

УДК 621.43.065.001.57

<https://doi.org/10.56619/2078-7138-2024-161-1-12-16>

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГЛУШИТЕЛЯ ШУМА ТРАКТОРОВ «БЕЛАРУС»

М.В. Кунаш,*аспирант факультета «Технический сервис в АПК» БГАТУ***Г.И. Белохвостов,***доцент каф. управления охраной труда БГАТУ, канд. техн. наук, доцент***Н.И. Зезетко,***гл. конструктор научно-технического центра ОАО «МТЗ», канд. техн. наук*

В статье приводятся результаты исследования шума трактора «БЕЛАРУС», укомплектованного серийным глушителем 800-1205015-А и экспериментальным глушителем 800-1205100, который изготовлен по конструкторской документации Белорусского государственного аграрного технического университета. Установлено, что экспериментальный глушитель позволяет снизить уровень звука и противодействие в сравнении с серийным глушителем.

Ключевые слова: экспериментальный глушитель шума, выхлопные газы, уровень звука, противодействие, отработавшие газы, экспериментальный образец.

The results of noise research of the BELARUS tractor equipped with the standard muffler 800-1205015-A and the experimental muffler 800-1205100 manufactured according to the design documentation of Belarusian State Agrarian Technical University are given in the article. Positive results on back pressure in comparison with the serial muffler were obtained.

Key words: experimental muffler, exhaust gases, sound level, back pressure, exhaust gases (EG), experimental sample.

Введение

При работе трактора возникает внешний шум, который проникает в кабину. Для снижения уровня шума в конструкции трактора предусмотрена система выпуска отработавших газов. Снижение уровня шума трактора является важным средством улучшения имиджа товарного знака машины, защиты физического и психологического здоровья работников [1].

Во время работы трактора сильный акустический отклик вызывает проникновение шума в кабину через стеклянные окна и ветровое стекло, а повторяющееся отражение звука от тонких пластин создает вибрацию, которая значительно усложняет снижение шума в кабине трактора.

Проблеме борьбы с шумом тракторных двигателей посвящены работы Разумовского М.А., Груданова В.Я., Шабуни Н.Г., Безручко А.Ф., Иванова Н.И., Комкина А.И. и других ученых.

В Республике Беларусь постановлением Совета Министров от 25.01.2021 № 37 введен в действие Гигиенический норматив «Показатели безопасности и безвредности шумового воздействия на человека», согласно которому уровень шума на рабочем месте оператора не должен превышать 80 дБА [2]. Уровень звука внешнего шума при его измерении в соответствии с требованиями ГОСТ 33678-2015 не должен превышать 85 дБА (для тракторов с эксплуатационной

массой не более 1500 кг) и 89 дБА (для тракторов с эксплуатационной массой, превышающей 1500 кг) [2].

Выявление источников шума и применение надлежащего обучения и эффективных методов снижения уровня шума, производимого трактором, могут значительно снизить вредное воздействие шумовых выбросов на здоровье механизатора.

Усовершенствование глушителей шума и снижение уровня шума могут значительно повысить конкурентоспособность трактора «БЕЛАРУС» на рынке. Негативное воздействие шума на физическое и психологическое здоровье трактористов также будет снижено.

Более 30 % работников, занятых в сельскохозяйственном производстве, подвергаются неблагоприятному воздействию шума, превышающего допустимые нормы. Организм человека, не приспособленный к перманентному воздействию шума, реагирует на звуковые раздражители достаточно негативно. Отрицательное влияние шума на работоспособность проявляется даже при его небольшой интенсивности [3-5].

К основным источникам шума транспортных и самоходных сельскохозяйственных машин, оборудованных ДВС, относится шум на такте выпуска. Шум на заглушенного выпуска может достигать 140 дБА (левой порог). Это во много раз превосходит шум всех остальных источников [3].

Рациональным решением вопроса борьбы с шумом является устранение шумообразования в самом источнике, но это удастся осуществить в сравнитель-

но небольшом числе случаев. Поэтому для снижения аэродинамического шума основное внимание уделяется конструированию глушителей шума [3, 4].

Целью настоящей работы является сравнение характеристик шума трактора «БЕЛАРУС-1221.3», укомплектованного серийным глушителем 800-1205015-А и экспериментальным глушителем 800-1205100.

Основная часть

Уровень баланса звуковой энергии (мощности) в глушителе (рис. 1) имеет вид [5]:

$$P_{\text{прош}} = P_{\text{над}} - (P_{\text{отр}} + P_{\text{погл}} + P_{\text{изл}}) + P_{\text{ген}}, \quad (1)$$

где $P_{\text{прош}}$, $P_{\text{над}}$, $P_{\text{отр}}$, $P_{\text{погл}}$, $P_{\text{изл}}$, $P_{\text{ген}}$ – соответственно, звуковая энергия прошедших, падающих, отраженных волн, энергия, поглощенная в глушителе, излучаемая в пространство и генерируемая в нем в единицу времени, Вт [5].

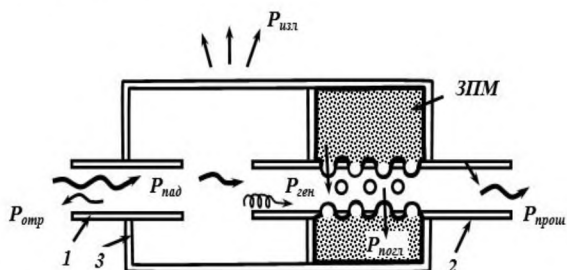


Рисунок 1. Распределение потоков звуковой энергии в глушителе шума: 1 – приемная труба; 2 – выпускная труба; 3 – корпус; ЗПМ – звукопоглощающий материал [5]

В правильно спроектированном глушителе энергией $P_{\text{ген}}$ в приведенном уравнении баланса можно пренебречь. Эффективными средствами уменьшения генерации энергии являются – уменьшение скорости потока газов в глушителе и придание его внутренним элементам обтекаемой формы.

Передача звука через глушитель происходит по газу, находящемуся в полости глушителя, и по элементам конструкции глушителя. Энергия, передаваемая по конструкции, обычно невелика вследствие большой разницы акустических сопротивлений воздуха и металла (материала корпуса глушителя) [4, 5].

Выбор того или иного типа глушителя определяется необходимым уровнем снижения шума, его спектром, мощностью источника и физическими свойствами материала: высоким звукопоглощением в требуемом диапазоне частот, малым объемным весом, экономичностью и т.д. Важно, чтобы глушители шума также оказывали небольшое гидравлическое сопротивление [3, 4].

Решение задачи шумопоглощения включает следующие этапы:

- определение допустимого шума;
- расчет шума в точке наблюдения по известной акустической характеристике источника, шум которого необходимо снизить;

- определение необходимой акустической эффективности глушителя шума;

- выбор схемы глушителя и конструкции звукопоглощающих элементов;

- акустический и гидравлический расчеты глушителя [3, 4].

При разработке глушителя шума системы выпуска следует находить правильное соотношение необходимого шумоглушения и минимального противодействия. Для ДВС увеличение противодействия на 3...5 кПа приводит к потере проектной мощности двигателя на 2...3 %. При этом потери связаны не только с конструкцией глушителя, но и типом двигателя (бензиновый, дизельный, атмосферный или с турбонаддувом) [6].

Противодействие зависит от ряда факторов, главными из которых являются: гидравлическое сопротивление глушителя, режим работы двигателя и волновое сопротивление системы выпуска. В свою очередь, гидравлическое сопротивление зависит от режима работы двигателя, поэтому оценку противодействия и связанного с ним снижения мощности принято относить к ее номинальному значению [6].

Противодействие рассчитывается по следующей формуле [6]:

$$\Delta p = \frac{(K_{\text{вх}} + K_{\text{вых}} + \lambda_{\text{т}} l / d_{\text{т}}) \rho v^2}{2}, \quad \text{Па} \quad (2)$$

где $K_{\text{вх}}$ и $K_{\text{вых}}$ – соответственно коэффициенты местного сопротивления на входе потока в трубу и на выходе из нее;

$\lambda_{\text{т}}$ – коэффициент трения потока газов о стенку трубы;

$l_{\text{т}}$ – длина трубы, м;

$d_{\text{т}}$ – гидравлический диаметр трубы, определяемый по формуле:

$$d_{\text{т}} = 4 S_{\text{т}} / F_{\text{т}} \quad (\text{для трубы с круговым сечением } d_{\text{т}} = d_{\text{т}});$$

$d_{\text{т}}$ и $F_{\text{т}}$ – внутренний диаметр и внутренний периметр трубы соответственно, м;

$S_{\text{т}}$ – площадь проходного сечения трубы, м²;

ρ – плотность газов в трубе, кг/м³;

v – средняя скорость движения газов в трубе, м/с [6].

Если срезы соединительных труб располагаются в камерах, то для вычисления коэффициентов $K_{\text{вх}}$ и $K_{\text{вых}}$ применяется выражение [6]

$$K_{\text{вх}} = (S_{\text{к}} / S_{\text{т}} - 1)^2, \quad (3)$$

$$K_{\text{вых}} = (1 - S_{\text{т}} / S_{\text{к}})^2, \quad (4)$$

где $S_{\text{к}}$ – площадь сечения камеры, м² [5, 6].

Для выходной трубы глушителя коэффициент местного сопротивления на выходе из нее при расчете принимается равным единице [6].

Выхлопная система тракторов наряду с отводом отработавших газов обеспечивает снижение шума двигателя. В настоящее время, как правило, на тракторах повсеместно применяются двигатели с турбонаддувом, а конструкция реактивного глушителя, то есть без элементов звукопоглощения (диссипации),

осталась прежней. По центру перфорированная труба и объем разделен на 2-3 резонансные камеры глухими перегородками. Такое решение было оправдано, так как глушитель выполнял еще и функцию искрогасителя.

Для сравнения шумовых характеристик исследования проводились на тракторе «БЕЛАРУС-1221.3», укомплектованном серийным глушителем шума 800-1205015-А и экспериментальным глушителем 800-1205100 (изготовлен по конструкторской документации Белорусского государственного аграрного технического университета). В экспериментальном глушителе применялась перфорированная вставка в виде трубы Вентури [2]. Данные исследования проводились на основе международных стандартов по уровню шума (ISO 7216 и ISO 5131) с учетом типа выхлопной системы, положения микрофона, частоты вращения двигателя (об/мин.) и положения передачи.

В табл. 1 представлено испытательное оборудование, которое использовалось для оценки шумового загрязнения.

Результаты измерения уровня звука и уровней звукового давления [9] процесса выпуска двигателя у выпускной трубы глушителя (микрофон располагался на расстоянии 0,25 м от края отверстия выпускной трубы глушителя и под углом 60° к оси потока выхлопных газов) приведены в таблице 2.

Во время исследований были зафиксированы следующие показатели:

- скорость ветра – 1 м/с;
- атмосферное давление – 98,7 кПа;
- температура окружающего воздуха – минус 5 °С.

Все показатели на момент испытаний полностью соответствовали условиям, определенным регламентами.

В режиме эксплуатационной мощности двига-

Таблица 1. Испытательное оборудование

Тип средств измерения испытательного оборудования (зав./инв. №, диапазон и единицы измерения)	Точность измерения	Номер свидетельства	Дата калибровки/поверки	Организация поверитель
Дорога Д002	–	85/1-02	10.08.2022	ОГМетр МТЗ
Комбинированный прибор testo 400 № 01390345/708 с дат. 0610 9714 № 708; дат. 0604.9993, № 10158350/711	–	ВУ 01 № 0014613-5522 ВУ 01 № 0014129-5522	05.09.2022 09.09.2022	БелГИМ
Барометр-анероид метеорологический БАММ-1 №17378	±0,2 кПа	ВУ 01 № 0028911-4922	20.06.2022	БелГИМ
Шумомер-анализатор спектра Октава-110А, зав. № А070749 в комплекте с капсюлем изм. микрофона ВМК-205, № 2464 и предусилителем Р200, № 185443	±0,7 дБ	ВУ 01 № 0003809-3422 1-0110765-3422	11.08.2022	БелГИМ
Калибратор звука 4231 № 2605996	±0,2 дБ	ВУ 01 № 0016163-3422-В	10.11.2022	БелГИМ
Рулетка, зав. № 56-22, (0... 5 000) мм	±1 мм	ВУ 01 № 0020790-4122	07.07.2022	БелГИМ
Пьезометр	–	–	–	–

Таблица 2. Результаты измерения на срезе глушителя

Наименование глушителя	Эквивалентный уровень звука (дБА)	Уровень звукового давления (дБА) в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц										
		31,5	63	125	250	500	1 000	2 000	4 000	8 000	16 000	
Серийный глушитель	Холостые обороты двигателя	91,6	105,1	91,1	86,4	83,4	80,0	79,2	83,3	88,1	74,2	59,5
	Макс. обороты без нагрузки	101,8	85,9	101,6	108,5	99,2	95,5	92,6	93,6	94,9	91,9	86,5
	Эксплуатационная мощность двигателя	109,4	89,7	98,7	113,1	107,7	102,9	101,7	102,0	102,8	100,3	87,3
Экспериментальный глушитель	Холостые обороты двигателя	92,1	103,9	91,8	84,7	83,7	85,4	82,3	85,6	87,2	77,6	61,9
	Макс. обороты без нагрузки	105,9	91,2	101,8	106,2	103,7	103,3	95,9	98,1	98,7	96,3	91,2
	Эксплуатационная мощность двигателя	112,7	92,0	101,0	112,3	109,5	108,5	106,3	105,6	105,0	100,6	88,4

теля мощность на привод ВОМ составляла 94,5 кВт.

В ходе исследований установлено, что уровень звука на срезе у экспериментального глушителя 800-1205100 на режиме номинальной мощности был на 3,3 дБА выше, чем у серийного глушителя 800-1205100-А.

На рисунках 2-4 представлены графики сравнения уровней звукового давления на срезе глушителя.

Эквивалентный уровень звука у экспериментального глушителя был выше, чем у серийного, на следующих режимах:

- холостые обороты двигателя – на 0,5 дБА;
- максимальные обороты двигателя без нагрузки – на 4,1 дБА;
- эксплуатационная мощность двигателя – на 3,3 дБА.

Преимущества экспериментального глушителя по уровню звукового давления проявляются в основном при среднегеометрических частотах свыше 125 Гц.

Получены положительные результаты по противодействию (ТУ РБ 101326441.142-2004) в экспериментальном глушителе двигателя Д-260.2S2 в сравнении с серийным образцом. Сопротивление выхлопным газам глушителя 800-1205100 составило 7 кПа и соответствует требованиям.

Результаты измерения противодействия приведены в таблице 3.

Экспериментальный глушитель позволяет снизить противодействие на холостых оборотах двигателя на 0,1 кПа, на максимальных оборотах – на 3,1 кПа и при эксплуатационной мощности – на 9 кПа.

Из-за ограниченных и фиксированных размеров глушителя возникла проблема «лучевого эффекта», которая впоследствии может быть решена установкой перфорированных конусообразных обтекателей.

Заключение

При разработке глушителей шума системы выпуска тракторов «БЕЛАРУС» следует находить правильное соотношение необходимого шумоглушения и минимального противодействия.

Для двигателей внутреннего сгорания увеличение противодействия на 3...5 кПа приводит к потере проектной мощности двигателя на 2...3 %.

Предложена конструкция глушителя с улучшенными характеристиками, обеспечивающая повышение эквивалентного уровня шума в сравнении с серийным, в зависимости от режима работы двигателя:

- на холостых оборотах двигателя – на 0,5 дБА;
- на максимальных оборотах двигателя без нагрузки – на 4,1 дБА;

ХОЛОСТЫЕ ОБОРОТЫ ДВИГАТЕЛЯ



Рисунок 2. Уровень звукового давления на срезе глушителей на режиме холостых оборотов двигателя

МАКСИМАЛЬНЫЕ ОБОРОТЫ БЕЗ НАГРУЗКИ



Рисунок 3. Уровень звукового давления на срезе глушителей на режиме максимальных оборотов двигателя

ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ МОЩНОСТЬ



Рисунок 4. Уровень звукового давления на срезе глушителей на режиме эксплуатационной мощности двигателя

**Таблица 3. Результаты измерения
противодавления**

Наименование глушителя	Противодавление, кПа	
	Серийный глушитель	Холостые обороты двигателя
Максимальные обороты без нагрузки		6,1
Эксплуатационная мощность двигателя		16
Экспериментальный глушитель	Холостые обороты двигателя	0,5
	Максимальные обороты без нагрузки	3,0
	Эксплуатационная мощность двигателя	7,0

– при эксплуатационной мощности двигателя – на 3,3 дБА.

При этом снижение противодавления на указанных режимах, соответственно, составило: 0,1; 3,1; 9 кПа.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кунаш, М.В. Перспективная модель глушителя шума трактора / М.В. Кунаш, Г.И. Белохвостов, А.И. Мельнов // Актуальные проблемы и перспективы развития сельских территорий и кадрового обеспечения агропромышленного комплекса: сб. ст. III Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 7-8 июня 2023 г. / Белорус. гос. аграрн. техн. ун-т. – Минск: БГАТУ, 2023. – С. 417-422.

2. Улучшение гидравлических характеристик глушителей шума / М.В. Кунаш [и др.] // Переработка и управление качеством сельскохозяйственной продукции: сб. ст. VI Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 30-31 марта 2023 г. / Белорус. гос. аграрн. техн. ун-т; редкол.: В.Я. Груданов [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2023. – С. 294-296.

3. Глушители шума поршневых двигателей внутреннего сгорания: классификация, основные требования, инновационные конструкции / Г.И. Белохвостов

[и др.] // Производство и переработка сельскохозяйственной продукции: сб. ст. VIII Междунар. науч.-практ. конф., Воронеж, 23-25 нояб. 2022 г. / Воронежский гос. аграрн. ун-т; редкол.: Н.М. Дерканосова [и др.]. – Воронеж, 2022. – С. 56-64.

4. Груданов, В.Я. Моделирование и оптимизация гидравлических и акустических характеристик глушителей шума поршневых двигателей на основе теории чисел / В.Я. Груданов, Г.И. Белохвостов, Л.Т. Ткачева // Горная механика и машиностроение. – 2020. – № 4. – С. 28-42.

5. Новые направления в конструировании глушителей шума поршневых двигателей внутреннего сгорания / В.Я. Груданов [и др.] // Вестник БарГУ. Сер. Технические науки. – 2022. – № 2 (12). – С. 74-84.

6. Современные подходы к разработке глушителей шума поршневых двигателей внутреннего сгорания / Г.И. Белохвостов [и др.] // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства: сб. науч. тр. / редкол.: В.В. Гусаров (гл. ред.) [и др.]. – Горки: БГСХА, 2023. – Вып. 8. – С. 40-45.

7. Расчет противодавления глушителя шума ДВС / А.Г. Коляда [и др.] // Обеспечение безопасности жизнедеятельности на современном этапе развития общества: материалы Междунар. студенч. науч.-практ. конф., Горки, 20-21 апр. 2023 г. / Белорус. гос. с.-х. академия; редкол.: В.Н. Босак (гл. ред.) [и др.]. – Горки, 2023. – С. 111-114.

8. Безручко, А.Ф. Улучшение характеристик глушителей шума сельскохозяйственных тракторов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03 / А.Ф. Безручко; БПИ. – Минск, 1989. – 15 с.

9. Груданов, В.Я. Научно-практические подходы к совершенствованию конструкций глушителей шума поршневых двигателей внутреннего сгорания на основе теории чисел / В.Я. Груданов, Г.И. Белохвостов, Л.Т. Ткачева // Наука и техника. – 2021. – Т. 20. – № 4. – С. 434-444.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 09.11.2023

Навесной оборотный плуг ПНО-3-40/55



Плуг навесной оборотный ПНО-3-40/50 предназначен для гладкой вспашки старопашотных не засоренных камнями почв с удельным сопротивлением до 0,09 МПа. Плуг агрегируется с тракторами класса 2,0 («Беларус 1221»).

Преимущества разработки:

- регулируемая ширина захвата;
- цена на 30-40% ниже зарубежных аналогов.

Производство плугов освоено на ДП «Минотловский ремонтный завод».
В 2010 году на сельскохозяйственной выставке в г. Москве плуг удостоен золотой медали.

Основные технические данные

Тип.....навесной
 Тип корпуса.....полувинтовой
 Производительность за 1 ч сменного времени, га.....0,65...1,14
 Конструкционная ширина захвата корпуса, мм.....400/450/500/550
 Рабочая скорость движения на основных операциях, км/ч.....7...9
 Масса плуга конструкционная, кг.....не более 1150
 Конструкционная ширина захвата плуга, м.....1,20/1,35/1,50/1,65