

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВИБРОИЗОЛЯТОРА КАБИНЫ КОЛЕСНОГО ТРАКТОРА

Д. А. ЛИННИК

Гродненский государственный университет имени Янки Купалы,
г. Гродно, Республика Беларусь, 230023

(Поступила в редакцию 10.01.2022)

Большинство колесных тракторов не имеют совершенных систем поддресоривания. Специфика же и условия эксплуатации тракторов по опорным поверхностям без покрытий таковы, что водитель, более чем в других транспортных средствах, подвержен различного рода вредным воздействиям: физическим (шум, вибрация (высоко- и низкочастотная)), химическим (химические вещества в воздухе, выхлопные газы), биологическим.

Проблема виброзащиты водителя колесного трактора не является новой, однако успех ее решения во многом зависит от достоверной информации о динамических характеристиках системы поддресоривания и объекта в целом, т. е. его идентификации как цельной динамической системы. Большинство современных исследований направлены на решение проблем оптимизации упругодемпфирующих характеристик пассивных виброзащитных систем колесных тракторов с целью снижения уровня колебаний. Однако, при изменении дорожных условий существующие пассивные системы поддресоривания не в полной мере решают проблему виброзащиты. Это связано с тем, что в пассивных системах виброзащиты характеристики систем поддресоривания неуправляемы. Они зависят, в основном, от дорожных условий. Единственным средством достижения желаемой плавности хода колесного трактора является снижение его скорости движения. И это осуществляется водителем исходя из его субъективной оценки колебательного процесса или дорожных условий движения, что приводит к снижению технико-экономических показателей колесного трактора.

В последние годы, ведущие фирмы, производящие колесные трактора, активизировали исследования по созданию наиболее перспективных виброзащитных систем – активных виброзащитных систем. Задача создания эффективных систем поддресоривания сиденья колесного трактора представляет собой часть общей проблемы автоматизации сельскохозяйственного процесса, включающей защиту водителя от вредных воздействий колебаний. Решение данной проблемы может дать значительный экономический эффект, повысить конкурентоспособность производимых колесных тракторов на мировом рынке.

В статье предложена методика определения физико-механических свойств виброизолятора кабины колесного трактора. Приводится анализ результатов исследований.

Ключевые слова: вибрация, водитель, колесный трактор, кабина, виброизолятор, лабораторные испытания, статическая деформация, твердость резины.

Most wheeled tractors do not have perfect suspension systems. The specifics and operating conditions of tractors on uncoated supporting surfaces are such that the driver, more than in other vehicles, is subject to various kinds of harmful effects: physical (noise, vibration (high and low frequency)), chemical (chemicals in the air, exhaust gases), biological.

The problem of vibration protection for a wheeled tractor driver is not new, but the success of its solution largely depends on reliable information about the dynamic characteristics of the suspension system and the object as a whole, i.e., its identification as an integral dynamic system. Most modern research is aimed at solving the problems of optimizing the elastic damping characteristics of passive vibration protection systems of wheeled tractors in order to reduce the level of vibrations. However, with changing road conditions, the existing passive suspension systems do not fully solve the problem of vibration protection. This is due to the fact that in passive vibration protection systems, the characteristics of suspension systems are uncontrollable. They depend mainly on road conditions. The only way to achieve the desired smooth running of a wheeled tractor is to reduce its speed. And this is carried out by the driver based on his subjective assessment of the oscillatory process or road traffic conditions, which leads to a decrease in the technical and economic indicators of a wheeled tractor.

In recent years, leading companies producing wheeled tractors have intensified research on the creation of the most promising vibration protection systems – active vibration protection systems. The task of creating effective suspension systems for the seat of a wheeled tractor is part of the general problem of automating the agricultural process, including protecting the driver from the harmful effects of vibrations. The solution of this problem can give a significant economic effect, increase the competitiveness of manufactured wheeled tractors in the world market.

The article proposes a method for determining the physical and mechanical properties of the vibration isolator of the cab of a wheeled tractor. The analysis of research results is given.

Key words: vibration, driver, wheeled tractor, cab, vibration isolator, laboratory tests, static deformation, rubber hardness.

Введение

В повседневной жизни вибрации, возникающие в окружающей среде, могут быть неприятны для людей и вызывать временный дискомфорт [1]. С другой стороны, в некоторых сферах деятельности ежедневное воздействие вибрации может в долгосрочной перспективе необратимо поставить под угрозу здоровье оператора [2]. Для защиты рабочих были введены правила, ограничивающие уровень воздействия вибрации во время повседневной работы.

Операторы сельскохозяйственных машин при управлении транспортными средствами и мобильными рабочими машинами обычно подвергаются механическим колебаниям, передаваемым на все тело оператора в сидячем положении [3]. В ГОСТ 31191.1-2004 отмечено, что тело человека в сидя-

чем положении особенно чувствительно к вибрациям в диапазоне частот 0,4–100 Гц [4]. В частности, для частот от 1 до 2 Гц вибрации могут вызывать эффекты временного дискомфорта, например, укачивание в автомобиле; для частот от 2 до 20 Гц они могут вызывать поражения поясничного тракта и травмы позвоночника (этот последний эффект имеет критическую частоту от 3 до 10 Гц). Вождение трактора вызывает поструральную перегрузку не только из-за длительного сидения, но и из-за частых поворотов поясничного тракта при выполнении тех или иных операций [5].

Поэтому необходимо, чтобы проектировщики, начиная с начальной фазы проекта, сосредоточили внимание на динамическом поведении машины, чтобы ограничить воздействие вибрации на оператора.

Вибрация – это физический фактор, действие которого определяется передачей человеку механической энергии от источника колебаний [6].

Низкочастотные вибрации в отличие от высокочастотных хорошо распространяются по всему телу человека, являясь резонансными для многих органов и систем [7; 8].

Для транспортных вибраций наибольшая интенсивность отмечается в вертикальном направлении, для транспортно-технологических и технологических – в горизонтальном. Уровни транспортных вибраций значительно выше технологических [7].

Немецкими учеными Института IFA были приведены исследования по измерению общей вибрации на рабочем месте водителя при управлении мобильными машинами и транспортными средствами. Отмечено, что длительное воздействие вибрации на организм человека может поставить под угрозу его здоровье, безопасность и привести к повреждению костей и суставов, к проблемам с кровообращением в кистях рук, а также к повреждениям дисков позвоночника. Все это влечет за собой развитие профессиональных заболеваний, в частности, вибрационной болезни [7].

Технологическое оборудование, как правило, вибрирует постоянно, монотонно, в течение всего рабочего дня, при этом вибрация рабочих мест имеет средне- и высокочастотный характер с максимумом интенсивности в октавах 20–63 Гц. Максимальная энергия по колебательной скорости для самоходных машин наблюдается в октавах 1–8 Гц, для полустационарных (транспортно-технологических) машин – в октавах 4–63 Гц [9].

Из факторов производственной среды, усугубляющих вредное воздействие вибраций на организм, следует отметить: чрезмерные мышечные нагрузки, шум высокой интенсивности, неблагоприятные микроклиматические условия [9].

Колебания с частотой до 3–5 Гц вызывают реакцию вестибулярного аппарата, колебания с частотами от 5 Гц до 11 Гц вызывают резонансные колебания человеческого тела (голова, таз, брюшная полость, позвоночник), колебания с частотами от 11–45 Гц могут сопровождаться расстройствами некоторых внутренних органов [10].

Длительное воздействие низкочастотной вибрации на организм водителя ведет к развитию вибрационной болезни, которая доминирует среди профессиональных заболеваний и чаще встречается у рабочих, занятых в сельском хозяйстве, на транспорте и в других отраслях народного хозяйства [11]. Поэтому снижение влияния вибрации на организм водителя колесного трактора является приоритетным направлением научных исследований.

Основная часть

В действительности кабины колесных тракторов Минского тракторного завода устанавливаются на остов через четыре резинометаллических виброизолятора двух типов (рис. 1):

- 1) работающие на сжатие (отечественный – 130-5001364 В, 80-6700160);
- 2) работающие на срез и сжатие (отечественные – WT-87/07.361.230, 220-6700200, 923-6700200; импортные – 5718 228 (11 MN 50), 5718 013 (11 MN 50)).



Рис. 1. Внешний вид отечественных резинометаллических виброизоляторов:
а) цилиндрический виброизолятор 130-5001364 В; б) конический виброизолятор 80-6700160;
в) конический виброизолятор 923-6700200

Виброизолятор, работающий на сжатие, представляет собой усеченный резиновый конус, сверху и снизу которого приформованы металлические шайбы. По центру конуса имеется отверстие, через которое специальным стяжным болтом виброизолятор крепится к кабине и к кронштейну крепления кабины (рис.1, а, б). Виброизоляторы, работающие на срез и сжатие, представляют собой бочкообразные резиновые конусы, в которые внутри и снаружи приформованы металлические детали, через которые виброизоляторы крепятся на кронштейнах крепления кабины (рис. 1, в).

Данные виброизоляторы применяются на колесных тракторах Минского тракторного завода следующих тяговых классов: 1,4 (МТЗ-50 / 52, МТЗ-80 / 82, «Беларус» 900-й серии); 2,0 («Беларус» 1220-й серии); 3,0 («Беларус» 1500-й серии); 4,0 («Беларус» 2022); 5,0 («Беларус» 2522 / 2822 / 3022 / 3023 / 3522).

В качестве объекта дальнейших исследований был выбран энергонасыщенный колесный трактор «Беларус-3022ДЦ.1» с дизельным двигателем ВФ06М1013FC номинальной мощностью 303 л. с., тягового класса 5,0. Предмет исследования – базовое крепление кабины колесного трактора «Беларус-3022ДЦ.1». Кабина колесного трактора «Беларус-3022ДЦ.1» фиксируется на остова через четыре виброизолятора 923-6700200: спереди на два виброизолятора, установленных на кронштейне крепления кабины к корпусу муфты сцепления; сзади на два виброизолятора, установленных на кронштейне крепления кабины к корпусу полуоси заднего моста [7, 8].

Для определения физико-механических свойств виброизолятора кабины колесного трактора была разработана методика, включающая следующие этапы:

Первый этап. Начальные параметры: конструктивные параметры; рабочие условия эксплуатации.

Второй этап. Лабораторные испытания: построение графика зависимости статической деформации виброизолятора от приложенного усилия; определение твердости резинового слоя виброизолятора.

Третий этап. Результаты исследований: анализ полученных результатов; формулирование общих выводов.

Жесткость виброизолятора кабины колесного трактора «Беларус-3022ДЦ.1» определялась в ходе проведения лабораторных испытаний. Испытания проводились на базе аккредитованной испытательной лаборатории производства автомобильных агрегатов ОАО «Белкард». Для проведения испытаний виброизолятора была использована испытательная установка с компьютерным управлением VDA-1001K фирмы «Wahl» (Германия).

Температура воздуха в лаборатории, во время проведения испытаний, составляла +20 °С.

Последовательность подготовки и проведения испытаний можно представить в виде следующих основных этапов: 1) установка виброизолятора в приспособление испытательной установки (рис. 2); 2) установка начальной координаты (0–0); 3) испытание виброизолятора (рис. 3); 4) регистрация данных; 5) сохранение данных; 6) окончание эксперимента; 7) обработка результатов.



Рис. 2. Испытательная установка с компьютерным управлением VDA-1001K с установленным для испытаний виброизолятором кабины колесного трактора «Беларус-3022ДЦ.1»: Δ – величина статической деформации виброизолятора

По результатам испытаний была получена зависимость статической деформации виброизолятора (Δ) от приложенного усилия (F) (рис. 3).

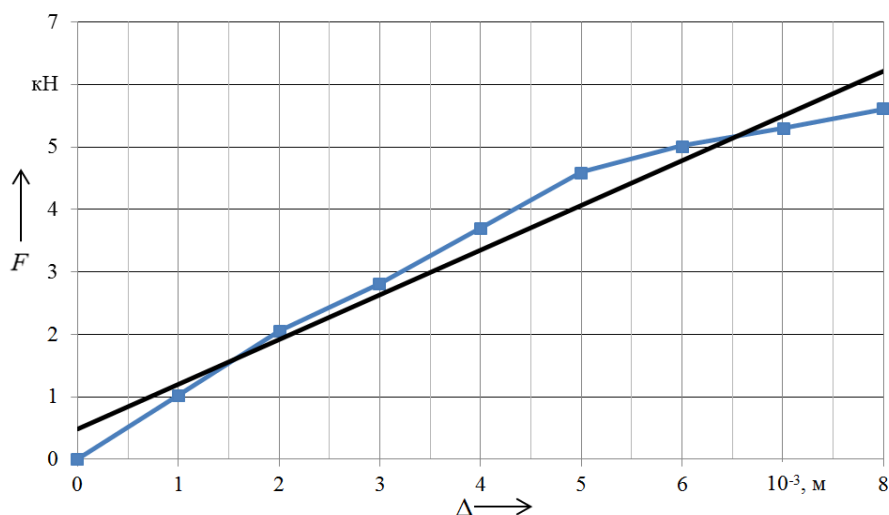


Рис. 3. График статической деформации виброизолятора

Полученные значения можно аппроксимировать линейной зависимостью, при этом погрешность аппроксимации составляет не более 3,7 %. Таким образом, средняя жесткость виброизолятора кабины колесного трактора «Беларус-3022ДЦ.1» при статической деформации 8 мм составила $8,45 \cdot 10^5$ Н/м.

Твердость резинового слоя виброизолятора кабины колесного трактора «Беларус-3022ДЦ.1» определялась на базе аккредитованной испытательной лаборатории производства автомобильных агрегатов ОАО «Белкард». Для проведения испытаний был использован переносной твердомер 2033 ТИР, предназначенный для измерения твердости резины по Шору А (рис. 4). Определение твердости по Шору А осуществлялось в соответствии с ГОСТ 263-75 [12].



Рис. 4. Общий вид твердомера 2033 ТИР с виброизолятором

Последовательность подготовки и проведения испытаний можно представить в виде следующих основных этапов: 1) проверка прибора на точность измерения; 2) установка прибора на образец без толчков и удара; 3) создание усилия прижима прибора к образцу (10 Н); 4) определение твердости по шкале прибора по истечении трех секунд с момента приложения нагрузки не менее чем в трех точках образца; 5) окончание эксперимента; 6) обработка результатов.

За результат испытания принимали среднее арифметическое всех измерений, округленное до целого числа. По результатам испытаний была определена твердость резинового слоя виброизолятора по Шору А – HSh 45.

Заключение

Установлено, что в рабочих условиях водители колесных тракторов постоянно подвергаются воздействию низкочастотной вибрации (с преобладанием максимальных уровней в октавных полосах 1–4 Гц), которая приводит к повреждению суставов, возникновению болей в пояснице, к проблемам с кровообращением, тошноте, а также к повреждениям дисков позвоночника. Все это способствует развитию профессиональных заболеваний у водителей колесных тракторов, например, вибрационной болезни.

Разработана методика определения физико-механических свойств виброизолятора кабины колесного трактора «Беларус-3022ДЦ.1». Виброизолятор кабины колесного трактора «Беларус-3022ДЦ.1», при его жесткости равной $8,45 \cdot 10^5$ Н/м, статической деформации – 8 мм и твердости – HSh 45, не об-

ладает необходимыми демпфирующими свойствами для гашения низкочастотной вибрации (1–4 Гц) передаваемой от остова на кабину колесного трактора.

Существующая на колесном тракторе «Беларус-3022ДЦ.1» система виброзащиты рабочего места водителя требует совершенствования, а именно система крепления кабины к остову колесного трактора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Evaluation of driver discomfort during long-duration car driving / W. El Falou [et al.] // *Appl. Ergon.* – 2003. – Vol. 34. – P. 249–255.
2. Association between whole-body vibration and low-back disorders in farmers: A scoping review / S. K. Essien [et al.] // *J. Agromed.* – 2018. – Vol. 23 (1). – P. 105–120.
3. Kim, J. The effect of a multi-axis suspension on whole body vibration exposures and physical stress in the neck and low back in agricultural tractor applications / J. Kim, J. Dennerlein, P. Johnson // *Appl. Ergon.* – 2018. – Vol. 68. – P. 80–89.
4. Вибрация и удар. Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека. Часть 1. Общие требования: ГОСТ 31191.1-2004 (ИСО 2631-1:1997). – Введ. 30.06.2008. – М.: Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем, 2008. – 29 с.
5. Newell, G. S. Evaluation of reaction time performance and subjective workload during whole-body vibration exposure while seated in upright and twisted postures with and without armrests / G. S. Newell, N. J. Mansfield // *Int. J. Ind. Ergon.* – 2008. – Vol. 38. – P. 499–508.
6. Профессиональные заболевания: в 2 т. / Н. Ф. Измеров, А. М. Монаенкова, В. Г. Артамонова и др.; под ред. Н. Ф. Измерова. – М.: Медицина, 1996. – Т. 2. – 480 с.
7. Линник, Д. А. Влияние конструктивного исполнения системы виброзащиты рабочего места водителя колесного трактора на развитие профессиональных заболеваний / Д. А. Линник, А. С. Воронцов // *Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. В, Промышленность. Прикладные науки.* – 2019. – № 11. – С. 15–23.
8. Линник, Д. А. Повышение эффективности системы виброзащиты рабочего места водителя колесного трактора / Д. А. Линник // *Вестник Белорусско-Российского университета.* – 2020. – № 2 (67). – С. 40–50.
9. Гигиена труда: учебник / под ред. Н. Ф. Измерова, В. Ф. Кириллова. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2008. – 592 с.
10. Микулик, Т. Н. Исследование влияния параметров сиденья на вибронегруженность оператора / Т. Н. Микулик, Г. Н. Рейзина // *Грузовик.* – 2014. – № 4. – С. 30–32.
11. Линник, Д. А. Математическая модель и программа моделирования колебаний масс колесного трактора с поддресоренной кабиной / Д. А. Линник, В. И. Булгаков // *Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии.* – 2020. – № 2. – С. 122–127.
12. Резина. Метод определения твердости по Шору А: ГОСТ 263-75 (СТ СЭВ 1198-78). – Введ. 01.01.1977. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 7 с.