

А. И. Искалиев, П. В. Потапов, В. В. Шеховцов, М. В. Ляшенко, Е. В. Клементьев, А. В. Евсеева

**АНАЛИЗ НАГРУЖАЮЩИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СТЕНДА
ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ВИБРОИЗОЛЯТОРОВ КАБИНЫ ТРАКТОРА**

Волгоградский государственный технический университет

asamat-iskaliev@mail.ru, paulflinx@gmail.com, shehovtsov@vstu.ru,
tslmvvturu@mail.ru, e-eevgenii@mail.ru, evseeva_apollinariya@mail.ru

Автор, ответственный за переписку: Искалиев Азамат Ибрагимович, asamat-iskaliev@mail.ru

В современной мировой испытательной практике используется стендовое оборудование, позволяющее реализовывать при испытаниях режимы нагружения, тождественные эксплуатационным по частотному и амплитудному составу воспроизводимых нагрузок. Это оборудование обычно включает в себя гидравлические нагружающие устройства, управляемые электрическим сигналом по заданной программе. Гидравлические исполнительные механизмы в силу таких их преимуществ, как компактность и высокая удельная мощность, малая инерционность рабочих органов, обеспечивают возможность воспроизведения на стенде нагрузок с требуемым законом изменения во времени. В описываемой конструкции стенда использованы подобные гидронагружатели. Для проведения ресурсных испытаний на стенд устанавливаются виброизоляторы с разными габаритными и упруго-диссипативными характеристиками, поэтому для испытаний каждой их партии должны быть подобраны нагрузочные характеристики стенда. Анализ возможностей воспроизведения на стенде необходимых нагрузочных характеристик для испытаний виброизолятора кабины трактора посвящена настоящая статья.

Ключевые слова: испытательный стенд, виброизоляторы, кабина, трактор, нагрузочные режимы, привод стенда

A. I. Iskaliev, P. V. Potapov, V. V. Shekhovtsov, M. V. Liashenko, E. V. Klementiev, A. V. Evseeva

ANALYSIS OF THE LOADING CAPABILITIES OF THE TRACTOR CAB VIBRATION ISOLATOR TEST STAND

Volgograd State Technical University

In modern world testing practice, bench equipment is used, which makes it possible to implement loading modes during testing that are identical to the operational ones in terms of the frequency and amplitude composition of the reproduced loads. This equipment usually includes hydraulic loading devices that are controlled by an electrical signal according to a given program. Hydraulic actuators, due to their advantages such as compactness and high specific power, low inertia of the working bodies, make it possible to reproduce loads with the required law of change in time on the stand. In the described design of the stand, similar hydraulic loaders are used. For carrying out life tests, vibration isolators with different dimensional and elastic-dissipative characteristics are installed on the stand, so the load characteristics of the stand must be selected for testing each batch of them. This article is devoted to the analysis of the possibilities of reproducing the necessary load characteristics on the stand for testing the vibration isolator of the tractor cab.

Keywords: test stand, vibration isolators, cabin, tractor, loading regimes, stand drive

Введение

В эксплуатации виброизоляторы кабины трактора одновременно испытывают нагрузки от вертикальных, продольно- и поперечно-угловых колебаний кабины, которые отличаются амплитудами, частотами и характером изменения во времени [2; 3; 4; 7].

Для воспроизведения в стендовых условиях нагружающих воздействий на виброизолятор, эквивалентных эксплуатационным, необходимо в эксплуатационном спектре выделить основные составляющие с их амплитудами и частотами. Многочисленными экспериментальными исследованиями установлено [1; 2; 3], что основными в спектрах являются вертикальные вибровоздействия в диапазоне частот от 0 до 4 Гц с пиковыми значениями ускорений в диапазоне $0,173...0,5 \text{ м/с}^2$. В работе [4] показано, что основная часть энергии вертикальных колебаний кабины приходится на низкочастотный диапазон возмущений от 1 до 4 Гц (более половины от всей энергии процесса). В этом диапазоне имеют место и максимальные амплитуды вертикальных колебаний. Так, в работе [23] приведен диапазон ($0,003...0,006 \text{ м}$) экспериментально определенных амплитуд вертикальных перемещений в эксплуатации кабины колесного трактора К-708.4, поддрессоренной четырьмя резинометаллическими виброизоляторами АКСС-400М.

Установлено также, что энергия вертикальных колебаний кабины в разы превышает энергию продольно- и поперечно-угловых колебаний, поэтому основная нагруженность виброизолятора определяется именно вертикальными

колебаниями. Таким образом, необходимо, чтобы нагрузочные характеристики стенда обеспечивали возможность воспроизведения нагруженности испытуемого виброизолятора, эквивалентной эксплуатационной.

1. Конструкция стенда

В ВолгГТУ на протяжении ряда лет ведутся разработки стендового оборудования, результаты этих работ представлены в следующих публикациях [4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 14; 15; 16; 17; 18; 19]. Авторами предложено и запатентовано [17] техническое решение стенда с гидравлическими нагружающими устройствами, позволяющего воспроизводить на испытуемых виброизоляторах нагрузочные режимы, эквивалентные эксплуатационным. В этом стенде возможность воспроизведения вибронагрузок, действующих на виброизолятор одновременно в трех плоскостях, обеспечивается тремя ориентированными в вертикальном, продольно-осевом и поперечно-осевом направлениях гидронагружателями (рис. 1).

Нагрузочная платформа 2 стенда (рис. 1) имитирует поддрессоренную испытуемым виброизолятором 3 кабину трактора. Гидронагружатели 1 в зависимости от программы испытаний могут обеспечивать одно-, двух- или трехкомпонентное нагружение испытуемого виброизолятора 3 по взаимно перпендикулярным направлениям через нагрузочную платформу 2. Стойки 5 предназначены для ограничения угловых перемещений нагрузочной платформы 2. Платформа 6 имитирует поддрессоренный остов трактора [17].

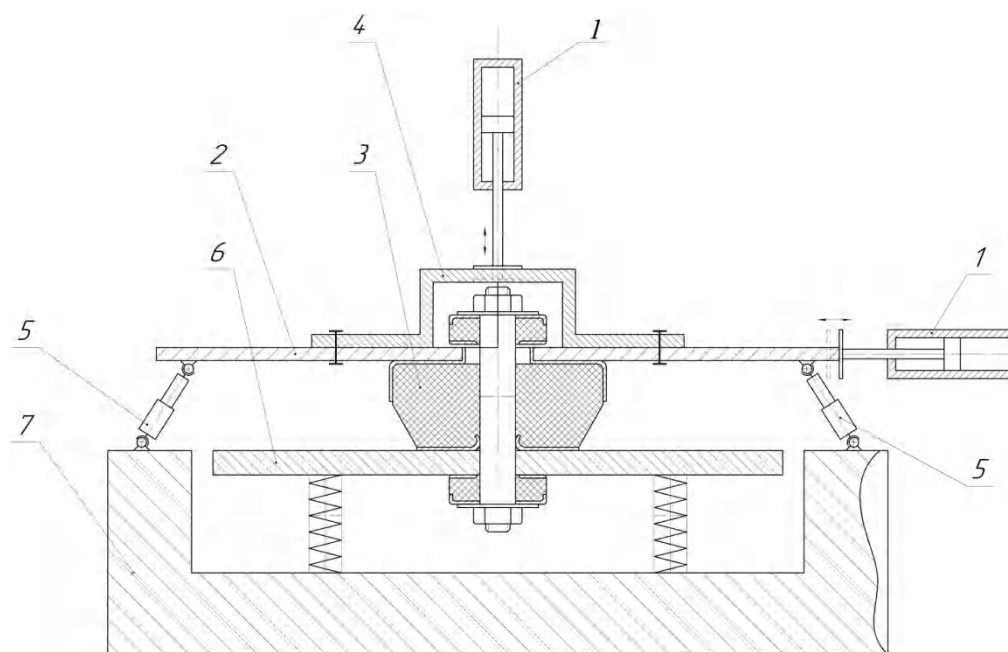


Рис. 1. Стенд для испытаний виброизоляторов:
 1 – гидронагрузатель; 2 – нагрузочная платформа; 3 – испытуемый виброизолятор;
 4 – крышка; 5 – стойки; 6 – платформа; 7 – основание

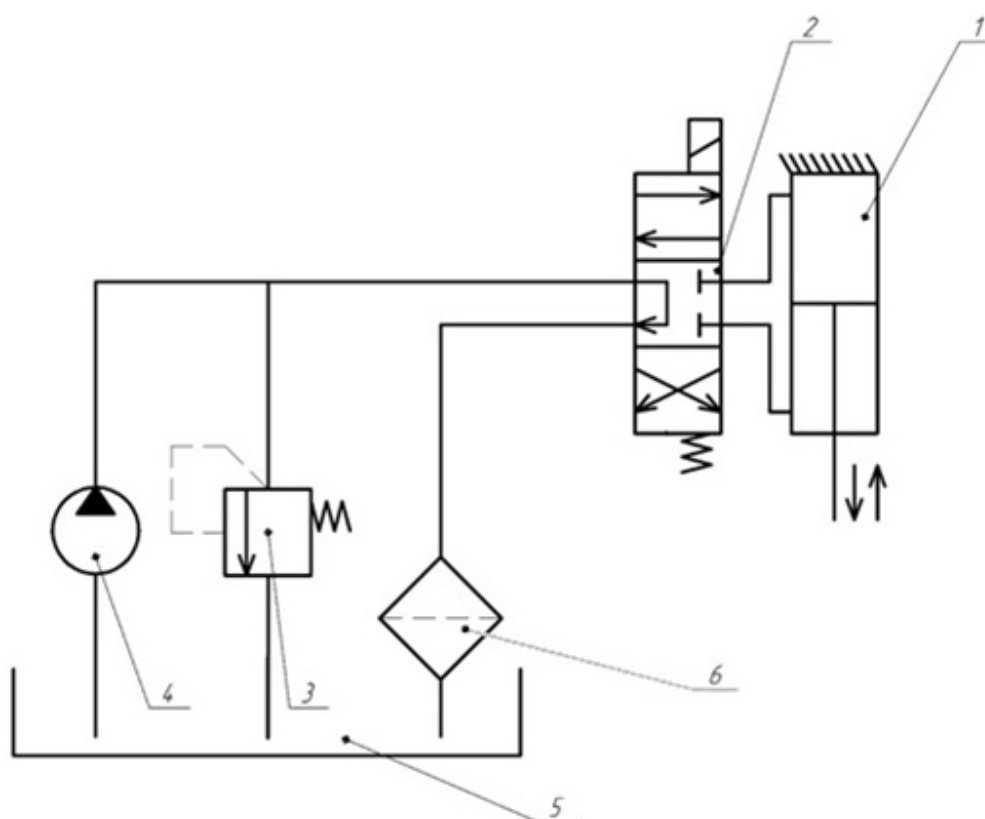


Рис. 2. Гидравлическая схема управления нагрузателем стенда:
 1 – гидронагрузатель; 2 – гидрораспределитель с электромагнитным управлением;
 3 – предохранительный клапан; 4 – насос; 5 – бак; 6 – фильтр

Каждый гидронагружатель 1 стенда (рис. 2) включает в себя гидроцилиндр, надпоршневая и подпоршневая полости которого соединены с насосом 4 и баком 5 через гидрораспределитель 2 с электромагнитным управлением, который осуществляет переключение потоков рабочей жидкости в гидросистеме с задаваемой частотой при реализации режима нагружения. Предохранительный клапан 3 защищает гидросистему от несанкционированных скачков давления.

Техническое решение стенда обладает следующими достоинствами:

- возможность одновременного воспроизведения на испытуемом виброизоляторе нагрузок эксплуатационного характера от вертикаль-

ных, продольно- и поперечно-угловых колебаний кабины трактора;

- возможность регулирования частоты нагружающих воздействий;

- возможность реализации законов нагружения с различными амплитудами нагрузок и характером их изменения во времени.

2. Нагружающее оборудование

Для привода гидронагружателей в гидросистеме стенда предложено использовать насос НШ-10, широко применяемый в гидросистемах тракторов. Его техническая характеристика приведены в таблице, а зависимость производительности от давления показана на рис. 3 [22].

Техническая характеристика насоса НШ-10

Параметр	Значение
Номинальная подача, $\text{м}^3 / \text{с}$	0,00035
Номинальное давление, МПа	16
Максимальное давление, МПа	21
Коэффициент подачи, не менее	0,92
КПД, не менее	0,8
Номинальная потребляемая мощность, кВт , не более	8,6
Масса, кг	2,58
Номинальная частота вращения, об/мин	2400

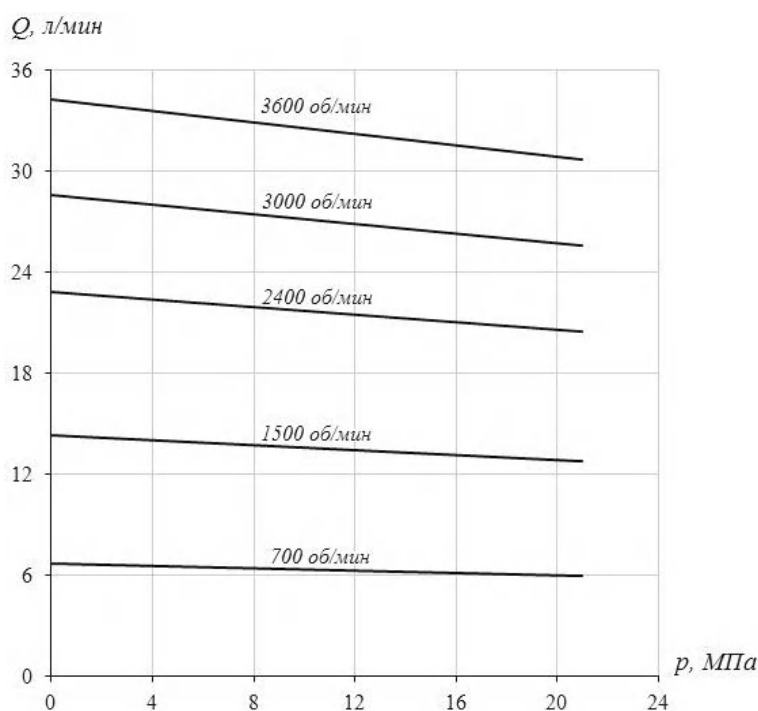


Рис. 3. Характеристика насоса НШ-10 и его внешний вид

В гидросистеме также использованы гидрораспределитель золотниковый В10, фильтр сетчатый типа ФС-7, установленный на линии слива, гидроцилиндр Ц100х200-3, бак для рабочей жидкости объемом 100 л, рабочая жидкость – масло И-40А.

В расчете потенциальных нагрузочных характеристик стенда в низкочастотной области (до 4 Гц) влияние на динамику процессов сжимаемости рабочей жидкости в гидросистеме, изменений при этом объема металлических трубопроводов несущественно, и им можно пренебречь. Также в данной области обеспечивается гарантированная возможность работы управляющих элементов гидросистемы стенда – гидрораспределителей с электромагнитным управлением, и исполнительных механизмов – гидроцилиндров. Из-за инерционности этих устройств воспроизведение нагрузок в более высоком диапазоне частот представляется затруднительным.

3. Определение нагрузочных характеристик стенда

Так как основные нагрузки на виброизолятор в эксплуатации действуют в вертикальном направлении, определение нагружающих возможностей стенда, то есть его нагрузочных ха-

рактеристик, выполнено для вертикального гидронагружателя.

Частота гармонического вертикального воздействия нагружателя на испытуемый виброизолятор с учетом реализации необходимого перемещения штока находится по формуле (1):

$$f = \frac{2 \cdot Q}{\pi^2 \cdot D^2 \cdot s}, \quad (1)$$

где Q – текущая подача насоса, $\text{м}^3/\text{с}$; D – диаметр поршня гидравлического привода нагружателя стенда, м ; s – реализуемая амплитуда перемещения штока, м .

Величина усилия вертикального воздействия нагружателя стенда на испытуемый виброизолятор определяется по формуле (2):

$$F = (p - \Delta p) \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \eta_u^{\text{мех}}, \quad (2)$$

где p – текущее давление рабочей жидкости, создаваемое насосом в гидравлической системе, Па; Δp – суммарные потери давления рабочей жидкости в гидравлической системе (в расчете использовалось предельно допустимое значение, равное 6 % от номинального давления рабочей жидкости, создаваемое насосом [21]), Па; $\eta_u^{\text{мех}}$ – механический КПД гидроцилиндра ($\eta_u^{\text{мех}} = 0,95$).

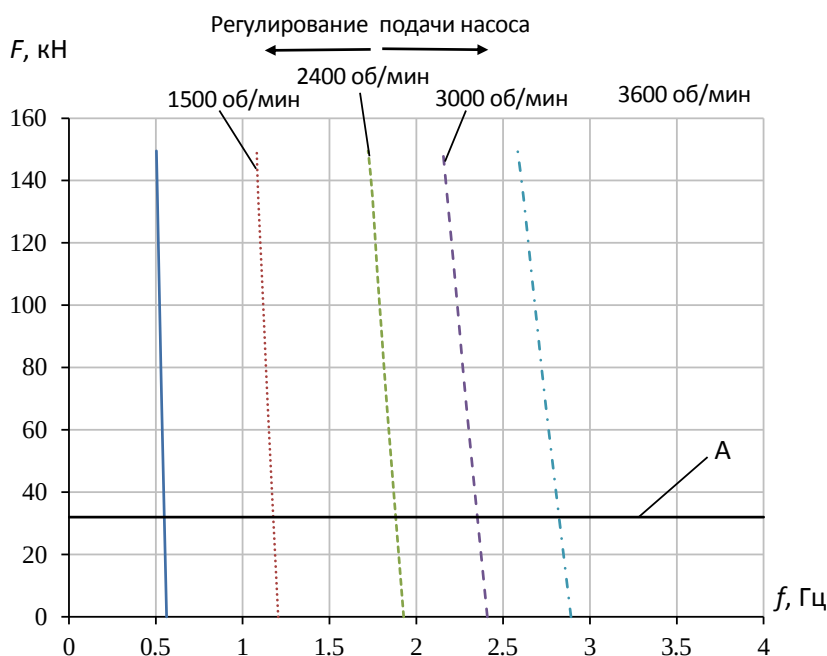


Рис. 4. Диапазон возможных амплитуд вертикальных нагрузок на испытуемый виброизолятор АКСС-400М при $s = 0,004 \text{ м}$; A – усилие упругого сопротивления испытуемого виброизолятора



Рис. 5. Общий вид виброизолятора АКСС-400М

Результаты расчетов приведены на рис. 4, на котором представлены зависимости усилия, соз-

даваемого гидронагружателем в вертикальном направлении, от частоты гармонических возму-

щений (для примера выбрана амплитуда перемещений 0,004 м). Частотный диапазон вертикального силового воздействия на испытуемый виброизолятор АКСС-400М (рис. 5) при этом составил 0,549...2,822 Гц. Результат получен путем сопоставления характеристики выбранного насоса и возможных потерь в системе с конструктивными параметрами гидравлического привода.

Диапазон значений возможных при этом

амплитуд деформаций испытуемого виброизолятора можно рассчитать, преобразовав формулу (1) следующим образом (3):

$$s = \frac{2 \cdot Q}{\pi^2 \cdot D^2 \cdot f} \quad (3)$$

На рис. 6 представлены результаты расчетных исследований диапазона амплитуд, выполненных с использованием этой формулы (3).

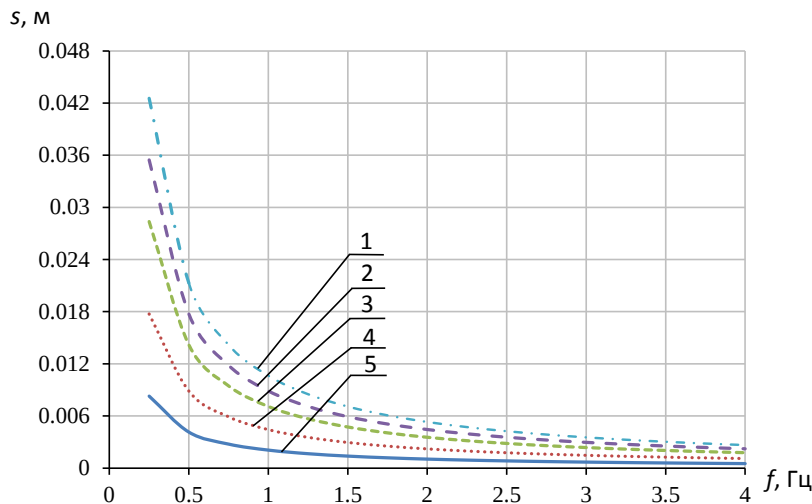


Рис. 6. Диапазон возможных амплитуд деформаций испытуемого виброизолятора при регулировании подачи насоса:

1 – 3600 об/мин, 2 – 3000 об/мин, 3 – 2400 об/мин, 4 – 1500 об/мин, 5 – 700 об/мин

Регулирование подачи выбранного насоса за счет повышения частоты вращения его вала в соответствии с результатами расчетных исследований (рис. 6) приводит к росту амплитуд перемещений штока гидронагружателя в частотном диапазоне от 0 до 4 Гц. При этом чем ниже задаваемая системой электромагнитного управления гидрораспределителя частота возмущений, тем более существенен прирост этих амплитуд.

Выполнено также расчетное исследование зависимости характеристик согласования управляющих параметров насоса (частоты вращения вала) и гидрораспределителя с электромагнитным управлением (частоты переключения), результаты которого представлены на рис. 7. Полученные зависимости позволяют определять либо корректировать амплитуду перемещений штока гидронагружателя.

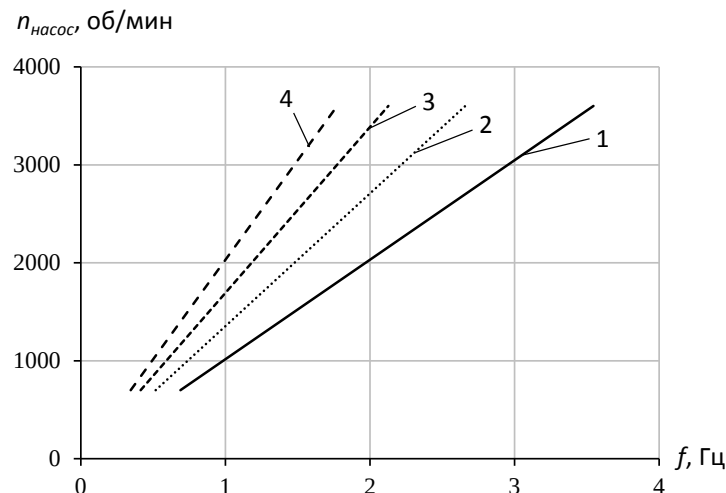


Рис. 7. Характеристика согласования частоты вращения вала насоса при реализации амплитуд перемещений штока гидроцилиндра:

1 – при $s = 0,003$ м ; 2 – при $s = 0,004$ м ; 3 – при $s = 0,005$ м ; 4 – при $s = 0,006$ м

Определен также возможный диапазон частотного регулирования гидрораспределителей с электромагнитным управлением при реализации возмущений в диапазоне от 0,003 до 0,006 м, характерных для виброизоляторов кабин колесных тракторов семейства «Кировец» [23] – он составил величины от 0,345 до 3,546 Гц.

Заключение

1. Разработан стенд для испытаний виброизоляторов кабины трактора с использованием гидронагружателей, обеспечивающий возможность одновременного воспроизведения на испытуемом виброisolаторе нагрузок эксплуатационного характера от вертикальных, продольно- и поперечно-угловых колебаний кабины (патент на полезную модель № RU 218642).

2. Предложена методика расчета характеристик гидронагружателей стенда, учитывающая возможные механические потери в гидроцилиндрах, объемные потери в насосах, потери давления рабочей жидкости в гидрелиниях, гидрораспределителях и т. д.

3. Определены и представлены графически возможные частотный и амплитудный диапазоны вертикального силового воздействия во время испытаний на виброisolатор АКСС-400М.

4. Определен возможный диапазон частотного регулирования гидрораспределителей с электромагнитным управлением для реализации возмущений, характерных для эксплуатации виброisolатора АКСС-400М, он составил от 0,345 до 3,546 Гц при реализации возмущений с амплитудами в диапазоне от 0,003 до 0,006 м.

5. Предложенная методика определения нагружающих характеристик стенда и полученные при ее использовании результаты расчетов исследований могут быть использованы в дальнейшем при проектировании стендов с гидравлическими исполнительными механизмами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Модель подвески кабины трактора / А. В. Победин, О. Д. Косов, В. В. Шеховцов, К. В. Шеховцов // Прогресс транспортных средств и систем – 2009: матер. междунар. н.-пр. конф., Волгоград, 13–15 окт. 2009 г.: в 2 ч. Ч. 1 / ВолгГТУ [и др.]. – Волгоград, 2009. – С. 222–223.
2. Разработка модели и расчетные исследования подвески кабины транспортного средства / В. В. Шеховцов, А. В. Победин, М. В. Ляшенко, К. В. Шеховцов // Проектирование колесных машин: матер. всерос. науч.-техн. конф., посвящ. 100-летию начала подгот. инж. по автомобильной специальности в МГТУ им. Н. Э. Баумана (25–26 дек. 2009 г.) / ГОУ ВПО «МГТУ им. Н. Э. Баумана». – М., 2010. – С. 184–188.
3. Победин, А. В. Расчетные исследования для совершенствования подвески кабины автомобиля / А. В. Победин, В. В. Шеховцов, К. В. Шеховцов // Какой автомобиль нужен России?: матер. 69-й междунар. науч. техн. конф. Ассоциации автомобильных инженеров (ААИ) / ГОУ ВПО «Сибирская гос. автомоб.-дор. академия (СибАДИ)» [и др.]. – Омск, 2010. – С. 112–117.
4. Стендовое оборудование для испытаний виброизоляторов кабины трактора / З. А. Годжаев, А. В. Победин, М. В. Ляшенко, К. В. Шеховцов // Тракторы и сельхозмашины. – 2012. – № 3. – С. 43–48.
5. Победин, А. В. Испытания виброизоляторов на стенде / А. В. Победин, К. В. Шеховцов // Известия ВолгГТУ: междуз. сб. науч. ст. № 12 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2011. – (Серия «Наземные транспортные системы»; вып. 4). – С. 41–43.
6. Шеховцов, К. В. Испытания виброизоляторов кабины трактора [Электронный ресурс] / К. В. Шеховцов // Инженерный вестник Дона: электронный журнал. – 2012. – № 1. – С. – Режим доступа: URL: <http://ivdon.ru/magazine/latest/n1y2012/639/>.
7. Ляшенко, М. В. Лабораторная установка для испытаний виброизоляторов / М. В. Ляшенко, А. В. Победин, К. В. Шеховцов // Вестник Академии военных наук. – 2011. – № 2 (спецвыпуск). – С. 270–274.
8. Шеховцов, В. В. Экспериментальное определение характеристик виброизоляторов кабины трактора / В. В. Шеховцов, М. В. Ляшенко, В. П. Шевчук, Н. С. Соколов-Добрев, К. В. Шеховцов // Международный научно-исследовательский журнал = Research Journal of International Studies. – 2013. – № 7-2. – С. 118–122.
9. Шеховцов, В. В. Стендовое оборудование для испытаний виброизоляторов кабины трактора / В. В. Шеховцов, М. В. Ляшенко, В. П. Шевчук, Н. С. Соколов-Добрев, К. В. Шеховцов // Международный научно-исследовательский журнал = Research Journal of International Studies. – 2013. – № 7-2. – С. 135–138.
10. Стенд для испытаний виброизоляторов [Электронный ресурс] / К. В. Шеховцов, А. В. Победин, М. В. Ляшенко, В. В. Шеховцов // Автомобиле- и тракторостроение в России: приоритеты развития и подготовка кадров: матер. междунар. науч.-техн. конф. Ассоциации автомоб. инж. (ААИ), посвящ. 145-летию МГТУ «МАМИ» / Моск. гос. техн. ун-т «МАМИ». – М., 2010. – Кн. 1 (Секция 1). – С. 336–341. – Режим доступа: URL: www.mami.ru/science/mami145/scienti-fic/S_01.htm.
11. Шеховцов, К. В. Vibration Isolators's Laboratory Testing Plant / К. В. Шеховцов, А. В. Победин, О. Д. Косов // 30th Anniversary Seminar of the Students' Association for Mechanical Engineering (11-13.05.2011, Warsaw, Poland): book of Abstracts / Military University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering. – Warsaw, 2011. – S. 66–67. – Англ.
12. П. м. 104714 РФ, МПК G 01 М 7/02. Стенд для испытаний виброизоляторов / В. В. Шеховцов, А. В. Победин, Вл. П. Шевчук, М. В. Ляшенко, К. В. Шеховцов, Д. В. Бусалаев; ГОУ ВПО «Волгогр. гос. техн. ун-т». – 2011.
13. П. м. 118056 РФ, МПК G 01 М 7/02. Стенд для испытаний виброизоляторов в режиме вынужденных и собственных колебаний / К. В. Шеховцов, А. В. Победин, Вл. П. Шевчук, М. В. Ляшенко; ГОУ ВПО «Волгогр. гос. техн. ун-т». – 2012.
14. П. м. 112416 РФ, МПК G 01 М 7/02. Стенд для испытаний виброизоляторов в режиме вынужденных колебаний / К. В. Шеховцов, А. В. Победин, Вл. П. Шевчук, М. В. Ляшенко, Д. В. Бусалаев; ГОУ ВПО «Волгогр. гос. техн. ун-т». – 2012.

15. Пат. м. 112417 РФ, МПК G 01 M 7/02. Стенд для испытаний виброизоляторов в режиме вынужденных колебаний / К. В. Шеховцов, А. В. Победин, Вл. П. Шевчук, М. В. Ляшенко, Д. В. Бусалаев; ГОУ ВПО «Волгогр. гос. техн. ун-т». – 2012.

16. Пат. м. 112415 РФ, МПК G 01 M 7/02. Стенд для испытаний виброизоляторов при действии нагрузок с осевой и боковой составляющими / К. В. Шеховцов, А. В. Победин, Вл. П. Шевчук, М. В. Ляшенко, Д. В. Бусалаев; ГОУ ВПО «Волгогр. гос. техн. ун-т». – 2012.

17. Пат. 218642 Российская Федерация, МПК G01M 7/06 Стенд для испытаний виброизоляторов кабины транспортного средства / В. В. Шеховцов, М. С. Яркина, А. И. Искалиев, П. В. Потапов, А. В. Евсеева, А. А. Долотов, А. Ю. Лавренюк, Е. В. Клементьев; ФГБОУ ВО ВолгГТУ. – 2023.

18. Пат. 2794304 Российская Федерация, МПК G01M 13/02. Стенд с гидрозамкнутым силовым контуром для испытания трансмиссий тягово-транспортных средств / В. В. Шеховцов, М. В. Ляшенко, П. В. Потапов, В. К. Мерляк, Шиян Я. Э. Энрикес; ФГБОУ ВО ВолгГТУ. – 2023.

19. Пат. 2794421 Российская Федерация, МПК G01M 13/02. Стенд с гидрозамкнутым силовым контуром для

испытания трансмиссий тягово-транспортных средств / В. В. Шеховцов, М. В. Ляшенко, П. В. Потапов, В. К. Мерляк, Шиян Я. Э. Энрикес; ФГБОУ ВО ВолгГТУ. – 2023.

20. Яркина, М. С. Разработка и исследование конструкции стенда для испытаний виброизоляторов кабины трактора / М. С. Яркина // Конкурс научно-исследовательских работ студентов Волгоградского государственного технического университета (г. Волгоград, 24–28 апреля 2023 г.): тез. докл. / редкол. : С. В. Кузьмин (отв. ред.) [и др.]; ВолгГТУ, Отдел координации научных исследований молодых ученых УНИИ, Общество молодых ученых. – Волгоград, 2023. – С. 113–114.

21. Попова, О. И. Расчет объемного гидропривода: учеб. пособие / О. И. Попова, М. И. Попова, С. Л. Новокшенов ; ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет». – Воронеж, 2019. – 87 с.

22. Все для гидравлики. Технические характеристики насосов НШ [Электронный ресурс]. – 2023. – Режим доступа : https://gik43.ru/katalog/harakteristiki_nasosov_nsh.

23. Кузьмин, В. А. Обоснование параметров системы подпрессоривания колесного сельскохозяйственного трактора класса 4: дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01, 05.02.13: защищена 25.12.18 / В. А. Кузьмин. – Москва, 2018. – 166 с.