

Л. В. Мисун, А. В. Гаркуша, Ал-р Л. Мисун

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: LLM_90@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ УРОВНЕЙ ШУМА В КАБИНЕ ТРАКТОРА В ПОСЛЕГАРАНТИЙНЫЙ ПЕРИОД ЭКСПЛУАТАЦИИ

Аннотация. В статье предложен алгоритм и выполнен расчет уровней шума в кабине трактора (на примере «Беларус-1221») с послегарантийным периодом эксплуатации при возникновении акустического излучения со стороны внешнего источника. Рассмотрены технические решения, способствующие снижению шума до нормативного значения.

Ключевые слова: трактор, послегарантийный период эксплуатации, кабина, уровень шума, технические решения.

L. V. Misun, A. V. Garkusha, Al-r L. Misun

El “Belarusian State Agrarian Technical University”

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: LLM_90@mail.ru

STUDY OF NOISE LEVELS IN THE TRACTOR CAB IN THE POST-WARRANTY PERIOD OF OPERATION

Abstract. An algorithm is proposed and a calculation of noise levels in the tractor cabin is performed (using the example of “Belarus 1221”) with a post-warranty period of operation of the tractor in the event of acoustic radiation from an external source. Technical solutions are considered that help reduce noise to the standard value.

Keywords: tractor, post-warranty service life, cabin, noise level, technical solutions.

Введение

Из известных опасных и вредных производственных факторов (ОВПФ) шум выделяется как постоянно действующий фактор высокой интенсивности, воздействие которого приводит как к ухудшению здоровья работающих, так и к снижению производительности труда [1–7]. Создание мощных и производительных тракторов неизбежно сопровождается увеличением уровней шума в кабинах на рабочих местах трактористов-машинистов. Еще большую актуальность вопрос снижения шума и улучшения условий труда в кабине тракторов имеет в послегарантийный период эксплуатации. Согласно статистическим данным такой техники в Республике Беларусь около 80 % от ее общего количества. Проведенный анализ показал, что работы по снижению шума в кабинах тракторов проводились, как правило, на стадии проектирования с доводкой акустических характеристик в кабинах до нормативных величин и практически не рассматривались в послегарантийный период эксплуатации трактора. В качестве объекта исследований был выбран наиболее типичный представитель парка тракторов Республики Беларусь – «Беларус-1221».

Основная часть

Результаты проведенных теоретических и экспериментальных исследований позволили разработать алгоритм (рисунок 1) и методику инженерного расчета основной составляющей шума при воздействии внешних источников. Исследования шумовых характеристик в кабине проводились с учетом изменения коэффициента звукоизоляции элементов ограждения кабины в зависимости от срока эксплуатации трактора и выполнялись при возникновении акустического

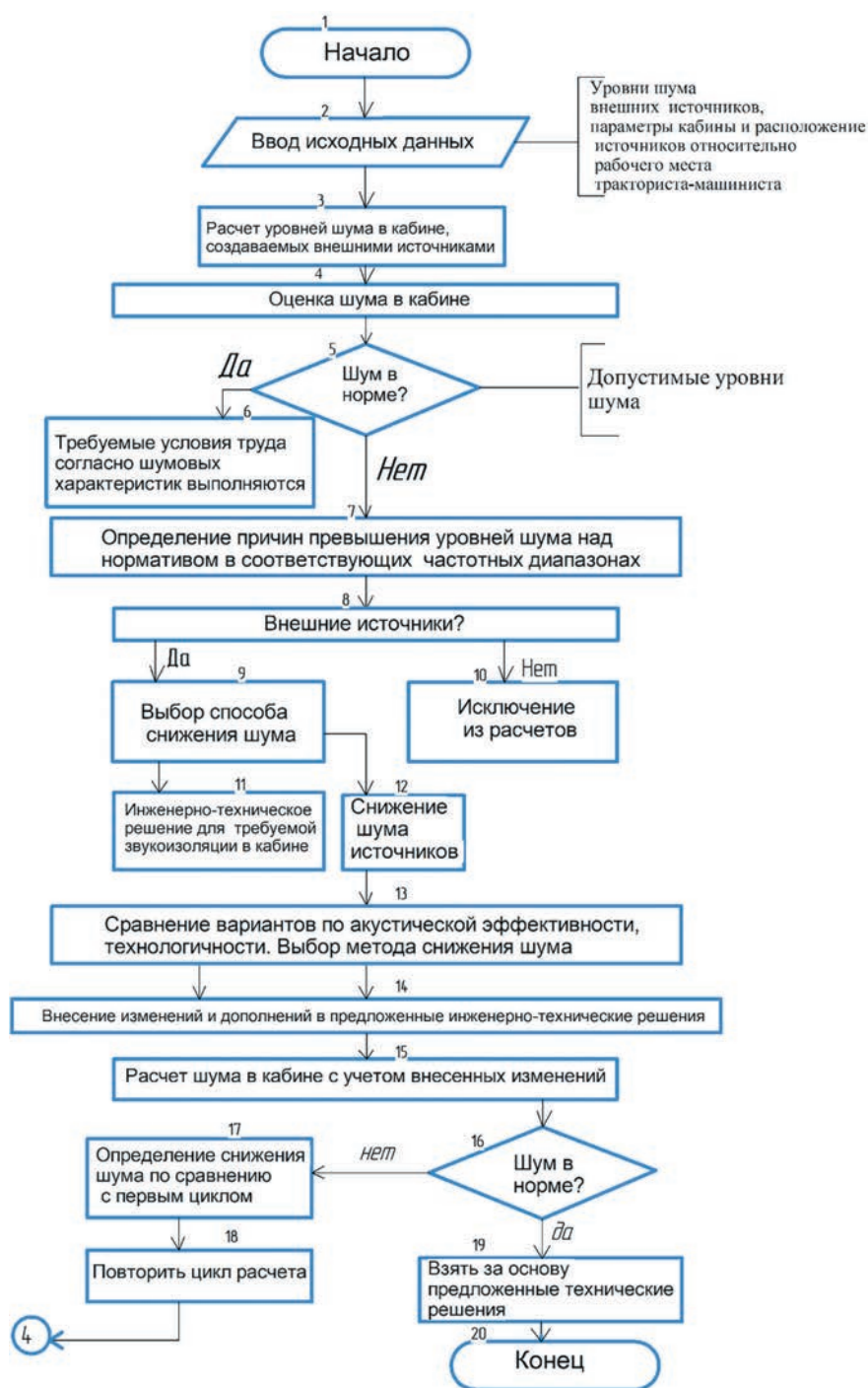


Рисунок 1 – Алгоритм расчета шума в кабине трактора, создаваемого внешними источниками

излучения со стороны внешнего источника, установленного на расстоянии одного метра от рабочего места тракториста-машиниста. Такая компоновка кабины относительно источника шума соответствует расчетной схеме, приведенной на рисунке 2.

Под наблюдением находились 20 тракторов «Беларус-1221» со сроком эксплуатации от 5 до 14 лет. Сбор и обработка информации проводилась согласно требованиям нормативных документов [8–9].

Для определения доли воздушной составляющей шума в кабине трактора в соответствующих частотных полосах при воздействии внешних источников составлялась амплитудно-частотная характеристика воздушного объема кабины методом прозвучивания (рисунок 3). Внутри кабины устанавливался динамик, настраиваемый звуковым генератором и микрофоном.

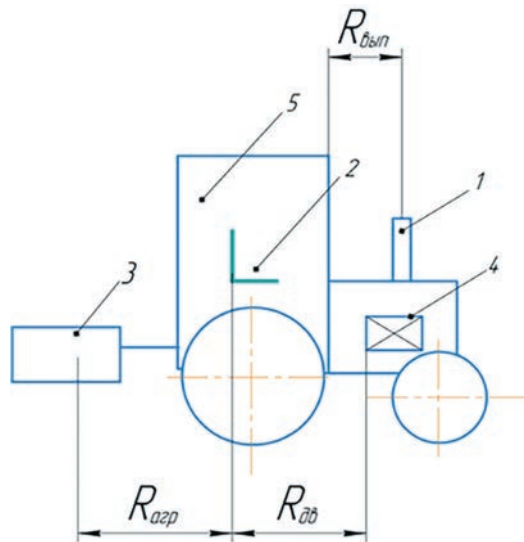


Рисунок 2 – Расчетная схема для определения воздушной составляющей шума в кабине трактора:
 1 – выпуск отработавших газов (ОГ) ДВС; 2 – рабочее место тракториста-машиниста;
 3 – сельскохозяйственная техника; 4 – корпус ДВС; 5 – кабина трактора

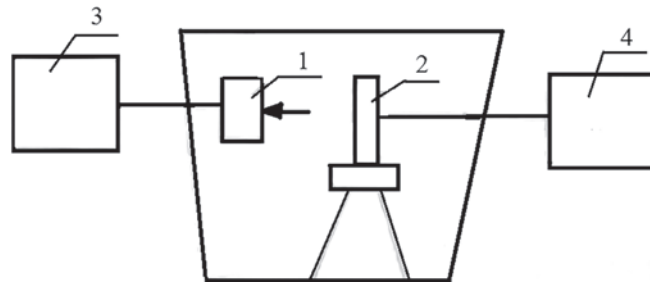


Рисунок 3 – Измерительный тракт для прозвучивания внутреннего воздушного пространства:
 1 – источник шума; 2 – микрофон; 3 – звуковой генератор; 4 – шумомер

Для расчетов уровня шума в кабине при воздействии внешних источников (ДВС, выпуска ОГ ДВС) использовались следующие выражения [3]:

$$L_{\text{каб}}^{\text{ДВ}} = L_{w_{\text{ДВ}}} + 10 \lg \sum_{i=1}^n S_{\text{каб}_i} 10^{-0,1(3\text{И}_i - t g_i)} - 10 \lg A_{\text{каб}} - L_{\text{др}}^{\text{ДВ}};$$

$$L_{\text{каб}}^{\text{ВЫП}} = L_{w_{\text{ВЫП}}} + 10 \lg \sum_{i=1}^n S_{\text{каб}_i} 10^{-0,1(3\text{И}_i + t g_i)} - 10 \lg A_{\text{каб}} - L_{\text{др}}^{\text{ВЫП}},$$

где $L_{\text{каб}}^{\text{ДВ}}$, $L_{\text{каб}}^{\text{ВЫП}}$ – доли шума соответственно корпуса ДВС и выпуска ОГ ДВС; $L_{w_{\text{ДВ}}}$, $L_{w_{\text{ВЫП}}}$ – спектры звуковой мощности соответственно корпуса двигателя и выпуска ОГ ДВС (определяются по техническому паспорту); $S_{\text{каб}_i}$ – площадь соответствующего i -го элемента ограждения кабины (таблица 1); n – количество элементов ограждения кабины трактора (таблица 1); $L_{\text{др}}^{\text{ДВ}}$, $L_{\text{др}}^{\text{ВЫП}}$ – величина поправки к значению уровня шума в кабине трактора, соответственно от корпуса ДВС и выпуска ОГ ДВС с учетом воздействия внутренних и структурных источников шума (принимается $L_{\text{др}}^{\text{ДВ}} = 4$ дБ, $L_{\text{др}}^{\text{ВЫП}} = 18$ дБ).

Расчет звукоизоляции (ЗИ) i -го элемента ограждения кабины проводился по формуле

$$\text{ЗИ}_i = 10 \lg m_i^2 \cdot h_i \cdot K_{\text{зв}_i} + \Delta_1,$$

где m_i – поверхностная масса i -го элемента ограждения кабины, кг; h – толщина стенки i -го элемента кабины (таблица 1); $K_{\text{зв}_i}$ – коэффициент уменьшения звукоизоляции i -го элемента кабины в зависимости от срока эксплуатации трактора T_s (рисунок 4); Δ_1 – величина поправки,

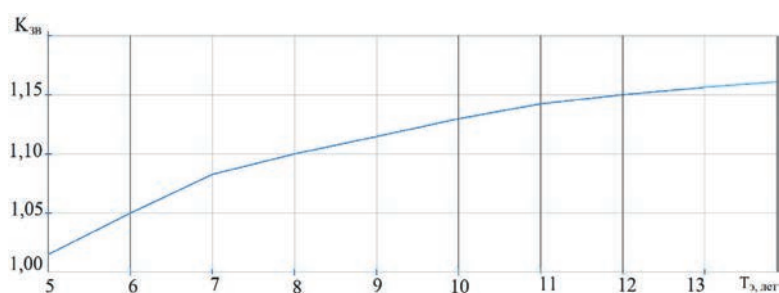


Рисунок 4 – Зависимость коэффициента $K_{зв}$ от срока эксплуатации трактора

зависящей от среднегеометрической частоты (таблица 2); η – коэффициент потерь i -й стенки элемента ограждения кабины в октавных или 1/3 октавных полосах частот

$$\eta = \frac{1}{\pi \cdot n_1} \ln \frac{A_1}{A_n},$$

где n_1 – количество колебаний на измерительном расстоянии; A_1 и A_n – амплитуда соответственно первого и последнего колебаний на измерительном расстоянии.

Таблица 1 – Геометрические параметры элементов ограждения кабины трактора

Элементы ограждения кабины	Геометрические параметры				
	Толщина стенки элемента ограждения кабины, мм	Толщина металла, мм	Воздушный промежуток, мм	Площадь металлической части кабины, м ²	Площадь остекленной части кабины, м ²
Передняя стенка	4,5	1,5	–	0,65	1,8
Левая стенка	4,5	1,5	40	0,88	1,12
Правая стенка	4,5	1,5	40	1,2	1,4
Задняя стенка	4,5	1,5	–	1,2	0,4
Потолок	–	1,5	60	2,24	–
Пол	–	1,5	60	2,24	–

Таблица 2 – Значение поправки Δ_1

Частота, Гц	31,5	63	125	250	500	1 000	2 000	4 000	8 000
Δ_1 , дБ	1	8	17	26	35	44	53	62	71

Примечание: составлено на основе [3].

Поправка звукоизоляции элемента ограждения кабины в зависимости от его расположения относительно источника шума, tg_i , представлена в таблице 3, дБ:

$$A_{каб} = \bar{a}_{каб} S_{каб},$$

$A_{каб}$ – звукопоглощение в кабине, $\bar{a}_{каб}$ – среднее значение коэффициента звукопоглощения в кабине в октавных полосах (таблица 4).

Таблица 3 – Дифракционные поправки к звукоизоляции элементов ограждения кабины (tg_i)

Наименование элемента ограждения кабины	Усредненные значения поправок (дБ) в октавных интервалах частот (Гц)								
	31,5	63	125	250	500	1 000	2 000	4 000	8 000
Правая боковая стенка (со стороны двигателя)	2	2	2	2	2	2	2	2	3
Задняя стенка	1	1	1	1	1	1	1	1	2
Потолок	3	3	3	3	3	3	3	3	5
Передняя стенка	5	5	5	5	5	5	5	5	7
Левая стенка	7	7	7	7	7	7	7	7	8

Примечание: составлено на основе данных [3].

Таблица 4 – Среднее значение коэффициента звукопоглощения кабины ($\bar{\alpha}_{\text{каб}}$)

Наименование конструкции	Коэффициент в октавных полосах частот, Гц								
	31,5	63	125	250	500	1 000	2 000	4 000	8 000
Кабина со звукопоглощением	0,1	0,1	0,3	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,6

Примечание: составлено на основе данных [3].

Результаты расчета показателя ЗИ приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Значения показателя звукоизоляции кабины тракторов «Беларус-1221» (срок эксплуатации трактора – 8 лет)

Элементы ограждения	Звукоизоляция (дБ) в октавных интервалах частот (Гц)								
	31,5	63	125	250	500	1 000	2 000	4 000	8 000
Передняя стенка кабины	6	11	18	20	25	30	34	38	41
Левая стенка	8	14	24	30	36	42	46	48	48
Правая стенка	9	15	23	29	36	42	44	46	47
Задняя стенка	12	17	24	28	35	37	41	42	43
Потолок кабины	12	18	25	35	48	44	54	54	62
Пол кабины	11	18	30	41	49	47	57	58	65

Графическое отображение расчетов уровней шума в кабине исследуемых тракторов при воздействии внешних источников представлено на рисунке 5.

Во время экспериментальных исследований выявлено существенное влияние воздушной составляющей шума корпуса двигателя в низко- и среднечастотном диапазоне на рабочем месте тракториста-машиниста. Как один из вариантов для снижения повышенного уровня шума в кабине трактора, эксплуатируемого восемь и более лет, предлагается двухслойное ее остекление (рисунок 6).

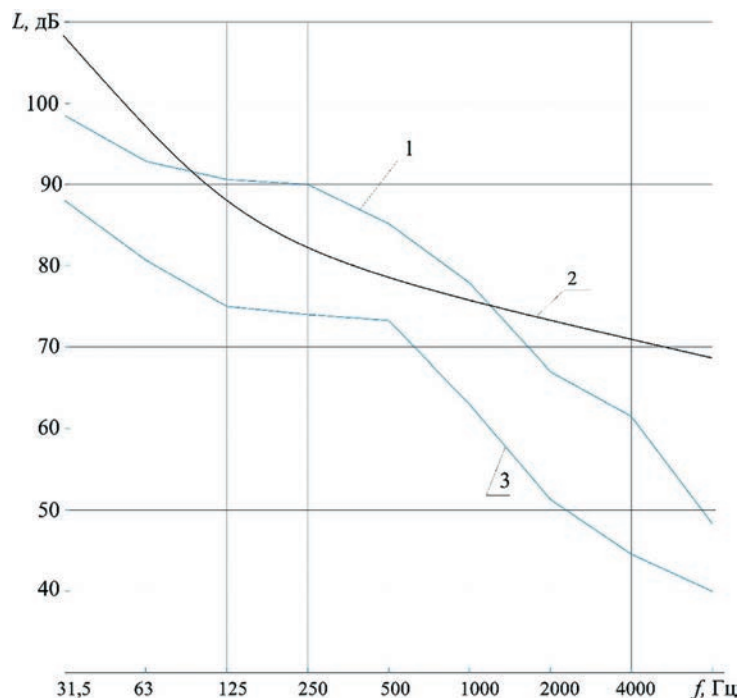


Рисунок 5 – Результаты исследований уровней шума в кабине трактора «Беларус-1221»

(срок эксплуатации – восемь лет): 1 – спектр шума в кабине при воздействии шума корпуса двигателя; 2 – спектр шума в кабине при воздействии шума выхлопа ОГ ДВС; 3 – предельно допустимые уровни шума [10–11]

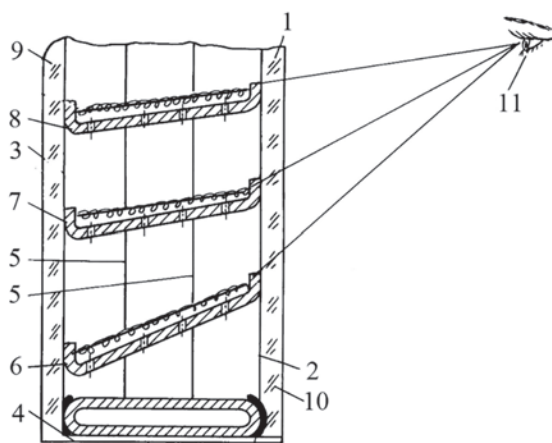


Рисунок 6 – Станина кабины трактора из двухслойного остекления [12]: 1 – станина; 2, 3 – внутреннее и внешнее стекла; 4 – упорная рама; 5 – струна; 6 – жалюзи; 7 – желоб; 8 – отверстие; 9 – слой синтетического волокна; 10 – мастика; 11 – глаз тракториста-машиниста

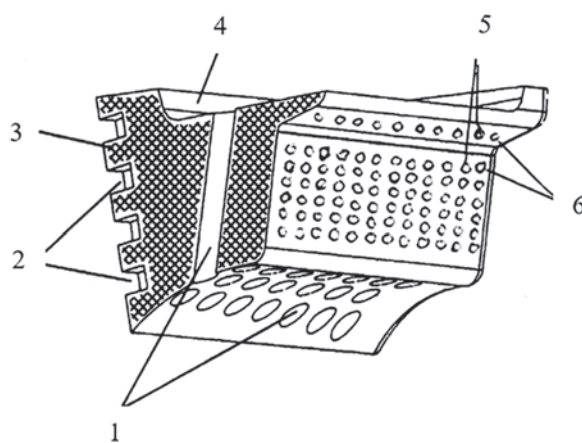


Рисунок 7 – Вертикальный поглотитель звуковой энергии в подкапотном пространстве трактора [14]: 1 – вентиляционные каналы; 2 – тупиковые полости; 3 – пористый элемент поглотителя звуковой энергии; 4 – воздухозаборная полость; 5, 6 – отверстия

Для определения способности стеклянных пластин препятствовать проникновению шума рассчитывается показатель «критическая частота волн» ($f_{кр}$) [13]

$$f_{кр} = \frac{C^2}{2\pi} \sqrt{\frac{m}{B}} = \frac{C^2}{1,8 \cdot C_{п} h},$$

где C – скорость звука в воздухе, м/с; B – изгибная жесткость пластины; $C_{п}$ – скорость распространения звуковых волн в твердом теле (пластине), м/с; h – толщина пластины, м.

Среднее значение показателя звукоизоляции ($R_{ср}$) двойной стенки с воздушной прослойкой для частот от 100 до 3 000 Гц находится из выражения [13]

$$R_{ср} = 13,5(m_1 + m_2) + 13 + \Delta_{пр},$$

где m_1 и m_2 – масса стекол перегородки, кг; $\Delta_{пр}$ – звукоизоляция воздушного промежутка, дБ.

Предлагаемое запатентованное техническое решение двухслойного остекления ближайшей к двигателю стенки кабины трактора способствует увеличению звукоизоляции кабины на частотах 250 Гц и снижению шума до 5 дБА.

Для уменьшения уровня шума, проникающего в кабину трактора, рекомендуется техническое средство в виде вертикального поглотителя звуковой энергии (рисунок 7), состоящее из цельноформованного звукопоглощающего модуля и шумопоглощающей панели, смонтированных в подкапотном пространстве. Для дополнительного демпфирования звукопоглощающего модуля выполнены тупиковые плоскости в виде обращенных вершинами внутрь прямых круговых конусов. При этом обращенные наружу диаметры оснований прямых круговых конусов равны 6–8 мм, а угол при вершине в осевом сечении углублений равен в шахматном порядке 60 и 90°. Поверхность стенок звукопоглощающего модуля облицована термостойкой микроперфорированной алюминиевой фольгой.

Для защиты от шума высоких уровней в кабине трактора предлагается использовать и шумопоглощающее техническое средство в виде брызговики (рисунок 8), которое устанавливается в нижней горизонтальной части моторного отсека трактора и содержит тонколистовой металлический элемент в виде защитной несущей оболочки [15]. Такая оболочка может включать несколько отдельно смонтированных составных частей, имеющих горизонтальные и боковые (вертикальные и наклонные) поверхности. Звукопоглощающая футеровка плосколистовых звукопоглощающих панелей содержит внешний пожаро-защитный слой звукопрозрачной пленки, а также слой пористого звукопоглощающего материала и монтажный адгезионный клеевой слой.

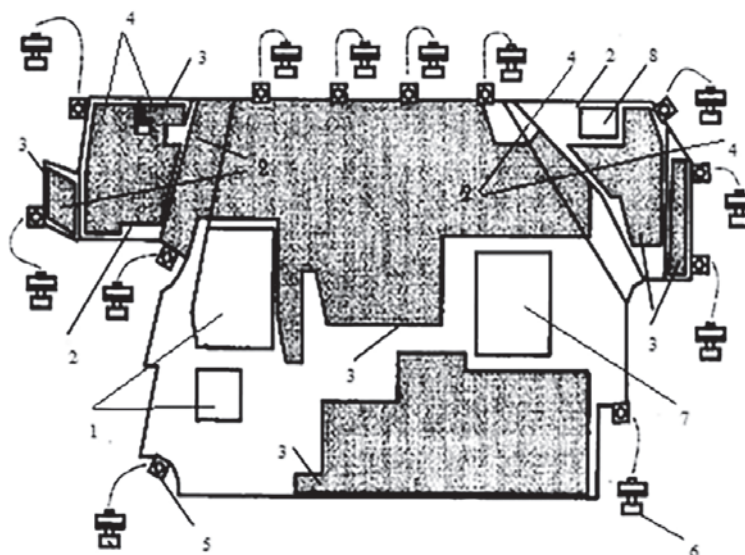


Рисунок 8 – Горизонтальный поглотитель звуковой энергии в подкапотном пространстве трактора:
 1 – панели внутренние плосколистовые звукопоглощающие; 2 – панели боковые плосколистовые звукопоглощающие;
 3 – панель футеровки звукопоглощающая; 4 – панели боковые плосколистовые звукопоглощающие;
 5 – фланец; 6 – съемные крепежные элементы; 7, 8 – проемы вентиляционные

Периметр внешних контуров монолитной плосколистовой звукопоглощающей панели превышает периметр квадратной монолитной плосколистовой звукопоглощающей панели не менее чем в три раза. Площадь лицевой поверхности плосколистовой звукопоглощающей панели составляет не менее $0,25 \text{ м}^2$.

Общее количество автономных плосколистовых звукопоглощающих панелей в составе шумопоглощающего брызговика – четыре. Воздушные зазоры между противоположными торцами отдельных автономных плосколистовых звукопоглощающих панелей больше, чем толщина плосколистовых звукопоглощающих панелей. Такие элементы устанавливаются как на горизонтальной поверхности несущей защитной оболочки шумопоглощающего брызговика, так и на ее боковых (вертикальных и наклонных) поверхностях. На монолитной плосколистовой звукопоглощающей панели имеется лабиринтный вырез, образующий воздушный зазор, ширина которого не менее толщины плосколистовой звукопоглощающей панели. Автономные плосколистовые звукопоглощающие панели выполнены в виде прямоугольных пластинчатых элементов и располагаются параллельно относительно продольной оси трактора, что способствует многократному отражению и поглощению шумопоглощающим брызговиком звуковой энергии, генерируемой системами моторного отсека.

Комплексное применение предлагаемых технических решений будет способствовать снижению уровня шума в кабине трактора на 6–8 дБА, улучшению условий и повышению безопасности труда.

Заключение

На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований разработаны алгоритм и методика расчета акустических характеристик в кабине тракторов (на примере трактора «Беларус-1221»), срок эксплуатации которых составляет более пяти лет, с учетом воздействия внешних источников шума. Полученные результаты использованы в разработке технических решений для снижения уровней шума на рабочем месте тракториста-машиниста.

Список использованных источников

1. Научно-методические основы повышения техносферной безопасности на объектах АПК : монография / Ал-й Л. Мисун, Ал-р Л. Мисун. – Мн. : Бел. гос. агр. техн. ун-т, 2025. – 388 с.

2. Обеспечение безопасности производственной среды в кабине мобильной сельскохозяйственной техники / А. Л. Мисун, И. М. Морозова, Л. В. Мисун [и др.] // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В, Промышленность. Прикладные науки, 2018. – № 11. – С. 24–27.
3. 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.
4. Техническое решение для снижения уровня воздействия источников шума на акустические характеристики кабины трактора в послегарантийный период эксплуатации / Ал-р Л. 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. 2022 г. / Бел. гос. с.-х. акад. ; редкол.: В. Н. Босак (гл. ред.) [и др.]. – Горки, 2022. – С. 92–94.
5. Физиологические и медико-биологические основы безопасности жизнедеятельности : пособие / Ал-й Л. Мисун, Л. В. Мисун, Ал-р Л. Мисун [и др.]. – Мн. : Бел. гос. агр. техн. ун-т, 2024. – 312 с.
6. Климова, М. Г. Физическое воздействие шума на здоровье водителей / М. Г. Климова, Н. К. Христофорова // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия «Экология и безопасность жизнедеятельности». – 2012. – № 11. – С. 38–46.
7. Мисун, Л. В. О проблеме уровня шума в кабине мобильной сельскохозяйственной техники / Л. В. Мисун, А. В. Гаркуша // Производство и переработка сельскохозяйственной продукции : материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф., г. Воронеж, 23–25 ноября 2022 г. – Воронеж : Воронежский гос. агр. ун-т, 2022. – С. 44–50.
8. Надежность в технике. Система сбора и обработки информации. Планирование наблюдений : ГОСТ 27.502-83 ; введ. 26.07.1983 ; Госкомитет по стандартам. – М. : Изд-во стандартов, 1983. – 23 с.
9. Надежность в технике. Термины и определения : ГОСТ 27.002–2015. – Взамен ГОСТ 27.002 – 89. – М. : Стандартинформ, 2015. – 63 с.
10. Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности : ГОСТ 12.1.003-83. – Взамен ГОСТ 12.01. 003 – 76. – М. : Изд-во стандартов, 1983. – 23 с.
11. Об утверждении Санитарных норм, правил и гигиенических нормативов «Шум на рабочих местах, в транспортных средствах, в помещениях жилых, общественных зданиях и на территории жилой застройки»: постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь, 16 ноября 2011 г., № 115 : офиц. сайт. – URL: <http://minzdrav.gov.by> (дата обращения: 20.01.2025).
12. Патент ВУ 162580, МПК 62Д33/06 (2006.01). Кабина транспортного средства : № а20100542 : заявлено 09.04.2010 : опубл. 30.08.2012 / Мисун Л. В., Мисун А. Л., Агейчик В. А. ; заявитель Бел. гос. агр. техн. ун-т. – 5 с.
13. Мисун, А. Л. Техническое решение и основные показатели звукоизоляции двухслойной конструкции из стекла кабины мобильной сельскохозяйственной техники / А. Л. Мисун, И. Н. Мисун, А. Г. Кузнецов // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства : сб. науч. тр., г. Горки, Бел. гос. с.-х. акад. – 2021. – Вып. 6. – С. 29–32.
14. Полезная модель ВУ13753, МПК В 60R 13/08, G 10K 11/168, F 0277/13 (2006.01). Поглотитель звуковой энергии для моторного отсека транспортного средства сельскохозяйственного назначения : № u20240284 : заявлено: 27.12.2024 : опубл. 16.06.2025 / Мисун А. Л., Агейчик О. Г., Гаркуша А. В. [и др.] : заявители : Мисун А. Л., Агейчик О. Г., Гаркуша А. В. [и др.]. – 5 с.
15. Полезная модель ВУ12966, МПК В 62Д 25/16, В 60R 13/08 (2006/01). Шумопоглощающий брызговик моторного отсека трактора : № u20210335 : заявлено 28.12.2021 : опубл. 30.08.2022 / Мисун А. Л., Агейчик О. Г., Гаркуша А. В. [и др.] ; заявители : Мисун Ал-р Л., Агейчик О. Г., Гаркуша А. В. [и др.]. – 10 с.