

## СНИЖЕНИЕ ШУМА ТРАКТОРОВ

Г.И. Гедроить,

зав. каф. тракторов и автомобилей БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

А.Ф. Безручко,

доцент каф. тракторов и автомобилей БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

*В статье описана методика определения шумовых характеристик трактора и проведено математическое моделирование снижения шума выпуска тракторного дизеля.*

*Ключевые слова: трактор, шум, шум выпуска, проектирование выпускных систем.*

*This article describes a technique tractor noise reduction and given the mathematical model of the tractor diesel engine exhaust noise reduction.*

*Keywords: tractor, noise, methods of noise reduction, the noise exhaust, design exhaust systems.*

### Введение

Проблемами снижения шума тракторов занималась научная школа под руководством профессора М.А. Разумовского [1-3]. В Настоящее время ОАО «МТЗ» перешел от производства тракторов тягового класса 0,2 и 1,4 к производству линейки машин в тяговых классах от 0,2 до 6. Машины даже одного тягового класса имеют значительные конструктивные отличия, обусловленные требованиями рынка, на который они поставляются, и оборудуются различными системами питания, выпуска отработавших газов, охлаждения и т.д. При этом конструктивные разработки по снижению шума делаются под тяговый класс без учета конструктивных особенностей модели. В результате на некоторых моделях шум отдельных агрегатов и систем чрезмерно занижен и ухудшены характеристики, например, по расходу топлива или стоимости. И наоборот, на другой модели того же класса шум превышает нормы.

Цель настоящей работы – определить и систематизировать особенности проектирования тракторов с низким уровнем шума без ухудшения других технических характеристик трактора.

### Основная часть

Внешний шум трактора и уровень шума на рабочем месте тракториста относятся к основным характеристикам. Производитель должен указывать эти характеристики в техническом паспорте, а их величина должна соответствовать национальным стандартам стран, в которых техника эксплуатируется. В СНГ установлены нормы уровня шума на рабочем месте (80 дБА) и внешнего шума (85 дБА) для тракторов с эксплуатационной массой, не превышающей 1500 кг, 89 дБА – с эксплуатационной массой, превышающей 1500 кг. В некоторых странах эти нормы значительно жестче (75 дБА на рабочем месте и 80 дБА – внешний шум). Следует также отметить, что низкий шум является важным конкурентным преимуществом. Некоторые производители снижают уровни шума на 5-7 дБА больше требуемого стандар-

тами. Косвенно можно утверждать, что низкий шум – это высокое качество производства машин.

Для эффективного снижения шума трактора важно определить степень влияния его источников на общий уровень. По мере снижения влияния на внешний шум трактора агрегаты и системы большинства моделей тракторов «БЕЛАРУС» можно расположить в следующей последовательности: выпускная система, двигатель, вентилятор системы охлаждения, трансмиссия, система впуска двигателя. В такой же последовательности надо проводить мероприятия по снижению общего шума. Например, для тракторов «БЕЛАРУС», снижение шума впуска, без предварительного снижения шума других источников, не приведет к снижению внешнего шума и шума в кабине. Если уровень шума источника ниже общего уровня на 10 дБА и более, то снижение его шума не повлияет на общий уровень шума. Неоправданно также чрезмерное снижение шума отдельных его источников. Снижение шума – это компромисс, улучшение акустических характеристик часто приводит к ухудшению других характеристик системы. Рассмотрим это на примере системы выпуска отработавших газов.

Специфической особенностью выпускных систем двигателей сельскохозяйственных тракторов является необходимость оборудовать их искрогасителями и производить выпуск отработавших газов вверх над двигателем. Это ограничивает длину выпускного тракта. Требования по обеспечению обзорности с места водителя и применения некоторых навесных орудий ограничивают габариты и объем глушителя. При этом глушитель должен снизить уровень шума до 104 дБА на расстоянии 0,25 м от среза выпускной трубы (такой уровень шума выпуска исключает его влияние на внешний шум и шум на рабочем месте), иметь простую и технологичную конструкцию и приемлемое аэродинамическое сопротивление. Последнее влияет на мощность и экономичность. Пути выполнения этих требований противоречивы, поэтому основная задача при создании тракторного глушителя – достижение оптимального соче-

тания перечисленных параметров, а сравнительная оценка глушителей может быть произведена только по всему комплексу характеристик.

Ограниченные длина выпускного тракта и его объем не позволяют обеспечить требуемое уменьшение пульсации потока газов и генерируемого на выходе шума в широком диапазоне частот только за счет реактивных элементов – набора расширительных и резонансных камер. Последние просты по конструкции и имеют низкое сопротивление. Глушение низкочастотных составляющих реактивными элементами практически неосуществимо, так как для этого требуются большие размеры камер и глушителя в целом. Для малогабаритных глушителей применим, главным образом, метод активного глушения путем установки последовательных гасителей колебаний, лабиринтов, перфорированных перегородок без использования дорогостоящих и, как правило, недолговечных звукопоглощающих материалов. Снижение шума достигается за счет снижения пульсации скорости потока при сохранении средней скорости потока, а акустическая эффективность находится в прямой связи с аэродинамическим сопротивлением. При разработке схемы глушителя необходимо учитывать, что эффективность глушения зависит как от величины сопротивления, так и метода его достижения. В некоторых случаях сопротивление, снижая низкочастотный шум, генерирует шум на других частотах из-за возникновения интенсивных вихревых потоков. Интенсивность этого шума пропорциональна скорости потока в данном месте.

При проектировании глушителя важную роль играет организация потока газа для увеличения его пути движения. Увеличивающиеся при этом площадь и время контакта потока с элементами конструкции, а также возникающие различные виды трения и теплообмена способствуют уменьшению скорости пульсаций и шума во всем диапазоне частот. Организация вращательного движения потока газа дает возможность инерционного отделения раскаленных частиц нагара – искрогашения. Рациональная организация движения потока газа при активном способе глушения шума позволяет получить высокие заглушающие свойства в широком диапазоне частот при ограниченном объеме и приемлемом сопротивлении.

Приближенный расчет сопротивления глушителя может быть выполнен на основе уравнений гидравлики, а характеристики заглушения предлагаемого уравнения:

$$\Delta L = \Delta L_H + \Delta L_R + \Delta L_T, \quad (1)$$

где  $\Delta L_H$ ,  $\Delta L_R$ ,  $\Delta L_T$  – глушение, обеспечиваемое соответственно активным, реактивным сопротивлениями и теплообменом в глушителе, дБ.

Расчет составляющих и общего глушения целесообразно вести для низкочастотного шума, обусловленного пульсациями газа при открытии выпускных клапанов и высокочастотного вихревого шума.

Расчет составляющих общего глушения низкочастотного шума при проектировании выполняется по формулам:

$$\Delta L_H = 20 \lg \frac{\sum H}{H_{mp}}, \quad \Delta L_R = 0, \quad \Delta L_T = 20 \lg \frac{T_1}{T_2} \quad (2)$$

где  $\sum H$  – суммарное гидравлическое сопротивление глушителя, Па;

$H_{mp}$  – сопротивление равновеликой по длине глушителя трубе, Па;

$T_1$  и  $T_2$  – температура отработавших газов на выходе равновеликой по длине трубы и глушителя, К.

Используя известные гидравлические зависимости [4], можно рассчитать сопротивление выпускных систем:

$$\text{с глушителем} \quad \sum H = \xi_{\Sigma} \frac{\gamma u^2}{2}; \quad (3)$$

без глушителя (равновеликая труба)

$$H_{mp} = \frac{\lambda S_0 \gamma u^2}{4 F_0} \quad (4)$$

Здесь  $\xi_{\Sigma}$  – суммарный коэффициент сопротивления выпускной системы с глушителем;

$\gamma$  – плотность отработавших газов, кг/м<sup>3</sup>;

$u$  – средняя скорость потока, м/с;

$\lambda$  – коэффициент сопротивления трения относительно длины трубы;

$S_0$  – площадь поверхности трения, м<sup>2</sup>;

$F_0$  – площадь поперечного сечения трубы, м<sup>2</sup>.

Средняя скорость потока газов рассчитывается по формуле:

$$u = \frac{\mu T V_h \zeta_0}{F_0 T_0} \left( \frac{ni}{60\tau} \right), \quad (5)$$

где  $\zeta_0$  и  $\mu$  – соответственно коэффициенты наполнения цилиндров и молекулярного изменения рабочей смеси;

$V_h$  – рабочий объем цилиндра двигателя, м<sup>3</sup>;

$T$  и  $T_0$  – температура отработавших газов и свежего заряда, К;

$n$  – частота вращения вала двигателя, мин<sup>-1</sup>;

$i$  – число цилиндров;

$\tau$  – коэффициент тактности.

Поскольку уменьшение переменной составляющей скорости пульсирующего потока активным сопротивлением приводит к уменьшению вихревого шума по закону шестой степени  $p \sim u^6$ , а гидравлическое сопротивление пропорционально квадрату скорости потока  $H \sim u^2$ , общее глушение низкочастотного и высокочастотного шума выпуска отработавших газов можно определить из выражений:

$$\Delta L_{нч} = 20 \left( \lg \frac{\sum H}{H_{mp}} + \lg \frac{T_1}{T_2} \right); \quad (6)$$

$$\Delta L_{вч} = 30 \lg \frac{\sum H}{H_{mp}} + 20 \lg \frac{T_1}{T_2} \quad (7)$$

По формулам (6) и (7) выполнен расчет и построены графики, иллюстрирующие вклад составляющих

от сопротивления и температуры на общее заглушение (рис. 1, 2).

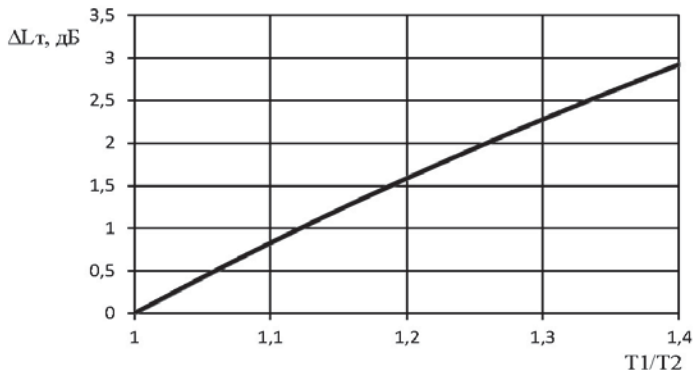


Рисунок 1. Расчетная зависимость глушения шума выпуска отработавших газов от снижения температуры

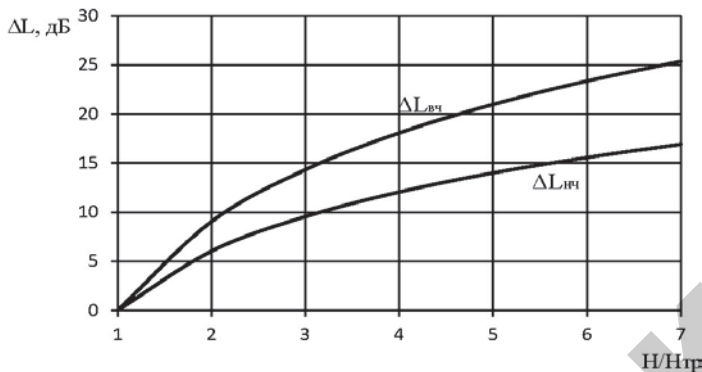


Рисунок 2. Расчетная зависимость глушения шума выпуска отработавших газов от сопротивления

Как видно из графиков, основной компонент шумоглушения – сопротивление. В то же время, сопротивление выпуску существенно влияет на экономичность двигателя. При  $\sum H/H_{тр} = 3,8 \dots 3,9$  удельный расход топлива в сравнении  $\sum H/H_{тр} = 1$  возрастает до 2 г/кВт·ч. Исходя из вышесказанного, глушитель должен проектироваться с оптимальной заглушающей характеристикой. Чрезмерное улучшение заглушающей характеристики не приведет к снижению

шума на рабочем месте и внешнего шума, а повышенное сопротивление ухудшит показатель расхода топлива. Это особенно актуально на тракторах, оборудованных катализаторами. Катализатор, с точки зрения акустики, является эффективным активным глушителем. Поэтому глушитель в данном случае необходимо оптимизировать по показателям требуемого заглушения и сопротивления.

### Заключение

1. Работы по снижению шума должны проводиться последовательно от наиболее мощного источника шума и далее по нисходящей к источникам меньшей мощности.
2. Применение только реактивных глушителей на тракторах не позволит достичь требуемых норм шума системы выпуска.
3. Приведенные математические зависимости позволяют производить предварительный расчет характеристик глушителя и оптимизировать его конструкцию в процессе доработки.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Разумовский, М.А. Борьба с шумом на тракторах / М.А. Разумовский. – Минск: Наука и техника, 1973 – 208 с.
2. Разумовский, М.А. Прогнозирование шума поршневых двигателей / М.А. Разумовский. – Минск: Высшая школа, 1981. – 39 с.
3. Безручко, А.Ф. Улучшение характеристик глушителей шума сельскохозяйственных тракторов: дисс. ... канд. тех. наук: 05.05.03 / А.Ф. Безручко. – Минск, 1988. – 113 с.
4. Идельчик, И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / И.Е. Идельчик; под общ. ред. М. О. Штейнберга. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 12.04.2016

**“Агропанорама” - научно-технический журнал для работников агропромышленного комплекса. Это издание для тех, кто стремится донести результаты своих исследований до широкого круга читателей, кого интересуют новые технологии, кто обладает практическим опытом решения задач.**

Журнал “Агропанорама” включен в список изданий, рекомендуемых Высшей аттестационной комиссией для опубликования результатов диссертационных исследований по техническим (сельскохозяйственное машиностроение и энергетика, технический сервис в АПК), экономическим (АПК) и сельскохозяйственным наукам (зоотехния).

Журнал выходит один раз в два месяца, распространяется по подписке и в розницу в киоске БГАТУ. Подписной индекс в каталоге Республики Беларусь: для индивидуальных подписчиков - 74884, предприятий и организаций - 748842. Стоимость подписки на 1-е полугодие 2017 года: для индивидуальных подписчиков - 17,61 руб., ведомственная подписка - 19,29 руб.