

DOI: <https://doi.org/10.54422/1994-439X.2025.1-57.219-229>

УДК 331.45

Кунаш М.В., Белохвостов Г.И.

ВЛИЯНИЕ МАСКИРОВКИ НА ПОРОГ СЛЫШИМОСТИ В УСЛОВИЯХ ШУМА ТРАКТОРОВ: ОЦЕНКА РИСКОВ

Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск

В аграрной и строительной сферах постоянный шум от тракторов и другой тяжёлой техники может значительно повышать порог слышимости, снижая способность человека воспринимать важные сигналы, в том числе речевые команды, сигналы тревоги и предупреждения. С точки зрения безопасности труда важно учитывать эффект маскировки, как акустического явления, при котором один звук затрудняет восприятие другого. В данной статье рассматривается влияние маскировки на слуховое восприятие человека в условиях интенсивного низкочастотного шума тракторов, а также связанные с этим риски.

Ключевые слова: влияние маскировки, порог слышимости, шум тракторов, оценка рисков, постоянный шум, труба Вентури, снижение противодавления.

M.V.Kunash, G.I.Belokhvastov

INFLUENCE OF CLOAKING ON THE THRESHOLD AUDIBILITY IN TRACTOR NOISE: EVALUATION RISKS

Belarusian State Agrarian Technical University, Minsk

In agrarian and construction spheres, the constant noise from tractors and other heavy machinery can significantly increase the hearing threshold, reducing the ability of a person to perceive important signals, Including verbal commands, alarms and warnings. From a workplace safety perspective. it is important to consider the effect of masking as an acoustic phenomenon in which one sound makes it difficult to perceive another. Sound makes it difficult to perceive another. This paper examines the effect of masking on human auditory perception under conditions of intensive low-frequency noise of tractors, as well as the associated risks.

Keywords: masking effect, hearing threshold, tractor noise, risk assessment, constant noise, venturi tube, backpressure reduction.

(Поступила в редакцию 21 мая 2025 г.)

Введение

В условиях работы сельскохозяйственной техники, особенно тракторов, операторы подвергаются воздействию интенсивного шума, который может достигать уровней, способных вызвать стойкое ухудшение слуха. Одним из ключевых факторов, влияющих на восприятие звуков в таких условиях, является эффект акустической маскировки – снижение слышимости одного звука за счёт присутствия другого, более громкого звука в том же диапазоне частот. В условиях шума тракторов маскировка может значительно повысить порог слыши-

мости важных аудиосигналов, в том числе предупреждающих сигналов, что увеличивает риск производственных травм и ухудшает рабочую эффективность.

Исследование влияния маскировки на порог слышимости позволяет более точно оценивать аудиологические риски, разрабатывать эффективные средства индивидуальной защиты слуха и оптимизировать акустическую среду кабины оператора. Оценка рисков в данной области имеет важное значение для охраны труда, медицины труда и эргономики.

Основная часть

Условия труда оказывают огромное влияние на здоровье работников, как важного социального индикатора и трудового потенциала страны. Анализ и управление рисками особенно важны [1].

Всемирный отчет о слухе, опубликованный Всемирной организацией здравоохранения, показывает, что в настоящее время более 1,5 миллиарда человек во всем мире страдают от потери слуха. Воздействие производственного шума является основной причиной нарушения слуха у взрослых. Будучи крупной страной-производителем, Республика Беларусь имеет многочисленные промышленные предприятия с серьезными опасностями, связанными с воздействием шума [1].

Согласно национальному исследованию в структуре профессиональной патологии в зависимости от воздействующего вредного производственного фактора по -прежнему на первом месте – профессиональная патология, вследствие чрезмерного воздействия на организм работников промышленных аэрозолей – 53,1 %, из них пневмокониозы – 7 %, профессиональный бронхит – 4 %, хроническая обструктивная болезнь лёгких – 4 % [1, 2]. Второе место – профессиональная патология, следствие воздействия физических факторов – 34,4 %, из них нейросенсорная тугоухость – 11 %. Третье место – за профессиональными заболеваниями, от воздействия химических факторов - 9,4 %, из них аллергический контактный дерматит – 1 %, бронхиальная астма – 1%, бронхиты и пневмониты – 2%. На четвертом месте – профессиональные заболевания от воздействия биологических факторов - 3,1 % [1, 2] (рисунок 1).

К основным источникам шума транспортных и самоходных сельскохозяйственных машин, оборудованных ДВС, относится шум системы выпуска. Шум незаглушенного [3, 4, 5] выпуска может достигать 140 дБА (болевого порог). Это во много раз превосходит шум всех остальных источников [3, 4, 5].

Шум может влиять на безопасность работников. Акустические характеристики тракторов включают устойчивые шумовые компоненты, часто совпадающие с частотами речи (300–3400 Гц). Это делает невозможным эффективную коммуникацию между работниками без дополнительных средств связи. Кроме того, сигналы тревоги или оповещения (например, обратный ход, аварийный сигнал) могут быть полностью замаскированы фоновым шумом техники.



Рисунок 1 – Структура профессиональных заболеваний и отравлений в зависимости от воздействия вредных производственных факторов в 2023 г., % [1, 2]

Инзель Л.И. в своих исследованиях затрагивал различные аспекты влияния шума на восприятие звуков, в том числе и маскировку звуков, что является важным аспектом при оценке акустической среды, особенно в условиях работы с техникой. В психоакустике термин маскировка описывает феномен, при котором один звук «перекрывает» и «маскирует» восприятие другого, особенно если они находятся в близких частотных диапазонах [6].

Принципы, выдвинутые Инзелем Л.И., а также исследования в области маскировки звуков, утверждают следующее:

1. **Маскировка зависит от частоты:** сильнее всего маскировка происходит в пределах частот, где два звука (маскирующий и замаскированный) перекрывают друг друга. Например, если основной шум трактора находится в низкочастотном диапазоне, то высокочастотные предупреждающие сигналы могут быть заглушены этим шумом.

2. **Маскировка и уровень звукового давления:** маскирующий эффект также зависит от уровня шума. Чем громче маскирующий звук, тем выше порог слышимости для других звуков. Это особенно важно в условиях шума, как в случае с тракторами или другой сельскохозяйственной техникой.

3. **Влияние на восприятие предупреждающих сигналов:** в условиях высоких уровней шума, как например в кабине трактора, звуковые сигналы могут быть частично или полностью заблокированы маскирующим фоновым шумом. Это критично для безопасности, так как предупреждающие сигналы могут остаться неслышанными, что увеличивает риск аварий.

Высокие уровни низкочастотных шумов могут повлиять на слуховой контроль функционирования технологического оборудования и своевременное обнаружение неисправностей тракторов и сельскохозяйственных орудий, так как оператор не сможет услышать дребезжание или другой характерный для поломки звук вследствие эффекта маскировки [7, 8, 9]. Он заключается в повыше-

нии порога слышимости для акустических сигналов с частотами выше основного тона и меньшей интенсивности (рисунок 2).

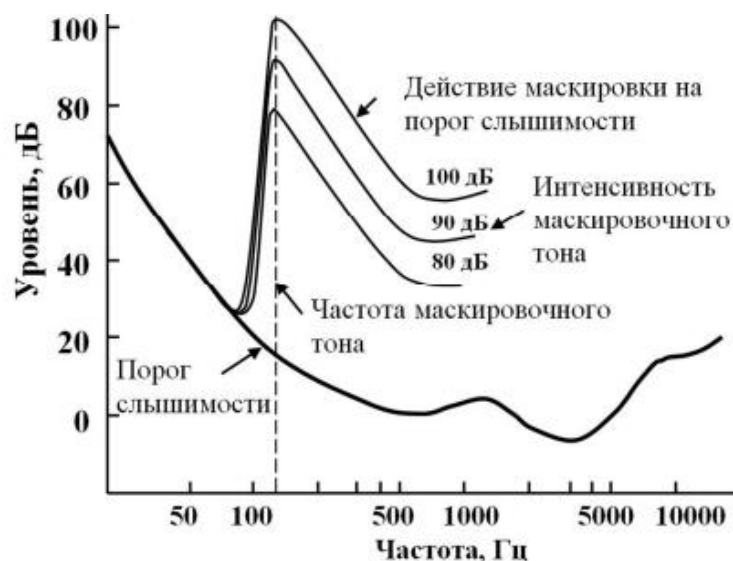


Рисунок 2 – Действие маскировки на порог слышимости [7, 8, 9]

Порог слышимости — это минимальный уровень звукового давления, при котором человек начинает слышать звук определённой частоты. При наличии фона, особенно широкополосного или узкополосного шума, этот порог возрастает. Маскирующее действие особенно выражено, когда частота маскирующего шума близка к частоте полезного сигнала. Исследования показывают, что даже при уровне шума 70–80 дБ порог слышимости может возрасти на 10–30 дБ, в зависимости от типа шума.

Повышенный порог слышимости может привести к следующим последствиям:

- несвоевременное реагирование на опасные ситуации;
- нарушение координации между операторами;
- увеличение вероятности несчастных случаев;
- рост утомляемости и стресса, связанных с постоянной звуковой нагрузкой.

Для улучшения акустической безопасности необходимо разработать глушитель с улучшенными характеристиками шумопоглощения, которые не увеличивают уровень шума на рабочем месте оператора и минимизируют маскирующий эффект.

Нами проведены исследования на тракторе «БЕЛАРУС-1523.3, зав. № Y4R152305P1101184», укомплектованного экспериментальным глушителем шума 800-1205100, изготовленного по конструкторской документации БГАТУ (рисунок 3). В экспериментальном глушителе применили перфорированную вставку в виде трубы Вентури (рисунок 4) [10]. Трактор при испытаниях находился в стандартной эксплуатационной конфигурации, включая полную установку облицовочных панелей двигателя, что обеспечивает реалистичность оценки акустических характеристик.



Рисунок 3 – Трактор «БЕЛАРУС-1523.3» с экспериментальным глушителем



Рисунок 4 – Экспериментальный глушитель 800-1205100 в разборе

Данные исследования проводились на основе международных стандартов по уровню шума (ISO 7216 и ISO 5131) с учётом типа выхлопной системы, положения микрофона, частоты вращения двигателя (об/мин) и положения передачи [10].

В первый день исследований была зафиксирована скорость ветра 3 м/с, атмосферное давление 98,8 кПа, температура воздуха 25 °С, относительная влажность воздуха 82 %. Во второй день исследований – скорость ветра 2 м/с, атмосферное давление 98,8 кПа, температура воздуха 19 °С, относительная влажность воздуха 88 %. Все показатели на момент испытаний полностью соответствовали условиям, заявленным в стандартных регламентах [10].

Для оценки шумового загрязнения использовалось оборудование, указанное в таблице 1.

Таблица 1 – Испытательное оборудование

№ пп	Тип средств измерения (испытательного оборудования), зав./инв. №, диапазон и единицы измерения	Точность измерения	Номер свидетельства
1	Дорога Д002	—	83/1-02
2	Комбинированный testo 435-4 №62372751/009 (кан. изм. давления) Дат. 06369735 №20786617/009 (кан. изм. относительной влажности) Дат. 06351025 №10390083/002 (кан. изм. температуры) Зонд 06351025 № (кан. изм. скорости воздушного потока)	0,1 кПа $\pm 3,1\%$ вл $\pm 1^{\circ}\text{C}$ (0,3+ 0,02V)	ВУ 01 № 0007356-4923 ВУ 01 № 0009115-5024 ВУ 01 № 0012944-5524 ВУ 01 № 0007538-4924
3	Анализатор звука 2260 №2554015 в ком. с капсюлем изм.мик. 4189 №2566160	$\pm 0,7$ дБ	ВУ 01 № 0008064-3423
4	Калибратор звука CAL200 № 5998	$\pm 0,2$ дБ	ВУ 01 № 0005441-3423-В
5	Рулетка РИ-10-3-Д №54123, (0...10000) мм	± 1 мм	ВУ 01 № 0024546-4123
6	Манометр МП-160 зав. № 382241 (0-1) МПа.	Класс 1,5	ВУ 01 № 0002030-4923
7	Пьезометр	—	—
8	Устройство для определения КТС	—	№ 1
9	Отвес	—	—

На рисунке 5 представлены графики уровней звукового давления (в Дб) на режиме номинальной мощности на трактор-стенде в октавных полосах средне-геометрических частот глушителей шума различных конструкций – серийного и экспериментальных (1–5 схем комплектации).

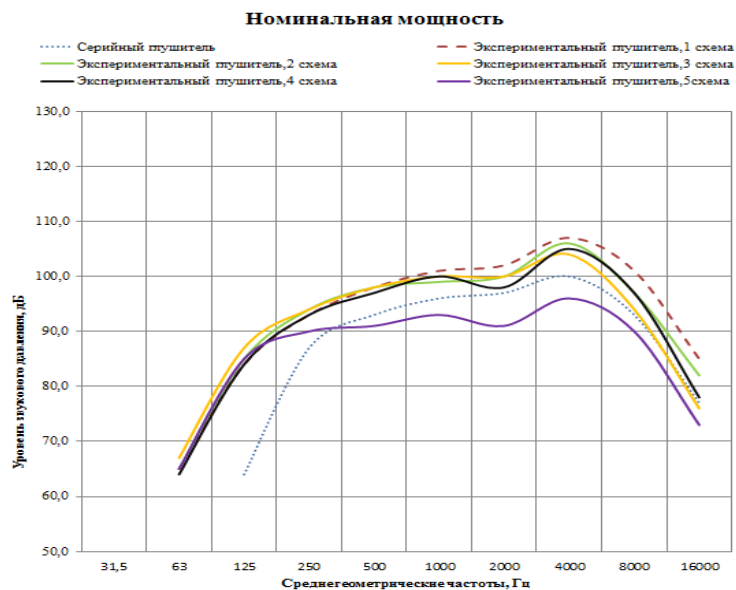


Рисунок 5 – Уровень звукового давления на срезе глушителей на номинальной частоте

После проведения замеров уровней звука и уровней звукового давления у выпускной трубы глушителя (микрофон располагался на расстоянии 0,25 м от края отверстия выпускной трубы глушителя под углом 60^0 к оси потока выхлопных газов) на трактор-стенде был отобран наилучший вариант для проведения замеров шумовых характеристик трактора в соответствии с требованиями ТРТС 031/2012.

Результаты измерения уровня звука внешнего шума трактора в соответствии с ТРТС 031/2012 представлены в таблицах 2–5.

Таблица 2 – Результаты измерений уровня внешнего шума движущегося трактора с серийным глушителем

Повторность измерений	Уровень звука внешнего шума, дБА		
	Левая сторона	Правая сторона	Нормированное значение по ГОСТ 33678-2015
1	85,7	86,7	Не более 89,0
2	86,0	86,7	
3	86,3	86,8	
Оценочное значение	86,3	86,8	

Результаты измерений уровня внешнего шума неподвижного трактора, дБА: левая сторона – 83,6; правая сторона – 83,1.

Таблица 3 – Результаты измерений уровня внешнего шума движущегося трактора с экспериментальным глушителем

Повторность измерений	Уровень звука внешнего шума, дБА		
	Левая сторона	Правая сторона	Нормированное значение по ГОСТ 33678-2015
1	87,5	88,7	Не более 89,0
2	87,8	88,8	
3	87,7	89,0	
Оценочное значение	87,8	89,0	

Результаты измерений уровня внешнего шума неподвижного трактора, дБА: левая сторона – 83,0; правая сторона – 83,5.

Таблица 4 – Результаты измерений уровня звука на рабочем месте оператора с серийным глушителем

Передача	Нагрузка на крюке, кН	Скорость движения, км/ч	Уровень шума, дБ (А)		Нормируемое значение, дБ (А)
			Окна и люк открыты	Окна и люк закрыты	
2 д. 2 пер.	Без нагрузки	7,5	85,8	80,6	86,0
			85,7	80,3	
			85,8	80,4	
			ср. знач. 85,8	ср. знач. 80,4	

Таблица 5 – Результаты измерений уровня звука на рабочем месте оператора с экспериментальным глушителем

Передача	Нагрузка на крюке, кН	Скорость движения, км/ч	Уровень шума, дБ (А)		Нормируемое значение, дБ (А)
			Окна и люк открыты	Окна и люк закрыты	
2 д. 2 пер.	Без нагрузки	7,5	85,3	81,7	86,0
			85,3	81,7	
			85,3	81,7	
			ср. знач. 85,3	ср. знач. 81,7	

Результаты измерений противодействия глушителей приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты измерений противодействия глушителей

Наименование глушителя	Противодавление, кПа		
	Холостые обороты ДВС	Макс. обороты ДВС, без нагрузки	Номинальная мощность ДВС
Глушитель серийный	0,5	4,4	14,1
Экспериментальный глушитель, схема 1	0,3	1,9	6,4
Экспериментальный глушитель, схема 2	0,3	2,5	9,0
Экспериментальный глушитель, схема 3	0,3	1,4	9,0
Экспериментальный глушитель, схема 4	0,3	2,4	8,7
Экспериментальный глушитель, схема 5	0,4	2,7	8,8

По итогам проведенных испытаний на трактор-стенде установлено:

– уровни звукового давления (в дБ) на режиме номинальной мощности на в октавных полосах среднегеометрических частот, начиная с 500 Гц и до 16000 Гц – у экспериментального глушителя, 5 схема ниже, чем у серийного, с наибольшей разницей на частоте 3000 Гц;

– противодействие серийного глушителя на режиме номинальной мощности составило 14,1 кПа и не соответствует требованиям ТУ РБ 101326441.142-2004 на двигателях Д-260.2S2;

– противодействие экспериментальных глушителей 800-1205100 на режиме номинальной мощности находилось в пределах 6,4–9 кПа и соответствует требованиям ТУ РБ 101326441.142-2004 на двигателях Д-260.2S2.

По итогам проведенных испытаний на испытательном полигоне ЦИТХ (дорога Д002) установлено:

- уровень внешнего шума движущегося трактора с серийным глушителем и экспериментальным глушителем 800-1205100 соответствует ТР ТС 031/2012;
- уровень звука на рабочем месте оператора с серийным глушителем и экспериментальным глушителем 800-1205100 соответствуют ТР ТС 031/2012 [10].

Заключение

Результаты испытаний свидетельствуют, что конструкция экспериментального глушителя 800-1205100 соответствует ТУ РБ 101326441.142-2004 на двигателях Д-260.2S2 по уровню внешнего шума. При этом достигнуто снижение уровней звукового давления (в дБ) на режиме номинальной мощности на трактор-стенде в октавных полосах среднегеометрических частот, начиная с 500 Гц и до 16000 Гц – у экспериментального глушителя, 5 схема, с наибольшей разницей на частоте 3000 Гц.

Экспериментальная вставка в виде трубы Вентури обеспечила существенное снижение противодавления. Снижение противодавления положительно влияет на работу двигателя – в частности, на его отклик и эффективность, что может способствовать более стабильной и равномерной работе двигателя на фоне непостоянного шума окружающей среды.

В условиях эксплуатации сельскохозяйственной техники, где общий акустический фон высок из-за работы других машин и агрегатов, ключевым фактором становится не абсолютный уровень шума, а его восприятие оператором и средствами обнаружения. При этом маскирующий эффект фонового шума снижает порог слышимости отдельных источников, и, следовательно, даже незначительное уменьшение высокочастотной составляющей (что возможно при применении вставки) может привести к улучшению акустической маскировки.

Таким образом, комбинация сниженного противодавления и специфического спектра шума, формируемого вставкой, может обеспечить более эффективную акустическую маскировку в реальных условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кунаш, М.В. Нейросенсорная тугоухость как один из профессиональных рисков / М.В. Кунаш, Г.И. Белохвостов // Техника и технология пищевых производств: материалы докладов XVI Междунар. науч.-техн. конф., 17–18 апреля 2025 г., Могилев / Учреждение образования «Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий»; редкол.: А.П. Щемелев (отв. ред.) [и др.]. – Могилев: БГУТ, 2025. – С. 349–350.
2. Микулич, И.В. Состояние условий труда и их влияние на здоровье работающих. Анализ профессиональной заболеваемости. / И.В. Микулич // Охрана труда. Технологии безопасности. – 2024. – № 5. – С. 37–39.
3. Груданов, В.Я. Новые направления в конструировании глушителей шума поршневых двигателей внутреннего сгорания / В.Я. Груданов, Л.Т. Ткачёва, Г.И. Белохвостов, М.В. Кунаш // Вестник БарГУ. Сер. Технические науки. – 2022. – № 2 (12). – С. 74–84.
4. Кунаш, М.В. Совершенствование глушителя шума тракторов

«БЕЛАРУС» / М.В. Кунаш, Г.И. Белохвостов, Н.И. Зезетко // Агропанорама. – 2024. – № 1 (161). – С. 12–16.

5. 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. – № 5. – С. 434–444.

6. Инзель, Л.И. Основы глушения шума выхлопа двигателей внутреннего сгорания / Л.И. Инзель. – Москва: Машгиз, 1949. – 196 с.

7. Основные аспекты устранения шума у тракторов / В.Г. Кушнир, Н.В. Гаврилов, И.Н. Шило, Н.Н. Романюк, А.М. Молдагалиев // Байтурсыновские чтения – 2018: материалы Междунар. науч.-практ.конф., Костанай, 19–20 апреля 2018 г. – Костанай: Костанайский государственный университет им. А. Байтурсынова, 2018. – С. 194–198.

8. Кунаш, М.В. Повышение производственной безопасности работающих путём снижения внешнего шума сгорания / М.В. Кунаш, Г.И. Белохвостов // VI Междунар. науч.-практ. конф. Безопасный и комфортный город, 21–23 марта 2023 г. – Орёл: ОГУ им. И.С. Тургенева, 2023. – С. 576–580.

9. Кунаш, М.В. Влияние глушителя на шумовое загрязнение / М.В. Кунаш, Г.И. Белохвостов // Аграрное образование и наука для агропромышленного комплекса : материалы республиканской науч.-практ. конф. Белорусская агропромышленная неделя БЕЛАГРО-2024 / редкол.: В.А. Самсонович (гл. ред.) [и др.]. – Горки: БГСХА, 2024. – С. 148–151.

10. Кунаш, М.В. Экспериментальные исследования опытного глушителя / М.В. Кунаш, Г.И. Белохвостов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2025. – Вып. 58. – С. 322–332.

REFERENCES

1. Kunash M.V. Nejrosensornaya tugouhost' kak odin iz professional'nyh riskov / M.V. Kunash, G.I. Belohvostov // Tekhnika i tekhnologiya pishchevyh proizvodstv: materialy dokladov HVI Mezhdunar. nauchno-tekhnicheskoj konferencii, 17–18 aprelya 2025 g., Mogilev / Uchrezhdenie obrazovaniya «Belorusskij gosudarstvennyj universitet pishchevyh i himicheskikh tekhnologij»; redkol.: A. P. SHCHemelev (otv. red.) [i dr.]. – Mogilev: BGUT, 2025. – S. 349–350.

2. Mikulich, I.V. Sostoyanie uslovij truda i ih vliyanie na zdorov'e rabotayushchih. Analiz professional'noj zaboлеваemosti. / I.V. Mikulich // Ohrana truda. Tekhnologii bezopasnosti. – 2024. - №5. – S. 37–39.

3. Novye napravleniya v konstruirovanii glushitelej shuma porshnevyyh dvigatelej vnutrennego sgoraniya / V. YA. Grudanov, L. T. Tkachyova, G. I. Belohvostov, M. V. Kunash // Vestnik BarGU. Ser. Tekhnicheskie nauki. — 2022. — № 2 (12). – S. 74–84.

4. Kunash, M. V. Sovershenstvovanie glushitelya shuma traktorov «BELARUS» / M.V. Kunash, G.I. Belohvostov, N.I. Zezetko // Агропанорама. – 2024. - №1 (161). – S. 12–16.

5. Grudanov, V. YA. Nauchno-prakticheskie podhody k sovershenstvovaniyu konstrukcij glushitelej shuma porshnevyyh dvigatelej vnutrennego sgoraniya na

osnove teorii chisel / V. YA. Grudanov, G. I. Belohvostov, L. T. Tkacheva // Nauka i tekhnika. - 2021. - T. 20. - N 5. - S. 434-444.

6. Inzel', L.I. Osnovy glusheniya shuma vyhlopa dvigatelej vnutrennego sgoraniya / L. I. Inzel'. — Moskva: Mashgiz, 1949. — 196 s.: il.

7. Osnovnye aspekty ustraneniya shuma u traktorov / V.G. Kushnir, N.V. Gavrilov, I.N. SHilo, N.N. Romanyuk, A.M. Moldagaliev // Bajtursynovskie chteniya – 2018: materialy Mezhdunarodnoj. nauchno - prakticheskoy konferencii, Kostanaj, 19-20 aprelya 2018 g. – Kostanaj: Kostanajskij gosudarstvennyj universitet im. A. Bajtursynova, 2018. – s. 194-198.

8. Kunash M.V. Povyshenie proizvodstvennoj bezopasnosti rabotayushchih putyom snizheniya vneshnego shuma sgoraniya / M.V. Kunash, G.I. Belohvostov / VI Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya «Bezopasnyj i komfortnyj gorod», 21–23 marta 2023 g. / – Oryol: OGU imeni I.S. Turgeneva, 2023, 576-580

9. Kunash M.V. Vliyanie glushitelya na shumovoe zagryaznenie/ M.V. Kunash, G.I. Belohvostov / Agrarnoe obrazovanie i nauka dlya agropromyshlennogo kompleksa: materialy respublikanskoj nauchno-prakti-cheskoj konferencii. Belorusskaya agropromyshlennaya nedelya BELAGRO-2024 / redkol.: V. A. Samsonovich (gl. red.) [i dr.]. – Gorki: BGSKHA, 2024. – S. 148-151

10. Kunash, M.V. Eksperimental'nye issledovaniya opytnogo glushitelya / M.V. Kunash, G.I. Belohvostov // Mekhanizaciya i elektrifikaciya sel'skogo hozyajstva. – 2025. – Vypusk 58. – S. 322-332.

