

ВИБРОНАГРУЖЕННОСТЬ РАБОЧЕГО МЕСТА ОПЕРАТОРА И ВИБРОЗАЩИТНЫЕ СВОЙСТВА ПОДВЕСОК СИДЕНИЙ

Чл.-корр. РАН, д.т.н. **Годжаев З.А.**¹, д.т.н. **Ляшенко М.В.**², д.т.н. **Шеховцов В.В.**²,
к.т.н. **Потапов П.В.**², **Искалиев А.И.**²

¹ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ), Москва, Россия
²ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» (ВолгГТУ), Волгоград, Россия
fic51@mail.ru, shehovtsov@vstu.ru

В данной статье на основе данных экспериментальных исследований осуществлен анализ характера и параметров основных эксплуатационных возмущений, энергия которых прямым или косвенным образом передается на рабочее место оператора тракторной техники с гусеничным или колесным двигателем при выполнении различных технологических операций. Рассмотрен основной рабочий диапазон частот данных эксплуатационных возмущений. Дана оценка вклада каждой частотной составляющей в общий уровень вибровоздействий на рабочем месте оператора. На примере использования результатов натурных измерений реальных эксплуатационных возмущений и вибрационных характеристик на колесном тракторе К-744Р1(ст.), работавшем в агрегате с плоскорезом ПГ-3-5 в режиме вспашки стерни с постоянной скоростью движения, проведено сравнительное исследование виброзащитных свойств различных по конструкции подвесок сидений. Описана методика натурных измерений, включая используемое специализированное оборудование фирм ZETLAB и «Ассистент», режим, схему установки датчика и иные условия. С помощью численного метода Рунге-Кутты и инструментов математического моделирования в программной среде Simulink MatLab была имитирована работа серийной подвески сиденья трактора К-744Р1(ст.), пневматической подвески сиденья фирмы Sibeco с ножничным направляющим механизмом и предлагаемой авторами инновационной пневматической подвески сиденья (на базе Sibeco) с управляемым отбором энергии колебаний и с последующей ее рекуперацией. Получены расчетные осциллограммы и спектры вертикальных ускорений на подушке сиденья, подрессоренного при помощи каждой из рассмотренных подвесок, при входном воздействии измеренных реальных эксплуатационных возмущений. Подведены итоги анализа результатов исследования.

Ключевые слова: вибровоздействия, подвеска сиденья, виброзащитные свойства, математическое моделирование, результаты исследований.

Для цитирования: Годжаев З.А., Ляшенко М.В., Шеховцов В.В., Потапов П.В., Искалиев А.И. Вибронагруженность рабочего места оператора и виброзащитные свойства подвесок сидений // Известия МГТУ «МАМИ». 2021. № 1 (47). С. 2–11. DOI: 10.31992/2074-0530-2021-47-1-2-11.

Введение

При создании системы защиты оператора колесных и гусеничных машин от постоянных колебательных воздействий вибрационного характера принципиально важное значение имеет информация, касающаяся спектра частот и диапазона амплитуд этих вибровоздействий во время эксплуатации машины. Эти воздействия формируются в ходовой системе при движении по неровностям почвенного фона, у гусеничных машин также при перемотке гусеницы, в силовых передачах в результате постоянного изменения передаваемого крутящего момента и возникновения вслед-

ствие этого крутильных колебаний в силовой цепи, а также в силовой установке в результате действия переменных газовых и инерционных сил на коленчатый вал двигателя при его работе. При этом необходимо знать, какая часть этих воздействий поглощается либо ослабляется первичной системой подрессоривания, то есть подвеской остова машины, а какая часть – вторичными системами, то есть подвесками двигателя и кабины, а с какой частью подвеска кабины не справляется, и для эффективной защиты от которой должна быть спроектирована подвеска сиденья [1, 2, 3, 4]. Наиболее достоверную информацию о спектральном

и амплитудном составе вибровоздействий получают в результате экспериментальных исследований.

Цель исследований – на примере результатов натурных измерений реальных эксплуатационных возмущений и вибрационных характеристик на колесном тракторе К-744Р1(ст.), работавшем в агрегате с плоскорезом ПГ-3-5 в режиме вспашки стерни с постоянной скоростью движения, провести сравнительное исследование виброзащитных свойств различных по конструкции подвесок сидений.

Методы и средства проведения исследований

1. Характеристика эксплуатационных возмущений при работе гусеничных машин

В монографии профессора Кузнецова Н.Г. [5] приведены экспериментально полученные графики изменения спектральной плотности крюкового усилия трактора семейства ДТ в составе машинно-тракторного агрегата на пахоте, культивации и севе (рис. 1). В монографии указывается, что спектральные плотности тяговых сопротивлений пахотного, культиваторного и посевного агрегатов с серийной навеской имеют пять ярко выраженных частот,

на которых наблюдаются всплески в диапазоне от 0 до 35 Гц. Максимальное значение спектральной плотности имеет место в диапазоне частот от 3 до 3,5 Гц. Энергетический уровень спектральной плотности на этих частотах в 6–20 раз больше, чем в диапазонах остальных всплесков. Второй всплеск наблюдается в диапазоне 10–13 Гц, третий – в диапазоне 14–16 Гц, четвертый – в диапазоне 18–20 Гц, пятый – в диапазоне 28–32 Гц.

Спектральная плотность тягового сопротивления и спектральная плотность ускорений остова и кабины характеризуют разные, но взаимосвязанные колебательные процессы в динамической системе тракторного агрегата. Нагрузки с динамическим характером изменения, формирующиеся в ходовой системе, через раму и подвеску кабины передаются на крепление сиденья. Подвеска сиденья должна обеспечивать защиту оператора в диапазоне амплитуд и спектре частот этих нагрузок.

В работе Хрипунова Д.В. [6] показано, что значительная часть спектра вибрационного воздействия на рабочее место оператора промышленного трактора формируется при работе ходовой системы. Автором выявлены механизмы возбуждения вибраций корпуса трактора в трех зонах гусеничного движи-

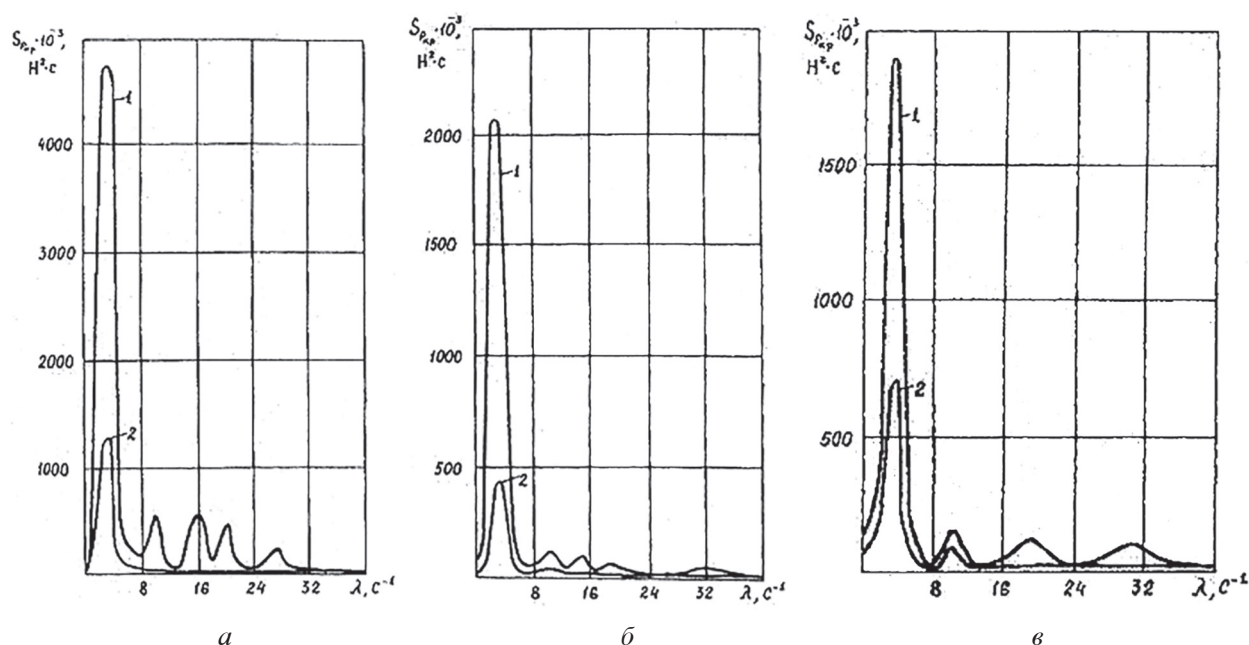


Рис. 1. Спектральная плотность крюкового усилия:

а – пахота; б – культивация; в – сев; 1 – серийная навеска; 2 – опытная навеска с пневмогидравлическим упругим элементом

Fig. 1. Spectral density of hook force: а – plowing; б – cultivation; в – planting; 1 – production hitch; 2 – experimental hitch with pneumatic-hydraulic elastic element

теля: в зоне направляющего колеса, опорной ветви и ведущего колеса. Разработана математическая модель укладки траков на опорную ветвь, ориентированная на оценку вследствие этого вибронагруженности корпуса трактора. На основе моделирования для промышленного трактора с полужесткой подвеской Т-170М.01 произведена количественная оценка вертикальных и продольных виброускорений пола кабины на месте крепления кресла оператора. Показано, что процессы, протекающие в зоне опорной ветви, являются источником возбуждения интенсивных вертикальных вибраций, уровень которых достигает величины $8\text{--}10 \text{ м/с}^2$. Автором утверждается, что определяющее вибрационное воздействие на оператора трактора оказывается в вертикальной плоскости в зоне опорной ветви в интервале частот, совпадающих с частотами чередования траков в гусеничном обводе. Во время работы частота их перемотки в зависимости от скорости промышленного трактора находится в диапазоне от 2,5 до 7 Гц.

В посвященной исследованию колебаний и прочности кабин тракторов семейства ДТ диссертации Косова О.Д. [7] приведен график, характеризующий распределение ускорений вертикальных колебаний рамы трактора (рис. 2), которое дает представление о вероятности их появления. Автором установлено, что «наибольшие низкочастотные колебания рамы трактора наблюдаются в области 2–6 Гц при движении трактора на пахоте, максимальные высокочастотные колебания в области 40–80 Гц формируются при движении по дороге». Автором также утверждается, что «практически вся энергия колебаний сосредоточена в области собственных частот колебаний трактора на подвеске 2–4 Гц».

В работе [8] констатируется, что «...устанавливаемые на отечественных тракторах системы поддрессирования кабин и сидений неудовлетворительно защищают оператора от низкочастотных колебаний в диапазоне 1,5–3 Гц».

Таким образом, экспериментальные и расчетные исследования показывают, что наиболее активным источником возмущений в динамической системе гусеничной машины является ходовая система, в которой генерируются колебания с частотами от 0 до 40 Гц, причем обладающими наибольшей колебательной энергией и самыми высокими амплитуда-

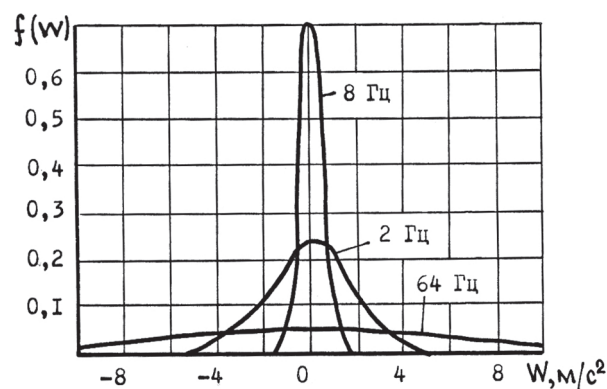


Рис. 2. Функция распределения ускорений вертикальных колебаний рамы трактора

Fig. 2. Distribution function of acceleration of vertical vibrations of the tractor frame

ми являются низкочастотные колебания в диапазоне от 2 до 7 Гц, и что существенная роль в формировании динамических возмущений принадлежит процессу перемотки звенчатой гусеницы.

2. Экспериментальное определение эксплуатационных возмущений при работе колесной машины

Авторами выполнен комплекс экспериментальных исследований с целью определения эксплуатационных воздействий на оператора колесного трактора во время выполнения сельскохозяйственных работ. Для этого выбрана одна из основных сельскохозяйственных операций, пахота, и одна из машин, которые часто используются для выполнения такой работы в Волгоградском регионе. При ее выполнении ходовая система и подвеска остова работают в одном из самых сложных режимов, когда передвижение с существенной тяговой нагрузкой осуществляется в агрегате с плугом по пересеченной местности, то есть присутствуют возмущения и от неравномерности действия тягового сопротивления, и от колебаний остова на подвеске, и от крутильных колебаний в трансмиссии, и от гармоник крутящего момента двигателя.

Определение реальных эксплуатационных возмущений на полу кабины и подушке сиденья производилось при движении колесного трактора К-744Р1(ст.) (рис. 3) в агрегате с плоскорезом ПГ-3-5 в режиме вспашки стерни со скоростью 2,5 м/с. Исследования выполнялись на базовом участке СПК Племзавод «Ромашковский» Палласовского района Волгоградской области. Глубина вспашки

почвы составляла 22...25 см. Движение трактора по выбранному участку осуществлялось на 2-й передаче II-го режима работы коробки перемены передач в диапазоне изменения частоты вращения коленчатого вала двигателя ЯМЗ-238НД5 от 2100 до 2200 об/мин. Данный режим работы тракторного агрегата характерен при выполнении пахоты.



Рис. 3. Трактор К-744Р1(ст.)

Fig. 3. K-744P1 (st.) tractor

При выполнении исследований [9, 10] процесс изменения мгновенных значений виброускорений на полу кабины и на подушке сиденья водителя записывался в память приборов, входящих в состав комплексов научно-исследовательской аппаратуры ZETLAB (рис. 4) и «Ассистент» (рис. 5).



Рис. 4. Вибро- и шумоизмерительный комплекс ZETLAB:

1 – кабель USB (для связи с ПК);
2 – интегрирующий одноканальный блок-регистратор ZET 110; 3 – акселерометр BC 110

Fig. 4. ZETLAB vibration and noise measuring complex: 1 – USB cable (for communication with a PC); 2 – ZET 110 single-channel integrating block-recorder; 3 – accelerometer BC 110

На электронном многоканальном осциллографе ZETLAB в режиме реального времени осуществлялась запись мгновенных и средне-квадратических значений виброускорений, регистрируемых однокомпонентным датчиком (акселерометром) BC 110 на полу кабины трактора, в дальнейшем с помощью этой аппаратуры выполнена обработка полученных данных с получением статистических характеристик.



Рис. 5. Вибро- и шумоизмерительный комплекс «Ассистент»

Fig. 5. Assistant vibration and noise measuring complex

Комплекс «Ассистент» включает в себя встроенный анализатор шума и вибраций и датчик, реагирующий на вибрационные возбуждения по трем линейным взаимно перпендикулярным координатам. Вибрационный трехкомпонентный датчик располагался при измерениях на подушке сиденья на металлическом диске и прикреплялся к нему при помощи постоянного магнита (рис. 6).

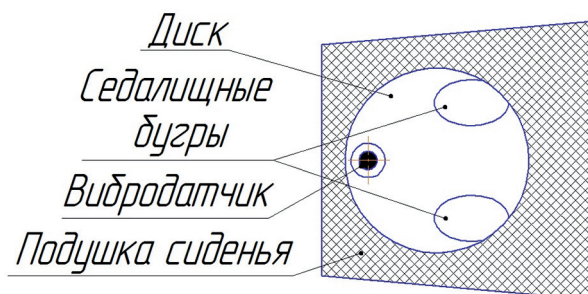


Рис. 6. Схема расположения датчика на подушке сиденья

Fig. 6. Location of the sensor on the seat cushion

Отдельные результаты измерений отображены на рис. 7 в виде сравнительных спектров вертикальных ускорений пола кабины и подушки сиденья с водителем [11, 12].

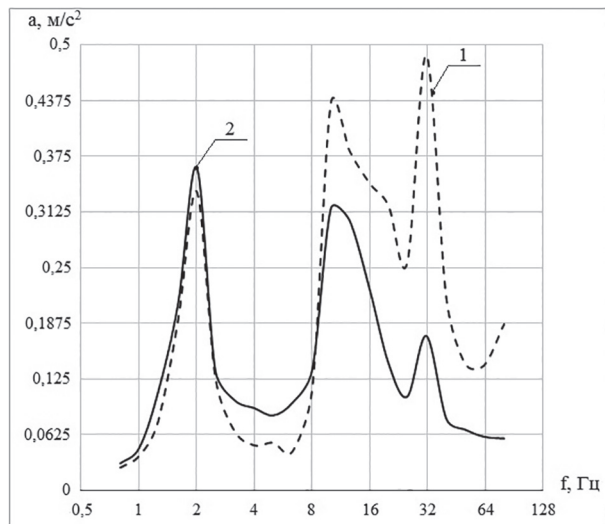


Рис. 7. Спектр вертикальных ускорений:
1 – на полу кабины; 2 – на подушке сиденья оператора

Fig. 7. Vertical acceleration spectrum:
1 – on the cabin floor; 2 – on the operator's seat cushion

Из анализа полученных спектров следует выделить 2 пункта:

- штатная подвеска сиденья оператора трактора не снижает амплитуду колебаний, передающихся от пола кабины в полосе со среднегеометрической частотой 2 Гц, а наоборот, усиливает ее почти на 8 %;

- аналогичная картина увеличения уровня вертикальных ускорений наблюдается в наиболее чувствительном для тела человека диапазоне частот от 2,5 Гц до 8 Гц.

3. Расчетные исследования виброзащитных свойств подвесок сиденья

Полученные в результате натурных измерений записи изменения ускорений на полу кабины и на подушке сиденья, а также их статистические характеристики использованы на следующем этапе работ для выполнения сравнительного расчетного моделирования [9, 10, 11], имеющего целью сравнение виброзащитных качеств штатной подвески сиденья трактора (рис. 8), широко распространенной в автомобиле- и тракторостроении [13] под-

вески сиденья P405C/KA80HT фирмы Sibeco с пневморессорой и нерегулируемым гидравлическим амортизатором, направляющий механизм которой (рис. 9) выполнен по типу «ножниц», и технического решения предложенной авторами пневматической подвески [14], позволяющей обеспечивать одинаково качественную виброзащиту оператора на ходах сжатия и отбоя, а также имеющей возможность осуществлять частичную рекуперацию колебательной энергии (рис. 10).

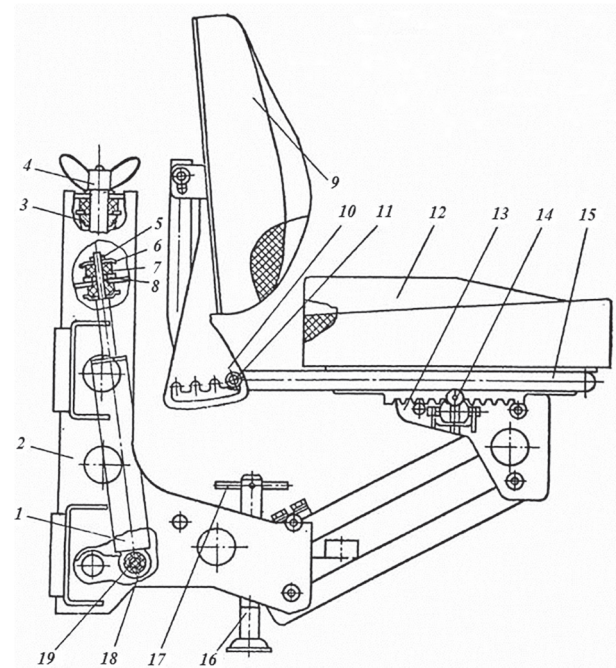


Рис. 8. Сиденье трактора «Кировец»:

1 – амортизатор; 2 – механизм подвески; 3 – блок пружин; 4, 14 и 17 – рукоятки; 5 – гайка; 6 и 8 – шайбы; 7 и 18 – резиновые втулки; 9 – спинка; 10 – сектор; 11 и 19 – оси; 12 – подушка; 13 – рейка; 15 – осто́в; 16 – винт

Fig. 8. Seat of the Kirovets tractor: 1 – shock absorber; 2 – suspension mechanism; 3 – spring block; 4, 14 and 17 – handles; 5 – nut; 6 and 8 – washers; 7 and 18 – rubber bushings; 9 – backrest; 10 – sector; 11 and 19 – axes; 12 – cushion; 13 – rack; 15 – frame; 16 – screw

Предложенная авторами статьи подвеска (рис. 10) работает следующим образом [14, 15]. На ходе сжатия давление воздуха в полости пневмобаллона 1 возрастает, при этом клапаны 7 и 8 закрыты и сообщение с ресиверами 9 и 10 отсутствует. В конце хода сжатия при смене знака скорости деформации сигнал с датчика 14 поступает на блок управления 15, открывающий клапан 8, и воздух из полости

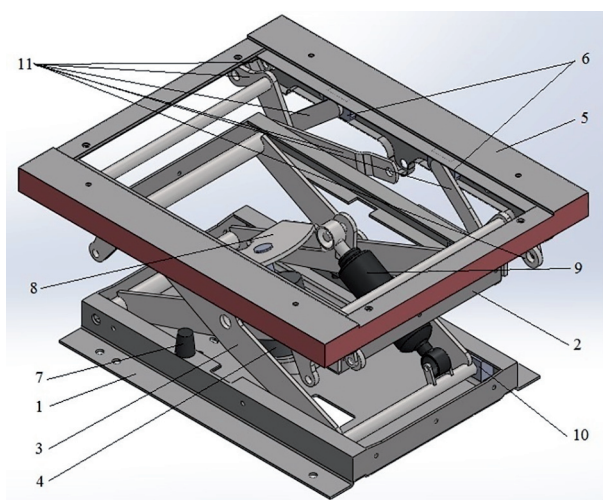


Рис. 9. Система поддрессирования сиденья фирмы Sibeco:

1 – основание; 2 – средняя рама; 3 – система рычагов по типу «ножниц»; 4 – пневматическая рессора; 5 – верхняя рама; 6 – ползуны механизма регулировки положения подушки сиденья; 7 – ограничитель хода; 8 – кронштейн; 9 – амортизатор; 10 – ползун направляющего механизма; 11 – система рычагов механизма регулировки положения подушки сиденья

Fig. 9. Sibeco seat suspension system: 1 – base; 2 – middle frame; 3 – scissors type leverage system; 4 – air spring; 5 – upper frame; 6 – sliders of the seat cushion position adjustment mechanism; 7 – travel stop; 8 – bracket; 9 – shock absorber; 10 – slider of the guiding mechanism; 11 – system of levers of the mechanism for adjusting the position of the seat cushion

пневмобаллона 1 под давлением подается в ресивер 9. Между ресиверами 9 и 10 образуется перепад давления, который приводит в действие пневмодвигатель 11.

На ходе отбоя клапан 8 закрывается, при этом связь пневмобаллона с ресиверами отсутствует. Клапан 7 открывается только тогда, когда давление воздуха в пневмобаллоне становится не больше давления воздуха в ресивере 10. Тогда воздух под давлением из ресивера 10 поступает в полость пневмобаллона и приводит в действие пневмодвигатель. При достижении положения статического равновесия клапан 7 закрывается, сообщение с ресиверами прекращается. В конце хода отбоя при смене знака скорости деформации подвески по сигналу датчика 14 открывается клапан 7, воздух под давлением из ресивера 10 подается в пневмобаллон и приводит пневмодвигатель.

В начале хода сжатия клапан 7 закрывается, связь пневмобаллона с ресиверами прерывается. Клапан 8 открывается только тогда, когда давление воздуха в полости пневмобаллона становится не меньше давления в ресивере 9. До достижения положения статического равновесия клапан 8 открыт и воздух перетекает из полости пневмобаллона в ресивер 9, приводя в действие пневмодвигатель 11.

Авторами разработаны математические модели перечисленных подвесок сидений и выполнен комплекс расчетных исследований

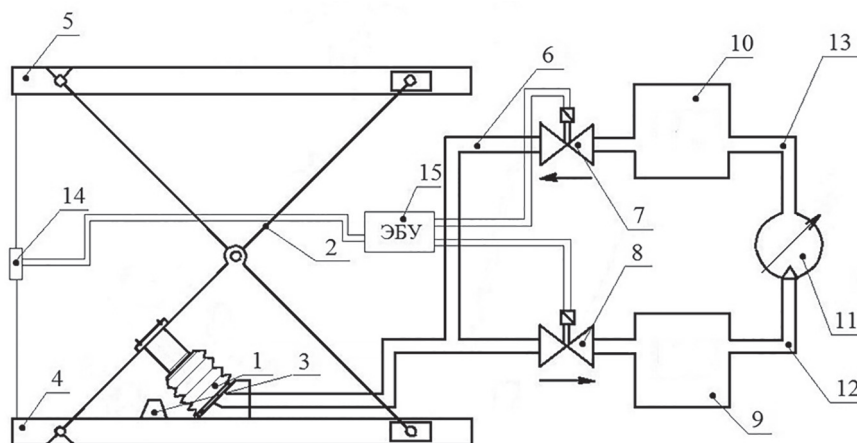


Рис. 10. Предложенная схема подвески сиденья:

1 – пневмобаллон; 2 – направляющие рычаги; 3 – ограничитель хода; 4 – нижнее основание; 5 – верхнее основание; 6, 12 и 13 – пневмомагистраль; 7 и 8 – электропневматические клапаны; 9 и 10 – ресиверы; 11 – пневмодвигатель; 14 – датчик перемещения; 15 – электронный блок управления работой клапанов

Fig. 10. Suggested seat suspension scheme: 1 – pneumocylinder; 2 – guiding levers; 3 – travel stop; 4 – bottom base; 5 – top base; 6, 12 and 13 – pneumatic lines; 7 and 8 – electro-pneumatic valves; 9 and 10 – receivers; 11 – pneumatic motor; 14 – displacement sensor; 15 – electronic valve control unit

[9, 10, 16, 17] с целью определения виброзащитных качеств каждой в широком диапазоне эксплуатационных воздействий. Для выполнения исследований использован программный пакет MatLab со средством визуального моделирования Simulink. Уравнения решались методом Рунге-Кутты 4 порядка с постоянным шагом интегрирования 0,0009257 с. Результаты расчета в виде массивов данных передавались посредством модуля MatLab Excel Link в файлы Excel для последующих обработок. Отдельные результаты моделирования для примера представлены на рис. 11, 12 и 13.

Результаты расчетных исследований

Расчетные сравнительные исследования разработанных математических моделей штатной подвески сиденья трактора, подвески фирмы Sibeco и предлагаемой подвески сидений показали высокую эффективность последней по обеспечению виброзащиты рабочего места оператора [9, 10, 16, 17]. На частоте гармонического возмущения 2 Гц относительное снижение коэффициента передачи $H(f)$ предлагаемой подвески по сравнению со штатной составило 51 %, на частотах 3, 4, 5, 6, 8 и 10 Гц – 72 %, 81 %, 84 %, 85 %, 89 % и 91 % соответственно.

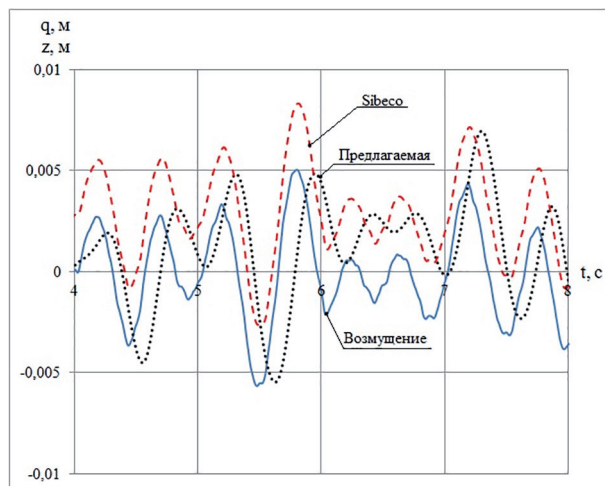


Рис. 11. Осциллограммы абсолютных перемещений массы, поддресоренной штатной и предлагаемой подвесками сиденья, полученные при имитации воздействия случайного сигнала

Fig. 11. Oscillograms of the absolute displacements of the mass sprung by the standard and suggested seat suspensions, obtained by simulating the effect of a random signal

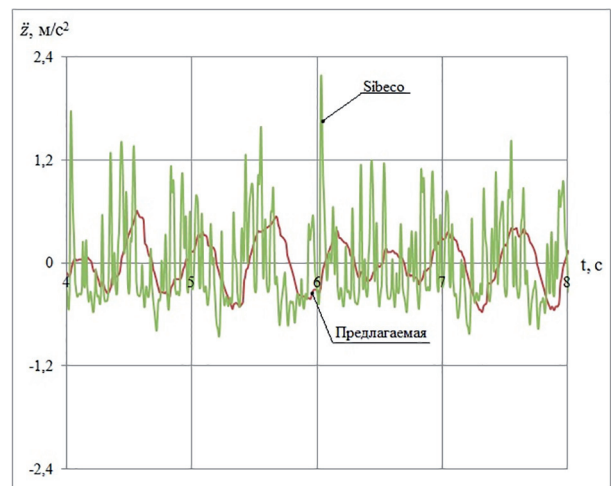


Рис. 12. Осциллограммы абсолютных ускорений массы, поддресоренной штатной и предлагаемой подвесками сиденья, полученные при имитации воздействия случайного сигнала

Fig. 12. Oscillograms of the absolute accelerations of the mass sprung by the standard and suggested seat suspensions, obtained by simulating the effect of a random signal

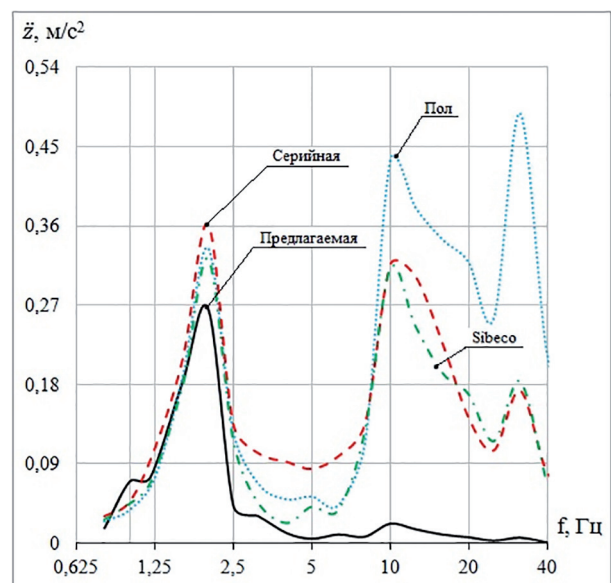


Рис. 13. Сравнительные спектры абсолютных вертикальных ускорений пола кабины и массы сиденья при использовании серийной (фирмы Sibeco) и предложенной подвесок

Fig. 13. Comparative spectra of absolute vertical accelerations of the cabin floor and seat mass when using the production (Sibeco company) and the suggested suspensions

При случайном возмущении предлагаемая подвеска сиденья по сравнению со штатной обеспечивает уменьшение вертикальных ускорений пола кабины в третьоктавной полосе со среднеге-

ометрическими частотами 2, 2.5, 3.15, 4, 5, 6.3, 8, 10, 12.5, 16, 20, 25, 31.5 и 40 Гц, соответственно, в 1,3 раза, в 3 раза, в 2 раза, в 4 раза, в 10 раз, в 4 раза, в 14 раз, в 19 раз, в 23 раза, в 34 раза, в 44 раза, в 77 раз, в 73 раза и в 175 раз.

Интегральное значение скорректированных по частоте вертикальных виброускорений на подушке серийного сиденья трактора оказалось равным 0,573 м/с², сиденья Sibeco – 0,504 м/с², сиденья с предлагаемой подвеской – 0,182 м/с².

Заключение

1. Выполнен комплекс экспериментальных и расчетных исследований с целью определения основных параметров вибровоздействий на оператора гусеничных и колесных машин в процессе эксплуатации.

2. Разработаны математические модели подвесок штатного сиденья оператора трактора К-744Р1(ст.), сиденья фирмы Sibeco и предложенного технического решения подвески. В результате выполнения комплекса расчетных исследований созданных моделей установлено, что предложенное техническое решение пневматической подвески сиденья с управляемым обменом рабочим телом на ходах сжатия и отбоя и с частичной рекуперацией колебательной энергии обладает лучшими виброзащитными свойствами в широком диапазоне изменения эксплуатационных воздействий.

Литература

1. Шеховцов В.В. [и др.] Подрессоривание кабин тягово-транспортных средств: учеб. пособие // Минобрнауки России, ВолГТУ. Волгоград: Изд-во ВолГТУ, 2016. 160 с.
2. Искалиев А.И. Анализ пневматических подвесок автотракторных сидений // Технич.-технологическое развитие отраслей и предприятий: сб. науч. тр. по матер. I междунар. науч.-практ. конф. (31 января 2017 г.) / гл. ред.: Н.А. Краснова; Научная общественная организация «Профессиональная наука». Нижний Новгород, 2017. С. 4–9.
3. Поливаев О.И., Юшин А.Ю. Снижение воздействия транспортной вибрации на операторов мобильных энергетических средств: монография / Минсельхоз России, ФГОУ ВПО ВГАУ им. К.Д. Глинки. Воронеж: Изд-во ФГОУ ВПО ВГАУ им. К.Д. Глинки, 2008. 177 с.
4. Победин А.В., Ляшенко М.В., Шеховцов К.В., Годжаев З.А. Стендовое оборудование для испытания виброизоляторов кабины трактора // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 7. С. 43–48.
5. Кузнецов Н.Г. Стабилизация режимов работы скоростных машинно-тракторных агрегатов. Монография / Волгогр. гос. с.-х. акад. Волгоград, 2006. 426 с.
6. Хрипунов Д.В. Методы оценки характеристик вибронагруженности промышленного трактора со стороны гусеничного движителя. Автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. тех. наук. Омск, Южно-Уральский гос. ун-т, 2003. 16 с.
7. Косов О.Д. Теоретическое и экспериментальное исследование колебательной системы кабины трактора. Автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. тех. наук. Волгоград, 1981. 28 с.
8. Артюшенко А.Д. Создание пневматической подвески сиденья для защиты тракториста от низкочастотных колебаний, обоснование и выбор ее оптимальных параметров: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. тех. наук. Харьков, ХПИ, 1984. 16 с.
9. Ляшенко М.В., Шеховцов В.В., Федянов Е.А., Искалиев А.И. Математическая модель колебаний сиденья транспортного средства с рекуперацией энергии посредством пневматического потребителя // Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт. 2019. № 3 (28). С. 10–18.
10. Lyashenko M., Potapov P., Iskaliyev A. Analysis of vibroprotection characteristics of pneumatic relaxation seat suspension with capability of vibration energy recuperation // В сборнике: MATEC Web of Conferences. 2017. С. 06018. DOI: 10.1051/mateconf/201712906018
11. Искалиев А.И. Анализ пневматических подвесок автотракторных сидений // Технич.-технологическое развитие отраслей и предприятий: сб. науч. тр. по матер. I междунар. науч.-практ. конф. (31 января 2017 г.) гл. ред.: Н.А. Краснова; Научная общественная организация «Профессиональная наука». Нижний Новгород, 2017. С. 4–9.
12. Победин А.В., Шеховцов В.В., Ляшенко М.В., Соколов-Добрев Н.С., Шеховцов К.В., Годжаев З.А. Перспективы использования динамических гасителей колебаний в подвесках тракторных кабин // Тракторы и сельхозмашины. 2014. № 11. С. 16–21.
13. Sibeco. Системы безопасности, комфорта и обзора. Сиденья для сельхозтехники [Электронный ресурс]. 2016. Режим доступа: <http://sibeco-russia.ru/catalog/8/27/1253.html>.
14. Ляшенко М.В., Шеховцов В.В., Потапов П.В., Искалиев А.И. П. м. 177004 Российская Федерация, МПК В 60 N 2/52. Подвеска сиденья транспортного средства // ВолГТУ. 2018.
15. Искалиев А.И., Ляшенко М.В. Перспективы развития систем подрессоривания автотракторных сидений // Инновации технических решений в машиностроении и транспорте: сб. ст. IV всерос. науч.-техн. конф. для молодых ученых и студентов с междунар. участием (г. Пенза, 14–15 марта

- 2018 г.) под общ. ред. В.В. Салмина; ФГБОУ ВО «Пензенский гос. ун-т», Политехнический ин-т, Факультет машиностроения и транспорта, Межотраслевой научно-информационный центр (МНИЦ) ПГАУ. Пенза, 2018. С. 46–49.
16. Надеждин В.С., Красавин П.А., Фараджев Ф.А., Годжаев З.А. К вопросу моделирования нелинейного пневмоупругого элемента пассажирского автобуса // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2014. № 12. С. 308–322.
17. Ляшенко М.В., Искалиев А.И. Виброзащитные свойства подвески сиденья с возможностью рекуперации энергии колебаний // Прогресс транспортных средств и систем – 2018: материалы междунар. науч.-практ. конф. (г. Волгоград, 9-11 октября 2018 г.) редкол.: И.А. Каляев, Ф.Л. Черноусько, В. М. Приходько [и др.]; ВолгГТУ, РФФИ, «ФНПЦ «Титан–Баррикады». Волгоград, 2018. С. 71–73.
18. Izmailov A., Godzhaev Z., Revenko V. The method of constructing the diagrams of shear stresses in the contact zone of an slipping wheel with soil // SAE Technical Papers. 2018. T. 2018 April. DOI: 10.4271/2018-01-1335.
- ### References
1. Shekhovtsov V. V. [i dr.] Podressorivaniye kabin tyagovo-transportnykh sredstv [Springing of traction vehicles cabins]: ucheb. posobiye. Minobrnauki Rossii, VolGGTU. Volgograd: Izd-vo VolGGTU Publ., 2016. 160 p.
2. Iskaliyev A.I. Analysis of air suspension of automotive tractor seats. Tekhniko-tekhnologicheskoye razvitiye otrasley i predpriyatiy: sb. nauch. tr. po mater. I mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (31 yanvarya 2017 g.) [Technical and technological development of industries and enterprises: collection of articles and materials of I International scientific and practical conference (January 31, 2017)] / gl. red.: N.A. Krasnova; Nauchnaya obshchestvennaya organizatsiya «Professional'naya nauka». Nizhniy Novgorod, 2017, pp. 4–9 (in Russ.).
3. Polivayev O.I., Yushin A.YU. Snizheniye vozdeystviya transportnoy vibratsii na operatorov mobil'nykh energeticheskikh sredstv [Reducing the impact of transport vibration on mobile power operators]: monografiya. Minsel'khoz Rossii, FGOU VPO VGU im. K.D. Glinki. Voronezh: Izd-vo FGOU VPO VGU im. K.D. Glinki Publ., 2008. 177 p.
4. Pobedin A.V., Lyashenko M.V., Shekhovtsov K.V., Godzhayev Z.A. Bench equipment for testing vibration isolators of a tractor cabin. Traktory i sel'khoz mashiny. 2012. No 7, pp. 43–48 (in Russ.).
5. Kuznetsov N.G. Stabilizatsiya rezhimov raboty skorstnykh mashinno-traktornykh agregatov [Stabilization of operating modes of high-speed machine and tractor units]. Monografiya. Volgogr. gos. s.-kh. akad. Publ. Volgograd, 2006. 426 p.
6. Khripunov D.V. Metody otsenki kharakteristik vibronagruzhennosti promyshlennogo traktora so storony gusenichnogo dvizhitelya. Avtoref. dis. na soisk. uchen. step. kand. tekhn. nauk [Methods for assessing the characteristics of vibration loading of an industrial tractor from the side of a caterpillar mover: Abstract to Dissertation for Degree of PhD in Engineering]. Omsk, Yuzhno-Ural'skiy gos. un-t Publ., 2003. 16 p.
7. Kosov O.D. Teoreticheskoye i eksperimental'noye issledovaniye kolebatel'noy sistemy kabiny traktora. Avtoref. dis. na soisk. uchen. step. kand. tekhn. nauk [Theoretical and experimental study of the oscillatory system of the tractor cabin: Abstract to Dissertation for Degree of PhD in Engineering]. Volgograd, 1981. 28 p.
8. Artyushenko A.D. Sozdaniye pnevmaticheskoy podveski siden'ya dlya zashchity traktorista ot nizkочастотnykh kolebaniy, obosnovaniye i vybor yeye optimal'nykh parametrov: avtoref. dis. na soisk. uchen. step. kand. tekhn. nauk [Creation of a pneumatic suspension of a seat to protect the tractor driver from low-frequency vibrations, justification and selection of its optimal parameters: Abstract to Dissertation for Degree of PhD in Engineering]. Khar'kov, KHPI, 1984. 16 p.
9. Lyashenko M.V., Shekhovtsov V.V., Fedyanov YE.A., Iskaliyev A.I. Mathematical model of vehicle seat vibrations with energy recovery by means of a pneumatic consumer. Energo- i resursosberezheniye: promyshlennost' i transport. 2019. No 3 (28), pp. 10–18 (in Russ.).
10. Lyashenko M., Potapov P., Iskaliyev A. Analysis of vibroprotection characteristics of pneumatic relaxation seat suspension with capability of vibration energy recuperation. V sbornike: MATEC Web of Conferences. 2017, pp. 06018. DOI: 10.1051/mateconf/201712906018.
11. Iskaliyev A.I. Analysis of air suspension of automotive tractor seats. Tekhniko-tekhnologicheskoye razvitiye otrasley i predpriyatiy: sb. nauch. tr. po mater. I mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (31 yanvarya 2017 g.) [Technical and technological development of industries and enterprises: collection of articles and materials of I International scientific and practical conference (January 31, 2017)] gl. red.: N.A. Krasnova; Nauchnaya obshchestvennaya organizatsiya «Professional'naya nauka». Nizhniy Novgorod, 2017, pp. 4–9 (in Russ.).
12. Pobedin A.V., Shekhovtsov V.V., Lyashenko M.V., Sokolov-Dobrev N.S., Shekhovtsov K.V., Godzhayev Z.A. Prospects for the use of dynamic vibration dampers in the suspensions of tractor

- cabins. Traktory i sel'khoz mashiny. 2014. No 11, pp. 16–21 (in Russ.).
13. Sibeko. Sistemy bezopasnosti, komforta i obzora. Siden'ya dlya sel'khoz tekhniki [Elektronnyy resurs]. 2016. URL: <http://sibeko-russia.ru/catalog/8/27/1253.html>.
14. Lyashenko M.V., Shekhovtsov V.V., Potapov P.V., Iskaliyev A.I. P. m. 177004 Rossiyskaya Federatsiya, MPK B 60 N 2/52. Podveska siden'ya transportnogo sredstva [Vehicle seat suspension]. VolgGTU. 2018.
15. Iskaliyev A.I., Lyashenko M.V. Prospects for the development of suspension systems for automotive seats. Innovatsii tekhnicheskikh resheniy v mashinostroyenii i transporte: sb. st. IV vseros. nauch.-tekh. konf. dlya molodykh uchenykh i studentov s mezhdunar. uchastiyem (g. Penza, 14–15 marta 2018 g.) [Innovations of technical solutions in mechanical engineering and transport: collection of articles of IV All-Russian scientific and technical conference for young scientists with international participation (Penza, March 14–15, 2018)] pod obshch. red. V.V. Salmina; FGBOU VO «Penzenskiy gos. un-T», Politekhnikheskiy in-t, Fakul'tet mashinostroyeniya i transporta, Mezhotraslevoy nauchno-informatsionnyy tsentr (MNITS) PGAU. Penza, 2018, pp. 46–49 (in Russ.).
16. Nadezhdin V.S., Krasavin P.A., Faradzhev F.A., Godzhayev Z.A. Modeling a nonlinear pneumatic elastic element of a passenger bus. Nauka i obrazovaniye: nauchnoye izdaniye MGTU im. N.E. Bauman. 2014. No 12, pp. 308–322 (in Russ.).
17. Lyashenko M.V., Iskaliyev A.I. Vibration-protective properties of the seat suspension with the possibility of vibration energy recuperation. Progress transportnykh sredstv i sistem – 2018: materialy mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (g. Volgograd, 9–11 oktyabrya 2018 g.) [Progress of vehicles and systems – 2018: materials of the international scientific and practical conference (Volgograd, October 9–11, 2018)] redkol.: I. A. Kalyayev, F. L. Chernous'ko, V. M. Prikhod'ko [i dr.]; VolgGTU, RFFI, «FNPTS «TitaN–BarrikadY». Volgograd, 2018, pp. 71–73 (in Russ.).
18. Izmailov A., Godzhaev Z., Revenko V. The method of constructing the diagrams of shear stresses in the contact zone of an slipping wheel with soil. SAE Technical Papers. 2018. Vol. 2018 April. DOI: 10.4271/2018-01-1335.

VIBRATION LEVELS ON OPERATOR'S WORKPLACE AND VIBRATION PROTECTION CHARACTERISTICS OF SEAT SUSPENSIONS

Corresponding member of the Russian Academy of Sciences, DSc in Engineering **Z.A. Godzhayev**¹, DSc in Engineering **M.V. Lyashenko**², DSc in Engineering, **V.V. Shekhovtsov**², PhD in Engineering **P.V. Potapov**², **A.I. Iskaliyev**²

¹Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia

²Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia

fic51@mail.ru, shehovtsov@vstu.ru

This article analyzes the nature and parameters of the main operational disturbances, which energy is directly or indirectly transferred to the operator's workplace of tractor with a caterpillar or wheeled propeller when performing various technological operations, based on experimental research data. The main operating frequency range of these operational disturbances is considered. The contribution of each frequency component to the overall level of vibration at the operator's workplace is assessed. The example of implementation the results of field measurements of real operational disturbances and vibration characteristics on a K-744R1 (st.) wheeled tractor, which operated in a unit with a PG-3-5 plane cutter in the mode of plowing stubble at a constant speed of movement was used. The comparative study of vibration-protective properties of various designs of seat suspension was carried out. The technique of field measurements, including specialized equipment of the ZETLAB and Assistant companies, the mode, the sensor installation scheme and other conditions are described. Using the numerical Runge-Kutta method and mathematical modeling tools in the Simulink MatLab software environment, the operation of the serial suspension of the K-744R1 (st.) tractor seat, air suspension of the Sibeco seat with a scissor guiding mechanism and the innovative air suspension of the seat (based on Sibeco) with controlled extraction of vibration energy and its subsequent recuperation was simulated. There were obtained the calculated oscillograms and spectra of vertical accelerations on a seat cushion, sprung with each of the considered suspensions under the input action of measured real operational disturbances. The results of the analysis of the research results are summed up.

Keywords: vibration loads, seat suspension, vibration protections characteristics, mathematical modeling, research results

Cite as: Godzhayev Z.A., Lyashenko M.V., Shekhovtsov V.V., Potapov P.V., Iskaliyev A.I. Vibration levels on operator's workplace and vibration protection characteristics of seat suspensions. Izvestiya MGTU «MAMI». 2021. No 1 (47), pp. 2–11 (in Russ.). DOI: 10.31992/2074-0530-2021-47-1-2-11.