, 2011г.); конкурсе на лучшую научную работу среди молодых ученых (Рязань, 2013г.); конкурсах «У.М.Н.И.К» (Воронеж, 2009 – 2013г.); профессорско-преподавательских конференциях ФГБОУ ВО «Воронежский ГАУ» (Воронеж, 2009 – 2015г.); XVIII международной студенческой научной конференции (Белгород, 2014г.); международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Инновационные технологии и технические средства для АПК» (Воронеж, 2014).

Результаты диссертационной работы внедрены на предприятии ОАО «Хреновской конный завод» (Воронежская область). Кроме этого, результаты диссертационной работы используются в учебном процессе ФГБОУ ВО «Воронежский ГАУ» при подготовке специалистов по направлению

23.05.01 «Эксплуатация наземных транспортно-технологических средств» и магистров по направлению 35.04.06 «Агроинженерия».

Публикации. Результаты диссертационной работы опубликованы в 16 научных статьях, из которых четыре – в изданиях, включённых в перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых представляются основные научные результаты исследований. По результатам диссертационной работы получен один патент на изобретение. Общий объем публикаций 6,23 п. л., автору принадлежит 3,01 п. л.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертация состоит из введения, пяти разделов, включающих 94 рисунка и 20 таблиц, заключения, списка использованных источников, включающего 129 наименований, 12 приложений. Объем диссертации 194 страницы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность проблемы, изложена общая характеристика работы и представлены основные результаты исследований, выносимые на защиту.

В **первой главе «Состояние вопроса»** рассмотрена связь уровней шума с техническим прогрессом, показано отрицательное влияние высоких уровней шума машин на всех участников сельскохозяйственного производства, а также производителей техники. Проведен анализ основных источников шума машинно-тракторных агрегатов и выявлены наиболее существенные из них, а также проанализированы основные способы снижения шума выпуска.

Общий шум МТА складывается из двух составляющих (Рисунок 1):

I – шум, излучаемый трактором; II – шум, излучаемый орудием.

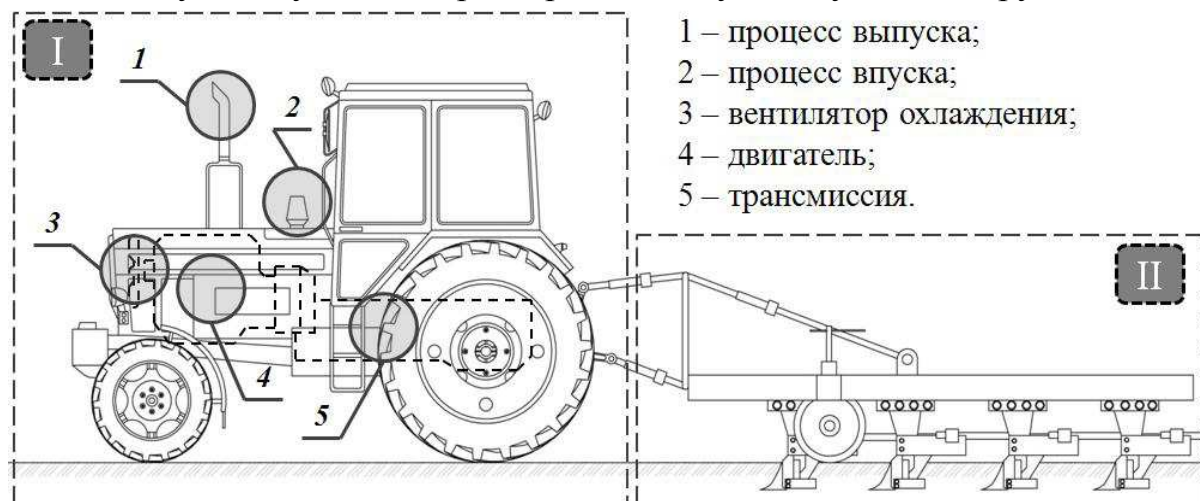


Рисунок 1 - Основные источники шума МТА

Уровни звука, создаваемые большинством орудий незначительны по сравнению с уровнями, генерируемыми трактором. Они полностью маски-

руются за шумом источников, расположенных на тяговой машине. Обратная ситуация возможна только если у орудия имеется автономный источник энергии, например как у газоструйной снегоочистительной машины

Основные источники шума тракторов, представленные на рисунке 1: процесс выпуска; процесс впуска; вентилятор системы охлаждения; двигатель; трансмиссия. Первые три источника генерируют аэродинамический шум, последние – механический.

Анализ литературных источников по борьбе с шумом ДВС показывает, большинство исследователей сходится во мнении, что шум, создаваемый в процессе выпуска ОГ, определяет акустическое поле трактора во всем диапазоне звуковых частот.

Наиболее эффективным способом снижения шума выпуска до сих пор остается применение различного рода глушителей. Исследование эффективности глушителей в различных исполнениях и комбинациях подробно рассмотрено в трудах Шапиро Б.К., Старобинского Р.Н., Комкина А.И., Клюкина И.И., Васильева А.В., Гильмана Л.С., Баженова Д.В., Иванова Н.И., Луканина В.Н., Разумовского М.А., Дробаха М.Н. и других авторов.

Одним из наиболее перспективных путей развития конструкции глушителей шума является применение системы активного шумоподавления. Применение подобных систем позволяет без значительного увеличения массы и габаритов значительно улучшать эффективность в низкочастотном диапазоне, в котором сосредоточена основная мощность шумового излучения процесса выпуска.

Большой вклад в разработку теоретических и прикладных основ применения САШ внесли отечественные ученые Г.Д. Малюжинец, Б.Д. Тартаковский, Бабасова Е.М., А.В. Васильев, С.Г. Семенцов, А.И. Власов, А.И. Комкин, А.В. Мокринский и др.

Работа простейшей САШ с прямой связью заключается в следующем (Рисунок 2).

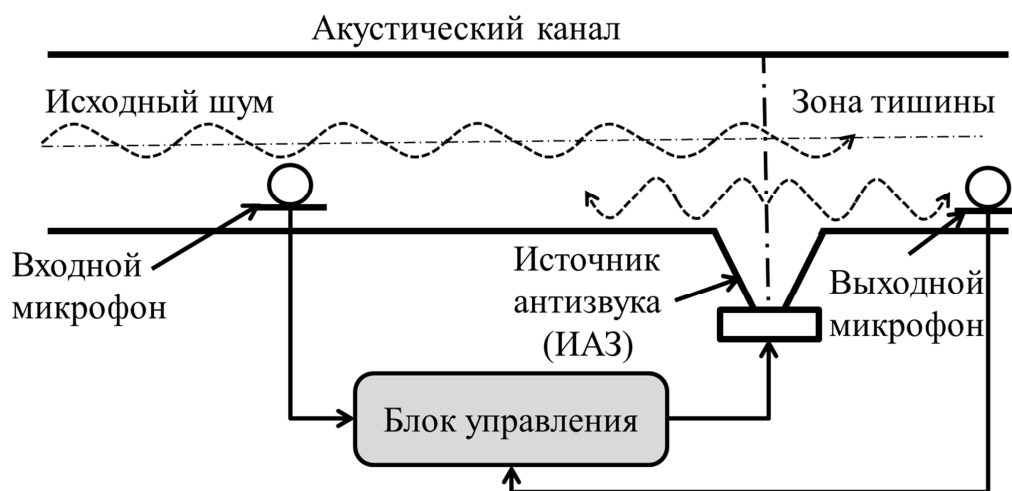


Рисунок 2 – Простейшая САШ

Входной микрофон, установленный в акустическом канале на пути распространения исходного шума, обнаруживает шум и подает пропорциональный входной сигнал блоку управления (БУ), который его обрабатывает согласно алгоритму и формирует сигнал управления. При его формировании БУ также используется сигнал, получаемый с выходного микрофона, расположенного в зоне за источником антизвука (ИАЗ). Сигнал управления подается в ИАЗ, который формирует дополнительную звуковую волну в канале. Алгоритм, заложенный в БУ, должен подстраивать параметры сигнала управления таким образом, чтобы интерференция между исходным шумом и произведенной ИАЗ волной была максимальной. Теоретически, если блок управления справляется с этой задачей, то за ИАЗ может образоваться зона тишины. При этом сигнал с выходного микрофона становится минимальным, и БУ, основываясь на этом сигнале, фиксирует свои параметры подстройки.

В настоящее время вопрос определения эффективности пассивных глушителей является широко исследованным. При этом, не существует общей методики определения эффективности глушителя шума, обладающего как пассивными, так и активными компонентами. Этот вопрос требует более глубокого изучения.

Во второй главе *«Теоретическое исследование процессов активного снижения звуковых полей»* проведено исследование преобразований, происходящих со звуковой волной при её распространении сквозь пассивные и активные компоненты глушителя шума, использующего САШ, разработаны методики определения эффективности глушителей шума активного типа и поиска наиболее рациональных его параметров, а также найдена аналитическая зависимость, связывающая аэродинамическое сопротивление, развиваемое глушителем с его геометрическими параметрами.

Кратко методику определения эффективности ГШАТ можно представить следующим образом:

1. Вначале определяются общие передаточные характеристики компонентов глушителя до и после зоны интерференции исходного шума и созданной ИАЗ волны. Для расчета использовались известные аналитические зависимости.
2. Определяется импульсное представление полученных передаточных характеристик, путем их дискретизации на N точек и использования ОДПФ:

$$\begin{cases} FRONT_j = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X_k^{FRONT} \cdot e^{\frac{2\pi i}{N} \cdot k \cdot j} \\ BACK_j = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X_k^{BACK} \cdot e^{\frac{2\pi i}{N} \cdot k \cdot j} \end{cases} \quad (1)$$

3. Производим свертку вектора исходного сигнала (INPUT) с импульсной характеристикой передней зоны глушителя (FRONT):

$$OUT_k = \sum_{j=0}^{N-1} FRONT_j \cdot INPUT_{k-j}, \quad (2)$$

где OUT_k – вектор амплитуд прошедшего сигнала.

4. Используя заранее полученный вектор весовых коэффициентов фильтра (W) на k-м отсчете, получаем новое значение амплитуды вторичного сигнала (Y_k):

$$Y_k = \sum_{j=0}^{N-1} OUT_{k-j} \cdot W_j(k), \quad (3)$$

5. Зная значение исходного и вторичного сигналов, определяем значение сигнала ошибки (OST_k) на данном отсчете:

$$OST_k = OUT_k + Y_k \quad (4)$$

6. Рассчитываем мощность опорного сигнала (POW) и определяем значение фактора сходимости (μ):

$$\begin{cases} POW(k) = \sum_{j=0}^{N-1} OUT_j^2 \\ \mu(k) = \frac{N-1}{POW} \end{cases} \quad (5)$$

7. Обновляем значение вектора весовых коэффициентов для следующего (k+1) цикла расчетов:

$$W_j(k+1) = W_j(k) + 2 \cdot \mu(k) \cdot OUT_k \cdot OST_k \quad (6)$$

8. Производим свертку вектора OST с импульсной характеристикой задней части глушителя (BACK):

$$OUTPUT_j = \sum_{k=0}^{N-1} BACK_k \cdot OST_{j-k}, \quad (7)$$

где $OUTPUT$ – вектор амплитуд сигнала выходящего из глушителя.

9. Производим дискретное преобразование Фурье исходного и выходного шумов, с получением их спектральных представлений (S^{INPUT} и S^{OUTPUT}):

$$\begin{cases} S_k^{INPUT} = \sum_{j=0}^{N-1} INPUT_j \cdot e^{-\frac{2\pi \cdot i}{N} \cdot k \cdot j} \\ S_k^{OUTPUT} = \sum_{j=0}^{N-1} OUTPUT_j \cdot e^{-\frac{2\pi \cdot i}{N} \cdot k \cdot j} \end{cases} \quad (8)$$

10. Для определения УЗД используем метод энергетического суммирования значений амплитуд узкополосного спектра, находящихся в диапазоне частот каждой октавной полосы:

$$\begin{cases} NOISE_F^{INPUT} = 10 \cdot \lg \left[\sum_{j=1}^m (S_{a+j}^{INPUT})^2 \right] \\ NOISE_F^{OUTPUT} = 10 \cdot \lg \left[\sum_{j=1}^m (S_{a+j}^{OUTPUT})^2 \right] \end{cases}, F \in 1...B, \quad (9)$$

где B – число исследуемых полос; a – индекс вектора узкополосного спектра, соответствующий нижней частоте, находящейся в границах полосы F ; m – число полос спектра, находящихся в границах полосы F .

Общая эффективность снижения шума, а также эффективность трех зон по отдельности представлены на рисунке 3.

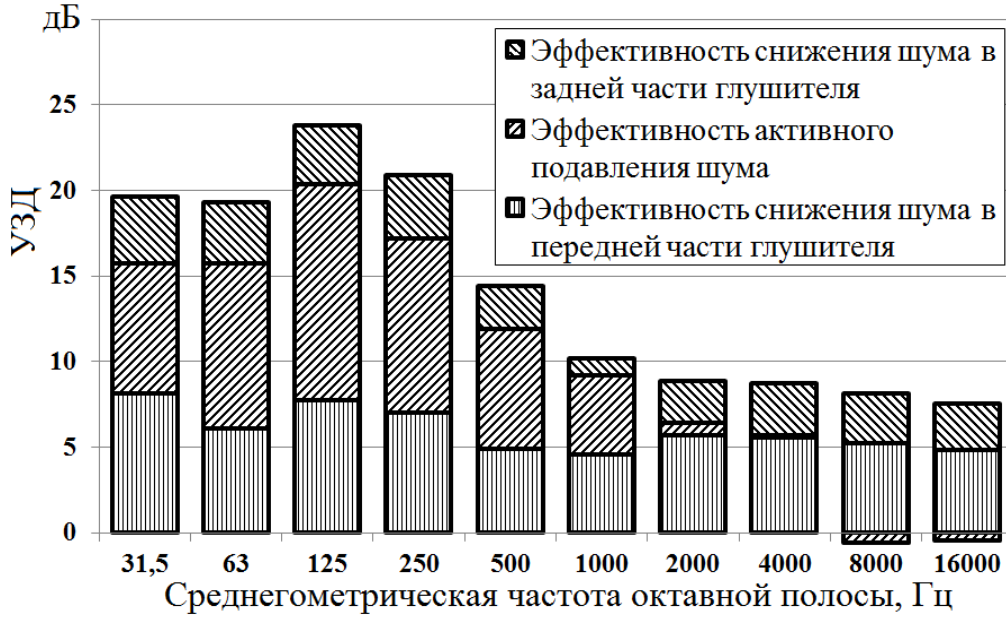


Рисунок 3 - Общая эффективность применения ГШАТ

Вторым по важности показателем работы глушителей шума выпуска ОГ является развиваемое ими противодействие или аэродинамическое сопротивление. По результатам анализа предлагаемой конструкции была предложена следующая эмпирическая зависимость для расчета потерь давления:

$$\begin{aligned} \Delta p_{\text{сум}} = & 136,5 \cdot \frac{\rho_0 \cdot p_{\text{газ}} \cdot Q^2}{p_0 \cdot T \cdot \pi^2} \cdot \left[\left(\frac{1}{r_{\text{вх}}^2} - \frac{1}{r_{\text{расш}}^2} \right)^2 + \frac{1}{2} \times \left(\frac{r_{\text{расш}}^2 - r_{\text{вых}}^2}{r_{\text{расш}}^4} \right) + \right. \\ & + \frac{1}{Q \cdot r_{\text{расш}}^2 (r_{\text{расш}} - r_{\text{корн}})} \left(60\pi \cdot \eta \cdot r_{\text{расш}}^2 + (Q \cdot r_{\text{расш}} - 25\pi \cdot \eta \cdot (r_{\text{расш}}^2 - r_{\text{корн}}^2)) \cdot \left(0,56 + \frac{r_{\text{корн}}}{r_{\text{расш}}} \right) \right) + \\ & \left. + \left(\frac{1}{r_{\text{расш}}^2 - r_{\text{корн}}^2} - \frac{1}{r_{\text{расш}}^2} \right)^2 \right], \quad (10) \end{aligned}$$

где $r_{\text{расш}}$ – внутренний диаметр расширительной камеры глушителя, м; $r_{\text{корн}}$ – диаметр защитного кожуха динамика глушителя, м; Q – объёмный

расход ОГ, $\text{м}^3/\text{с}$; η – кинематическая вязкость ОГ, $\text{м}^2/\text{с}$; ρ_0 – плотность ОГ при нормальных условиях, $\text{кг}/\text{м}^3$; $p_{\text{газ}}$ – давление газов, Па; ρ – плотность потока ОГ, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Как видно из представленных на рисунке 4 графиков минимальное значение суммарных потерь давления, определяемых по (10) достигается когда $r_{\text{расш}} = 0,13 - 0,15$ м.

Также представлена методика подбора наиболее рациональных параметров ГШАТ, структурная схема которой представлена на рисунке 5.

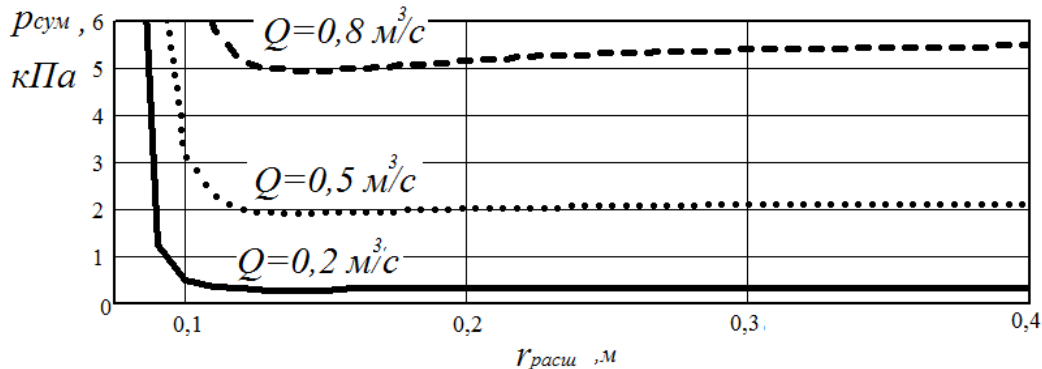


Рисунок 4 - Связь противодействия с внутренним диаметром глушителя

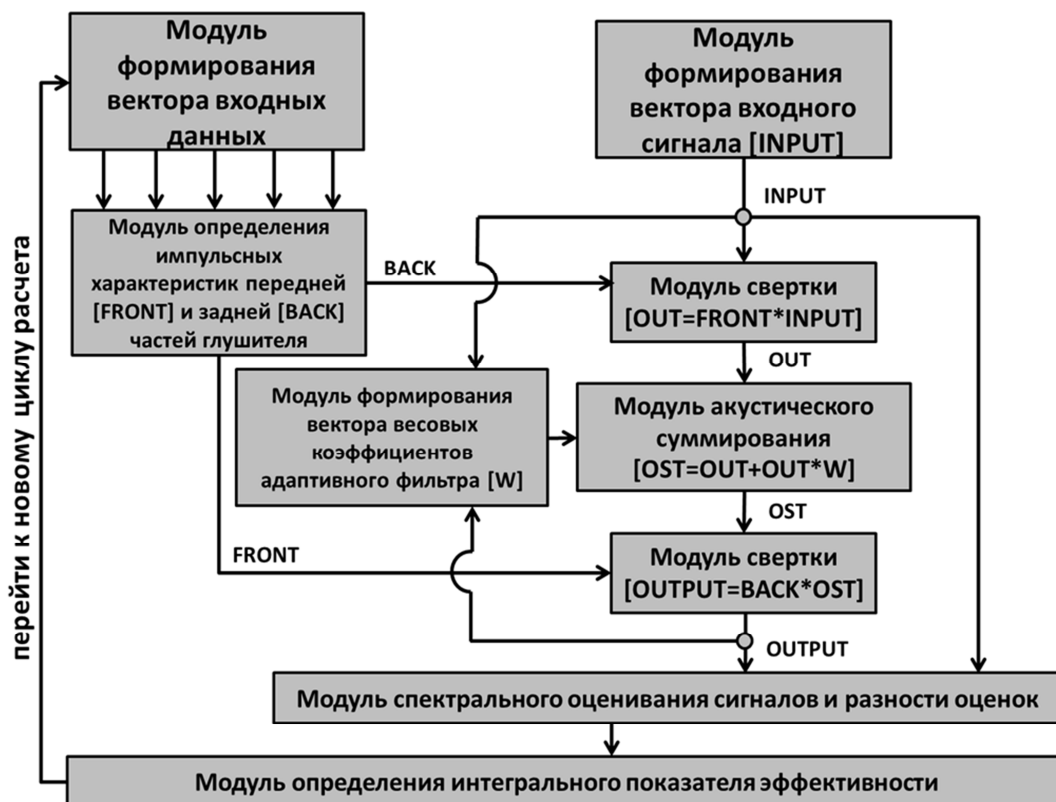


Рисунок 5 – Методика определения рациональной конструкции ГШАТ

Первоначально необходимо сформировать матрицу входных данных, каждая строка которой содержит оригинальный набор геометрических параметров глушителя. Далее по описанной ранее методике определяется

эффективность глушителя, развиваемая при данном наборе параметров. После этого определяется, какой номер строки в матрице соответствует максимальному значению развиваемой эффективности. Параметры глушителя, соответствующие данной строке и принимаются в качестве наиболее рациональных.

Разработанная методика поиска наиболее рациональных параметров ГШАТ, позволила подобрать геометрические размеры, обеспечивающие его наибольшую эффективность – 27,8 дБА.

В третьей главе *«Программа и методика экспериментальных исследований»* представлены методики проведения экспериментальных исследований предлагаемой конструкции глушителя шума активного типа на различных режимах нагружения, а также описаны процессы тарировки тягового звена, определения передаточных коэффициентов динамических микрофонов и поиска параметров адаптивного блока управления.

В качестве объекта экспериментальных исследований был выбран универсально-пропашной колесный трактор Минского тракторного завода с номинальным тяговым усилием 20кН в агрегате с плугом ПЛН-4-35. Сравнительному исследованию подвергался трактор с прямоточным каналом, ГШАТ и с серийной выпускной системой. В соответствии с результатами теоретических исследований для экспериментальных исследований была выбрана опытная конструкция ГШАТ, обладающая наиболее предпочтительными геометрическими параметрами с точки зрения эффективности.

Первоначально была произведена тарировка тягового звена для испытаний по известным методикам.

В шумозаглушенной студии были установлены микрофоны с прецизионным шумомером «Октава-110А» (рисунок 6), которые затем фиксировали тональные шумы с последовательно изменяющимися амплитудными и частотными параметрами, что позволило рассчитать коэффициенты, позволяющие получать достаточно точные октавные спектры при сеансе одновременной записи всеми микрофонами.

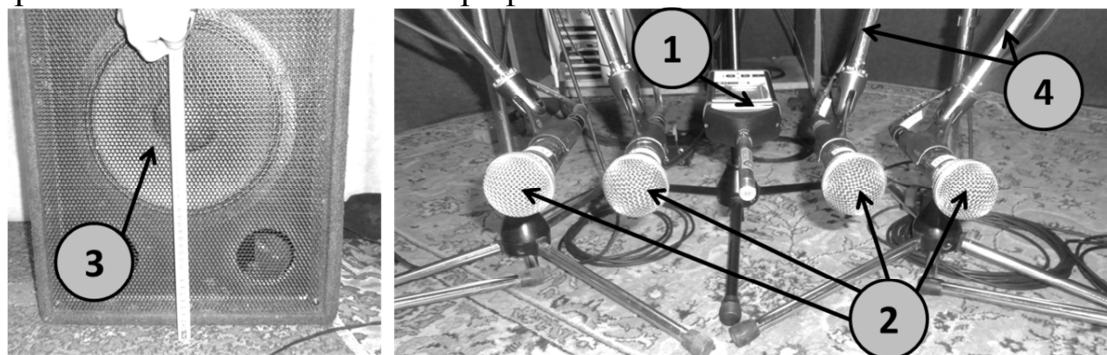


Рисунок 6 – Поиск передаточных коэффициентов:

1 – шумомер «Октава-110А»; 2 – динамические микрофоны; 3 – источник звука;
4 – микрофонные стойки.

Для подбора наиболее рациональных параметров адаптивного алгоритма заложенного в БУ был собран лабораторный стенд, показанный на рисунке 7.

В процессе испытаний в реальном времени фиксировались и записывались в файл временные характеристики излучаемого и прошедшего звукового сигнала. Каждый опыт проводился с троекратным повторением. После проведения лабораторных исследований производился анализ полученных результатов, и подбирались параметры адаптивного алгоритма.

Кроме этого, была разработана методика определения аэродинамических потерь в глушителе, основанная на ГОСТ 28100-89.

Наряду с лабораторными испытаниями были разработаны методики проведения тяговых и полевых испытаний. При этом производилась запись: внутреннего шума в кабине трактора; внешнего шума; шума процесса выпуска; шума процесса впуска; структурного шума корпуса; фиксация крюкового усилия; уровней звука снаружи трактора; фиксация моментов начала испытаний и пересечения линий. Внешний вид трактора с испытательным оборудованием показан на рисунке 8.

Методика тяговых и полевых испытаний основана на ГОСТ 7057-2001 и ГОСТ 51920-2002.

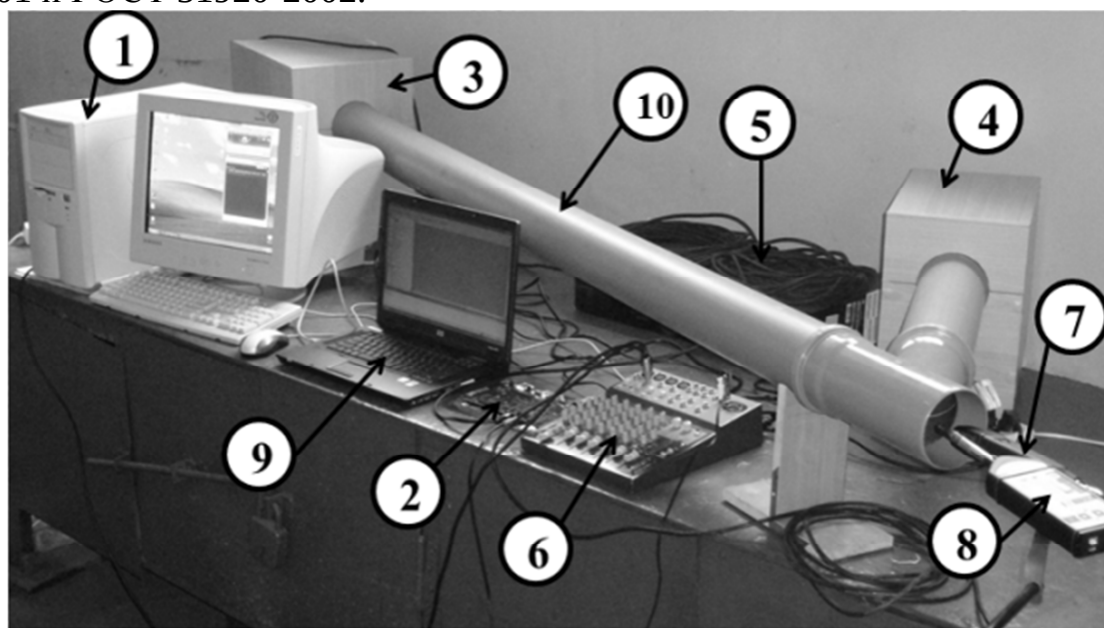


Рисунок 7 – Стенд для анализа эффективности адаптивного БУ:

1 – ПК; 2 – БУ; 3 – первичный источник шума; 4 – ИАЗ; 5 – усилитель;
6 –микшерный пульт; 7 – конденсаторный микрофон; 8 – шумомер; 9 – ноутбук;
10 – акустический канал.

В четвертой главе *«Результаты экспериментальных исследований и их анализ»* представлены результаты экспериментальных исследований трактора, оборудованного серийным глушителем шума и предлагаемой конструкцией ГШАТ, а также результаты подготовительных лабораторных испытаний по определению параметров адаптивного алгоритма,

передаточных коэффициентов микрофонов и тарированию тягового тензозвена.

По результатам лабораторных испытаний адаптивного блока управления были подобраны параметры алгоритма, заложенного в блок управления: тип алгоритма – FxLMS, число весовых коэффициентов фильтра – 128, частота дискретизации аналого-цифрового преобразователя – 8 кГц, значение фактора сходимости $0 \times 15FA$. Эти параметры обеспечивают наивысшую скорость сходимости для различных сигналов, а также устойчивость алгоритма. Кроме этого выявлена необходимость применения низкочастотных фильтров для сигналов от микрофонов, так как это значительно увеличит устойчивость алгоритма и ускорит его схождение.

Согласно полученным взаимокорреляционным функциям наибольший вклад в формирование звукового поля внутри кабины оказывает шум процесса выпуска, его доля составляет около 45 %. При этом взаимосвязь между звуковым полем внутри кабины и звуковым полем вблизи среза выпускной трубы устойчивая, что подтверждается её периодичностью. Следовательно для тракторов наиболее актуальна борьба с шумом процесса выпуска.

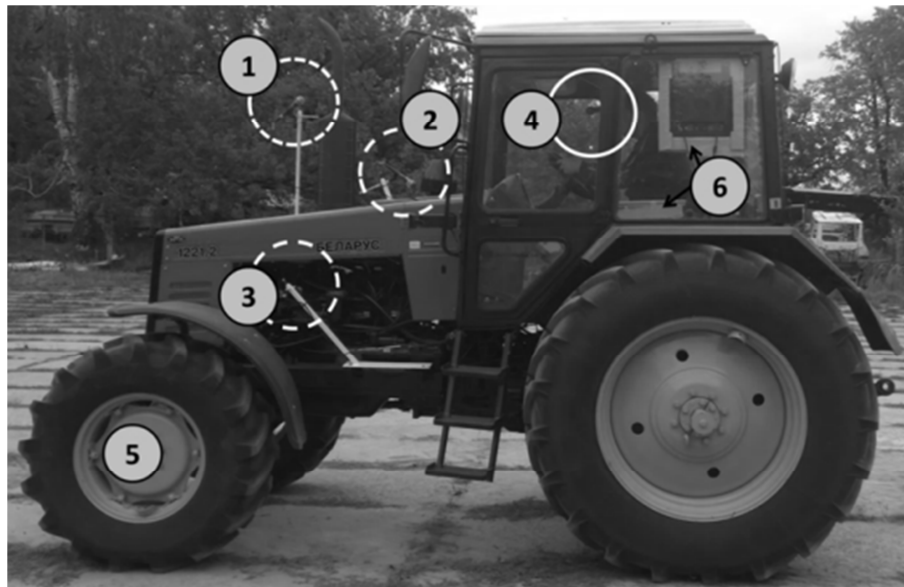


Рисунок 8 - Расположение всех микрофонов и другого оборудования на тракторе:

1 – микрофон для шума выпуска; 2 – микрофон для шума впуска; 3 – микрофон для структурного шума; 4 – микрофон для шума внутри кабины; 5 – трактор; 6 – монитор и блок ПК

Согласно проведенным экспериментам предложенная математическая модель с достаточно высокой степенью точности описывает рабочий процесс опытной конструкции ГШАТ. Наиболее значительные расхождения наблюдаются в высокочастотном диапазоне выше 4кГц и достигают 3,9 дБ.

Сравнительная оценка эффективности применения серийного и опытного глушителей шума, произведенная при тяговых и полевых испы-

таниях агрегата Беларус1221+ПЛН-4-35 показала, что предлагаемая конструкция позволяет снизить в октавных полосах низкочастотного диапазона внутренний шум в кабине в среднем на 3-5 дБ, для внешнего на 7-11 дБ. При этом в средне- и высокочастотном диапазоне заметной разницы не наблюдается.

Проведение испытаний по определению аэродинамических потерь давления показало, что для серийного и опытного образцов глушителей при номинальной частоте вращения коленчатого вала двигателя характерны потери давления соответственно 4,41 и 1,39 кПа. При этом, среднее значение относительного противодавления СГШ составляет 2875,4 %, в то время как для ГШАТ лишь 964,3 %. Развиваемые потери давления ГШАТ близки к рассчитываемым по предлагаемой математической модели, относительная погрешность не превышает 17,2 %.

В пятой главе *«Экономическая целесообразность применения глушителей шума активного типа»* произведена оценка экономической эффективности целесообразность применения глушителей шума активного типа на тракторе Беларус-1221. Годовой экономический эффект за счет снижения удельного расхода топлива составляет 15858,8 руб., срок окупаемости 1,48 года. Социальный эффект от применения ГШАТ заключается в улучшении комфортабельности труда механизатора, за счет снижения внутреннего шума на 3-5 дБ в октавных полосах частот средне- и низкочастотного диапазона. Этот факт оказывает положительное влияние на производительность и качество их труда. Кроме этого, снижение внешнего шума на 7-11 дБ для низких и средних октавных полос частот влечет за собой улучшение условий труда других категорий работников, непосредственно взаимодействующих с данной техникой.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Повышение энергонасыщенности и скорости движения современной тракторной техники оказывает негативное влияние на комфортабельность рабочего места тракториста. Анализ акустических характеристик тракторов сельскохозяйственного назначения показал, что наиболее интенсивным источником шума является процесс выпуска отработавших газов. Уровни звукового давления, развиваемые данным источником, превышают 130 дБ в полосах частот средне- и низкочастотного диапазона.

2. Разработанная методика определения эффективности глушителя шума, использующего САШ с одним фронтальным динамиком, позволила с высокой степенью точности спрогнозировать эффективность опытного образца в низко- и среднечастотном диапазоне. Основным отличием данной методики от имеющихся является последовательное произведение расчетов как частотной, так и во временной областях.

3. Разработанный алгоритм поиска геометрических характеристик, обеспечивающих наибольшую эффективность при использовании ГШАТ позволил выявить наиболее рациональные параметры опытного образца глушителя:

$$\begin{array}{llll} r_{\text{корп}} = 0,075 \text{ м}; & l_{\text{вх}} = 0,4 \text{ м}; & r_{\text{расш}} = 0,105; & l_{\text{расш1}} = 0,25; \\ l_{\text{расш2}} = 0,2 \text{ м}; & l_{\text{суж}} = 0,09 \text{ м}; & r_{\text{вых}} = 0,035; & l_{\text{вых}} = 0,2 \text{ м}; \end{array}$$

4. Полученная зависимость, связывающая параметры глушителя с противодавлением, позволила определить рациональный радиус $r_{\text{расш}} = 0,13 - 0,15$ м расширительной части глушителя с одним фронтальным динамиком обеспечивающий снижение противодавления.

5. Предложено новое техническое решение по реализации ГШАТ для автотракторных двигателей (патент № 2445505).

6. По результатам лабораторных испытаний адаптивного блока управления были подобраны рациональные параметры алгоритма, заложенного в блок управления: тип алгоритма – FxLMS, число весовых коэффициентов фильтра – 128, частота дискретизации аналого-цифрового преобразователя – 8 кГц, значение фактора сходимости – 5626.

7. По результатам тяговых и полевых испытаний выявлено, что наибольший вклад в формирование звукового поля внутри кабины трактора оказывает шум процесса выпуска, его доля составляет около 45%. Предлагаемая конструкция глушителя шума позволяет снизить в октавных полосах низкочастотного диапазона внутренний шум в кабине в среднем на 3-5 дБ, для внешнего на 7-11 дБ.

8. Расчет экономической эффективности применения предлагаемой конструкции ГШАТ показал, что годовой экономический эффект, составляет 15858,8 руб., а срок окупаемости дополнительных капитальных вложений - 1,48 года. Социальный эффект от применения ГШАТ заключается в улучшении комфортабельности труда механизатора, за счет снижения внутреннего шума на 3 - 5 дБ в октавных полосах частот средне- и низкочастотного диапазона.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК РФ

1. Поливаев, О. И. Математическое моделирование процесса активного подавления пульсаций потока выхлопных газов мобильных энергетических средств [Текст] / О. И. Поливаев, В. С. Воищев, А. Н. Кузнецов // Вестник ВГАУ.- 2012.- №2(33).- С.94-100.

2. Поливаев, О. И. Принципиальные основы активного шумоподавления [Текст] / О. И. Поливаев, А. Н. Кузнецов // Тракторы и сельскохозяйственные машины.- 2015.- №7.- С.30-34.

3. Поливаев, О. И. Формирование звукового поля трактора Беларус-1221 [Текст] / О. И. Поливаев, А. Н. Кузнецов // Механизация и электрификация сельского хозяйства.- 2015.- №9.- С.32-35.

4. Кузнецов, А. Н. Определение эффективности глушителей шума активного типа [Текст] / А. Н. Кузнецов // Вестник ВГАУ.- 2015.- №4(47).- С.88-93.

Публикации в других изданиях

5. Кузнецов, А. Н. Активное подавление шума процесса выпуска отработавших газов мобильных энергетических средств / А. Н. Кузнецов, О. И. Поливаев // Инновационные технологии и технические средства для АПК: материалы международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов.- Воронеж: ФГБОУ ВПО ВГАУ, 2014.- Ч.3.- С.77-84.

6. Поливаев, О. И. Анализ эффективности адаптивных алгоритмов управления в системах активного шумоподавления / О. И. Поливаев, А. Н. Кузнецов // Автомобили и двигатели: сборник научно-методических материалов по итогам XXIII межвузовской научно-практической конференции. Выпуск 5, часть 1 - Воронеж: Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина, 2013.- С.119-123.

7. Поливаев, О. И. Методика определения эффективности глушителя шума активного типа [Текст] / О. И. Поливаев, А. Н. Кузнецов // Научно-практические аспекты ресурсосберегающих технологий производства продукции и переработки отходов АПК: материалы международной научно-практической конференции.- Воронеж: ФГБОУ ВПО ВГАУ, 2014.- С.196-200.

8. Поливаев, О. И. Определение зоны эффективности активного подавления шума, распространяющегося по осесимметричным конструкциям [Текст] / О. И. Поливаев, А. Н. Кузнецов // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика.- Воронеж: ФГБОУ ВПО Воронежская государственная лесотехническая академия, 2014.- Т. 2. - № 3-4(8-4).- С. 451-455.

9. Кузнецов, А. Н. Перспективы использования систем активного шумоподавления /А. Н. Кузнецов, О. И. Поливаев// Вестник ВГАУ.- 2010.- №1(24).- С.46-48.

10. Поливаев, О. И. Перспективы развития способов борьбы с шумом мобильных энергетических средств [Текст] / О. И. Поливаев, А. Н. Кузнецов // Научный вестник Воронежского ГАСУ. Высокие технологии. Экология, 2015 г.- С.225-229.

11. Родин, Е.Н. Повышение эксплуатационных и эргономических качеств МТА/ Е. Н. Родин, А. Ю. Кутьков, А. Н. Кузнецов// Средства аэродромно-технического обеспечения полетов: сборник статей по материалам докладов XX межвузовской научно-практической конференции. Выпуск 1,

часть 2 - Воронеж: Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина, 2010.-С.257-259.

12. Кузнецов, А. Н. Применение системы активного шумоподавления в глушителе трактора/ А. Н. Кузнецов // Инновационные технологии на базе фундаментальных научных разработок: сборник трудов региональной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых.- Воронеж: ФГБОУ ВПО Воронежский государственный университет, 2011.- С.191-193.

13. Кузнецов, А. Н. Проблемы использования системы активного шумоподавления в глушителях тракторов / А. Н. Кузнецов// Средства аэродромно-технического обеспечения полетов: сборник научно-методических материалов по итогам XXI межвузовской научно-практической конференции. Выпуск 2, часть 2.1 - Воронеж: Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина, 2011.- С.115-119.

14. Кузнецов, А. Н. Снижение внешнего шума тракторов применением системы активного шумоподавления/ А.Н. Кузнецов // Лучшие инженерно-технические кадры России: сборник статей.- М.: МГТУ им. Баумана.- 2011.- С.88-94.

15. Кузнецов, А. Н. Снижение шума ДВС применением системы активного шумоподавления/А. Н. Кузнецов // Инновационные технологии и технические средства для АПК: Материалы всероссийской научно-практической конференции молодых ученых и специалистов.- Ч.IV.- Воронеж: ФГБОУ ВПО ВГАУ, 2011.- С.197-200.

16. Кузнецов, А.Н. Комплексное снижение шума тракторов применением системы активного шумоподавления / А.Н. Кузнецов // Инновационные разработки молодых ученых Воронежской области на службу региона. Сборник докладов.- Воронеж: Воронежский ЦНТИ – филиал ФГБУ «РЭА» Минэнерго РФ, 2012.- С.137-140.

Патент на изобретение

17. Глушитель шума активного типа для автотракторных двигателей. Патент №2445505 Россия, МПК F02 M35/12, Поливаев О. И., Кузнецов А. Н., № 2010131485/06. Заявл. 27.04.2010, Опубл. 20.03.2012. Бюл. №8.- 5с.

Просим принять участие в работе диссертационного совета Д 220.010.04 или выслать Ваш отзыв на автореферат в двух экземплярах с заверенными подписями по адресу: 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 13, ученому секретарю. Телефон (473) 253-75-35, 8-900-924-5638, e-mail: et@agroeng.vsau.ru.