

*А.Г. МАМОНТОВ*, ст. преп. НТУ «ХПИ»

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАВНОСТИ ХОДА ТРАКТОРОВ С ПНЕВМОРЕССОРНОЙ И СЕРИЙНОЙ ПОДВЕСКАМИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПАХОТНЫХ РАБОТ**

Проведен анализ численных данных, полученных в результате проведения сравнительных экспериментальных исследований плавности хода машинотракторного агрегата на базе колёсного трактора, оснащённого тремя типами систем поддрессоривания переднего моста, а именно серийной рессорной подвеской, пневморессорной подвеской с дополнительными резервуарами без амортизаторов и пневморессорной подвеской с дополнительными резервуарами с амортизаторами, при выполнении пахотных работ с плугом ПЛН-5-35. Установлены зависимости изменения среднеквадратических ускорений сиденья водителя, пола кабины, переднего моста и заднего моста в октавных полосах, соответствующих среднегеометрическим частотам 1 Гц, 2 Гц, 4 Гц, 8 Гц и 16 Гц при движении на первой и второй передаче при выполнении пахоты. Так же установлены зависимости изменения относительных перемещений рамы и переднего моста в октавных полосах частот при движении на первой и второй передаче.

**Ключевые слова:** машинотракторный агрегат, плавность хода, система поддрессоривания, сидение водителя, среднеквадратические ускорения.

**Введение.** Известно, что основным показателем качества самоходных машин является уровень её виброзащиты. Этот показатель зависит от совершенства системы поддрессоривания, которая защищает самоходную машину от динамических воздействий дороги и сводит колебания к приемлемому уровню.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Вибрация которая действует на организм человека, является существенно вредным фактором. Длительное воздействие вибрации разрушает нервно-мышечный и опорно-двигательный аппарат, а в ряде случаев приводит и к появлению вибрационной болезни [1,2]. В условиях сельскохозяйственного производства основным источником вибраций выступают машинотракторные агрегаты. Поэтому повышение уровня их вибрации даст возможность существенно улучшить условия работы операторов, уменьшить их утомляемость и заболеваемость.

Как видно из работ [3,4,5], посвящённых изучению и исследованию плавности хода виброзащитных свойств систем поддрессоривания самоходных машин, повышение уровня виброзащиты самоходных машин может быть достигнуто различными способами, в основном, придание их конструкциям таких качеств, которые обеспечивают уменьшение интенсивности колебаний, а это достигается по мере снижения собственной частоты колебаний защищаемого объекта [6,7,8]. Одним из таких способов, является применение пневматической виброзащитной системы, так как применение пневматических упругих элементов позволяет изменять жесткость подвески, регулировать дорожный просвет и эффективно гасить колебания [9].

Известно, что пахота является одним из наиболее тяжёлых фонов воздействия микропрофиля на трактор. Поэтому проведение испытаний на пахотных работах позволяет наилучшим образом провести оценку различных систем поддрессоривания колёсного трактора в реальных условиях движения агрегата.

© А.Г.Мамонтов, 2015

**Цель и постановка задачи.** Целью испытаний было определение величин среднеквадратических ускорений в характерных точках трактора и величин относительных перемещений рамы и переднего моста трактора при выполнении пахотных работ.

**Постановка эксперимента.** С целью получения данных по плавности хода трактора были проведены полигонные испытания трактора Т-150КМ оборудованного пневморессорной или серийной подвесками переднего моста.

В результате проведенных испытаний [10] были выбраны основные конструктивные параметры обеспечивающие оптимальное воздушное демпфирование при сечении дросселя  $9 \cdot 10^{-3}$  м и объём дополнительного воздушного резервуара на один борт  $40 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>.

Испытания на плавность хода проводились на прямолинейном участке убранныго поля, не имеющим подъёма выше 1°. Длина участка составляла 200 м, поверхность поля была свободна от влаги и снега. Эксперименты проводились на 1-й и 2-й передачах при скорости 10 км/ч и 10,4 км/ч соответственно. Величина динамического хода подвески принималась  $30 \cdot 10^{-3}$  м и  $40 \cdot 10^{-3}$  м. Для получения стабильных результатов каждый заезд повторялся дважды. Давление воздуха в шинах на пахоте составляло 0,1 МПа для передних и 0,08 МПа для задних колёс. Трактор в процессе эксплуатации двигался с плугом ПЛН-5-35 [11].

**Результаты анализа экспериментальных исследований плавности хода трактора.** По результатам экспериментальных исследований построены графические зависимости изменения среднеквадратических ускорений в октавных полосах частот (рис. 1...8), а также относительные перемещения рамы и переднего моста трактора (рис.9...10).

Анализ рисунка 1 и 2 показывает, что явно выраженный резонансный режим имеет место в октавной полосе, соответствующей среднегеометрическим частотам 2 Гц. С повышением рабочей скорости от 10 км/ч до 11,4 км/ч для трактора, оборудованного пневморессорной подвесками (с амортизаторами или без них) с динамическими ходами  $h=30 \cdot 10^{-3}$  м и  $h=40 \cdot 10^{-3}$  м среднеквадратические ускорения сидения возрастают на 18...20% во всех октавных полосах частот.

Для серийной подвески величина среднеквадратических ускорений сидения в резонансном режиме не меняется и равна  $0,72$  м/с<sup>2</sup>, а в октавных полосах частот, соответствующих среднегеометрическим частотам 1 Гц, 8 Гц и 16 Гц, она увеличивается на 40% (с  $0,15...0,28$  м/с<sup>2</sup> до  $0,2...0,4$  м/с<sup>2</sup>).

В резонансном режиме среднеквадратические ускорения сидения при наличии серийной подвески превышают в 2...2,5 раза ( $h=40 \cdot 10^{-3}$  м) и в 3...4 раза ( $h=30 \cdot 10^{-3}$  м) аналогичные величины при наличии пневморессорной подвески с амортизаторами, и в 1,5...1,8 раза ( $h=40 \cdot 10^{-3}$  м и  $h=30 \cdot 10^{-3}$  м) – при наличии пневморессорной подвески без амортизаторов.

В октавных полосах, соответствующих среднегеометрическим частотам 4 Гц, 8 Гц и 16 Гц, среднеквадратические ускорения сиденья при наличии серийной подвески на 20...50% больше, чем при наличии пневморессорной подвески с амортизаторами, и на 20...40% меньше, чем при пневморессорной подвеске без амортизаторов.

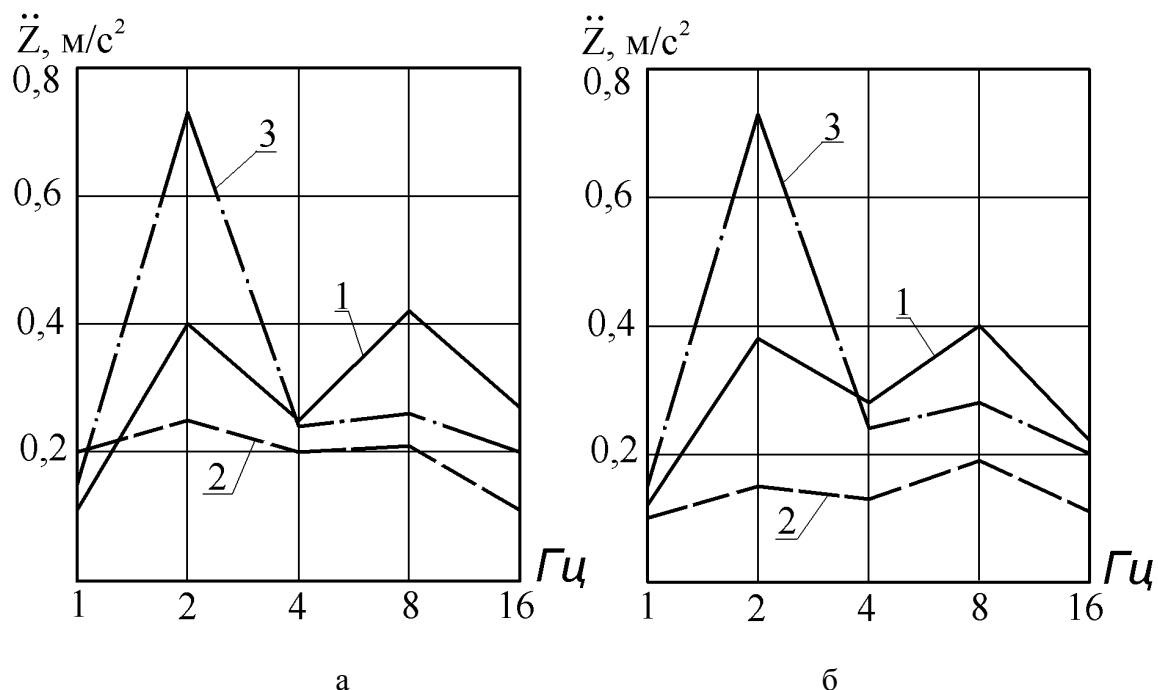


Рисунок 1 – Изменение среднеквадратических ускорений сиденья в октавных полосах частот на 1-й передаче:

а –  $h = 40$  мм, б –  $h = 30$  мм

1 – пневморессорная подвеска без амортизатора; 2 – пневморессорная подвеска с амортизатором; 3 – серийная подвеска.

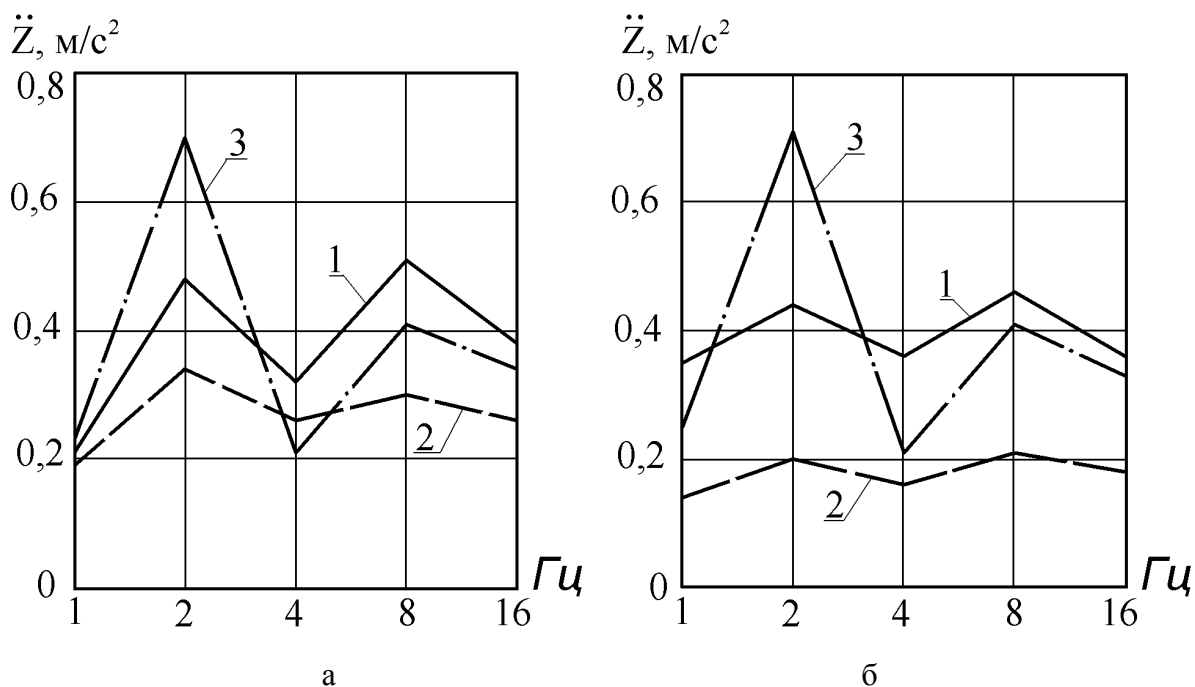


Рисунок 2 – Изменение среднеквадратических ускорений сиденья в октавных полосах частот на 2-й передаче:

а –  $h = 40$  мм, б –  $h = 30$  мм

1 – пневморессорная подвеска без амортизатора; 2 – пневморессорная подвеска с амортизатором; 3 – серийная подвеска.

На рисунке 3 и 4 приведены графики изменения среднеквадратических вертикальных ускорений пола кабины в октавных полосах частот. Анализ рисунков показывает, что резонансный режим наблюдается в октавной полосе, соответствующей среднегеометрическим частотам 2 Гц. С повышением рабочих скоростей от 10 км/ч до 11,4 км/ч вертикальные среднеквадратические ускорения пола кабины при наличии всех трёх подвесок увеличиваются на 15...20%. В октавных полосах, соответствующих среднегеометрическим частотам 1 Гц и 2 Гц, для всех трёх подвесок среднеквадратические ускорения пола кабины практически одинаковы и равны соответственно 0,18...0,23 м/с<sup>2</sup> и 0,5...0,9 м/с<sup>2</sup> при  $h=40 \cdot 10^{-3}$  м. В октавных полосах, соответствующих среднегеометрическим частотам 4 Гц, 8 Гц и 16 Гц, среднеквадратическое ускорение пола кабины для трактора с серийной подвеской уменьшается до 0,1...0,005 м/с<sup>2</sup>, а при наличии пневморессорной подвески с амортизаторами при  $h=40 \cdot 10^{-3}$  м падает до 0,4...0,35 м/с<sup>2</sup>, а при  $h=30 \cdot 10^{-3}$  м находится в пределах 0,6...0,8 м/с<sup>2</sup>. При наличии пневморессорной подвески без амортизаторов среднеквадратические ускорения пола кабины в октавных полосах, соответствующих среднегеометрическим частотам 4 Гц, 8 Гц, 16 Гц, при  $h=40 \cdot 10^{-3}$  м и  $h=30 \cdot 10^{-3}$  м увеличиваются до 0,5...0,6 м/с<sup>2</sup>.

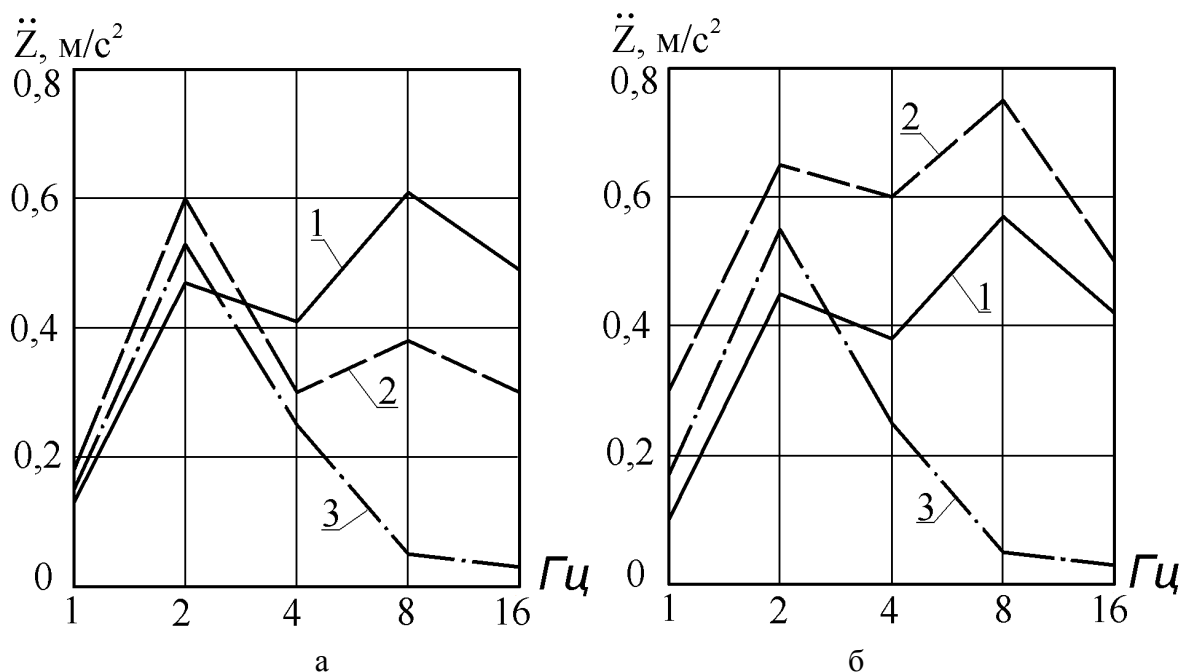


Рисунок 3 – Изменение среднеквадратических вертикальных ускорений пола кабины в октавных полосах частот на 1-й передаче:

а –  $h = 40$  мм, б –  $h = 30$  мм

1 – пневморессорная подвеска без амортизатора; 2 – пневморессорная подвеска с амортизатором; 3 – серийная подвеска.

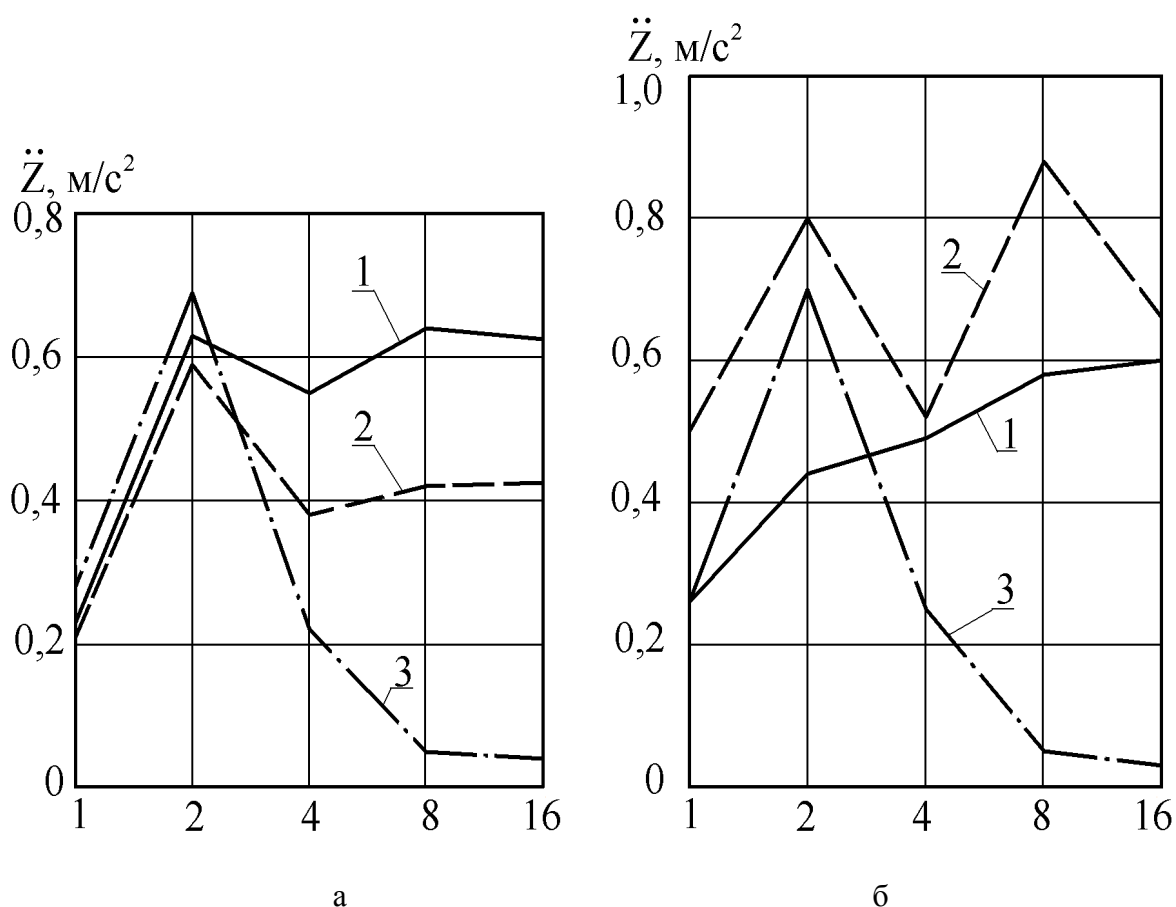


Рисунок 4 – Изменение среднеквадратических вертикальных ускорений пола кабины в октавных полосах частот на 2-й передаче:  
а –  $h = 40$  мм, б –  $h = 30$  мм

1 – пневморессорная подвеска без амортизатора; 2 – пневморессорная подвеска с амортизатором; 3 – серийная подвеска.

На рисунке 5 и 6 приведены графики изменения среднеквадратических ускорений переднего моста в октавных полосах частот. Анализ показывает, что резко выраженный резонанс в октавной полосе частот в районе 2 Гц. В октавных полосах, соответствующих частотам 1 Гц, 2 Гц и 4 Гц, среднеквадратические ускорения переднего моста для всех трёх подвесок практически одинаковы и соответственно равны  $0,3$   $m/s^2$ ,  $0,7...0,8$   $m/s^2$  и  $0,4$   $m/s^2$ . В октавных полосах, соответствующих среднегеометрическим частотам 8 Гц и 16 Гц, среднеквадратические ускорения переднего моста для серийной подвески падают до  $0,15...0,05$   $m/s^2$ , а для пневморессорных подвесок практически сохраняются постоянными для  $h=40 \cdot 10^{-3}$  м и  $h=30 \cdot 10^{-3}$  м и равны  $0,4...0,5$   $m/s^2$ . С повышением рабочих скоростей от 10 км/ч до 11,4 км/ч среднеквадратические ускорения переднего моста для всех трёх подвесок увеличиваются на 8...10%.

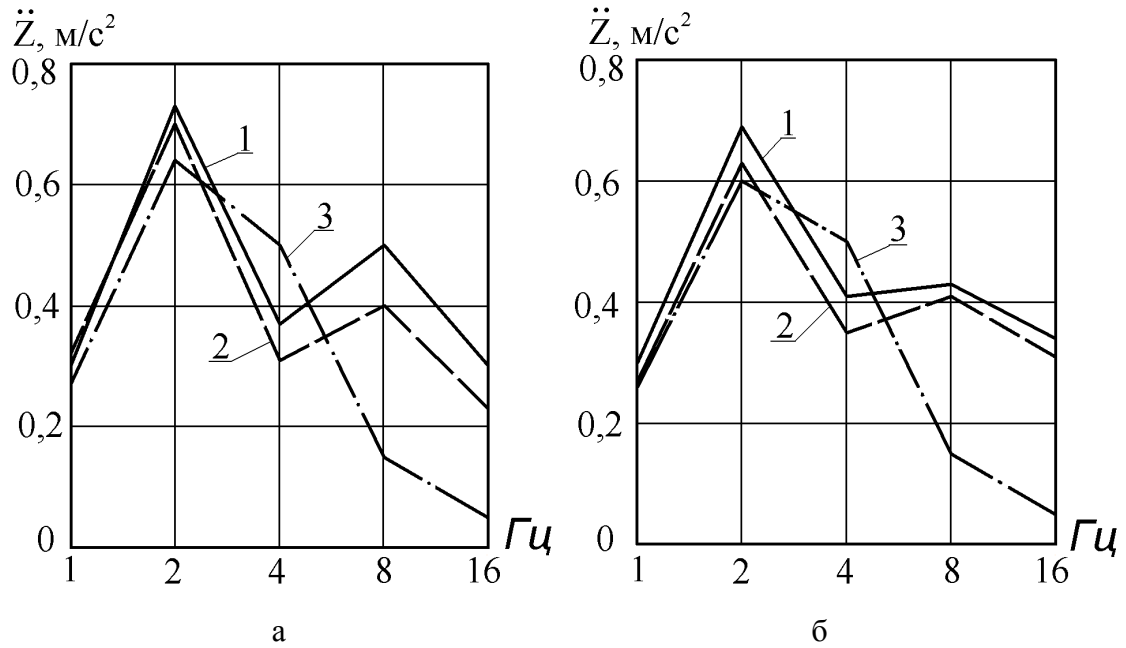


Рисунок 5 – Изменение среднеквадратических ускорений переднего моста в октавных полосах частот на 1-й передаче:

а –  $h = 40$  мм, б –  $h = 30$  мм

1 – пневморессорная подвеска без амортизатора; 2 – пневморессорная подвеска с амортизатором; 3 – серийная подвеска.

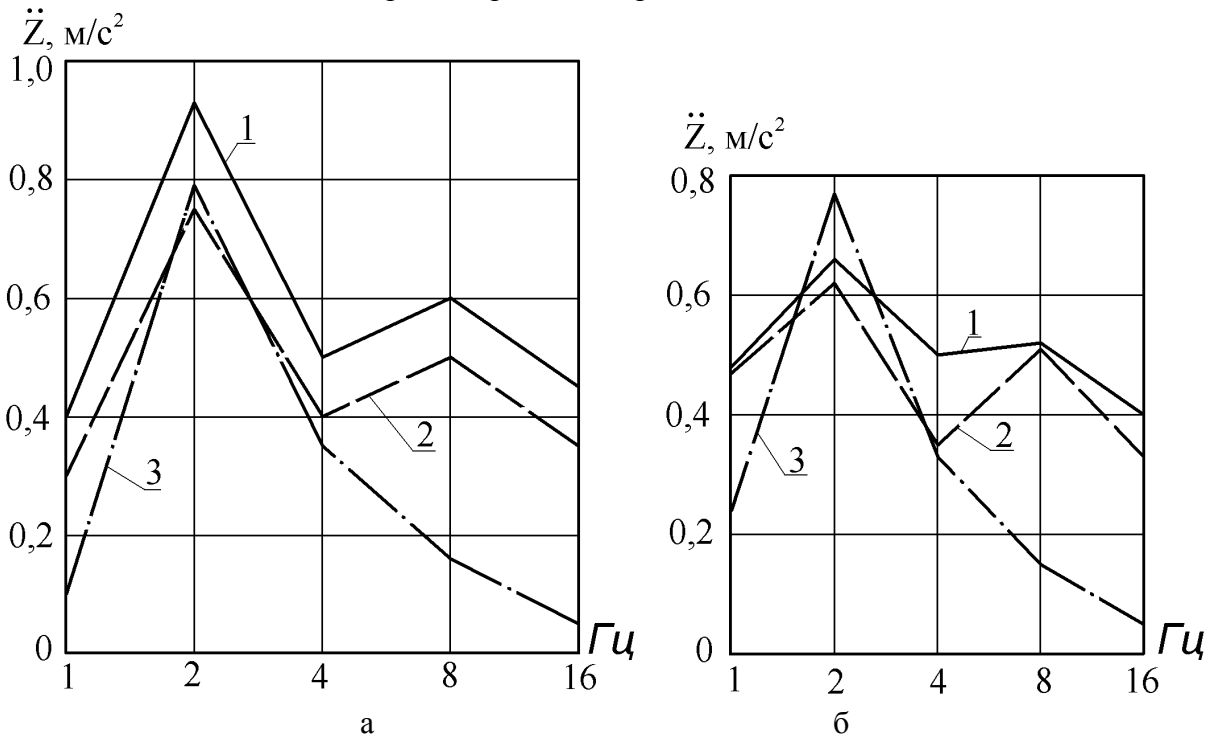


Рисунок 6 – Изменение среднеквадратических ускорений переднего моста в октавных полосах частот на 1-й передаче:

а –  $h = 40$  мм, б –  $h = 30$  мм

1 – пневморессорная подвеска без амортизатора; 2 – пневморессорная подвеска с амортизатором; 3 – серийная подвеска.

На рисунке 7 и 8 приведены графики изменения среднеквадратических ускорений заднего моста в октавных полосах частот. Анализ показывает, что резко выраженный резонанс наблюдается для серийной подвески в октавной полосе частот в районе 2 Гц, а для пневморессорных подвесок – в октавных полосах, соответствующих среднегеометрическим частотам 4 Гц и 8 Гц. Среднеквадратические ускорения заднего моста для всех трёх подвесок в октавных полосах, соответствующих среднегеометрическим частотам 1 Гц и 2 Гц, практически одинаковы и равны  $0,2...0,4 \text{ м/с}^2$  и  $0,5...0,7 \text{ м/с}^2$ . В октавных полосах, соответствующих среднегеометрическим частотам 4 Гц и 8 Гц, среднеквадратические ускорения для пневморессорных подвесок при  $h=40 \cdot 10^{-3} \text{ м}$  и при  $h=30 \cdot 10^{-3} \text{ м}$  растут до  $0,9...1,3 \text{ м/с}^2$ , а для серийной подвески падают до  $0,3...0,05 \text{ м/с}^2$ . При наличии пневморессорной подвески с амортизаторами среднеквадратические ускорения заднего моста на 15...20% меньше, чем при подвеске без амортизаторов. С увеличением рабочей скорости от 10 км/ч до 11,4 км/ч среднеквадратические ускорения заднего моста увеличиваются на 7...18%.

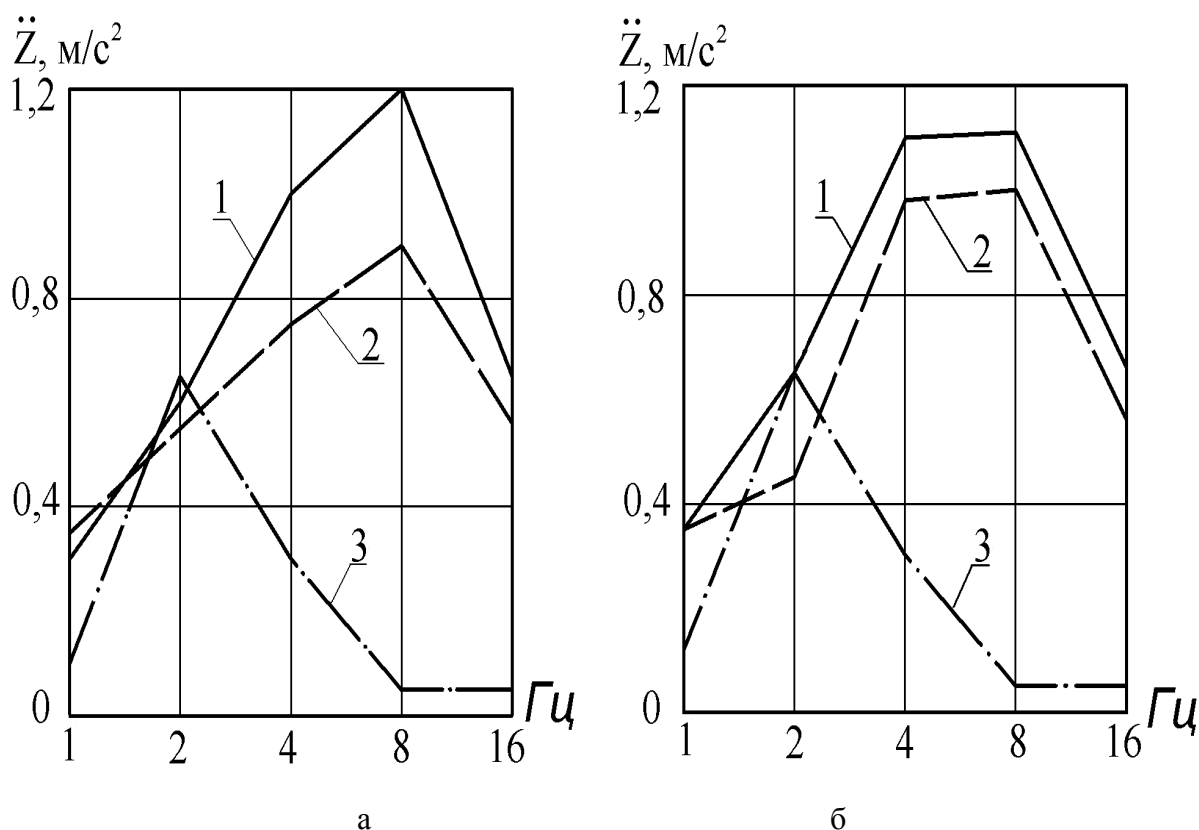


Рисунок 7 – Изменение среднеквадратических ускорений заднего моста в октавных полосах частот на 1-й передаче:

а –  $h = 40 \text{ мм}$ , б –  $h = 30 \text{ мм}$

1 – пневморессорная подвеска без амортизатора; 2 – пневморессорная подвеска с амортизатором; 3 – серийная подвеска.

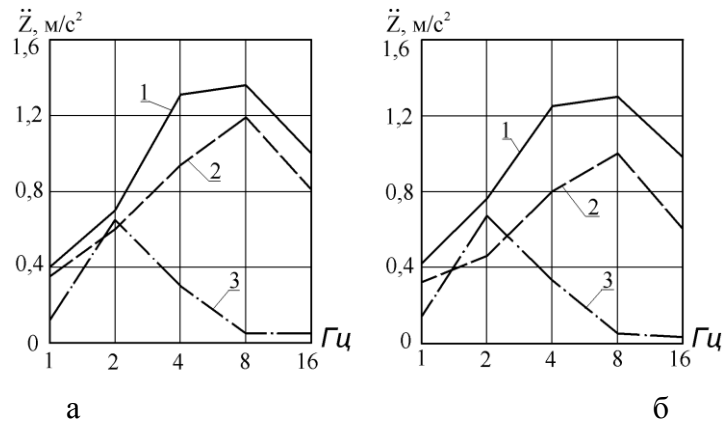


Рисунок 8 – Изменение среднеквадратических ускорений заднего моста в октавных полосах частот на 2-й передаче:

а –  $h = 40$  мм, б –  $h = 30$  мм

1 – пневморессорная подвеска без амортизатора; 2 – пневморессорная подвеска с амортизатором; 3 – серийная подвеска.

На рисунке 9 и 10 приведены изменения среднеквадратичных относительных перемещений рамы и переднего моста в октавных полосах частот. Анализ показывает, что резонансный режим резко выражен в октавной полосе частот в районе 2 Гц. Наименьшие среднеквадратические относительные перемещения наблюдаются для пневморессорной подвески с амортизатором. В резонансном режиме на первой передаче при  $h=40 \cdot 10^{-3}$  м они равны  $6 \cdot 10^{-3}$  м, при  $h=30 \cdot 10^{-3}$  м –  $9 \cdot 10^{-3}$  м, а на второй передаче при  $h=40 \cdot 10^{-3}$  м –  $13 \cdot 10^{-3}$  м и при  $h=30 \cdot 10^{-3}$  м –  $8 \cdot 10^{-3}$  м. Для подвесок серийной и пневморессорной без амортизаторов они практически одинаковы и при  $h=40 \cdot 10^{-3}$  м равны  $(14 \dots 18) \cdot 10^{-3}$  м, а при  $h=30 \cdot 10^{-3}$  м –  $(13 \dots 15) \cdot 10^{-3}$  м.

В октавных полосах, соответствующих среднегеометрическим частотам 4 Гц, 8 Гц и 16 Гц, среднеквадратические относительные перемещения при наличии пневморессорной подвески уменьшается до  $(6 \dots 2) \cdot 10^{-3}$  м. Для серийно подвески на первой передаче во всех октавных полосах частот они практически одинаковы и равны  $(12 \dots 14) \cdot 10^{-3}$  м, а на второй передаче – падают до значения пневморессорных подвесок.

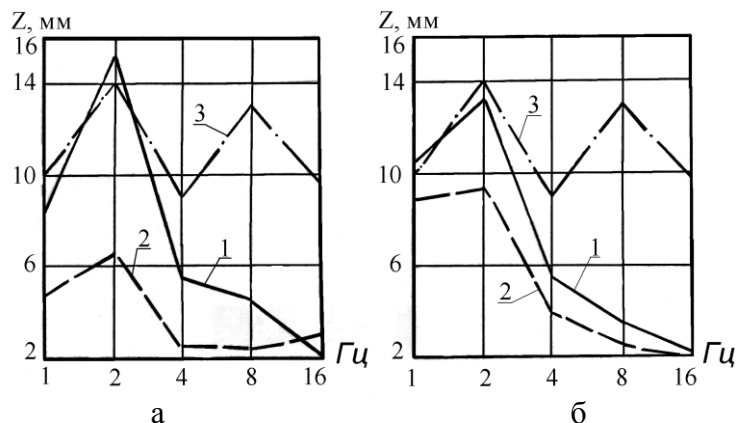


Рисунок 9 – Изменение относительных перемещений рамы и переднего моста в октавных полосах частот на 1-й передаче:

а –  $h = 40$  мм, б –  $h = 30$  мм

1 – пневморессорная подвеска без амортизатора; 2 – пневморессорная подвеска с амортизатором; 3 – серийная подвеска.



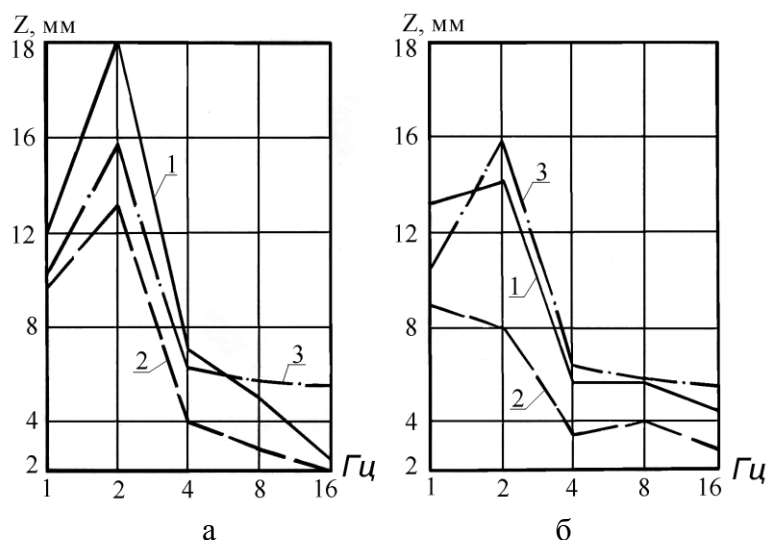


Рисунок 10 – Изменение относительных перемещений рамы и переднего моста в октавных полосах частот на 2-й передаче:

а –  $h = 40$  мм, б –  $h = 30$  мм

1 – пневморессорная подвеска без амортизатора; 2 – пневморессорная подвеска с амортизатором; 3 – серийная подвеска.

**Выводы.** При пневморессорной и рессорной системах подвешивания резонансной для трактора является, в основном, вторая октавная полоса со среднегеометрической частотой 2 Гц. Установлено, что трактор с пневморессорной подвеской имеет лучшую плавность хода. Так, среднеквадратические ускорения в зоне резонанса для сидения водителя и рамы соответственно в 1,5...2,4 и 1,2...1,5 раза выше для трактора с пневморессорной и серийной подвесками в сравнении с пневморессорной при наличии амортизаторов. Максимальные значения относительных перемещений для всех систем подрессоривания составляют при пахоте 8...18 мм.

**Список литературы:** 1. Рябцев Б.И., Сасовский А.Н., Циблис Э.Д. Безопасность и эргономичность сельскохозяйственной техники. Киев: Техника, 1988. 120 с. 2. Баранов Е.М., Вайсман А.И., Пархиловский И.Г., Шишкин В.И. Основные принципы гигиенического нормирования вибраций на рабочем месте водителя автомобиля. – В кн.: Влияние вибраций на организм человека и проблемы виброзащиты: Тез. докл. III Всесоюз. симп. Москва, 197. – С. 415–420. 3. Трояновская И.П., Пожидаев С.П. Оценка плавности хода гусеничных тракторов Т-150 с балансирной и торсионной подвесками // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2013. № 4(42). С. 88-90. 4. Иванцов В.Д. Снижение продольно-угловых колебаний гусеничного трактора общего назначения / В.Д. Иванцов, В.П. Шевчук, А.В. Иванцов, С.В. Иванцов // Известия ВолгГТУ: межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ.– Волгоград, 2011.– №4. С. 26-29 (Сер. Наземные транспортные системы). 5. Ляшенко М.В. Вопросы применения адаптивных систем подрессоривания на гусеничных сельскохозяйственных тракторах / М.В. Ляшенко, Д.Ю. Синяев, А.Ю. Кузнецов, А.Б. Маюн // Известия ВолгГТУ: межвуз. сб. науч. ст./ ВолгГТУ.– Волгоград, 2007. – №2. С. 21-24. 6. Яценко Н.Н., Прутчиков О.К. Плавность хода грузовых автомобилей. – М.: Машиностроение, 1969. – 220с. 7. Равкин Г.О. Пневматическая подвеска автомобиля. – М.: МАШГИЗ, 1961. – 174 с. 8. Великодный В.М., Кириенко Н.М. – «Улучшение

параметров плавности хода колёсного сельскохозяйственного трактора ХТЗ – 120» // Видавничий центр НТУ «ХПІ», Харків, 1993. **9.** Сравнительные исследования динамической нагруженности ходовой системы колёсных тракторов с пневморессорной и серийной подвесками / А.Г. Мамонтов // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автомобіле- та тракторобудування. – Х. : НТУ «ХПІ», 2014. – № 8 (1051). – С. 86-92. **10.** Великодний В.М., Мамонтов А.Г. Экспериментальные исследования параметров демпфирования пневморессорной подвески самоходной машины. Вестник НТУ «ХПІ». Сборник научных трудов. Тематический выпуск «Автомобіле- и тракторостроение». – Харьков: НТУ «ХПІ». – 2010. – № 1, – 166 с. **11.** Исследование плавности хода, динамической нагруженности элементов системы трактора Т-150КМ и обоснование схемы подвески: Отчёт кафедры «Тракторостроение» Харьк. политехн. Ин-та, №76050198. Харьков: 1977. – 165 с.

**Bibliography (transliterated):** **1.** Rjabcev B.I., Sasovskij A.N., Ciblis Je.D. Bezopasnost' i jergonomichnost' sel'skhozajstvennoj tehniky. Kiev: Tehnika, 1988. 120 p. **2.** Baranov E.M., Vajsman A.I., Parhilovskij I.G., Shishkin V.I. Osnovnye principy gigenicheskogo normirovanija vibracij na rabochem meste voditelja avtomobilja. – V kn.: Vlijanie vibracij na organizm cheloveka i problemy vibrozashhity: Tez. dokl. Sh Vsesojuzn. simp. Moscow, 197. – p. 415-420. **3.** Trojanovskaja I.P., Pozhidaev S.P. Ocenka plavnosti hoda gusenichnyh traktorov T-150 s balansirnoj i torsionnoj podveskami Izvestija Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2013. No 4(42). p. 88-90. **4.** Ivancov V.D. Snizhenie prodol'no-uglovyh kolebanij gusenichnogo traktora obshhego naznachenija V.D. Ivancov, V.P. Shevchuk, A.V. Ivancov, S.V. Ivancov Izvestija VolgGTU: mezhvuz. sb. nauch. st. VolgGTU.– Volgograd, 2011.– No 4. p. 26-29 (Ser. Nazemnye transportnye sistemy). **5.** Ljashenko M.V. Voprosy primenenija adaptivnyh sistem podressorivaniya na gusenichnyh sel'skhozajstvennyh traktorah. M.V. Ljashenko, D.Ju. Sinjaev, A.Ju. Kuznecov, A.B. Majun Izvestija VolgGTU: mezhvuz. sb. nauch. st./ VolgGTU.– Volgograd, 2007. – No 2. p. 21-24. **6.** Jacenko N.N., Prutchikov O.K. Plavnost' hoda gruzovyh avtomobilej. – Moscow.: Mashinostroenie, 1969. – 220p. **7.** Ravkin G.O. Pnevmaticheskaja podveska avtomobilja. – Moscow.: MASHGIZ, 1961. – 174 p. **8.** Velikodnyj V.M., Kirienko N.M. – «Uluchshenie parametrov plavnosti hoda koljosnogo sel'skhozajstvennogo traktora KhTZ – 120» Vydavnychiy tsentr NTU «KhPI», Kharkov, 1993. **9.** Sravnitel'nye issledovanija dinamicheskoy nagruzhenosti hodovoj sistemy koljosnyh traktorov s pnevmoressornoj i serijnoj podveskami A.G. Mamontov Visnyk NTU «KhPI». Seriya: Avtomobile- ta traktorobuduvannya. – Kharkov. : NTU «KhPI», 2014. – No 8 (1051). – p. 86-92. **10.** Velikodnyj V.M., Mamontov A.G. Jeksperimental'nye issledovanija parametrov dempfirovanija pnevmoressornoj podveski samohodnoj mashiny. Vestnik NTU «KhPI». Sbornik nauchnyh trudov. Tematicheskij vypusk «Avtomobile- i traktorostroenie». – Kharkov: NTU «KhPI». – 2010. - No 1, – 166 p. **11.** Issledovanie plavnosti hoda, dinamicheskoy nagruzhenosti jelementov sistemy traktora T-150KM i обоснование shemy podveski: Otchjot kafedry «Traktorostroenie» Kharkov politehn. In-ta, No76050198. Kharkov: 1977. – 165 p.

Надійшла (received) 19.02.2015