

УДК 629.33.022.48.027

АНАЛИЗ ВИБРОАКУСТИЧЕСКОЙ НАГРУЖЕННОСТИ РАБОЧЕГО МЕСТА ОПЕРАТОРОВ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ

П.В. Сиротин, И.Ю. Лебединский, В.В. Кравченко

Южно-Российский государственный политехнический университет имени М.И. Платова (Новочеркасский политехнический институт)

Статья посвящена исследованию виброакустических параметров современных самоходных зерноуборочных комбайнов классической компоновки. С помощью специализированного оборудования проведены измерения уровней вибрации и шума на рабочем месте операторов комбайнов разных марок и моделей в рабочем режиме при уборке подсолнечника. Полученные результаты сравнивали с действующими стандартами, регулирующими показатели виброакустической нагруженности рабочего места оператора технологических сельскохозяйственных машин. Установлено, что уровень пространственных вибраций на сидении оператора и на полу кабины существенно превышает допустимые значения. В контрольных точках уровни горизонтальных вибронрузок не соответствуют санитарным нормам, особенно, в среднечастотной области. Для определения причин данного явления проведены замеры уровней пространственных колебаний на несущей балке в местах установки виброопор кабины и на раме кабины. Выявлены различия действующих вибронрузок под каждой опорой. Обосновано, что существующая система поддрессирования кабины с применением стандартных резинометаллических виброизоляторов, имеющих одинаковые характеристики, принципиально не способна снизить действующие горизонтальные колебания в продольном и поперечном направлениях, а в некоторых случаях способствует раскачиванию кабины. Предложены принципы решения данной проблемы и обоснованы направления дальнейших исследований.

Ключевые слова: шум, вибрация, зерноуборочный комбайн, вибронгруженность, несущая балка, раскачивание кабины, система поддрессирования, шумо-вибро защита

В современных условиях человекоориентированного производства зерноуборочные комбайны (ЗУК) должны иметь не только высокие эксплуатационные свойства, но и комфортные условия для работы оператора-комбайнера. Ведущие мировые производители ЗУК, в том числе ООО КЗ «Ростсельмаш» и ООО «Гомсельмаш» стремятся повысить комфортность условий труда оператора-комбайнера, что проявляется с каждым новым поколением выпускаемой ими сельхозтехники [1]. Современные ЗУК имеют достаточно высокие показатели производительности, качества обмолота, энергетической эффективности, однако уровень шума и вибрации на рабочем месте их операторов может достигать критических значе-

ний, регламентированных отечественными и международными стандартами [2, 3, 4, 8]. Это создает неблагоприятные условия работы комбайнера, мешает выполнению рабочих операций, служит причиной повышенной утомляемости и возникновения заболеваний, а также заставляет применять в конструкции ЗУК дорогостоящие шумо-виброзащитные системы и материалы [5, 6]. В связи с чем, в данной работе проведены исследования по оценке, анализу и выявлению причин повышенных виброакустических нагрузок на рабочем месте оператора ЗУК, на основе которых станет возможным существенно улучшить параметры обитаемости кабины рассматриваемого типа технологических машин. Улучшение данных свойств

является актуальным и востребованным направлением по повышению конкурентоспособности продукции отечественного сельхозмашиностроения.

Исследования шума и вибрации проводили на самоходных ЗУК классического типа Полесье GS812, Acros 585 и Vector 410, имеющих достаточно схожие массо-габаритные характеристики и общую компоновочную схему. Замеры проводили на комбайнах 2015-2016 годов выпуска, имеющих наработку с начала эксплуатации 300 – 700 моточасов. Оценка уровней вибрации и шума в ЗУК проводили в реальных рабочих условиях при уборке подсолнечника с урожайностью 17-19 ц/га. Температура окружающего воздуха составляла $+15^{\circ}\text{C}$. Рабочие органы на каждом из испытываемых комбайнов настроены согласно рекомендациям заводов-изготовителей, под уборку подсолнечника с урожайностью 20 ц/га. Двери кабины ЗУК были плотно закрыты, скорость движения при замерах составляла 7-8 км/ч, частота вращения коленчатого вала двигателя 2000-2150 об/мин, частота вращения молотильного барабана 320 - 400 об/мин, частота вращения вентилятора очистки 510 - 600 об/мин, зазор подбарабана 22/14 мм, ИРС включен. Измерения уровня шума и

вибрации на рабочем месте проводили согласно ГОСТ 12.4.095-80 и ГОСТ 31319-2006 с помощью специализированного измерительного шумо-виброметра, анализатор спектра ЭКОФИЗИКА-110А с трехкомпонентным датчиком вибрации, сверхчувствительным микрофоном и приспособлениями для крепления датчика на различных поверхностях. Для определения связей между особенностями компоновки и вибронегативностью рабочего места уровень вибрации определяли в разных точках (рис. 1, а): на несущей балке кабины под передними (точки 1 и 2) и задними (3 и 4) виброопорами; на раме кабины над передними (точки 5 и 6) и задними (7 и 8) виброопорами. Датчик устанавливали на металлических поверхностях с помощью магнита (рис. 1, б), на полу кабины с помощью специальной опорной поверхности. Данные обрабатывали и анализировали при помощи специализированного ПО «Signal+3G Light». Результаты представлены в графическом виде, с разложением полученных величин среднеквадратичных значений виброускорений (СКЗ) и скорректированных уровней звукового давления (УЗД), по частотному спектру в октавном и третьоктавном частотном диапазоне.

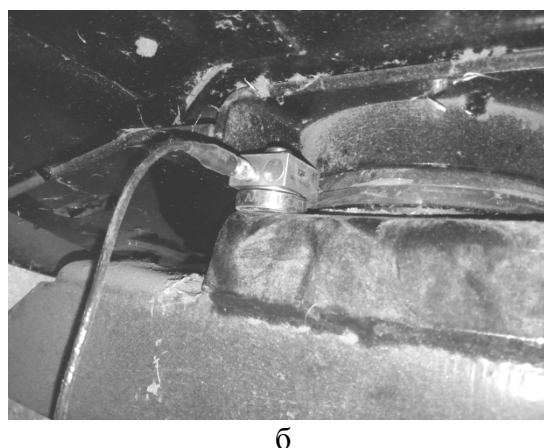
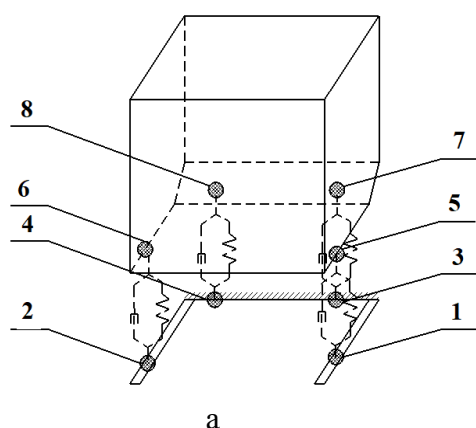


Рис. 1. Точки замеров (а) и способы установки датчиков (б)

Из анализа УЗД в кабине исследуемых ЗУК (рис. 2) следует, что уровни шума в контролируемой точке рабочего места оператора соответст-

вуют ГОСТ 12.1.003-83 во всей измеряемой частотной области. Однако, на частоте 250-1000 Гц значения УЗД достигают максимально допустимых.

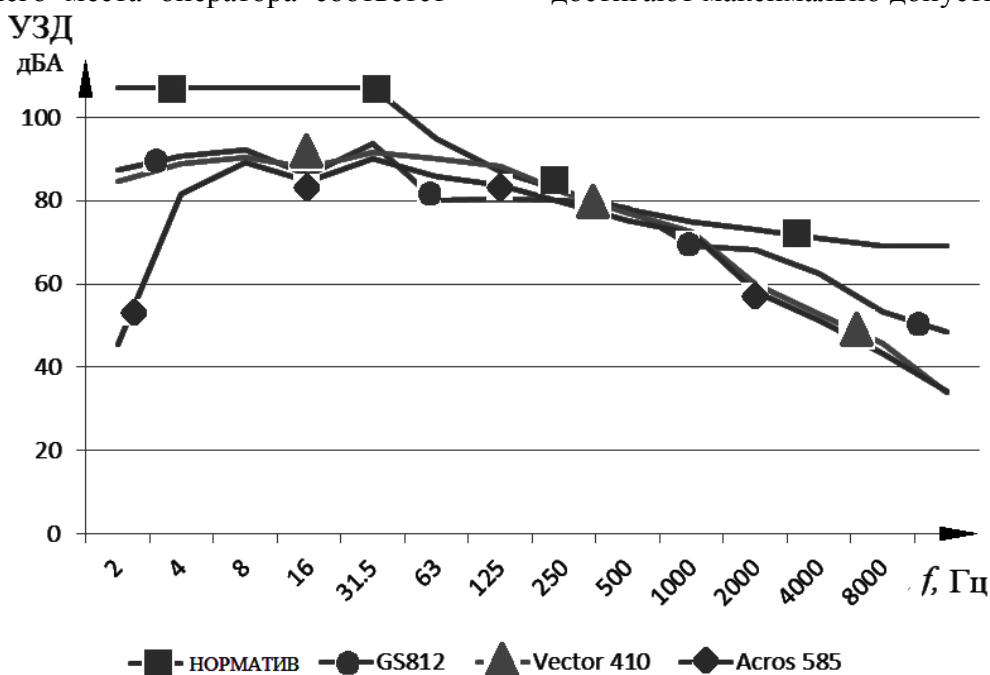


Рис. 2. УЗД в кабине ЗУК при рабочем режиме

Анализ пространственных колебаний показывает, что на сидении оператора ЗУК виброускорения в вертикальном направлении (\ddot{Z}_c) не превышают нормативов (рис. 3, а). Превышения допустимых виброускорений выявлены: в комбайне GS812 в горизонтально-поперечном направлении (\ddot{Y}_c) на частотах 8-12,5 Гц; в комбайнах Acros 585 и Vector 410 в горизонтально-продольном направлении (\ddot{X}_c) на частотах до 10 Гц. Причем, в комбайне Acros 585 уровни \ddot{X}_c особенно значительны на частотах 31,5-63 Гц (рис. 3, б), при которых работают основные технологические и функциональные механизмы ЗУК. Из исследований влияния вибрации на человека в кабине транспортно-технологических машин [7] известно, что 30-60% общей вибрации оператор этих машин воспринимает от опорной поверхности кабины – пола или на-

польного покрытия. Измерения показали, что на полу кабины ЗУК (рис. 4) наблюдается превышение уровней вибрации во всех контролируемых направлениях: вертикальном (\ddot{Z}_n), горизонтально-продольном (\ddot{X}_n), горизонтально-поперечном (\ddot{Y}_n). Уровень \ddot{Z}_n не соответствует санитарным нормам: в комбайнах Acros 585 и Vector 410 на частотах 3,15-6,3 Гц, в комбайне Полесье GS812 на частотах 16 – 20 Гц. Значения \ddot{Y}_n в комбайнах Acros 585 и Vector 410 превышают нормы на частотах 2,5 - 4 Гц, а в Полесье GS812 на 6,3 – 12,5 Гц. Измеренные величины \ddot{X}_n в комбайне Acros 585 на частотах до 6,3 Гц значительно превосходят уровень, регламентированный санитарными нормами, тогда как в GS812 и Vector 410 этот показатель минимален.

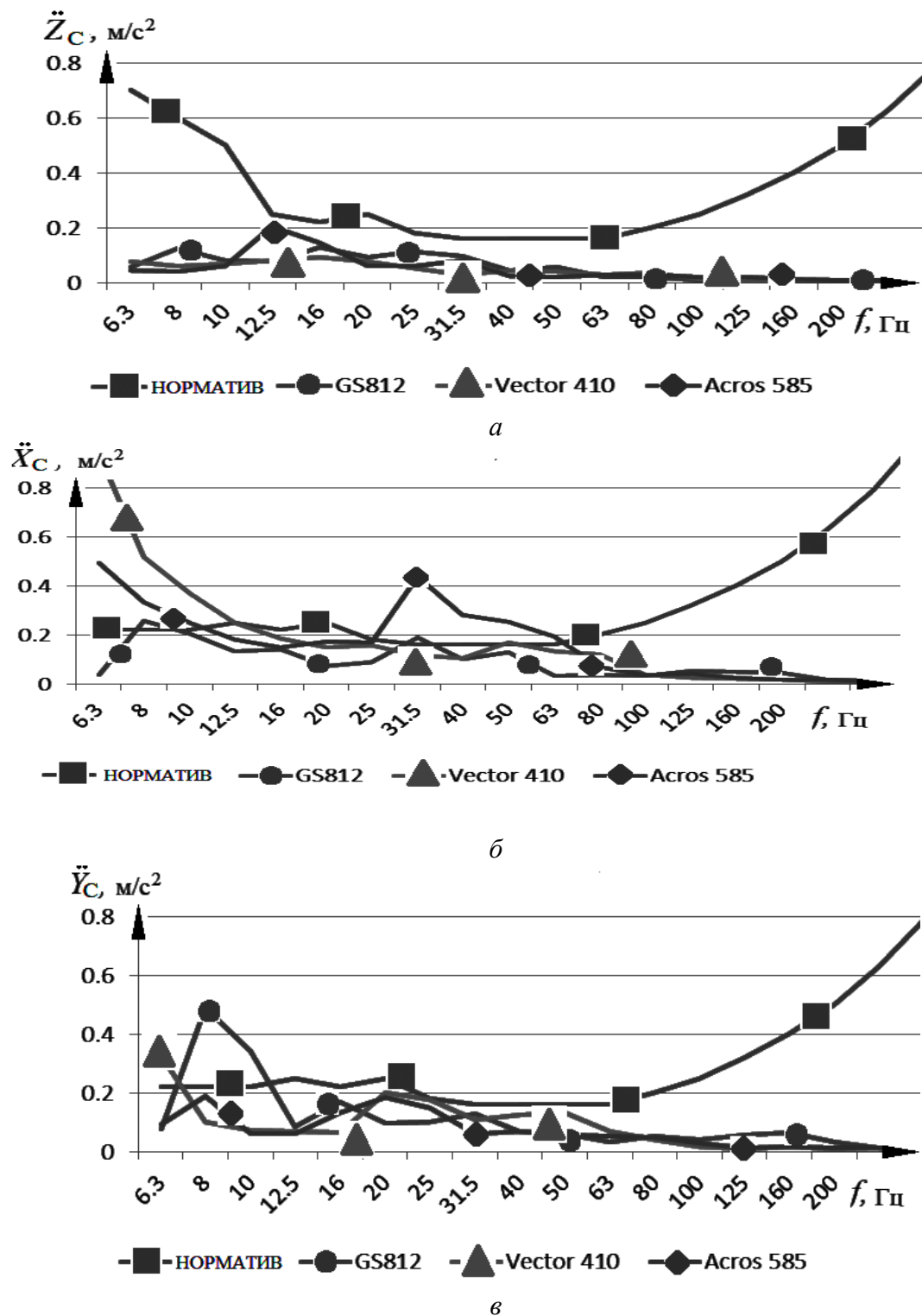
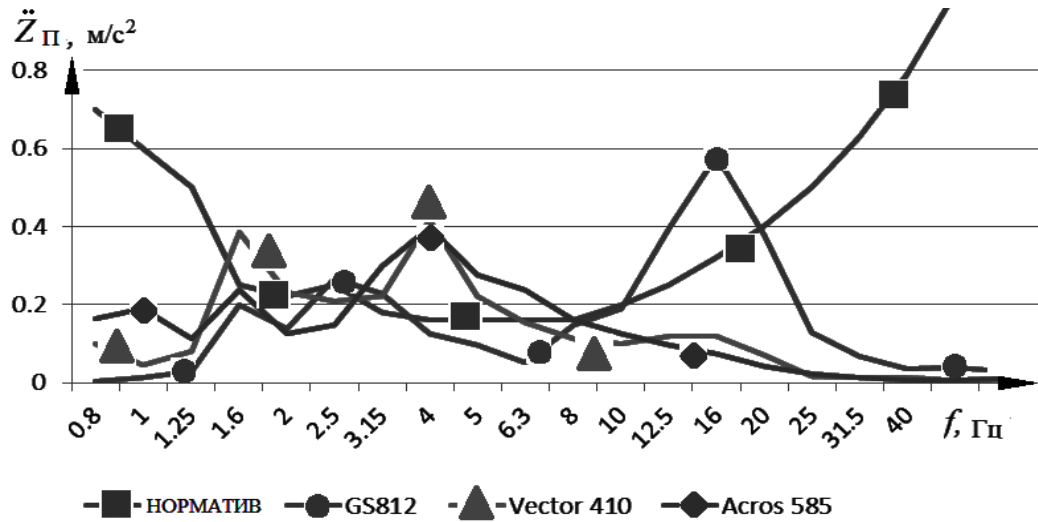
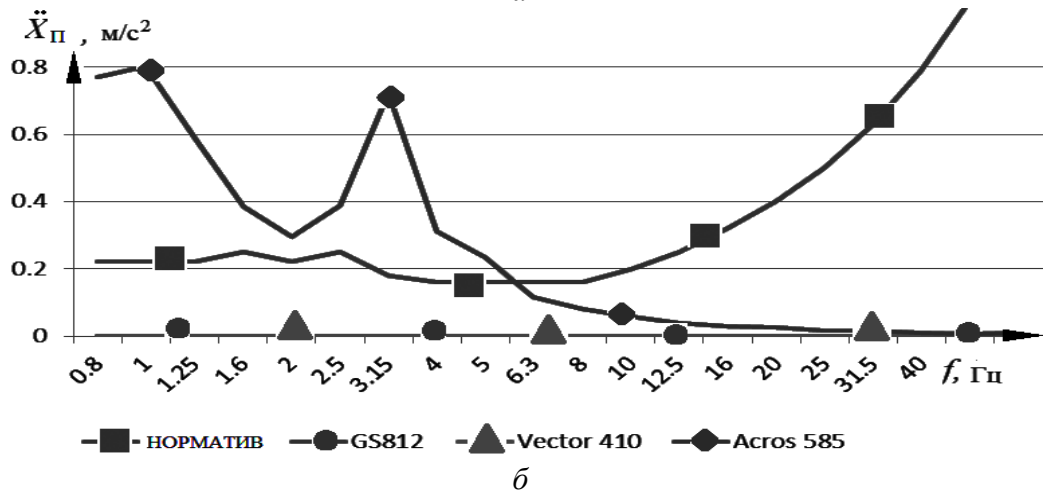


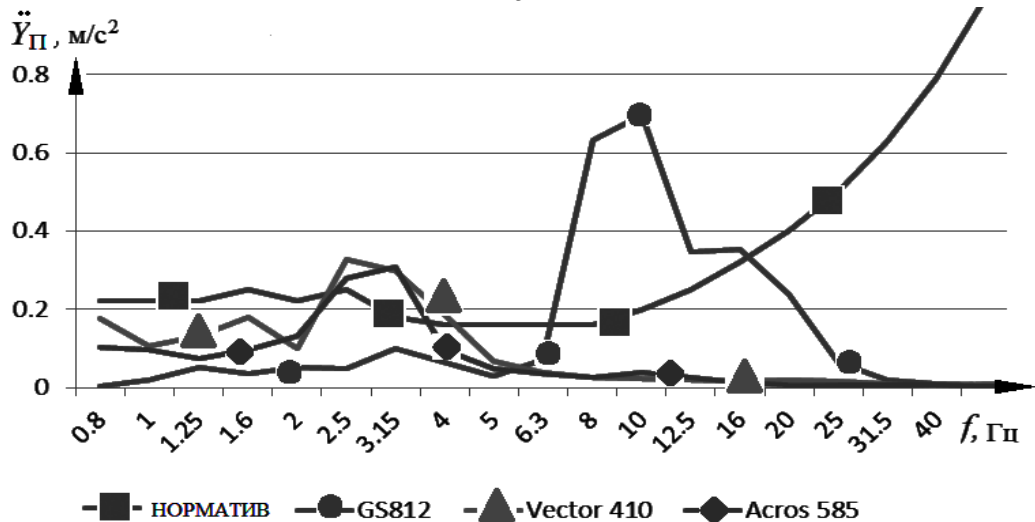
Рис. 3. СКЗ виброускорений на сидении оператора ЗУК в вертикальном (а), горизонтально-продольном (б) и горизонтально-поперечном (в) направлениях



a



b



v

Рис. 4. СКЗ виброускорений на полу кабины ЗУК в вертикальном (а), горизонтально-продольном (б) и горизонтально-поперечном (в) направлениях

При анализе колебаний несущей балки кабины в вертикальном направлении ($\ddot{Z}_{НБ}$), горизонтально-продольном ($\ddot{X}_{НБ}$) и горизонтально-поперечном ($\ddot{Y}_{НБ}$) выделен ряд закономерностей, особенно проявляющихся в ЗУК GS812 и Vector 410. Колебания в низкочастотной области до 25 Гц в точках 3 и 4 по величине виброускорений превосходят колебания в точках 1 и 2 во всех измеряемых направлениях. В среднечастотной области (31,5-100 Гц) виброускорения во всех измеряемых точках по каждо-

му из направлений сопоставимы. Вибрации в среднечастотной области 100-215 Гц в комбайне GS812 в точках 1 и 2 во всех направлениях значительно превосходят колебания в точках 3 и 4 (рис. 5). В Vector 410 также выявлена подобная закономерность, однако она проявляется при меньших частотах. Наибольшие величины виброускорений, в каждой из точек опор кабины, действуют в высокочастотной области от 250 Гц по всем направлениям.

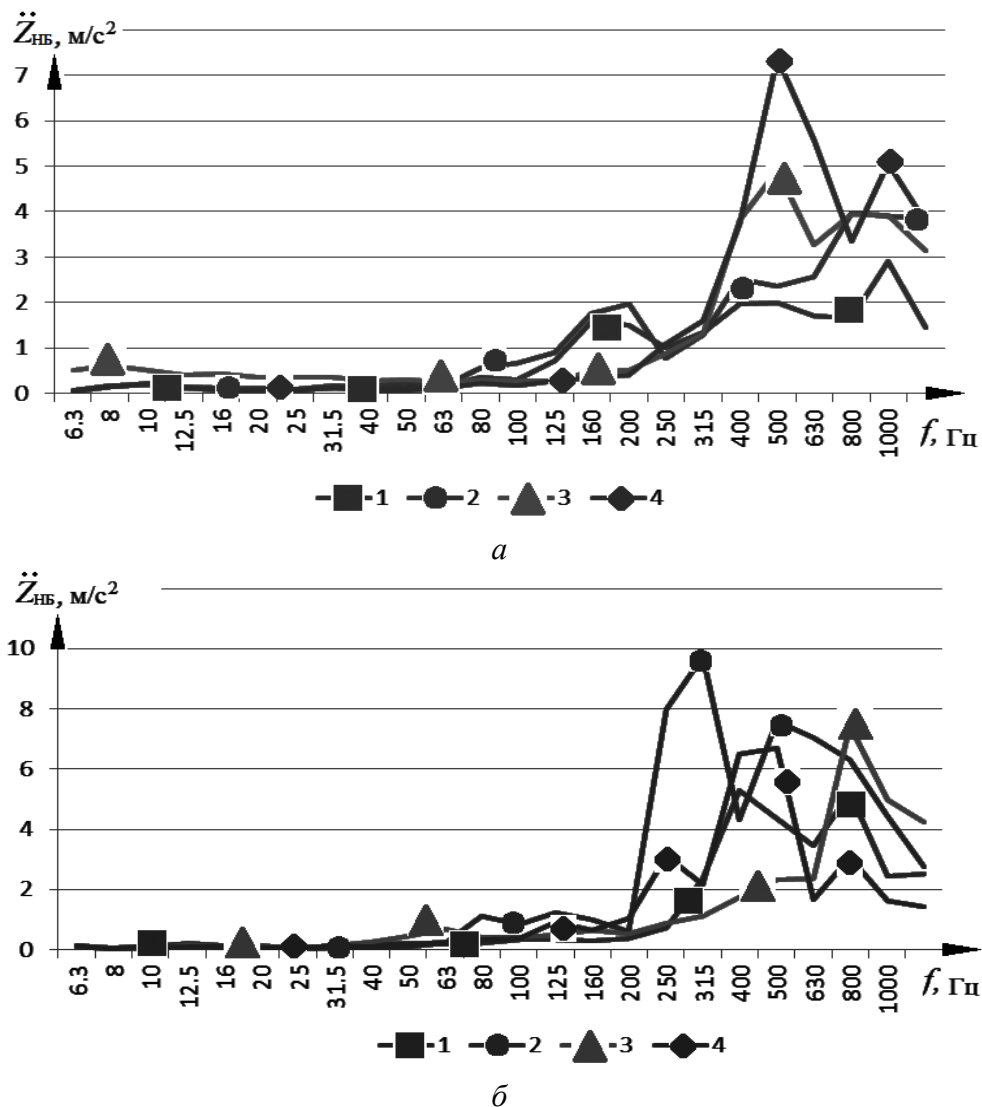


Рис. 5. СКЗ вертикальных виброускорений на несущей балке кабины комбайнов Полесье GS812 (а) и Vector 410 (б) в точках 1-4

Из анализа измеренных виброускорений на раме кабины в вертикальном (\ddot{Z}_{PK}), горизонтально-продольном (\ddot{X}_{PK}) и горизонтально-поперечном (\ddot{Y}_{PK}) направлениях следует, что применяемые виброизоляторы значительно снижают вибронагрузки на кабину ЗУК на частотах 12,5 – 1250 Гц в вертикальном направлении, однако в горизонтальных направлениях снижение менее значительно и проявляется только на частотах

свыше 100 Гц (рис. 6). В низкочастотной области (до 16 Гц) на раме кабины значения виброускорений по всем направлениям больше, чем на несущей балке. Система поддрессоривания кабины комбайна GS812 несколько эффективней справляется с вибронагрузками, действующими от подрамника кабины, по всем направлениям, чем у Vector 410 и Acros 585 (рис. 6).

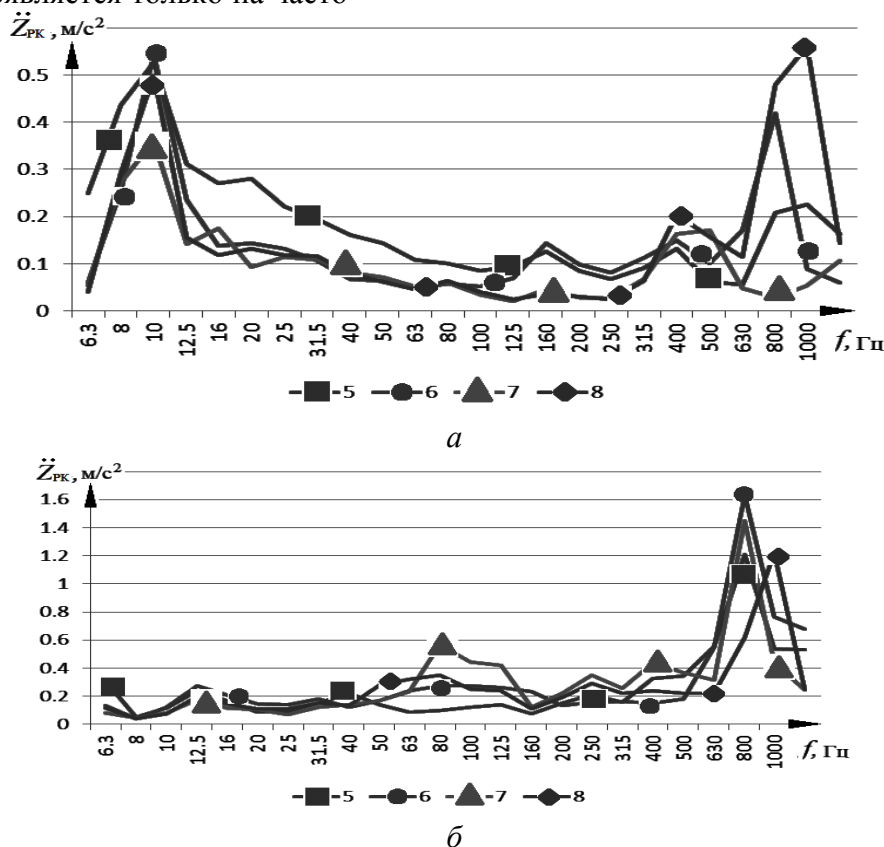


Рис. 6. СКЗ вертикальных виброускорений на раме кабины комбайнов Полесье GS812 (а) и Vector 410 (б) в точках 5-8

Анализ конструкции исследуемых ЗУК показал, что в системах поддрессоривания их кабин используются виброопоры аналогичного типа (рис. 7) с сопоставимым уровнем технических характеристик. Основными виброзащитными элементами в анализируемых опорах являются резиновый амортизатор 1 и резиновый буфер-

штулка 2. Стяжной болт 3 виброопоры затянут гайкой 4 с контргайкой 5, что обеспечивает удержание кабины на раме. Колебания в вертикальном направлении передаются от подрамника кабины через резиновый амортизатор 1 и буфер 2, которые в совокупности обеспечивают достаточный

уровень упругих и демпфирующих свойств, поскольку $Z_{РК}$ существенно снижается относительно $Z_{НВ}$ как по

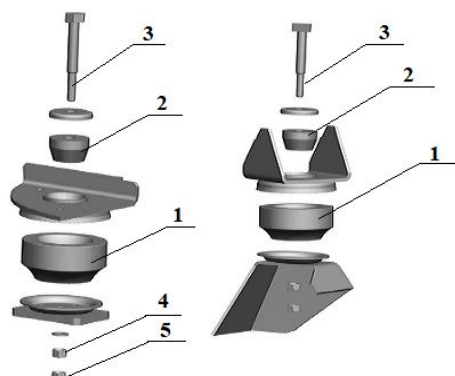


Рис. 7. Передние (а) и задние (б) опоры кабины исследуемых ЗУК

1- амортизатор; 2- буфер-втулка; 3- стяжной болт; 4- гайка; 5- контргайка

Виброизоляцию в горизонтальной плоскости главным образом обеспечивает буфер-втулка 2, имеющая малую площадь рабочего сечения и, как следствие, высокую жесткость и малый ход. Это объясняет малую эффективность данного типа виброопор на ЗУК только при высокочастотных горизонтальных вибровозмущениях (рис.7).

Выводы: Особенностью условий труда на рабочем месте оператора ЗУК является преобладание горизонтальных вибраций, действующих на низких и средних частотах, что обусловлено компоновкой и условиями протекания рабочих процессов в функциональных механизмах рассматриваемого типа машин. Элементы системы виброзащиты кабины от горизонтальных вибраций обладают высокой жесткостью и ограниченным ходом, что снижает их эффективность в низко- и среднечастотной области. Система подвески кабины ЗУК должна иметь опоры с заданными упруго-диссипативными свойствами по всем направлениям. Уровень действующих вибраций на передних и задних опорах кабины существенно отличается,

величине, так и по действующей частоте (рис. 5, рис. 6).

что обусловлено несимметричной развесовкой кабины и упругостью несущей балки. В связи с чем, для обеспечения равных виброизолирующих свойств, передние и задние опоры подвески кабины должны обладать разными характеристиками, а несущая балка иметь либо высокую жесткость, либо заданные упругие свойства для частичного выполнения функции системы поддрессоривания кабины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сравнительные испытания сельскохозяйственной техники: науч. издание. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2013. 416 с.
2. Сиротин П.В., Лебединский И.Ю. Анализ требований и регламентов к параметрам вибрации на рабочем месте транспортно-технологических машин // Архивариус. Киев. 2017. №18 С. 74 - 81.
3. Иванов Н.И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом: Учебник. М.: Университетская книга, Логос, 2008. 424 с.
4. Олянич Ю.Д., Тимошенко В.Н., Власенко В.М. К вопросу снижения шума и вибрации в кабинах зерноуборочных комбайнов // Тракторы и сельхозмашины. 1973. №8. С. 27 – 29.
5. Месхи Б.Ч. Улучшение условий труда операторов комбайнов за счет снижения шума и вибрации: дисс. ... канд. техн. наук 05.26.01. Ростов-на-Дону, 1999. 132 с.

6. Черненко А.Б., Гасанов Б.Г. Пневматические системы вторичного поддресоривания кабин многоосных автомобилей. Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ) 2012. 156 с.

7. Метод гигиенической оценки полной вибрации на рабочих местах водителей транспортных и транспортно-технологических средств: Инструкция по применению. Авторы: Худницкий С.С., Щербинская И.П., Соловьева И.В., Быкова Н.П., Арбузов И.В., Гаевская Т.В., Гринцевич Д.В. Министерство здравоохранения республики

Беларусь. Учреждение-разработчик: Республиканское унитарное предприятие «научно-практический центр гигиены». Минск. 2014. 17 с.

8. Karamousantas D. Noise Levels Produced by Agricultural Machinery and Different Farming Processes. / Dimitrios Karamousantas, Theodoros Varzakas, Andreas Kanakis, Basile C. Dalamagas // International Journal of Acoustics and Vibration Vol. 14, No. 4 2009. Pp. 220–225.

Рукопись поступила в редакцию 21.11.2017

THE ANALYSIS OF VIBRO-ACOUSTIC LOADING OF THE WORKPLACE OPERATORS OF COMBINE HARVESTERS

P. Sirotn P.V, I. Lebedinsky, V. Kravchenko

This article is devoted to the study of vibro-acoustic parameters of modern self-propelled combine harvesters of the classical configuration. By means of the specialized equipment measurements of levels of vibration and noise on a workplace of operators of combines of different marks and models in operating conditions are spent during sunflower harvesting. The received results compared to the operating standards, regulating indicators vibro-acoustic loading of a workplace of the operator of technological agricultural cars. It is established, that the level of spatial vibrations on the operator's seat and on the floor of the cabin significantly exceeds the permissible values. At control points, the levels of horizontal vibro-loads significantly exceed sanitary standards, especially in the mid-frequency region. To determine the causes of this phenomenon, measurements of the levels of spatial oscillations on the bearing beam in the places where the cab vibro-supports are installed and on the cabin frame are made. Distinctions operating vibro-loads under each support are revealed. It is substantiated, that the existing suspension system of the cabin with the use of standard rubber-metal vibration isolators having the same characteristics is in principle not capable of reducing the existing horizontal oscillations in the longitudinal and transverse directions, and in some cases contributes to the rocking of the cabin. The principles of solving this problem are proposed and the directions for further research are justified.

Key words: noise, vibration, combine harvester, vibration load, bearing beam, cab swing, suspension system, noise-vibration protection.

References

1. Srovnitel'nye ispytaniya sel'skohozyajstvennoj tekhniki: nauch. izdanie. M.: FGBNU «Rosin-formagrotekh», 2013. 416 s.

2. Sirotn P.V., Lebedinskij I.YU. Analiz trebovanij i reglamentov k parametram vibracii na rabochem meste transportno-tekhnologicheskikh mashin. Arhivarius. Kiev. 2017. №18 S. 74 - 81.

3. Ivanov N.I. Inzhenernaya akustika. Teoriya i praktika bor'by s shumom: Uchebnik. M.: Universitetskaya kniga, Logos, 2008. 424 s.

4. Olyanich YU.D., Timoshchenko V.N., Vlasenko V.M. K voprosu snizheniya shuma i vibracii v kabinah zernoborochnykh kombajnov. Traktory i sel'hozmashiny. 1973. №8. S. 27 – 29.

5. Meskhi B.CH. Uluchshenie uslovij truda operatorov kombajnov za schet snizheniya shuma i vibracii: diss. kand. tekhn. nauk 05.26.01. Rostov-na-Donu, 1999. 132 s.

6. Chernenko A.B., Gasanov B.G. Pnevmaticheskie sistemy vtorichnogo podressorivaniya kabin mnogoosnykh avtomobilej. Novoчеркасск: YURGTU (NPI) 2012. 156 s.

7. Metod gigienicheskoj ocenki polnoj vibracii na rabochih mestah voditelej transportnyh i transportno-tekhnologicheskikh sredstv: Instrukciya po primeneniyu. Avtory: Hudnickij S.S., SHCHerbinskaya I.P., Solov'eva I.V., Bykova N.P., Arbuzov I.V., Gaevskaya T.V., Grincevich D.V. Ministerstvo zdravooхранeniya respubliki Belarus'. Uchrezhdenie-razrabotchik: Respublikanskoe unitarnoe predpriyatie «nauchno-prakticheskij centr gigieny». Minsk. 2014. 17 s.

8. D. Karamousantas, Th. Varzakas, A. Kanakis, B. C. Dalamagas. . Noise Levels Produced by Agricultural Machinery and Different Farming Processes. International Journal of Acoustics and Vibration Vol. 14, No. 4. 2009. Pp. 220–225