

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОДВЕСКИ СИДЕНЬЯ ДЛЯ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE PARAMETERS OF THE CHARACTERISTICS OF THE SEAT SUSPENSION FOR AUTOMOTIVE VEHICLES

З.А. ГОДЖАЕВ¹, д.т.н., член-корр. РАН
М.В. ЛЯШЕНКО², д.т.н.
В.В. ШЕХОВЦОВ², д.т.н.
П.В. ПОТАПОВ², к.т.н.
А.А. ДОЛОТОВ²
А.И. ИСКАЛИЕВ², к.т.н.

¹ ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр (ВИМ)», Москва, Россия, fic51@mail.ru

² ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» (ВолгГТУ), Волгоград, Россия, shehovtsov@vstu.ru

Z.A. GODZHAYEV¹, Dsc in Engineering, Corresponding member of the Russian Academy of Sciences
M.V. LYASHENKO², Dsc in Engineering
V.V. SHEKHOVTSOV², Dsc in Engineering
P.V. POTAPOV², PhD in Engineering
A.A. DOLOTOV²
A.I. ISKALIYEV², PhD in Engineering

¹ Federal Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia, fic51@mail.ru,

² Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia, shehovtsov@vstu.ru

В статье описаны методика и результаты экспериментального определения статической упругодемпфирующей характеристики пневматической подвески сиденья фирмы Sibeco с ножничным направляющим механизмом. Для реализации процедуры измерений в лабораторных условиях использовалось стендовое оборудование, включающее в себя компрессорную установку (система питания) с контрольным манометром, измерительное устройство (штангенрейсмас) для фиксации линейных перемещений и эталонные грузы. Измерения проводились ступенчато при различных фиксируемых значениях давления воздуха в пневматическом упругом элементе, а также при наличии или отсутствии штатного нерегулируемого гидравлического амортизатора в конструкции рассматриваемой системы поддрессоривания сиденья. Весь процесс получения необходимых параметров соответствовал рекомендациям официальной отечественной нормативной документации, которая устанавливает регламенты по общим техническим условиям проектирования сидений для автотракторной техники. Полученные кривые статической характеристики подвески сиденья были проанализированы, в том числе на предмет присутствия характера нелинейности на разных определенных участках характеристики. На основе этих результатов также были рассчитаны значения параметров жесткости, частоты собственных колебаний и сил сопротивления (сил «сухого трения») на ходах сжатия и отбоя подвески сиденья для определенных условий измерений. Дополнительно проведена оценка на соответствие этих параметров нормативным показателям отечественных технических стандартов. Также были построены и проанализированы зависимости мгновенных значений жесткости рассматриваемой пневматической подвески сиденья фирмы Sibeco от деформации при различных давлениях воздуха в пневматическом упругом элементе. Даны рекомендации по эксплуатации данного устройства для поддрессоривания сидений операторов автотракторной техники.

Ключевые слова: подвеска сиденья, упругодемпфирующая характеристика, определение параметров, экспериментальные исследования.

Для цитирования: Годжаев З.А., Ляшенко М.В., Шеховцов В.В., Потапов П.В., Долотов А.А., Искалиев А.И. Экспериментальное определение параметров характеристики подвески сиденья для автотракторной техники // Тракторы и сельхозмашины. 2021. № 3. С. 20–26. DOI: 10.31992/0321-4443-2021-3-20-26.

This article describes the methodology and results of the experimental determination of the static-elastic damping characteristics of the Sibeco air suspension with a scissor guide mechanism. To implement the measurement procedure in laboratory conditions, bench equipment, including a compressor unit (power system) with a control pressure gauge, a measuring device (height gauge) for fixing linear displacements and reference weights, was used. The measurements were carried out stepwise at various fixed values of air pressure in the pneumatic elastic element, as well as in the presence or absence of a standard unregulated hydraulic shock absorber in the design of the considered seat suspension system. The whole process of obtaining the necessary parameters was held in accordance with the recommendations of the official domestic regulatory documentation, which establishes regulations on the general technical conditions for the design of seats for automotive vehicles. There were analyzed the obtained curves of the static characteristics of the seat suspension, including for the presence of a character of nonlinearity in different specific sections of the characteristic. Based on these results, the values of the parameters of stiffness, natural frequency and resistance forces (“dry friction” forces) were calculated during the compression and rebound strokes of the seat

suspension for certain measurement conditions. Additionally, an assessment for the compliance of these parameters with the normative indicators of domestic technical standards was made. Also, the dependences of the instantaneous values of the stiffness of the considered air suspension of the Sibeco seat on deformation at various air pressures in the pneumatic elastic element were constructed and analyzed. Recommendations on the operation of this device for cushioning the seats of operators of motor and tractor equipment were given.

Keywords: seat suspension, elastic damping characteristic, parameter determination, experimental research.

Cite as: Godzhayev Z.A., Lyashenko M.V., Shekhovtsov V.V., Potapov P.V., Dolotov A.A., Iskaliyev A.I. Experimental determination of the parameters of the characteristics of the seat suspension for automotive vehicles. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2021. No 3, pp. 20–26 (in Russ.). DOI: 10.31992/0321-4443-2021-3-20-26.

Введение

Во процессе эксплуатации автотракторной техники оператор постоянно подвергается воздействию колебательных нагрузок, действующих в широком спектре частот и диапазоне амплитуд. В их составе присутствуют имеющие наибольшую амплитуду низкочастотные и среднечастотные колебания, источником которых являются возмущения в ходовой системе при движении по неровностям поверхности и при перематке звенчатой гусеницы, а также колебания вибрационного диапазона, передающиеся от двигателя, трансмиссии и ходовой системы. Частично вредные воздействия от этих источников ослабляются подвеской кабины [1–3, 14, 15], но, как показывает опыт, окончательной защитой оператора является подвеска сиденья [4–7]. Одной из получающих все большее распространение конструкций является подвеска с пневматическим упругим элементом и нерегулируемым гидравлическим амортизатором [4]. Способность подвески осуществлять эффективную защиту оператора [8] определяется параметрами ее упругодемпфирующей характеристики.

Цель исследований

Выполнить экспериментальные исследования с целью определения параметров подвески предназначенного для автотракторной техники сиденья типа конструкции фирмы Sibeco.

Материалы и методы

Определение статической упругой характеристики осуществлялось экспериментально согласно рекомендациям ГОСТ 20062–96 «Сиденье тракторное. Общие технические условия» [8].

При выполнении исследований циклы нагружения и разгружения подвески эталонными грузами производились ступенчато. Абсолютные координаты точки, по которым в дальнейшем находились значения перемещения поса-

дочного места (деформации), на каждом шаге нагрузки (разгрузки) фиксировались штангенрейсмасом (рис. 1). Эксперимент последовательно повторялся 5 раз при наличии амортизатора в системе подрессоривания сиденья и при его отсутствии, а также при различных уровнях давления воздуха в пневматическом баллоне (0,15 и 0,2 МПа). Давление воздуха в упругом элементе контролировалось манометром, установленным на выходе компрессорной установки [9–13, 16].



Рис. 1. Экспериментальная установка для определения характеристик подвески

Fig. 1. Experimental test bench for determining the characteristics of the suspension

Результаты и обсуждение

В результате обработки полученных данных построена осредненная для серии из 5 циклов статическая упругая характеристика подвески (рис. 2).

Анализ представленных на рис. 2 зависимостей свидетельствует о том, что:

- на протяжении примерно 80 % прямого и обратного ходов подвески характеристику отличает практически линейный характер изменения, а существенной нелинейностью отличаются только участки, соответствующие началу и концу ходов сжатия и отбоя;
- полный упругий ход подвески по результатам испытаний составляет 0,111 м, что удовлетворяет нормам ГОСТ 20062–96 [8];

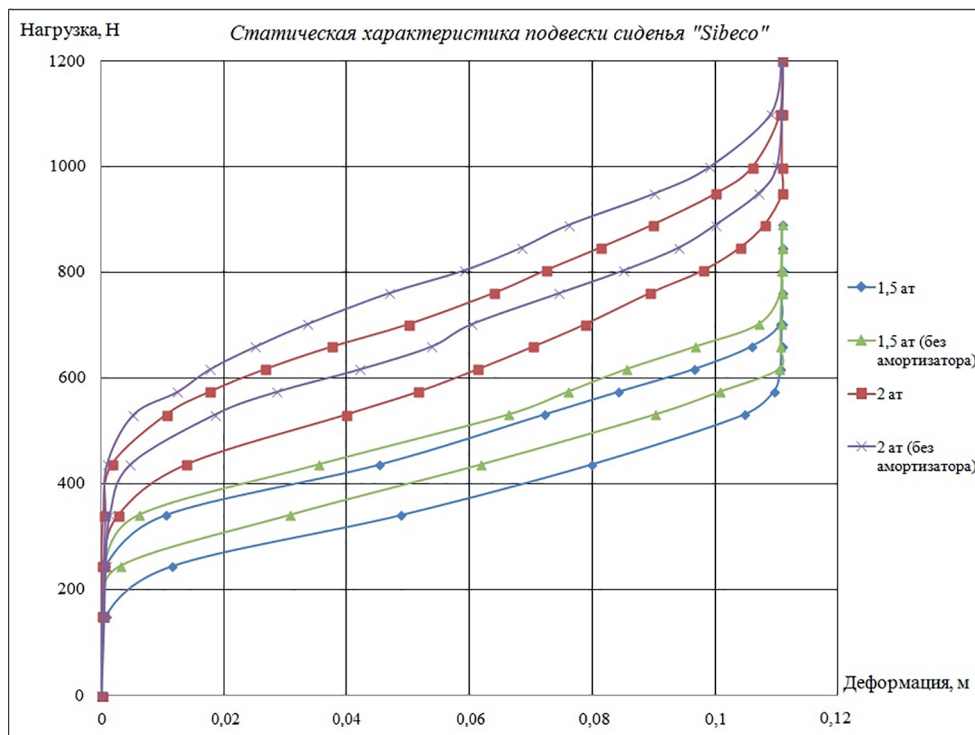


Рис. 2. Статическая характеристика подвески сиденья конструкции фирмы Sibeco

Fig. 2. Static characteristics of the suspension of the Sibeco seat

ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ

– наличие амортизатора в конструкции приводит к уменьшению уровней упругого сопротивления на каждом ходе подвески.

В соответствии с ГОСТ 20062–96 [8], при испытаниях подвески должны быть определены такие параметры, как сила упругого сопротивления (рис. 3), жесткость подвески и частота собственных колебаний оператора на сиденье.

Ход S_0 , значения сил сопротивления F_{C1} и F_{C2} , упругой силы F_1 и F_2 , соответствующих деформаций S_1 и S_2 находятся по графику характеристики. Жесткость подвески сиденья определяется по формуле:

$$c = \frac{F_2 - F_1}{S_2 - S_1} = \frac{F_2 - F_1}{0,3 \cdot S_0} \quad (1)$$

Частота собственных колебаний подвески сиденья равна по формуле:

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{c}{m_1 + 0,71 \cdot m_2}} \quad (2)$$

где m_1 – масса поддресоренной части сиденья, кг ($m_1 \approx 15$ кг); m_2 – масса оператора, кг.

Результаты расчета параметров статической упругой характеристики подвески опытного сиденья, полученной экспериментальным путем [5, 6], сведены в таблицу 1.

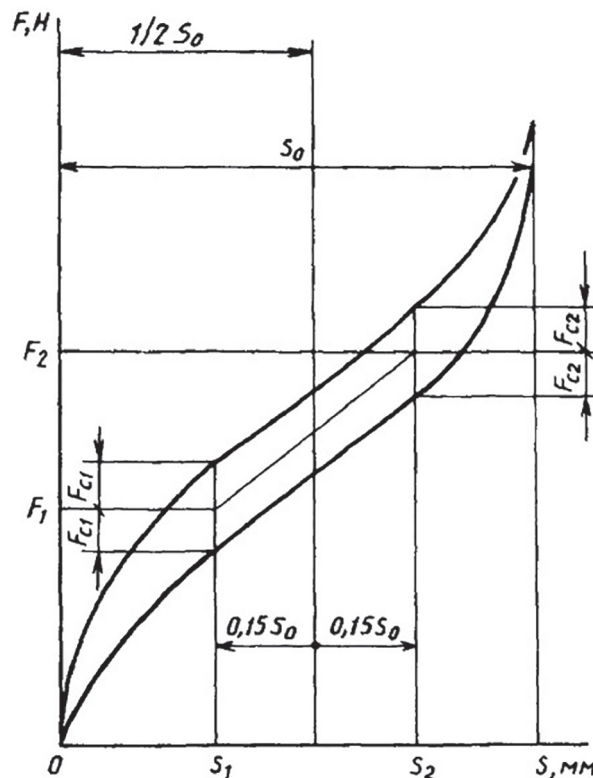


Рис. 3. Упругая характеристика подвески сиденья, согласно ГОСТ 20062–96

Fig. 3. The elastic characteristic of the seat suspension, according to GOST 20062–96

Таблица 1

Параметры статической упругой характеристики подвески сиденья фирмы Sibeco

Table 1. Parameters of the static elastic characteristics of the suspension of the Sibeco seat

Параметр (требование) / опыт при давлении воздуха в пневмобаллоне	0,15 МПа	0,15 МПа (без амортизатора)	0,2 МПа	0,2 МПа (без амортизатора)
$S_0 (\leq 0,15)$, м	0,111	0,111	0,111	0,111
$F_{C1} (\leq 100)$, Н	51,8	40,5	68,3	59,5
$F_{C2} (\leq 100)$, Н	59,2	43,1	67,0	58,5
F_1 , Н	367,8	407,5	596,6	667,0
F_2 , Н	472,9	515,0	736,7	810,3
S_1 , м	0,03885	0,03885	0,03885	0,03885
S_2 , м	0,07215	0,07215	0,07215	0,07215
c , Н/м	3157,5	3226,7	4206,7	4303,1
$f(m_2 = 75 \text{ кг}) (\leq 1,5-2)$, Гц	1,23	1,24	1,25	1,26

Данные таблицы 1 свидетельствуют о том, что подвеска обеспечивает комфортную для оператора частоту собственных колебаний в диапазоне 1,23–1,26 Гц как при наличии в ее составе амортизатора, так и при его отсутствии, то есть демпфирование не оказывает практического влияния на собственные частоты. Наличие и отсутствие амортизатора главным образом сказывается, причем различно, на значениях сил сопротивления как в начале хода сжатия и в конце хода отбоя, так и в конце хода сжатия и в начале хода отбоя. Эта разница объясняется наличием силы «сухого» трения между поршнем и стенкой цилиндра, а также в шарнирах крепления амортизатора.

В таблице 1 представлены определяемые ГОСТом 20062–96 [8] усредненные значения параметров, в том числе жесткости. На основе приведенных на рис. 2 зависимостей определены мгновенные значения жесткости подвески в отдельных точках прямого и обратного ходов подвески. Изменение этой жесткости при двух значениях давления в пневмобаллоне показано на рис. 4.

В связи с тем, что мгновенная жесткость очень интенсивно изменяется в начале и конце ходов сжатия и отбоя, а в точках их начала и конца имеет значения, стремящиеся к бесконечности, на графиках рис. 4 использована логарифмическая шкала жесткости. Расчет значе-

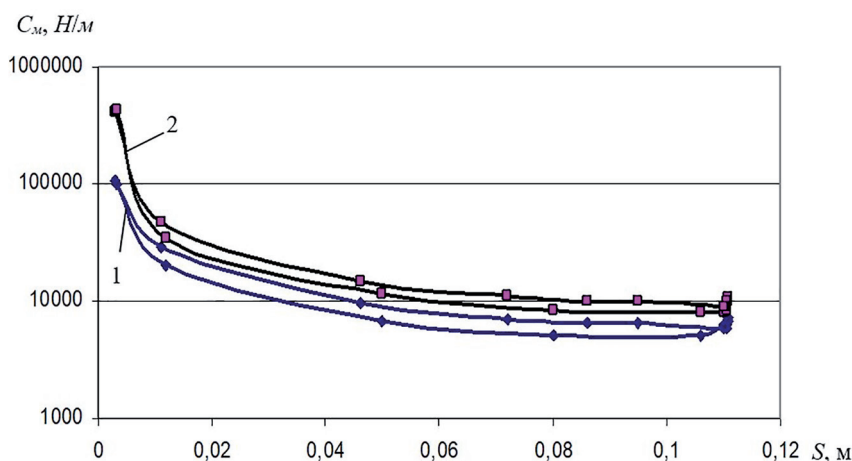


Рис. 4. Изменение мгновенной жесткости подвески:

1 – при давлении в пневмобаллоне 0,15 МПа, 2 – при давлении 0,2 МПа

Fig. 4. Change in the instantaneous stiffness of the suspension:

1 – at a pressure in the pneumatic cylinder of 0,15 MPa, 2 – at a pressure of 0,2 MPa

Таблица 2

Изменение мгновенных значений жесткости пневмоподвески за цикл колебаний
Table 2. Change in instantaneous values of air suspension stiffness per oscillation cycle

Деформация, м	Мгновенное значение жесткости, Н/м	
	При давлении 0,15 МПа	При давлении 0,2 МПа
0,003	110000	650000
0,012	20417	34600
0,050	6700	11400
0,080	5500	8750
0,106	4906	7972
0,110	5182	8182
0,1105	5973	8506
0,1106	6329	9042
0,1107	6685	9937
0,1108	7220	10830
0,1105	6697	9955
0,1104	6250	9058
0,1100	5951	9090
0,095	6526	9842
0,086	6512	10116
0,072	7361	10972
0,046	9565	15000
0,011	28840	47272
0,003	110000	650000

ний мгновенной жесткости подвески выполнен для случаев отсутствия амортизатора. Данные для построения этих зависимостей приведены в таблице 2.

Анализ приведенных на рис. 4 зависимостей и данных таблицы 2 свидетельствует о том, что при давлении в баллоне 0,15 МПа мгновенная жесткость на прямом и обратном ходах подвески изменяется в пределах от 5182 до 9565 Н/м, а при давлении 0,2 МПа в пределах от 7972 до 15000 Н/м, за исключением участков начала и конца ходов сжатия и отбоя. Таким образом, мгновенные значения жесткости в 2–3 раза превышают осредненные значения, полученные в соответствии с рекомендациями ГОСТ 20062–96 [8].

Заключение

1. Выполненные экспериментальные исследования параметров упруго демпфирующей характеристики подвески сиденья автотракторной техники типа конструкции фирмы Sibeco с пневматическим упругим элементом и нере-

гулируемым гидравлическим амортизатором свидетельствуют о том, что эти параметры соответствуют требованиям ГОСТа.

2. Подвеска обеспечивает соответствия требованиям норм по упругости хода и собственных частот колебаний оператора в комфортном для него рабочем диапазоне частот.

Литература

1. Шеховцов В.В. Подрессоривание кабин тягово-транспортных средств: учеб. пособие // Минобрнауки России, ВолгГТУ. Волгоград: Изд-во ВолгГТУ, 2016. 160 с.
2. Искалиев А.И. Анализ пневматических подвесок автотракторных сидений // Техничко-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. Ахалая Б.Х., Годжаев З.А., Кантария В.А. Усовершенствование рабочего места оператора // Сельский механизатор. 2019. № 6. С. 38–39.

4. 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.] // ВолгоГТУ, РФФИ, «ФНПЦ «Титан–Баррикады». Волгоград, 2018. С. 71–73.
5. 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 (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.mateconferences.org/articles/mateconf/pdf/2017/43/mateconf_icmtmte2017_06018.pdf.
6. Кузьмин В.А., Годжаев Т.З., Годжаев З.А. Оценка эффективности виброзащиты гидравлической системы поддрессирования мобильных машин с активным нейросетевым регулированием // Автомобильная промышленность. 2018. № 8. С. 21–25.
7. ГОСТ 12.2.019-86. Тракторы и машины самоходные сельскохозяйственные. Общие требования безопасности (взамен ГОСТ 12.2.019–76 и ГОСТ 16527–80); введ. 01.07.87. М.: Стандартиформ, 2006. 17 с.
8. ГОСТ 20062-96. Сиденье тракторное. Общие технические условия (взамен ГОСТ 20062-81); введ. 01.07.97. Минск: ИПК Издательство стандартов, 1997. 12 с.
9. Годжаев З.А., Гончаренко С.В., Артемов А.В., Прядкин В.И., Годжаев Т.З. Расчетно-экспериментальная оценка воздействия на почву шин сверхнизкого давления мобильных энергосредств // Тракторы и сельхозмашины. 2020. № 3. С. 35–47.
10. Искалиев А.И., Ляшенко М.В. Оценка сил сопротивления в статической упругой характеристике подвески сиденья // Актуальные направления развития газовой отрасли России: матер. всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов ПАО «Газпром» (г. Волгоград, 15 декабря 2016 г.) / редкол.: Н. А. Дьяченко (отв. ред.) [и др.]; ЧПОУ «Газпром колледж Волгоград». Волгоград, 2016. С. 63–66.
11. Годжаев З.А., Измайлов А.Ю., Шевцов В.Г., Лавров А.В., Русанов А.В. Исследование давления колесного движителя на почву с учетом характеристики шины // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2016. № 1. С. 5–10.
12. Годжаев З.А., Русанов А.В., Ревенко В.Ю. Метод построения эпюр касательных напряжений в зоне контакта буксующего колеса с почвой // Тракторы и сельхозмашины. 2017. № 5. С. 39–47.
13. Искалиев А.И., Ляшенко М.В. Экспериментальная оценка сил сопротивления в статической упругой характеристике подвески автотракторного сиденья // Научно-технический прогресс: актуальные и перспективные направления будущего: сб. матер. IV междунар. науч.-практ. конф. (30 ноября 2016 г.). В 2 т. / ООО «Западно-Сибирский научный центр». Кемерово, 2016. Т. II. С. 181–183.
14. Годжаев З.А., Шеховцов В.В., Ляшенко М.В., Соколов-Добрев Н.С., Шевчук В.П. Влияние колебаний корпусных деталей на опорах на нагруженность участков силовой передачи трактора // Тракторы и сельхозмашины. 2009. № 1. С. 19–27.
15. Камитов М.С., Годжаев З.А., Борисов С.В. Оптимизация упруго-демпфирующих характеристик системы поддрессирования автомобилей высокой проходимости // XXVIII Международная инновационно-ориентированная конференция молодых ученых и студентов (МИКМУС-2016): сборник трудов конференции. 2017. С. 159–163.
16. 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. Podressorivaniye kabin tyagovo-transportnykh sredstv [Suspension of cabins of traction vehicles]: 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 of I international scientific-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. Akhalaya B.KH., Godzhayev Z.A., Kantariya V.A. Improvement of the operator's workplace. Sel'skiy mekhanizator. 2019. No 6, pp. 38–39 (in Russ.).
4. 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-practical conf. (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.).
5. Lyashenko M.V., Potapov P.V., Iskaliyev A.I. Analysis of vibroprotection characteristics of pneumatic relaxation seat suspension with capability of vibration energy recuperation [Elek-tronnyyresurs] // MATEC Web of Conferences. Vol. 129: International Conference on Mod-ern 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, In-link Ltd. and International Union of Machine Builders. [Publisher: EDP Sciences], 2017. 5 p. URL: https://www.mateconferences.org/articles/mateconf/pdf/2017/43/mateconf_icmtmte2017_06018.pdf.
6. Kuz'min V.A., Godzhayev T.Z., Godzhayev Z.A. Evaluation of the effectiveness of vibration protection of the hydraulic suspension system of mobile machinery with active neural network regulation. Avtomobil'naya promyshlennost'. 2018. No 8, pp. 21–25 (in Russ.).
7. GOST 12.2.019–86. Traktory i mashiny samokhodn-yye sel'skokhozyaystvenn-yye. Obshchiye trebovaniya bezopasnosti [Tractors and self-propelled agricultural machinery. General safety requirements]. Vzamen GOST 12.2.019–76 i GOST 16527–80; vved. 01.07.87. Moscow: Standartinform Publ., 2006. 17 p.
8. GOST 20062-96. Siden'ye traktornoye. Obshchiye tekhnicheskiye usloviya [Tractor seat. General specifications]. Vzamen GOST 20062–81; vved. 01.07.97. Minsk: IPK Izdatel'stvo standartov Publ., 1997. 12 p.
9. Godzhayev Z.A., Goncharenko S.V., Artemov A.V., Pryadkin V.I., Godzhayev T.Z. Computational and experimental assessment of the impact on the soil of ultra-low-pressure tires of mobile power facilities. Traktory i sel'khoz mashiny. 2020. No 3, pp. 35–47 (in Russ.).
10. Iskaliyev A.I., Lyashenko M.V. Evaluation of resistance forces in the static elastic characteristic of the seat suspension. Aktual'n-yye napravleniya razvitiya gazovoy otrasli Rossii: mater. vseros. nauch.-prakt. konf. molodykh uchenykh i spetsialistov PAO «GazproM» (g. Volgograd, 15 dekabrya 2016 g.) [Directions of development of the gas industry in Russia: papers of All-Russian scientific and practical conference of young scientists and specialists of PJSC Gazprom] redkol.: N.A. D'yachenko (otv. red.) [i dr.]; CHPOU «Gazprom kolledzh Volgograd». Volgograd, 2016, pp. 63–66 (in Russ.).
11. Godzhayev Z.A., Izmaylov A.YU., Shevtsov V.G., Lavrov A.V., Rusanov A.V. Study of the pressure of the wheel propeller on the soil taking into account the characteristics of the tire. Sel'skokhozyaystvenn-yye mashiny i tekhnologii. 2016. No 1, pp. 5–10 (in Russ.).
12. Godzhayev Z.A., Rusanov A.V., Revenko V.YU. Method for plotting shear stress diagrams in the contact zone of the skid wheel with the soil. Traktory i sel'khoz mashiny. 2017. No 5, pp. 39–47 (in Russ.).
13. Iskaliyev A.I., Lyashenko M.V. Experimental evaluation of resistance forces in the static elastic characteristic of the suspension of an automotive seat. Nauchno-tekhnicheskiy progress: aktual'n-yye i perspektivn-yye napravleniya budushchego: sb. mater. IV mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (30 noyabrya 2016 g.) [Scientific and technological progress: topical and promising directions of the future: collection of materials IV international scientific and practical conference (November 30, 2016)]. V 2 t. Vol. II. OOO «Zapadno-Sibirskiy nauchnyy tsentR». Kemerovo, 2016, pp. 181–183 (in Russ.).
14. Godzhayev Z.A., Shekhovtsov V.V., Lyashenko M.V., Sokolov-Dobrev N.S., Shevchuk V.P. Influence of vibrations of body parts on supports on the loading of the power transmission sections of the tractor. Traktory i sel'khoz mashiny. 2009. No 1, pp. 19–27 (in Russ.).
15. Kamitov M.S., Godzhayev Z.A., Borisov S.V. Optimization of elastic-damping characteristics of the suspension system of cross-country vehicles. V sbornike: XXVIII Mezhdunarodnaya innovatsionno-orientirovannaya konferentsiya molodykh uchenykh i studentov (MIKMUS-2016) [In the collection: XXVIII International innovation-oriented conference of young scientists and students (MIKMUS-2016)]. sbornik trudov konferentsii. 2017, pp. 159–163 (in Russ.).
16. 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.