

3. Об обеспечении пожарной безопасности. Постановление Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь № 82 от 21.12.2021 г. (в ред. постановления МЧС от 12.12.2025 № 61)

4. Райхель В. Противовзрывная защита промышленных установок. – М.: Техносфера, 2018.

5. NFPA 69: Standard on Explosion Prevention Systems. 2024 Edition.

Summary: This article examines the HRD device—an active explosion suppression system used to protect industrial equipment from dust and gas explosions. The paper describes the system's purpose, design, and operating principle, based on ultra-fast detection of the initial stage of an explosion and the immediate release of a suppressant into the protected space. Particular attention is given to the specific application of HRD systems at explosive facilities, such as dryers, filters, silos, and aspiration systems. It is demonstrated that the use of these devices enables early explosion containment, prevents equipment destruction, reduces the risk of personnel injury, and ensures compliance with industrial safety requirements.

УДК 534.322.3

Гаркуша А.В., старший преподаватель;

Мисун Л.В., доктор технических наук, профессор;

Мисун Ал-й. Л., кандидат технических наук, доцент

Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ МНОГОСЛОЙНЫХ ЗВУКОИЗОЛИРУЮЩИХ КАПОТОВ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ВНЕШНЕГО И ВНУТРЕННЕГО ШУМА МОБИЛЬНОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы снижения акустической нагрузки на рабочих местах операторов мобильной сельскохозяйственной техники (МСХТ) путем совершенствования конструкций звукоизолирующих капотов (ЗИК) двигателей внутреннего сгорания.

Abstract. The article examines the issues of reducing the acoustic load at the workplaces of mobile agricultural machinery (MAM) operators by improving the designs of sound-insulating hoods (SIH) of internal combustion engines.

Ключевые слова. шум, мобильная сельскохозяйственная техника, звукоизолирующий капот, звукоизоляция, шумозащита, двигатели внутреннего сгорания

Keywords. noise, mobile agricultural machinery, sound-insulating hood, sound insulation, noise protection, internal combustion engines

Звукоизоляция капота является критически важным аспектом снижения уровня шума в кабинах современной МСХТ), где мощные двигатели внутреннего сгорания(ДВС) являются основным источником акустических нагрузок.

Методика исследования звукоизолирующих капотов сельхозмашин включает лабораторные и полевые испытания, регламентированные стандартами [2, 3], охватывая замеры базового шума двигателя, оценку звукоизоляции конструкции (методы интенсивметрического шума) и акустический анализ вентиляционных проемов. Процесс также включает виброакустические тесты с определением резонансных частот и финальные замеры шума на рабочем месте оператора для составления акустического паспорта.

Принцип создания воздушного промежутка между источником шума и звукоизолирующим капотом широко исследуется как отечественными, так и зарубежными специалистами в области снижения шума. Вопросы влияния геометрических параметров подкапотного пространства на эффективность экранирования детально рассматривались в работах Лагуткина С. В. и Смирнова С. Н. [3, 4]. Зарубежный опыт, представленный исследованиями Р. Гардонио и М. Д. Джокер [9], подтверждает, что эффективность звукоизолирующих капотов (ЗИК) определяется не только массой преграды, но и минимизацией акустических мостиков в местах крепления. Успешное применение ЗИК ограничено не только сельскохозяйственными машинами, но и другим оборудованием, включая стационарные силовые установки, находящиеся как внутри помещений, так и в условиях открытого пространства.

Капот является универсальным и эффективным средством, поэтому целесообразно капоты применить на наиболее шумных силовых установках – ДВС. При разработке конструкций капотов на ДВС необходимо учитывать ряд противоречивых требований:

- обеспечение нормального воздуха и теплообмена;
- простоту конструкции и надежность в эксплуатации;
- обеспечение минимальной массы и требуемого шумопоглощения.

Все многообразие конструкций звукоизолирующих капотов, которые устанавливаются на сельскохозяйственных, путевых и дорожно-строительных машинах, можно свести к пяти основным типам. Исследования капотов различных конструкций с акустической облицовкой стен, а также без облицовки показали, что и необлицованных капотов, полузакрытых с глушителями, полностью закрытых и полузакрытых с экранами примерно одинаковая эффективность: 5-13 дБ в частотном диапазоне 250-8000 Гц, а у капотов открытых и полузакрытых - 3-5 дБ [1, 10]. Так, звукопоглощающая облицовка увеличивает эффективность у капотов на частотах, больших 123 Гц. Эффективность капотов полузакрытых практически такая же на частотах до 1 кГц и увеличивается на 3-7 дБ на частотах, больших 1 кГц. У капотов полузакрытых с глушителями и полузакрытых с экранами, введением облицовки

увеличивается эффективность в снижении шума на 10-15 дБ на низких частотах и 15-25 дБ на средних и высоких частотах.

Капот полностью закрыт, прост по конструктивному исполнению. В то же время, при наличии облицовки, эффективен – 6-22 дБ в частотном диапазоне 250 Гц и 25-40 дБ в диапазоне 5-8 кГц. Однако максимальная эффективность (достигаемая при проверке на стендах) на реальных машинах, как правило, не реализуется [1].

При облицовке площадью всего 15% дополнительно снижение шума составляет 5 - 10 дБ в широком диапазоне частот (до 18 кГц). Увеличение площади облицовки до 50% дает дополнительный эффект на 4-6 дБ, а до 100% обеспечивает снижение шума на 7 - 13 дБ главным образом на высоких частотах (2 - 8 кГц). Следовательно, не всегда целесообразно полностью облицовывать капот звукопоглощающим материалом. Увеличение толщины шумопоглощающей облицовки (от 10 до 30 мм) незначительно увеличивает эффективность. Из применяемых для облицовки капотов материалов наиболее эффективной является облицовка пенополиуретаном.

Наличие на стенках капотов вентиляционных окон сильно снижает эффективность шумоизоляции. Даже если площадь проема составляет 6% капот становится малоэффективным. Эффективность капота со щелью, площадь которого равна площади проема на высоких частотах на 3-6 дБ выше [10].

Наименьшее снижение эффективности обеспечивают капоты, в которых вентиляционные проемы заменены отверстиями.

Конфигурация вентиляционных окон в зависимости от требований шумопоглощения должна выбираться следующим образом: при требуемой эффективности капота до 5 дБА окна можно выполнять в виде проемов; при 5-10 дБА - в виде щелей, а при требуемой эффективности, свыше 10 дБА - в виде отверстий. Если для нормального теплообмена силовой установки нужны окна, (проемы, щели) площадью более 5%, то их надо обязательно защищать акустическими экранами. Рекомендуемая площадь облицовки капота 75% площади его внутренних ограждений, толщина стенок – 1 - 2 мм [5].

На некоторых путевых машинах на ДВС установлены капоты без звукопоглощающей облицовки. Боковые стенки их глухие, но внизу оставлен проем. Эффективность таких капотов составляет 5-10 дБ.

В работах немецких исследователей обоснована концепция многослойного капсулирования ДВС. Особенностью немецкой школы проектирования ЗИК является использование композитных сэндвич-панелей с вязкоупругими прослойками. Такой подход позволяет не только минимизировать воздушный шум, но и эффективно демпфировать

структурные вибрации тонкостенных элементов капота. При этом критическое внимание уделяется термодинамической устойчивости изоляционных материалов в условиях высокотемпературных зон подкапотного пространства (согласно стандартам DIN и FMVSS) [12,13].

Некоторые путевые машины оснащаются капотами [1], стенки которых состоят из нескольких слоев общей толщиной 40-80 мм: сталь (жесть) 1-1,5 мм, демпфирующий материал 3-4 мм, слой звукопоглощения, защищенный перфорированным листом. Капоты, устанавливаемые на силовые установки строительно-дорожных машин, многослойные. Чаще всего трехслойные: металлический лист толщиной 1,5-2,5 мм, звукопоглощающий материал 20-50 мм, перфорированный лист - 0,8-1,2 мм. Вентиляционные отверстия в капоте для прохода воздуха закрываются экранами.

Японский подход к снижению шума МСХТ [10, 11] характеризуется переходом к точечному экранированию высоконагруженных зон. Применение методов акустической визуализации позволяет оптимизировать массу ЗИК, размещая звукопоглощающие элементы только в зонах максимальной интенсивности излучения. Особый интерес представляют разработки в области микроперфорированных панелей и систем активного шумоподавления (ANC), которые позволяют компенсировать низкочастотные гармоники двигателя, трудноподающиеся пассивной изоляцией в условиях ограниченного объема моторного отсека. На основе методов акустической интенсивности японскими исследователями достигается снижение уровня звукового давления на 15–22 дБА при использовании систем полного капсулирования. Особое внимание уделяется высокочастотной составляющей (свыше 1 кГц), где эффективность конструкций достигает 25–35 дБ благодаря внедрению микроперфорированных резонансных панелей [10, 11].

Несмотря на высокую эффективность зарубежных решений, их прямое внедрение на отечественной МСХТ часто затруднено из-за специфических условий эксплуатации и высокой стоимости специализированных композитов. Это обуславливает необходимость разработки адаптивных конструкций ЗИК, сочетающих доступность материалов (таких как ППУ) с современными геометрическими методами подавления звуковой энергии, например, через внедрение лабиринтных вентиляционных трактов.

Список использованной литературы

1. Иванов, Н. И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом: учебник/ Н.И. Иванов. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Логос, 2015. – 432 с.
2. ГОСТ ISO 3744-2013. Акустика. Определение уровней звуковой мощности... – Введ. 01.03.2014. – Минск : Госстандарт : БелГИСС, 2014.ГОСТ

12.1.003-83. Шум. Общие требования безопасности. – М. : Изд-во стандартов, 1983. – 10 с.

3. Лагуткин, С. В. Исследование и разработка методов снижения внешнего шума тракторов : дис. ... канд. техн. наук : 05.05.03 / Лагуткин Сергей Викторович. – Москва, 1986. – 215 с.

4. Смирнов, С. Н. Снижение внешнего шума двигателей внутреннего сгорания путем совершенствования средств экранирования : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.04.02 / Смирнов Сергей Николаевич ; [Место защиты: Центр. науч.-исслед. автомобил. и автомотор. ин-т]. – Москва, 1993. – 20 с.

5. Шум и вибрация на железнодорожном транспорте : учебник для вузов ж.-д. транспорта / [Н. И. Иванов и др.] ; под ред. Н. И. Иванова. – Москва : УМЦ ЖДТ, 2011. – 453 с.

6. Техническое решение для снижения уровня воздействия источников шума на акустические характеристики кабины трактора в послегарантийный период эксплуатации/ А.Л. Мисун, А.В. Гаркуша, А.П. Рудковская [и др.]// Обеспечение безопасной жизнедеятельности на современном этапе развития общества: материалы республ. науч.- практ. конф. г. Горки, 21-22 апр. 2022г./ Белорус. гос. с.-х. акад.; редкол.: В.Н. Босак (гл. ред.) [и др.]. – Горки, 2022.- С. 92-94.

7. Физиологические и медико-биологические основы безопасности жизнедеятельности: пособие/ Ал-й Л. Мисун, Л.В. Мисун, Ал-р Л. Мисун [и др.]. – Минск: Белорус. гос. агр. техн. ун-т, 2024. – 312 с.

8. Crocker M. J. Handbook of Noise and Vibration Control. – John Wiley & Sons, 2007. – 1584 p.

9. Beranek, L. L. Noise and Vibration Control Engineering: Principles and Applications / L. L. Beranek, I. L. Vér. – New York : John Wiley & Sons, 2006. – 976 p.

10. Adachi, S. (Адачи, С.) Engine Enclosure for Small-sized Diesel Engines [Капсулирование двигателей для малогабаритных дизельных двигателей] / S. Adachi // Yanmar Technical Review. – 1990. – № 4. – С. 45–52.

11. Kadowaki, H. Active Noise Control in Agricultural Machinery / H. Kadowaki // JSME International Journal. Series C, Dynamics, Control, Robotics, Design and Manufacturing. – 1999. – Vol. 42, No. 2. – P. 440–446.

12. DIN 75201. Bestimmung des Foggingverhaltens von Werkstoffen der Kraftfahrzeuginnenausstattung [Определение характеристик запотевания/испарения материалов интерьера и моторного отсека автомобилей]. – Berlin : Beuth Verlag, 2011. – 14 s.

13. FMVSS 302. Flammability of Interior Materials [Воспламеняемость материалов интерьера и моторного отсека]. – Washington : National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), 2021.

Summary. This article focuses on reducing noise in agricultural machinery cabins by optimizing the design of sound-insulating hoods. The use of sandwich panels and efficient cladding reduces noise by 5–10 dB, improving working conditions for the operator.