

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕДАТОЧНОЙ ФУНКЦИИ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ПОДВЕСКИ СИДЕНЬЯ НА СТЕНДЕ-ГИДРОПУЛЬСАТОРЕ

## DETERMINATION OF THE TRANSFER FUNCTION OF THE PNEUMATIC SUSPENSION OF THE SEAT ON THE HYDRAULIC PULSATATOR STAND

М.В. ЛЯШЕНКО, д.т.н.  
А.В. ПОЗДЕЕВ, к.т.н.  
Д.А. ЧУМАКОВ  
А.И. ИСКАЛИЕВ

Волгоградский государственный технический  
университет (ВолгГТУ), Волгоград, Россия,  
ts@vstu.ru, asamat-iskaliev@mail.ru

M.V. LYASHENKO, DSc in Engineering  
A.V. POZDEEV, PhD in Engineering  
D.A. CHUMAKOV  
A.I. ISKALIEV

Volgograd state technical University, Volgograd, Russia,  
ts@vstu.ru, asamat-iskaliev@mail.ru

В статье представлены результаты испытаний пневматической подвески сиденья фирмы Sibeco с ножничным направляющим механизмом на одноопорном стенде с гидравлическим приводом производства индийской компании BiSS. Пневматическая подвеска сиденья относится к важнейшим составляющим системы виброзащиты человека-оператора транспортного средства. Для исследователей, инженеров и конструкторов, занимающихся вопросами повышения уровня комфорта новой автотракторной техники, очень важно определить динамические характеристики систем подпрессоривания существующих моделей сидений с целью дальнейшего проведения конструктивных мероприятий по улучшению их виброзащитных свойств. Важнейшей динамической характеристикой, оценивающей виброзащитные свойства подвески сиденья, является передаточная функция. Цель испытаний – определение передаточной функции. Описана установка, включающая в себя металлические элементы соединения исполнительного механизма стенда-гидропульсатора и грузов, имитирующих подпрессоренную массу, с подвеской сиденья, а также датчик силы, встроенный в конструкцию стендса, и датчики ускорений, закрепленные с торца на верхней раме и основании подвески. Исследования проводились на режимах гармонического возбуждения рассматриваемой системы подпрессоривания с определенной частотой. С точностью до 0,001 g записывались временные реализации сигналов от датчиков ускорений, которые затем обрабатывались для получения среднеквадратических значений и подсчета величины передаточной функции. В ходе обработки и анализа полученных данных построены зависимости передаточной функции пневматической подвески сиденья от частоты кинематических воздействий стендса и выявлены резонансные частотные диапазоны. В заключение также определен характер изменения экспериментальной передаточной функции рассматриваемой системы подпрессоривания сиденья с увеличением частоты возмущений.

**Ключевые слова:** вибрация, ускорения, стенд-гидропульсатор, датчик, подвеска сиденья, передаточная функция, пневматическая рессора, амортизатор, экспериментальная установка, частота.

The article presents the results of tests of the pneumatic suspension of the seat of the Sibeco company with a scissor guide mechanism on a single-point stand with a hydraulic drive manufactured by the Indian company BiSS. Pneumatic seat suspension is one of the most important components of the vibration protection system of the human operator of the vehicle. For researchers, engineers and designers involved in improving the level of comfort of new automotive equipment, it is very important to determine the dynamic characteristics of the systems of suspension of existing models of seats in order to further carry out constructive measures to improve their vibration protection properties. The most important dynamic characteristic that assesses the vibration-proof properties of the seat suspension is the transfer function. The purpose of the test is to determine the transfer function. The set includes metal elements connect the actuator of hydraulic pulsator stand and cargo, simulates the sprung mass, suspension seat, and a force sensor integrated into the stand design, and sensors accelerations fixed end to the upper frame and the base suspension. The studies were carried out on the modes of harmonic excitation of the considered system of suspension with a certain frequency. Time realizations of signals from acceleration sensors were recorded with an accuracy of 0,001 g, which were then processed to obtain RMS values and calculate the value of the transfer function. During the processing and analysis of the data obtained, the dependences of the transfer function of the seat air suspension on the frequency of the kinematic effects of the stand were built and the resonance frequency ranges were revealed. In conclusion, the nature of changes in the experimental transfer function of the seat suspension system with an increase in the frequency of disturbances is also determined.

**Keywords:** vibration, acceleration, hydraulic pulsator stand, sensor, seat suspension, transfer function, pneumatic spring, shock absorber, experimental setup, frequency.

## Введение

Выполнение сельскохозяйственных технологических и транспортных операций сопровождается генерацией вредных воздействий динамических нагрузок, вибраций и шума, что отрицательно оказывается на производительности, качестве работы и, главное, на здоровье человека-оператора, осуществляющего управление наземной тягово-транспортной техникой.

Сиденье – последнее звено в сложной динамической цепи передачи механических колебаний от различных источников (двигателя, трансмиссии, неровностей дороги и т.д.) к телу человека. Для исследователей, инженеров, конструкторов, занимающихся вопросами повышения уровня комфорта автотракторной техники, очень важно определить динамические характеристики подвесок существующих моделей сидений с целью дальнейшего проведения конструктивных мероприятий по улучшению их виброзащитных свойств [1, 2].

Важнейшей динамической характеристикой, оценивающей виброзащитные свойства подвески сиденья, является передаточная функция [3, 4]:

$$H(f) = \frac{\ddot{z}(f)}{\ddot{q}(f)},$$

где  $\ddot{z}(f)$  – среднеквадратическое значение амплитуды ускорения на верхней раме (подушке сиденья) за время  $t$  при частоте возмущения  $f$ ;  $\ddot{q}(f)$  – среднеквадратическое значение амплитуды ускорения возмущения на платформе стенда, закрепленной с основанием сиденья, за время  $t$  при частоте возмущения  $f$ .

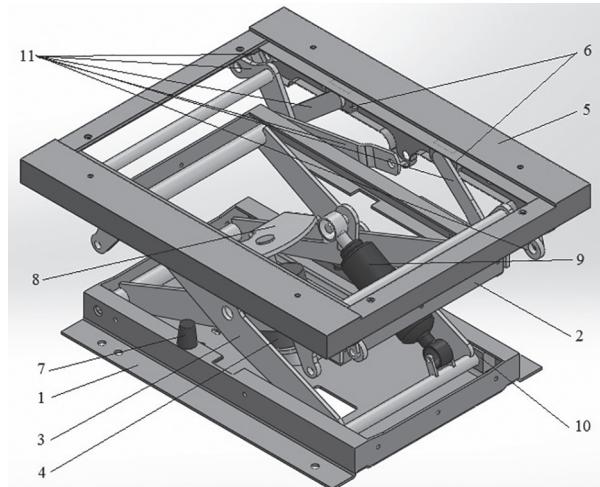
## Цель исследований

Целью данной работы является определение передаточной функции пневматической подвески сиденья по результатам стендовых испытаний.

Объект исследования – сиденье Р405С/КА80НТ фирмы Sibeco с пневматической подвеской, которое широко применяется в автомобиле- и тракторостроении (рис. 1) [5].

Основание 1 является несущим элементом для всей конструкции и сопрягается со средней рамой 2 системой рычагов по типу «ножницы» 3, что позволяет раме 2 перемещаться строго по вертикали параллельно основанию 1, действуя поступательно движу-

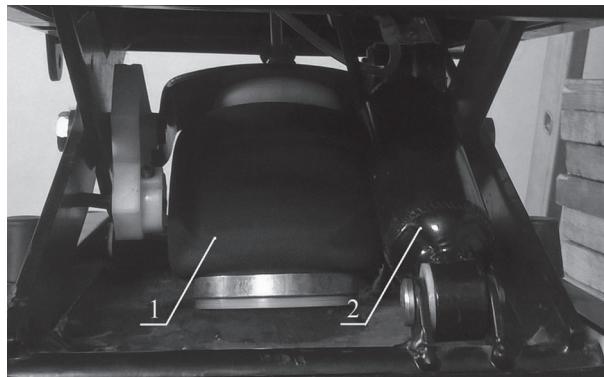
щиеся ползунами 10. При достижении крайнего положения вниз средняя рама 2 упирается в ограничители хода 7. Одни из параллельных рычагов «ножницы» 3 жестко соединены между собой кронштейном 8. Между кронштейном 8 и основанием 1 под углом установлена пневматическая рессора 4 фирмы Continental Contitech SZ51-7 (рис. 2, поз. 1), представленная в качестве упругого элемента. В ее внутреннюю полость подается под давлением воздуха, за счет чего подвеска приобретает упругую характеристику. На одном из рычагов «ножницы» 3 закреплен блок управляющих клапанов, который в зависимости от высоты подъема средней рамы 2 относительно основания 1 регулирует давление воздуха в пневматической рессоре 4. Таким образом, обеспечивается постоянное статическое положение оператора. На верхней раме 5 сбоку расположена специальная кнопка сброса воздуха, предназначенная для удобства посадки и выхода с рабочего места. Также между основанием 1 и одним из рычагов «ножницы» 3 присутствует гидравлический телескопический амортизатор 9 фирмы MAYSAN TS 3034 (рис. 2, поз. 2), служащий для гашения колебаний. Верхняя рама 5 сопряжена со средней рамой 2 посредством системы рычагов 11, реализующей регулировку положения подушки сиденья по высоте и по



**Рис. 1. Система подпрессоривания сиденья Sibeco:**

1 – основание; 2 – средняя рама; 3 – система рычагов по типу «ножницы»; 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

крену (вперед, назад). Передняя и задняя часть верхней рамы 5 имеют возможность независимо друг от друга перемещаться по вертикали и блокироваться при помощи сопряжения пальцев ползунов 6 с зубчатой рейкой.



**Рис. 2. Упругодемпфирующие элементы подвески сиденья:**

- 1 – пневматическая прессора Contitech SZ51-7;
- 2 – амортизатор MAYSAN TS 3034

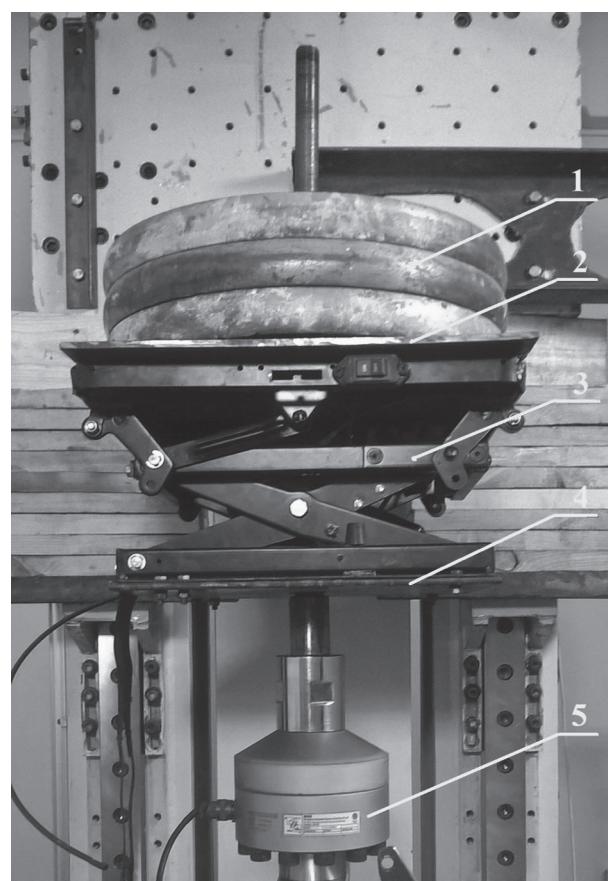
## Материалы и методы

Экспериментальное определение передаточной функции пневматической подвески сиденья P405C/KA80НТ фирмы Sibeco проводилось на одноопорном стенде с гидравлическим приводом движения производства индийской компании BiSS [6]. Была собрана установка (рис. 3), включающая непосредственно саму подвеску сиденья 3 с ножничным направляющим механизмом, нижнюю плиту 4, соединяющую основание сиденья со штоком 5 гидроцилиндра исполнительного устройства стенда, и закрепленную на верхней раме подвески плиту 2 с центральной осью. На верхней плате устанавливались металлические блины 1, имитирующие весовую нагрузку.

Мгновенные значения ускорений с точностью до 0,001 g фиксировали 2 штатных датчика, входящие в комплектацию стенда (рис. 4). Их закрепление с торца на основании и верхней раме подвески сиденья при помощи резьбового соединения было продиктовано удобством расположения проводов связи датчиков с системным блоком управления стенда.

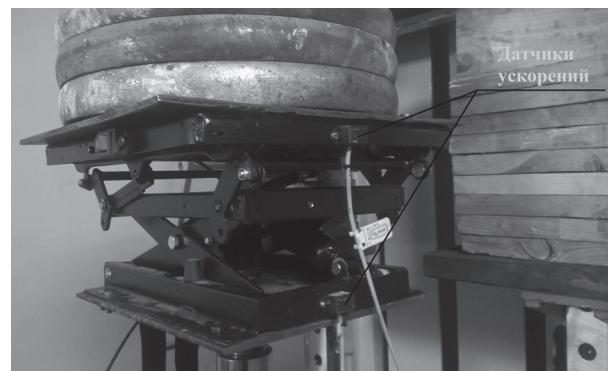
Закон движения штока гидропульсатора стендса – синусоидальный гармонический. Весовая нагрузка (включая грузы и верхнюю плиту с осью) – 75 кг. Испытания осуществлялись с различными амплитудами возбуждения (5 и 10 мм) и давлением воздуха в пневматической прессоре 2 ат в диапазоне частот воз-

буждения от 0,6 до 10 Гц с шагом 0,2 Гц. При разработке данной методики использовались положения существующих стандартов [3, 4].



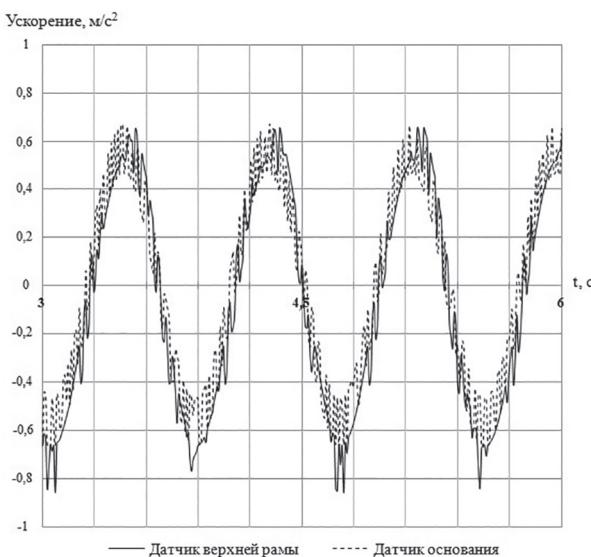
**Рис. 3. Общий вид экспериментальной установки:**

- 1 – металлические грузы; 2 – верхняя плита с центральной осью; 3 – подвеска сиденья;
- 4 – нижняя плита; 5 – шток гидропульсатора стендса



**Рис. 4. Расположение датчиков ускорений на экспериментальной установке**

На каждом режиме записывались временные реализации сигналов от датчиков ускорений (рис. 5), которые затем обрабатывались для получения среднеквадратических значений.



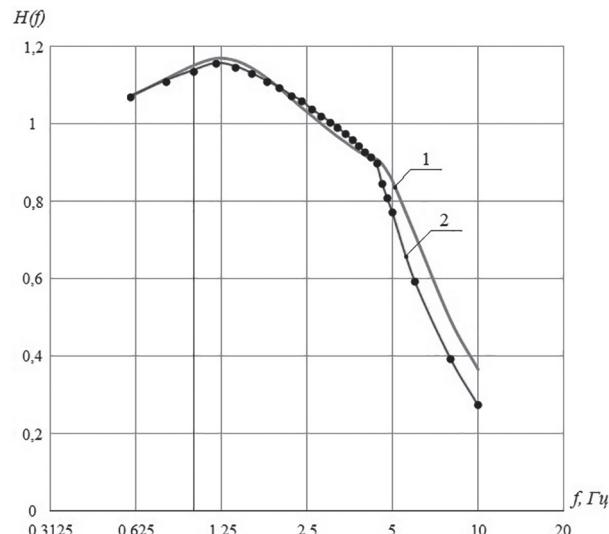
**Рис. 5. Сигналы датчиков ускорений верхней рамы и основания (амплитуда возбуждения 10 мм с частотой 1,2 Гц)**

После соответствующей обработки данных были построены экспериментальные зависимости передаточной функции подвески сиденья от частоты кинематических возмущений. Произведено их сравнение с теоретическими кривыми, полученными в результате математического моделирования (рис. 6, 7).

## Выводы

Из полученных зависимостей (рис. 6 и 7) следует:

- частота собственных колебаний подвески сиденья с грузом находилась в диапазоне 1,2–1,4 Гц;



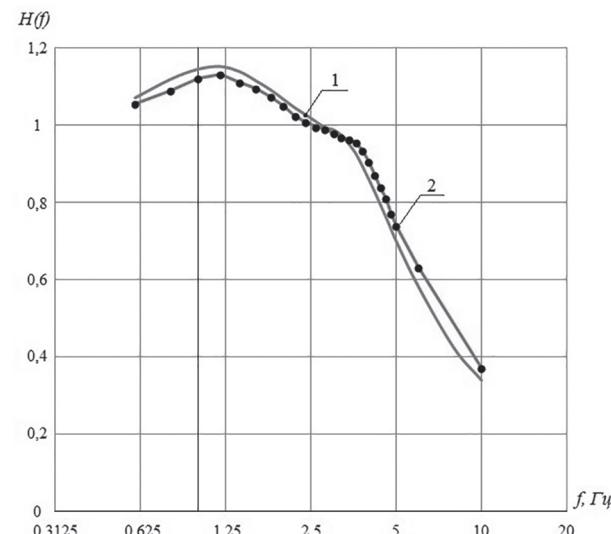
**Рис. 6. Передаточная функция подвески сиденья Sibeco (амплитуда возбуждения – 5 мм):**  
1 – теоретическая; 2 – экспериментальная

- величина экспериментальной передаточной функции на резонансе при амплитуде возбуждения стенда 5 мм равнялась 1,156, а при 10 мм – 1,129;

- значения экспериментальной передаточной функции интенсивно уменьшались при увеличении частоты возбуждения от 4,6 Гц на режиме с амплитудой 5 мм и от 3,8 Гц на режиме с амплитудой 10 мм.

## Литература

1. Ляшенко М.В., Шеховцов В.В., Искалиев А.И. Математическая модель пневматической релаксационной подвески сиденья с рекуперацией энергии колебаний // Тракторы и сельхозмашины. 2017. № 4. С. 30–37.
2. Ляшенко М.В., Погапов П.В., Искалиев А.И. Analysis of vibroprotection characteristics of pneumatic relaxation seat suspension with capability of vibration energy recuperation [Электронный ресурс] // MATEC Web of Conferences. Vol. 129: International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (IC-MTMTE 2017) (Sevastopol, Russia, September 11–15, 2017) / eds.: S. Bratan [et al.] ; Sevastopol State University, National University of Science and Technology «MISIS», Polzunov Altai State Technical University, Inlink Ltd. and International Union of Machine Builders. [Publisher: EDP Sciences], 2017. 5 p. URL: [https://www.matec-conferences.org/articles/matecconf/pdf/2017/43/matecconf\\_icmtmte2017\\_06018.pdf](https://www.matec-conferences.org/articles/matecconf/pdf/2017/43/matecconf_icmtmte2017_06018.pdf).
3. ГОСТ ИСО 10326-1-2002. Вибрация. Оценка вибрации сидений транспортных средств по резуль-



**Рис. 7. Передаточная функция подвески сиденья Sibeco (амплитуда возбуждения – 10 мм):**  
1 – теоретическая; 2 – экспериментальная

- татам лабораторных испытаний. Часть 1. Общие требования. введ. 01.11.07. М.: Стандартинформ, 2006. 10 с.
4. ГОСТ 31316-2006. Вибрация. Лабораторный метод оценки вибрации, передаваемой через сиденье оператора машины. Тракторы сельскохозяйственные колесные. введ. 01.07.08. М.: Стандартинформ, 2008. 16 с.
  5. Sibeco. Сиденья оператора для строительной и сельхозтехники [Электронный ресурс]. 2018. URL: <http://sibeco.net/catalog/seats-for-operators/>.
  6. Устройство и функционирование стенда-гидропульсара: метод. указ. / сост.: А.В. Поздеев, В.В. Новиков, А.В. Похлебин; ВолгГТУ. Волгоград, 2016. 16 с.

## References

1. Lyashenko M.V., SHekhovcov V.V., Iskaliev A.I. The mathematical model of a pneumatic relaxation suspension seat with vibrational energy recovery. Traktory i sel'hozmashiny. 2017. No 4, pp. 30–37 (in Russ.).
2. Lyashenko M.V., Potapov P.V., Iskaliev A.I. Analysis of vibroprotection characteristics of pneumatic relaxation seat suspension with a capability of vibration energy recuperation [EHlektronnyj resurs] // MATEC Web of Conferences. Vol. 129 : International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2017) (Sevastopol, Russia, September 11–15, 2017) / eds.: S. Bratan [et al.]; Sevastopol State University, National University of Science and Technology «MISIS», Polzunov Altai State Technical University, Inlink Ltd. and International Union of Machine Builders. [Publisher: EDP Sciences], 2017. 5 p. URL: [https://www.matec-conferences.org/articles/matecconf/pdf/2017/43/matecconf\\_icmtmte2017\\_06018.pdf](https://www.matec-conferences.org/articles/matecconf/pdf/2017/43/matecconf_icmtmte2017_06018.pdf).
3. GOST ISO 10326-1-2002. Vibration. Evaluation of vehicle seat vibration based on laboratory test results. CHast' 1. Obshchie trebovaniya. vved. 01.11.07. Moscow: Standartinform Publ., 2006. 10 p.
4. GOST 31316-2006. Vibration. The laboratory method of assessing the vibration transmitted through the seat of the machine operator. Tractors agricultural wheeled. 01.07.08. Moscow: Standartinform Publ., 2008. 16 p.
5. Sibeso. Operator seats for construction and agricultural equipment [EHlektronnyj resurs]. 2018. URL: <http://sibeco.net/catalog/seats-for-operators/>.
6. Ustrojstvo i funkcionirovanie stenda-gidropul'sara [The design and operation of the radio pulsar stand]: metod. ukaz. Cost.: A.V. Pozdeev, V.V. Novikov, A.V. Pohlebin; Volgograd, VolgGTU Publ. 2016. 16 p.