

Под общ. ред. И.П. Бородачева. – М.: Машиностроение, 1973. – 503 с.

2. Базанов, А.Ф. Самоходные погрузчики / А.Ф. Базанов, Г.В. Забегалов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1979. – 406 с.

3. Тарасов, В.Н. Аналитическое исследование механизма подъема стрелы фронтального погрузчика / В.Н. Тарасов, А.Н. Подсвилов // Гидропривод и системы управления строительных, тяговых и дорожных машин: межвуз. сб. – Новосибирск, 1978. – С. 153.

4. Система слежения и управления рабочим органом одноковшового фронтального погрузчика: пат. 16237 Респ. Беларусь, МПК 16237 С2 Е 02F 343 / А.Н. Смирнов; заявитель ОАО «Амкодор». – № а 20091596; заявл. 12.11.09; опубл. 30.08.12 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. – № 4. – С. 109.

5. Смирнов, А.Н. Расчет некоторых кинематических и динамических параметров погрузочного оборудования одноковшового фронтального погрузчика / А.Н. Смирнов, Н.Д. Лепешкин // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Мн., 2012. – Вып. 46. – С. 64.

6. Смирнов, А.Н. Выбор рациональных координат установки гидроцилиндров подъема стрелы погрузчика / А.Н. Смирнов, Н.Д. Лепешкин. – Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Мн., 2012. – Вып. 46. – С. 68.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 01.06.2020

УДК 629.3.01

ИССЛЕДОВАНИЕ ВИБРАЦИИ КАБИНЫ ТРАКТОРА «БЕЛАРУС»

Н.И. Зезетко,

главный конструктор НТЦ ОАО «МТЗ», канд. техн. наук

А.Ф. Безручко,

доцент БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

В статье приведены данные о вибрации на тракторе «БЕЛАРУС», ее распространении от остова трактора в кабину. Рассмотрены вопросы виброизоляции кабины трактора, влияния вибрации на шум в кабине.

Ключевые слова: трактор, кабина, вибрация, шум

The article provides the data on vibration on the tractor "BELARUS", its propagation from the tractor frame to the cab. The issues of vibration isolation of the tractor cab and the influence of vibration on the noise in the cab are considered.

Keywords: tractor, cab, vibration, noise.

Введение

Общеизвестны свойства вибрации, как физического фактора, оказывающего негативное влияние на здоровье человека и надежность машин. Вибрация также является источником структурного шума, снижающего потребительские качества машин. В Республике Беларусь действует постановление Министерства здравоохранения [1], а на территории СНГ соответствующие санитарные нормы [2], регламентирующие предельные уровни вибрации и требующие их безусловного выполнения. Активные исследования в этой области проводятся с 60-х годов прошлого века.

Основные теоретические предпосылки, используемые в данной статье, взяты из работ Юдина Е.Я. [3], Клюкина И.И. [4], Разумовского М.А. [5]. В этих работах даны критерии оценки виброизоляции конструкции, приведены математические зависимости для расчета виброизоляторов в простейших од-

номерных и трехмерных схемах. Несмотря на различие областей исследований (промышленность, судостроение, тракторостроение), предложенные авторами математические зависимости весьма схожи и, по мнению самих авторов, применимы на стадии начального проектирования для приблизительного расчета упрощенных моделей. Практическое снижение вибрации возможно лишь при экспериментальном исследовании и анализе путей распространения вибрации на конкретных машинах.

В работе Разумовского М.А. приведены наиболее близкие к тематике данной статьи результаты исследований вибрации кабины трактора МТЗ-80. Автор провел экспериментальные исследования выпускаемых серийно в 70-х годах виброизоляторов кабин и предложил некоторые рекомендации по установке кабины. За прошедшее время конструкция трактора, с точки зрения вибрационного воздействия, претерпела кардинальные изменения. Изменены конструкция кабины,

мощность силового агрегата, компоновка и конструкция гидрооборудования, рулевого управления и т.д. Перечисленные факторы оказывают существенное влияние на распространение вибрации в кабину, а также сами могут быть источниками вибрации в кабине. Как следствие этих конструктивных изменений, возникла необходимость проведения исследований вибрации новых машин. Из работ Разумовского М.А. взяты также некоторые практические рекомендации по способам крепления кабины, но в них не рассматривалась связь вибрации и шума в кабине.

В работе А.В. Васильева [6] рассмотрены связи шума в кабине автомобиля и вибрации, но рассматривается эта связь только под компоновочную схему автомобиля. В статье Кобзева К.О. [7] приведены экспериментальные и теоретические исследования вибрации в кабине козловых кранов. Результаты, приведенные в указанных статьях, применимы только для легковых автомобилей и козловых кранов соответственно. Изучение работ других авторов, исследующих вибрацию и методы борьбы с ней, подтверждают необходимость индивидуального подхода к каждому типу и модели машин и подчеркивают актуальность данной темы во всех отраслях машиностроения. Данный аргумент можно также подтвердить исследованиями Параг Чаудхари, Джозефа Салливана, Цзинхао Лю, Сангхун Су в области прогнозирования и проверки шума и вибрации внедорожных машин [8], работами китайских инженеров в области идентификации источников вибрации тяжелых коммерческих автомобилей [9].

Анализ и попытки применить на тракторе «Беларус» теоретические и экспериментальные результаты других исследователей показали, что необходим индивидуальный подход к каждой модели машины. Это связано с множеством возможных источников вибрации и путей ее передачи на кабину.

Цель работы – определить эффективность и достаточность конструкторских решений, применяемых на тракторах «Беларус» серии 800-1200, предполагающих снижение вибрации, а также анализ вибрации, как источника шума в кабине.

Основная часть

В данной работе приведены результаты исследований вибрации трактора «Беларус-1220.3» с двига-

телем Д-245.2S2. Для подтверждения некоторых заключений, произведен анализ распространения вибрации и ее влияние на шум в кабине тракторов «Беларус» серии 800-1200. Предложены методы улучшения шумовых и вибрационных характеристик на рабочем месте тракториста.

Измерения вибрации на соответствие допустимым санитарным нормам проводились на тракторе на стоянке, при максимальных оборотах двигателя, без нагрузки. Измерения вибрации на рабочем месте проводились на сиденье водителя по методикам, соответствующим ГОСТ12.1.012-2004 [10], СН 2.2.4/2.1.8.566 [2] и постановлению МЗ РБ №132 от 26.12. 2013 г. [1]. В таблице 1 приведены уровни виброускорения в дБ относительно порогового значения $1 \cdot 10^{-6} \text{ м/с}^2$, датчик крепился на специальный переходной резиновый диск, расположенный на сиденье под трактористом. Измерения производились поверенными прибором первого класса Октава-101ВМ и датчиком AP2082М в режиме измерений «общая вибрация» с корректирующей характеристикой по осям X, Y- W_d и по оси Z- W_k . Соблюдались все требования указанных нормативных документов, за исключением воздействия внешних факторов – состояние дорожного покрытия.

Исследования распространения вибрации проводились с учетом рекомендаций ведущего производителя виброакустического оборудования Bruel & Kjaer [11]. Для исследований в более широком диапазоне частот (8-1000Гц) прибор настраивался в режим «локальная вибрация», а для объективной оценки виброизоляторов и влияния вибрации на шум выключены корректирующие характеристики прибора (режим Lin.).

В таблице 1 приведены скорректированные уровни общей вибрации на рабочем месте и их допустимые величины по санитарным нормам России и Республики Беларусь.

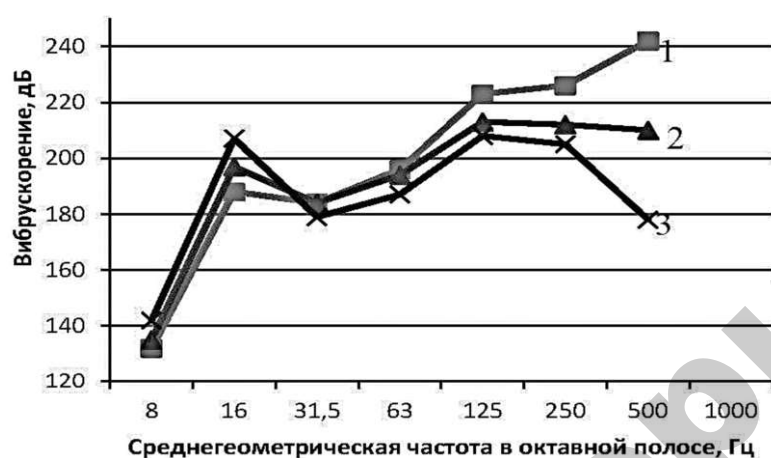
Как видно из представленных в таблице данных, уровни вибрации на рабочем месте значительно ниже допустимых значений. Однако следует отметить, что санитарная методика измерений вибрации предусматривает ее оценку по эквивалентному уровню для каждого конкретного рабочего места. Этот показатель учитывает время воздействия вибрации, нагрузки на трактор, дорожные условия в течение рабочей смены, т.е. при измерении вибрации по методике, регламентированной в вышеуказанных документах, уровень вибрации будет

Таблица 1. Измерение вибрации на рабочем месте

Направление измерения	Среднеквадратическое значение виброускорения, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц						
	1	2	4	8	16	31,5	63
X	74	70	76	79	82	100	102
Y	72	60	77	76	84	121	93
Z	72	60	80	76	80	105	91
нормируемые значения по СН 2.2.4/2.1.8.566 (РФ) и постановлению МЗ РБ №132 от 26.12. 2013 г.	X, Y	112	113	118	124	130	142
	Z	121	118	115	116	121	127

существенно отличаться, в зависимости от работ, которые выполняются на тракторе. Применить санитарную методику для оценки технических характеристик трактора невозможно, т.к. невозможно смоделировать разнообразие условий эксплуатации тракторов. Несмотря на это, ОАО «МТЗ» проводит работы по снижению вибрации на рабочем месте оператора, генерируемой непосредственно трактором. Проводятся опытно-конструкторские работы по улучшению виброизоляции кабины от остова трактора.

На рисунке 1 представлены спектрограммы передачи вибрации от остова трактора через серийные резинометаллические опоры кабины и механизм амортизации сиденья. Для наглядности и упрощения анализа, среднеквадратическое значение ускорения представлено в виде векторной суммы ускорений, измеренных по трем осям в октавных полосах.



1-виброускорение на остова трактора перед задней опорой кабины;
2-виброускорение на кронштейне крепления кабины к задней опоре;
3-виброускорение на сиденье водителя за демпфирующим механизмом

Рисунок 1. Распространение вибрации от остова трактора в кабину водителя

Резинометаллические опоры кабины и аналогичные шарниры демпфирующего механизма сидений снижают передачу вибрации на частотах в октавных полосах 63 Гц и выше. В низкочастотной области (ниже 31,5 Гц) их использование дает обратный эффект – вибрация усиливается. Причинами такого эффекта могут являться специфические свойства резиновых амортизаторов и недостатки в способе установки на четыре опорные точки [5], или возможное совместное воздействие двух вышеуказанных причин.

Для подтверждения представленных предположений, на ОАО «МТЗ» проведены сравнительные испытания серийных резинометаллических опор кабины и вязкоупругих опор. Результаты представлены на рисунке 2.

Применение вязкоупругих опор позволяет улучшить виброизоляцию кабины в низкочастотном диапазоне и не изменило передачу вибрации в диапазоне 31,5 Гц и выше, по сравнению с серийными резинометаллическими опорами. Совпадение виброизоляционных характеристик вязкоупругих и резинометаллических опор в высокочастотном диапазоне указывает на то, что при установке кабины на четыре точки, крепления опоры «зажимаются» и работают неэффективно. При сборке трактора требуется их регулировка, чтобы верхние площадки всех опор в «незажатом» состоянии прилегли к кабине без зазоров.

Общезвестно, что вибрация является источником структурного шума. Поэтому важно оценить ее возможный вклад в шум на рабочем месте тракториста. При исследовании шума тракторов «Беларус» выявлена закономерность, противоречащая законам акустики – при закрытии окон кабины уровень звукового давления в этой октаве 31,5 Гц увеличивается (рис. 3).

Закрытие окон, безусловно, повышает звукоизоляцию кабины. Шум в кабине, основными источниками которого на тракторе являются двигатель, система выпуска отработавших газов, вентилятор системы охлаждения, при закрытии окон должен снижаться [5; 3; 11].

Сопоставив спектр шума и спектр вибрации в кабине (рис. 1; 3), можно с большой вероятностью утверждать, что причиной описанного эффекта является вибрация. При закрытых окнах кабины низкочастотная вибрация без потерь распространяется через резиновые и металлические детали к остеклению кабины, которое вибрирует и становится источником шума в кабине. При открытии окон эта связь нарушается, и шум в

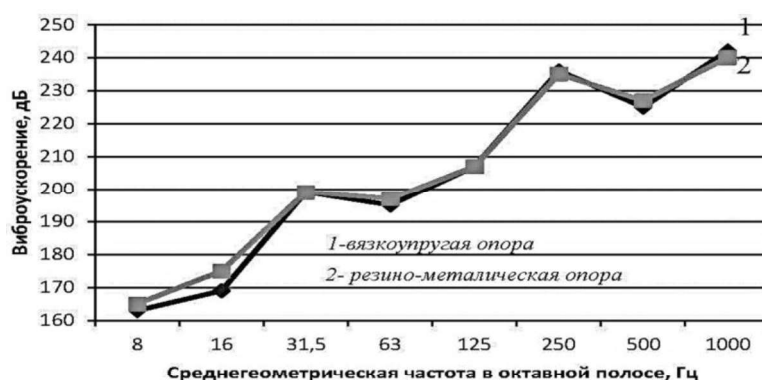


Рисунок 2. Уровень вибрации на полу кабины трактора

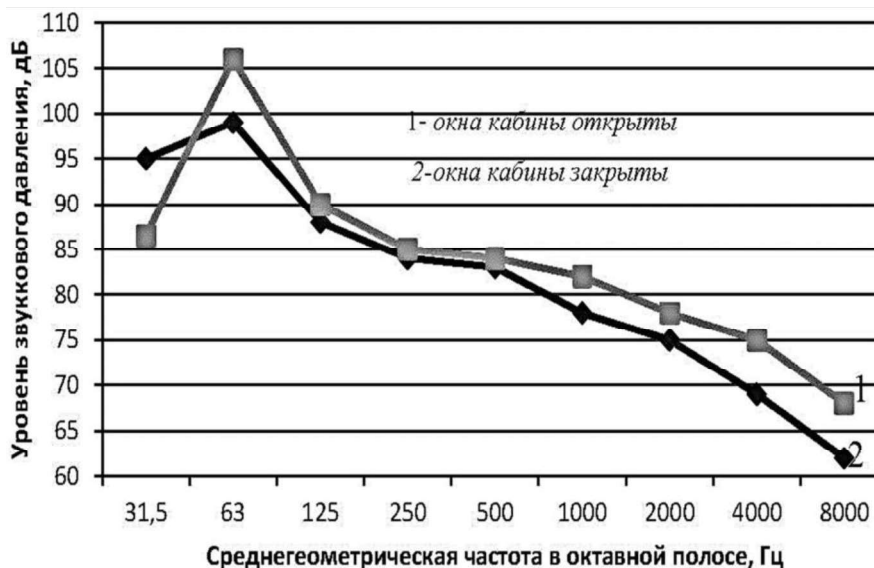


Рисунок 3. Уровень шума на рабочем месте тракториста

кабине снижается, даже с учетом увеличения влияния шума от других источников.

Заключение

1. Приведены результаты исследований вибрации трактора «Беларус-1220.3» с двигателем Д-245.2S2. Обоснованы причины возникновения вибраций в кабине трактора и выявлены факторы, в результате воздействия которых уровень вибрации на рабочем месте машиниста может превысить допустимые санитарными нормами величины. Это вызывает необходимость дальнейшего усовершенствования конструкций систем и элементов виброизоляции кабин, а также изучения вибронагруженности рабочего места машиниста при выполнении полевых работ.

2. Отмечено, что применяемые в конструкции тракторов серии 800-1200 резинометаллические изоляторы не в полной мере выполняют свою основную функцию. В октавной полосе 31,5 Гц вибрация не уменьшается, а на более низких частотах происходит ее усиление.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Об утверждении Санитарных норм и правил: постановление Министерства здравоохранения Респ. Беларусь, 26.12.2013 г., № 132.

2. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий: СН

2.2.4/2.1.8.566-96. – Введены в действие постановлением Госкомсанэпиднадзора России 31 октября 1996 г. № 40.

3. Юдин, Е.А.. Борьба с шумом на производстве: справочник / Е.А. Юдин. – М: Машиностроение, 1985. – 400 с.

4. Ключин, И.И. Борьба с шумом и звуковой вибрацией на судах / И.И. Ключин. – 2 изд. – Л: Судостроение, 1971. – 416 с.

5. Разумовский, М.А. Борьба с шумом на тракторах / М.А. Разумовский. – Минск: Наука и техника, 1973. – 208 с.

6. Васильев, А.В. Расчет и снижение внутреннего шума и вибрации автомобилей / А.В. Васильев // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2004. – Т. 6. – № 2. – С. 390-398.

7. Кобзев, К.О. Обоснование параметров систем снижения вибрации на рабочем месте оператора козловых кранов / К.О. Кобзев // Науковедение. – 2016. – Т. 8. – № 5.

8. Noise and Vibration Prediction and Validation for Off-Highway Vehicle Cab Using Hybrid FE-SEA Methodology // SAE Technical Paper [Electronic resource]. – Mode of access: https://saemobilus.sae.org/elements/images/sae_mobilus_r.png. – Date of access: 20.04.2019.

9. Vibration source identification of a heavy commercial vehicle cab based on operational transfer path analysis. // journals.sagepub.com/pb-assets/Images/SJ-LOGO-1513073727437.png [Electronic resource]. – Mode of access: <https://doi.org/10.1177%2F0954407019854608>. – Date of access: 20.04.2019.

10. СБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования: ГОСТ 12.1.012-2004, взамен ГОСТ12.1.012-90. – Введен 01.07. 2008. – Минск: Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь, 2009. – 20 с.

11. By Mark Serridge and Torben R.Licht. Theory and Application handbook. Piezoelectric accelerometer and vibration preamplifiers. – Bruel & Kjaer, 1987. – 150 p.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 05.05.2020