

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ УПРУГОДЕМПФИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ПОДВЕСКИ СИДЕНЬЯ НА СТЕНДЕ-ГИДРОПУЛЬСАТОРЕ

STUDY OF THERMAL RADIATION OF THE ELASTIC- DAMPING ELEMENTS OF THE AIR SUSPENSION OF THE SEAT ON THE HYDROPULSATOR TEST BENCH

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

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

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

Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia,
ts@vstu.ru, asamat-iskaliev@mail.ru

Пневматическая подвеска сиденья относится к важнейшим составляющим системы виброзащиты человека – оператора транспортного средства. Вся энергия колебаний, передаваемая через подвеску сиденья от пола кабины водителю, с помощью упругодемпфирующих элементов запасается, поглощается и в дальнейшем рассеивается в тепло. Оценка интенсивности теплового излучения пневматической рессоры и амортизатора в процессе работы может позволить в дальнейшем совершенствовать конструкции существующих систем подрессоривания сидений. В качестве примера можно упомянуть о возможности рекуперации энергии колебаний, которая в штатных пассивных подвесках при гашении переходит в тепло.

В статье представлены результаты испытаний пневматической подвески сиденья фирмы Sibeco на одноопорном стенде с гидравлическим приводом производства индийской компании BiSS. Цель испытаний – исследование термограмм поверхностей упругодемпфирующих элементов в процессе их работы. Описаны экспериментальная установка, включающая в себя металлические элементы соединения исполнительного механизма стенда-гидропульсатора только с амортизатором и с подвеской сиденья в целом, а также встроенный в конструкцию стенда датчик силы. Получены рабочие диаграммы амортизатора и пневматической подвески сиденья в каждый фиксированный момент времени через одну минуту. Для замера значений температур и снятия термограмм поверхностей использовался тепловизор фирмы Testo. Исследование проводилось на режиме гармонического воздействия. В ходе обработки и анализа полученных данных выявлен характер нагрева внешней поверхности амортизатора и пневматической рессоры, а также факт достижения температур стабилизации. В заключении выдвинуты причины несоответствия интенсивности теплового излучения пневматической рессоры и амортизатора подвески сиденья.

Ключевые слова: стенд-гидропульсатор, установка, тепловизор, амортизатор, пневматическая рессора, подвеска сиденья, температура, термограмма, амплитуда, частота.

Air suspension of seat is one of the most important components of the system of vibration protection of the human operator of the vehicle. All vibrational energy transmitted through the suspension of the seat from the cab floor to the driver is stored, absorbed and later dissipated by means of elastic damping elements, turning into heat. An assessment of the intensity of thermal radiation from the air spring and the shock absorber during operation may further improve the design of existing seat suspension systems. As an example, we can mention the possibility of vibrational energy recovery, which in regular passive suspensions turns into heat when extinguished. The article presents the results of tests of the air suspension of the seat of the company Sibeco on a single-support test bench with a hydraulic drive manufactured by the Indian company BiSS. The purpose of the test is to study the thermograms of the surfaces of the elastic damping elements during operation. An experimental setup, which includes the metal elements of the connection of the actuator of the hydropulsator test bench with a shock absorber and the suspension of the seat as a whole, as well as a force sensor built into the design of the stand, is described. The working diagrams of the shock absorber and air suspension of the seat at each fixed point in time of one minute are obtained. To measure the values of temperature and read surface thermograms the Testo thermal imager was used. The study was conducted on the harmonic mode of exposure. During processing and analyzing the obtained data, the nature of the heating of the outer surface of the shock absorber and the air spring, as well as the fact of reaching stabilization temperatures, were revealed. In conclusion, the reasons for the discrepancy between the intensity of thermal radiation of the air spring and the shock absorber of the seat suspension are given.

Keywords: hydropulsator test bench, installation, thermal imager, shock absorber, pneumatic gear, suspension of seat, temperature, thermogram, amplitude, frequency.

Введение (актуальность)

Система подрессоривания сиденья является важнейшей составляющей системы виброзащиты человека – оператора транспортного средства от негативного влияния колебаний, вибраций и шума и представляет собой компактный узел, включающий, кроме прочего, упругий элемент и гаситель колебаний, которые, в свою очередь, играют определяющую роль в обеспечении виброзащиты. Вся энергия колебаний, передаваемая через подвеску сиденья, поглощается и рассеивается, переходя в тепло. Важно оценить в процессе работы упругодемпфирующих элементов интенсивность их теплового излучения, так как это может позволить в дальнейшем совершенствовать конструкции существующих систем подрессоривания. К примеру, можно обеспечить возможность рекуперации части энергии колебаний, которая в штатных пассивных подвесках при гашении переходит в тепло [1, 2].

Цель исследований

В данной работе была поставлена цель, заключающаяся в исследовании термограмм поверхностей упругодемпфирующих элементов пневматической подвески сиденья в процессе работы.

Материалы и методы.

Результаты и обсуждение

Для исследований использовался одноопорный стенд с гидравлическим приводом индийской компании BiSS [3], тепловизор фирмы Testo [4] и секундомер. Для калибровки тепловизора использовался ртутный термометр, замерялась комнатная температура, которая на момент начала работ была равна 21 °С.

Первым испытывался гидравлический однотрубный амортизатор MAYSAN TS3034 H6293101F 1 AMR 009-01 28 12 417945 (рис. 1, поз. 2), входящий в штатную конструкцию пневматической подвески сиденья фирмы Sibeco [5].

Амортизатор 2 устанавливался и закреплялся на стенд в вертикальном положении

(рис. 1). Шток амортизатора изначально находился в положении, близком к среднему положению относительно полного хода поршня (см. табл.).

Закон возбуждения стенда – гармонический синусоидальный с частотой 1 Гц.

Согласно ГОСТ Р 53816-2010 [6], величина хода поршня при записи рабочей диаграммы амортизатора (рис. 2) на стенде должна быть не менее 80 % его полного хода S (с округлением до целых десятков миллиметров), но не более 100 мм. Тогда амплитуда гармонического возбуждения стенда:

$$\frac{S \cdot 80 \%}{2 \cdot 100 \%} \leq q \leq 50 \text{ мм} \Rightarrow 20 \text{ мм} \leq q \leq 50 \text{ мм} \Rightarrow q \approx 20 \text{ мм}.$$

Каждую минуту при помощи тепловизора фиксировалась термограмма поверхности цилиндра (рис. 3, а–в).

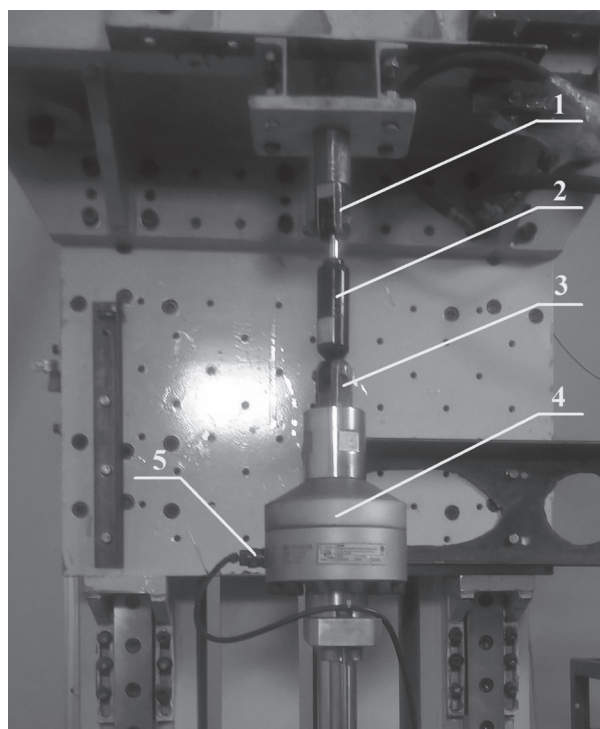


Рис. 1. Установка для испытаний амортизатора: 1 – верхнее крепление; 2 – амортизатор; 3 – нижнее крепление; 4 – гидропульсатор; 5 – датчик силы

Таблица

Параметры амортизатора

Длина амортизатора в растянутом состоянии, $l_{\text{раст}}$, м	Длина амортизатора в сдвинутом состоянии, $l_{\text{сд}}$, м	Полный ход поршня амортизатора, м
0,22	0,17	$S = l_{\text{раст}} - l_{\text{сд}} \approx 0,05$

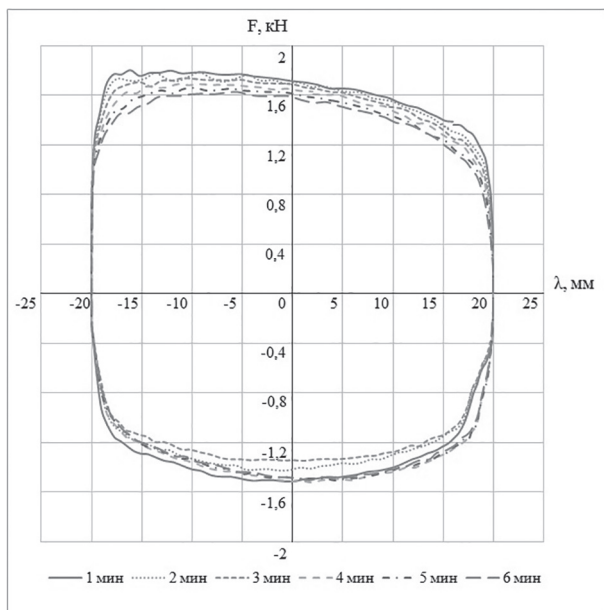


Рис. 2. Рабочая диаграмма амортизатора

В итоге было получено графическое представление изменения температуры поверхности амортизатора во времени (рис. 4).

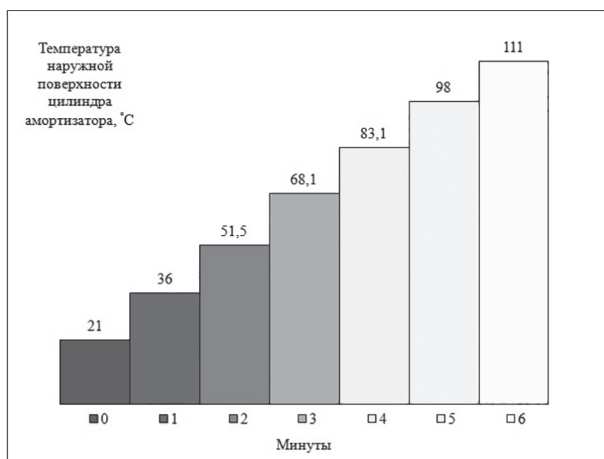


Рис. 4. Динамика изменения температуры поверхности амортизатора

С увеличением времени испытаний на рабочей диаграмме амортизатора (рис. 2) наблюдалось уменьшение площади замкнутой фигуры, описывающей цикл ходов сжатия и отбоя устройства. В итоге разность площадей фигур рабочих диаграмм в начальный и конечный моменты времени испытаний можно охарактеризовать как долю поглощенной гасителем энергии колебаний, переходящую в тепло.

За 6 минут температура тепловыделений амортизатора (рис. 4) на заданном режиме возростала и достигла отметки 111 °C. В ходе процесса не была достигнута температура ста-

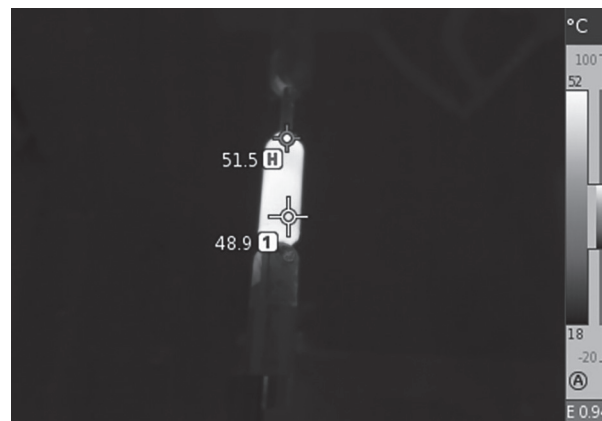


Рис. 3, а. Термограмма амортизатора в действии на 2-й минуте испытаний



Рис. 3, б. Термограмма амортизатора в действии на 3-й минуте испытаний

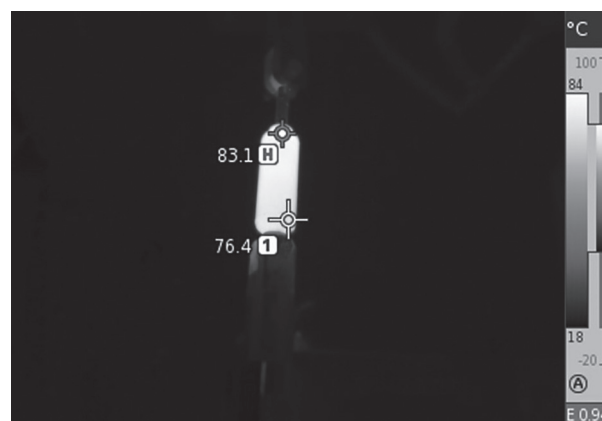


Рис. 3, в. Термограмма амортизатора в действии на 4-й минуте испытаний

билизации. Продолжение опыта было чревато разрушениями в уплотнениях гасителя колебаний. Исходя из полученных термограмм (рис. 3, а-в), можно сказать, что фиксируемые максимальные температуры наблюдались, по большей части, в верхней части цилиндра амортизатора. Циклический процесс сжатия и отбоя демфирующего устройства на стенде с амплитудой 20 мм и частотой 1 Гц сопровож-

ждался дросселированием жидкости через отверстия клапанов, что приводило к ее нагреву и дальнейшей передаче тепла через стенки цилиндра. Высокая скорость роста температуры объясняется недостаточной площадью теплоотдачи и низкой теплоемкостью рабочего тела.

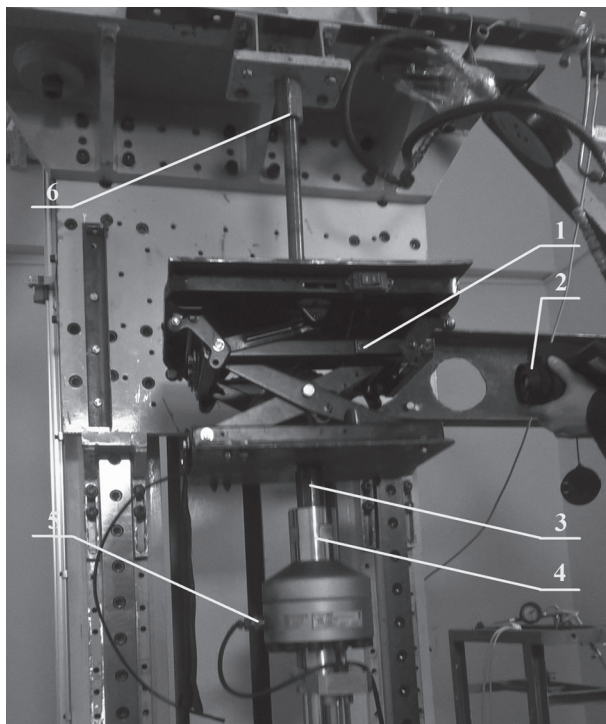


Рис. 5. Общий вид установки:

- 1 – подвеска сиденья; 2 – тепловизор;
3 – нижнее крепление; 4 – гидропульсатор;
5 – датчик силы; 6 – верхнее крепление

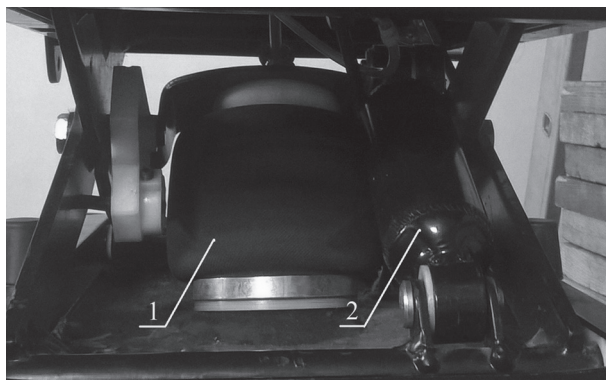


Рис. 6. Упругодемпфирующие элементы подвески сиденья:

- 1 – пневматическая рессора; 2 – амортизатор

На следующем этапе была собрана установка (рис. 5), включающая в себя подвеску сиденья 1 ножничного типа с амортизатором, нижнюю плиту, соединяющую основание сиденья со штоком гидропульсатора 4, и верхнюю плиту с центральной осью с резьбой для

крепления кронштейна 6 к станине стенда. В режиме ходов сжатия-отбоя подвески по гармоническому закону с амплитудой 20 мм и частотой 1 Гц [7] с помощью датчика силы 5 снималась рабочая диаграмма подвески сиденья (рис. 7), а с помощью тепловизора 2 термограммы наружных поверхностей упругодемпфирующих элементов (рис. 6, 8, а–в).

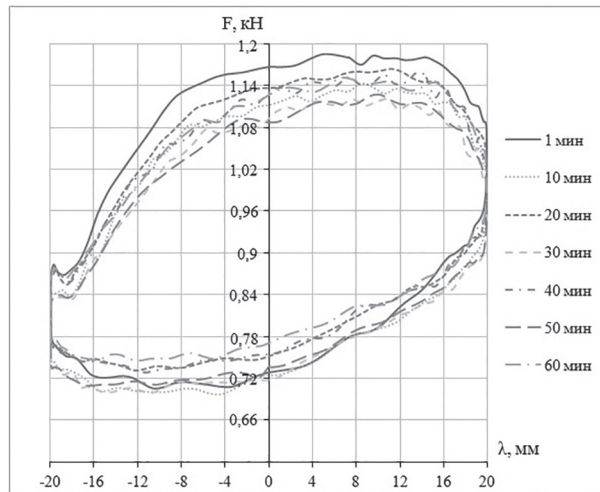


Рис. 7. Рабочая диаграмма подвески сиденья

Значения максимальных температур поверхностей пневматической рессоры и амортизатора отслеживались каждую минуту. В целом, измерение длилось 1 час и 3 минуты. Дальнейшее нагружение подвески не привело к росту температур, так как был достигнут некий установившийся предел.

Как видно из рисунков 8, а–в, температурное поле неравномерно распределялось по поверхности резинокордной оболочки рессоры 1: в верхней части, в месте взаимодействия с пластиковым поршнем, виден температурный пояс, связанный, в том числе, с изгибными деформациями упругого элемента и, как следствие, трением между слоями и тканями корда. На амортизаторе 2 (рис. 8, а–в) максимальная температура наблюдалась около места крепления к нижней раме (основанию) подвески сиденья. Это связано с кинематикой и расположением гасителя в структуре направляющего механизма сиденья, а также постоянно меняющимся в динамике приведенным демпфированием. Рабочая жидкость амортизатора 2 сжимает и разжимает через плавающий поршень газовую подушку, которая, в свою очередь, интенсивно нагревается и выделяет через стенку цилиндра тепло. На рабочей диаграмме подвески сиденья (рис. 7)

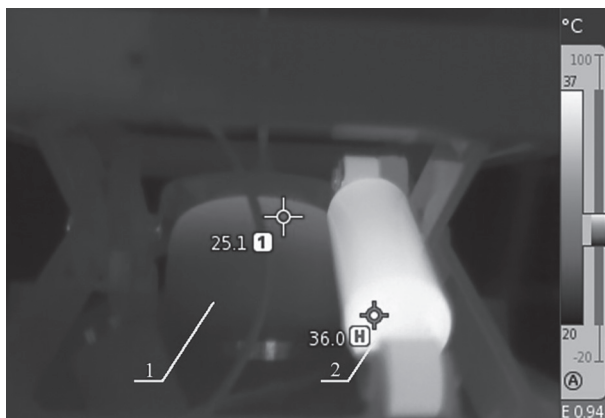


Рис. 8, а. Термограмма подвески сиденья в действии на 15-й минуте испытаний: 1 – пневматическая рессора; 2 – амортизатор



Рис. 8, б. Термограмма подвески сиденья в действии на 30-й минуте испытаний: 1 – пневматическая рессора; 2 – амортизатор

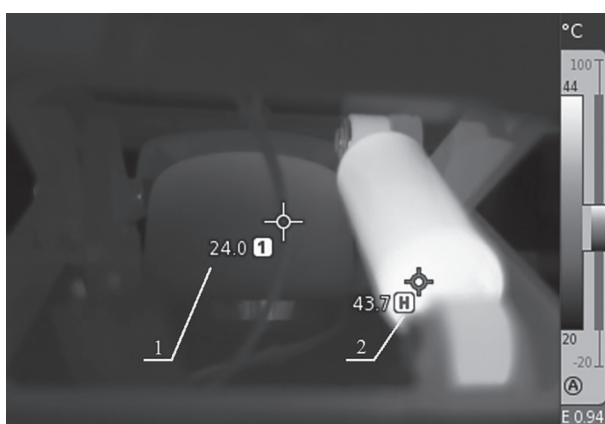


Рис. 8, в. Термограмма подвески сиденья в действии на 45-й минуте испытаний: 1 – пневматическая рессора; 2 – амортизатор

нагрева поверхностей упругодемпфирующих элементов подвески сиденья (рис. 9) за весь период испытаний.

Выводы

Анализ полученных графических данных показал, что на данном режиме кинематического нагружения интенсивней всего нагревался амортизатор. Причем за полное время испытаний температура амортизатора возросла до 45 °С, а рессоры – до 29 °С. Рессора достигла соответствующей температуры стабилизации за 10 мин, а амортизатор – за 55 мин. Объясняется это, прежде всего, различной спецификой работы, назначением, материалом, внутренним наполнением, передаточным числом упругодемпфирующих элементов.

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.

площадь замкнутой фигуры, описывающей полный цикл колебаний, уменьшилась за 10 мин и в дальнейшем практически не изменялась, что связано, скорее всего, с достижением температур стабилизации упругодемпфирующих элементов.

Результатом обработки полученных по термограммам данных стала осциллограмма

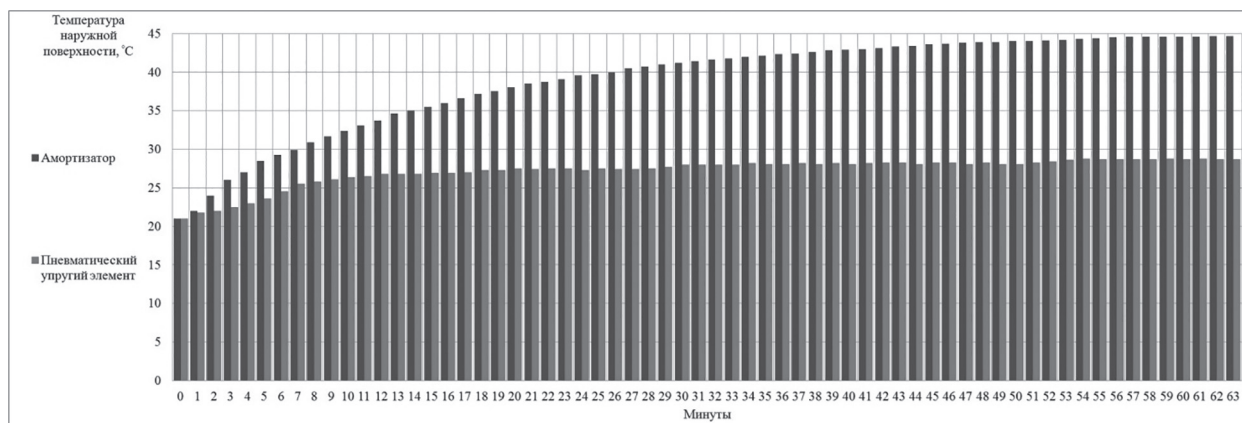


Рис. 9. Осциллограмма нагрева поверхностей упругодемпфирующих элементов подвески сиденья

2. Ляшенко М.В., Потапов 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 (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/mateconf/pdf/2017/43/mateconf_icmtmte2017_06018.pdf.
3. Устройство и функционирование стенда-гидропульсатора: метод. указ. / сост.: А.В. Поздеев, В.В. Новиков, А.В. Похлебин; ВолГТУ. Волгоград, 2016. 16 с.
4. Тепловизоры Testo [Электронный ресурс]. 2018. URL: https://www.testo.ru/ru-RU/po-paramietru/tieplovizory/c/parameters_thermal_imager.
5. Sibeco. Сиденья оператора для строительной и сельхозтехники [Электронный ресурс]. 2018. Режим доступа: <http://sibeco.net/catalog/seats-for-operators/>.
6. ГОСТ Р 53816-2010. Автомобильные транспортные средства. Амортизаторы гидравлические телескопические. Технические требования и методы испытаний. М.: Стандартинформ, 2010. 18 с.
7. ГОСТ ИСО 10326-1-2002. Вибрация. Оценка вибрации сидений транспортных средств по результатам лабораторных испытаний. Часть 1. Общие требования. М.: Стандартинформ, 2006. 10 с.
1. Lyashenko M.V., Shekhovcov V.V., Iskaliev A.I. Mathematical model of pneumatic relaxation suspension of 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 capability of vibration energy recuperation [Elektronnyj 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/mateconf/pdf/2017/43/mateconf_icmtmte2017_06018.pdf.
3. Pozdeev A.V., Novikov V.V., Pohlebin A.V. *Ustrojstvo i funkcionirovanie stenda-gidropul'sara* [Design and operation of hydropulsator test bench]: metod. ukaz. VolgGTU. Volgograd, 2016. 16 p.
4. Teplovizory Testo [Elektronnyj resurs]. 2018. URL: https://www.testo.ru/ru-RU/po-paramietru/tieplovizory/c/parameters_thermal_imager.
5. Sibeco. Siden'ya operatora dlya stroitel'noj i sel'hoztekhniki [Sibeco.Operator seats for construction and agricultural machinery] [Elektronnyj resurs]. 2018. URL: <http://sibeco.net/catalog/seats-for-operators/>.
6. GOST R 53816–2010. Automotive vehicles. Hydraulic telescopic shock absorbers. Technical requirements and test methods. Vved. 07.07.10. Moscow: Standartinform Publ., 2010. 18 p. (Natsional'nyj standart).
7. 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. (Mezhgosudarstvennyj standart).

References

1. Lyashenko M.V., Shekhovcov V.V., Iskaliev A.I. Mathematical model of pneumatic relaxation sus-