

УДК 629.3.018; 629.3.027.3

DOI: 10.35211/2500-0586-2025-4-53-86-90

А. В. Поздеев, К. В. Чернышов, В. В. Новиков, А. М. Ковалев

СТЕНДОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ПОДВЕСКИ С ИНЕРЦИОННО-ФРИКЦИОННЫМ И ГИДРАВЛИЧЕСКИМ АМОРТИЗАТОРАМИ

Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Россия

pozdeev.vstu@gmail.com, chernykv@rambler.ru, nvv_60@mail.ru, ak-553@yandex.ru

Автор, ответственный за переписку: Алексей Владимирович Поздеев, pozdeev.vstu@gmail.com

Представлены результаты стендовых испытаний подвески с инерционно-фрикционным (ИФА) и гидравлическим амортизаторами (ГА). ИФА представляет собой маховичный поглотитель колебаний с планетарным редуктором-мультипликатором, на входном валу которого установлена фрикционная муфта и поворотный рычаг, а на выходном валу – маховик в виде диска. ИФА устанавливается на поддрессоренной массе, с помощью тяги его поворотный рычаг соединяется с неподдрессоренной массой. Стендовые испытания проведены на универсальном кинематическом стенде кафедры «Автоматические установки» ВолгГТУ с пневматической подвеской при отдельной и совместной работе ИФА и ГА с различными значениями поддрессо-

© Поздеев А. В., Чернышов К. В., Новиков В. В., Ковалев А. М., 2025.

ренной массы, амплитуды кинематического возмущения, массы маховика и силе трения в фрикционной муфте. По результатам стендовых испытаний построены зависимости максимальных размахов абсолютных колебаний поддрессоренной массы от частоты возмущения.

Ключевые слова: автомобильная подвеска, виброзащитные свойства, гидравлический амортизатор, инерционно-фрикционный амортизатор, стендовые испытания

A. V. Pozdeev, K. V. Chernyshov, V. V. Novikov, A. M. Kovalev

BENCH TESTING OF CAR SUSPENSION WITH INERTIAL-FRICTION AND HYDRAULIC SHOCK ABSORBERS

Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia

The results of bench tests of suspension with inertial-friction (IFA) and hydraulic shock absorbers (HA) are presented. The IFA is a flywheel absorber with a planetary gearbox-multiplier, which has a friction clutch and a rotary lever on the input shaft, and a flywheel in the form of a disc on the output shaft. The IFA is installed on the sprung mass, and its rotary lever is connected to the unsprung mass using a linkage. Bench tests were conducted on a universal kinematic bench of the Department of Automatic Installations at VolgSTU with a pneumatic suspension during separate and combined operation of the IFA and GA with different values of the sprung mass, amplitude of the kinematic disturbance, flywheel mass, and friction force in the friction clutch. Based on the results of bench tests, the maximum amplitudes of absolute oscillations of the sprung mass were plotted as a function of the disturbance frequency.

Keywords: car suspension, vibration protection properties, hydraulic shock absorber, inertial-friction shock absorber, bench tests

Введение

Одним из перспективных направлений повышения виброзащитных свойств систем поддрессирования автотранспортных средств (АТС) является применение инерционных амортизаторов, выполняющих функции динамических гасителей и поглотителей колебаний. Отечественными и зарубежными исследователями предлагаются различные конструкции систем виброзащиты, включающих динамические гасители [1–4]. Идея использования инерционно-фрикционных амортизаторов с маховиками (ИФА) впервые была предложена профессорами И. М. Рябовым и В. В. Новиковым в Волгоградском государственном техническом университете. В последующих работах [5–10] было неоднократно доказано, что различные конструкции ИФА с реечной передачей (по патенту РФ на изобретение № 2142585), реечной и цилиндрической передачами (по патенту РФ на изобретение № 2313014), шариковой винтовой передачей (по патентам РФ на изобретения № 2142586, 2726324 и на полезные модели № 195304, 195309), червячной передачей [9], планетарным редуктором-мультипликатором (по патентам РФ на изобретение № 2486385 и на полезные модели № 188666, 189476, 189482) обеспечивают эффективное уменьшение низкочастотных колебаний поддрессоренной массы.

Как показали исследования, при наличии амортизатора в подвеске ИФА создает силы в зонах неэффективной работы ГА, направленные против увеличивающей амплитуду колебаний поддрессоренной массы силы ГА, а в зонах эффективной работы увеличивает общее сопро-

тивление, идущее на гашение колебаний. Поэтому в настоящее время наибольший научный интерес представляет исследование совместного действия гидравлического и инерционно-фрикционного амортизаторов.

Особенности и результаты стендовых испытаний

Экспериментальное исследование виброзащитных свойств подвески с инерционно-фрикционным и гидравлическим амортизаторами проводилось на одноопорном стенде для испытания пневматических шин и упругих элементов транспортных средств кафедры «Автоматические установки» [11]. В качестве упругого элемента использовалась пневматическая рессора автобуса «Волжанин» с резинокордной оболочкой (РКО) рукавного типа, а в качестве демпфирующих элементов – гидравлический амортизатор «HOLA S461» автомобиля «ГАЗель» и экспериментальный ИФА с планетарным редуктором-мультипликатором, разработанный по патенту РФ № 2486385 (рис. 1).

Стендовые испытания проводились при следующих исходных данных: поддрессоренная масса $M = 1000$ и 700 кг; объем рабочей полости (полости РКО) пневматической рессоры $V_p = 11$ л; двойная амплитуда кинематического возмущения (размах) $2q_0 = 18, 21$ и 26 мм; жесткость пружины, имитирующей шину, $c_{ш} = 300000$ Н/м (все витки работают), при отключении витков пружины жесткость повышается; неподдрессоренная масса $m = 135$ кг; сила сухого трения в подвеске $T = 3,0–5,0$ % от поддрессоренного веса ($G = Mg$); масса маховика $M_{max} = 5$ и $1,5$ кг; сила на рычаге гасителя в мо-

мент буксования фрикционной муфты ИФА $F_{\text{тр}} = 2000, 1500, 1250, 1100, 750$ и 500 Н.

На рис. 2 показаны экспериментальные амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) раз-

махов абсолютных колебаний поддрессоренной массы $M = 1,0$ т в двухмассовой одноопорной колебательной системе с пневматической рессорой и различными амортизаторами.

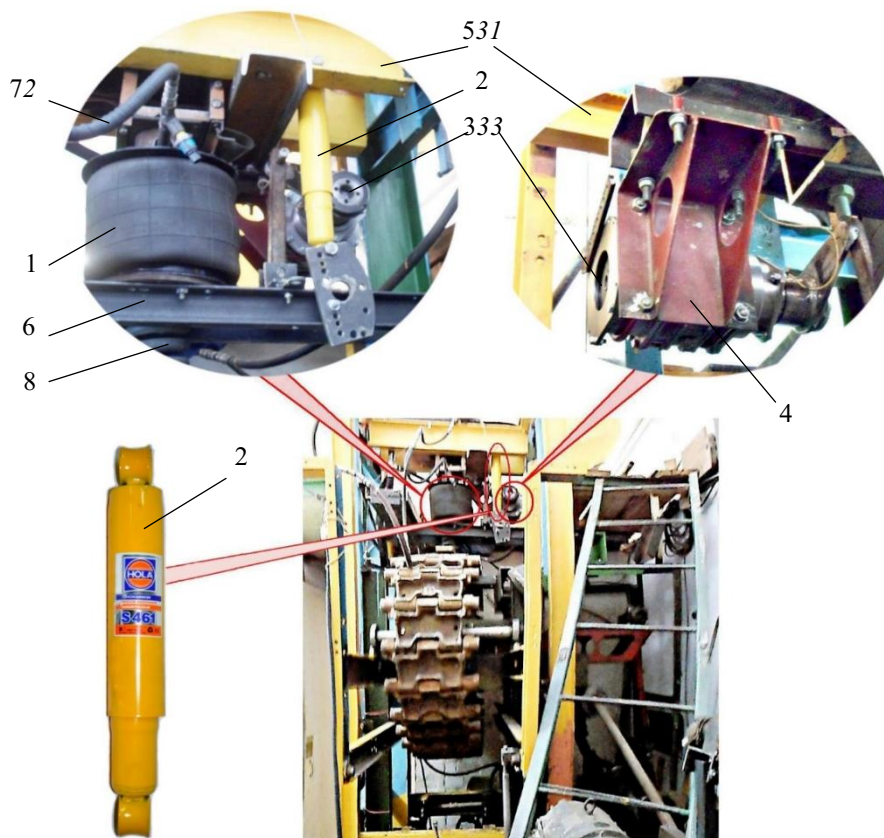


Рис. 1. Общий вид экспериментальной подвески на универсальном стенде кафедры «Автоматические установки» ВолгГТУ:

1 – пневморессора; 2 – ГА; 3 – ИФАП; 4 – кронштейн крепления ИФАП к поддрессоренной массе; 5 – поддрессоренная масса; 6 – неподдрессоренная масса; 7 – пневматическая магистраль от воздушного компрессора к пневматической рессоре; 8 – пружина, имитирующая шину

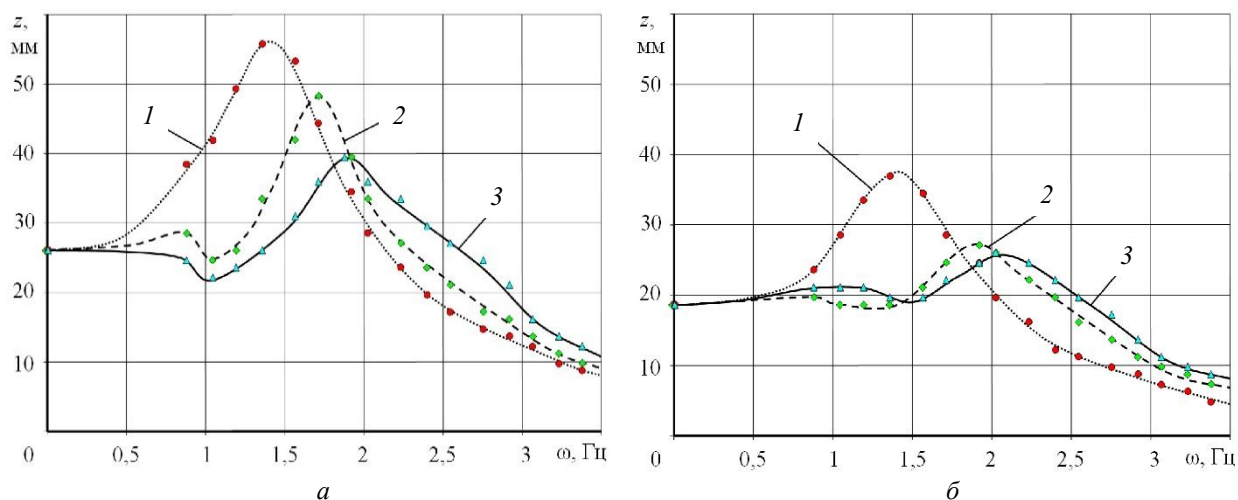


Рис. 2. Экспериментальные АЧХ размахов абсолютных колебаний поддрессоренной массы $M = 1$ т при $2q_0 = 26$ мм (а) и $2q_0 = 18$ мм (б) на пневмоподвеске с различными амортизаторами: 1 – ГА; 2 – ИФА ($M_{\text{max}} = 5$ кг, $F_{\text{тр}} = 2,0$ кН); 3 – совместная установка ГА и ИФА ($M_{\text{max}} = 5$ кг, $F_{\text{тр}} = 2,0$ кН)

Как видно из графиков на рис. 2, а и б, совместная установка ГА и ИФА обеспечивает наиболее высокие виброзащитные свойства подвески с коэффициентом динамичности $K_d = 1,54$ и $1,44$ соответственно для кинематического возмущения $2q_0 = 26$ и 18 мм. При этом увеличивается собственная частота колебаний поддрессоренной массы с $1,3$ – $1,4$ Гц (для гидравлического амортизатора) до $1,9$ – $2,1$ Гц соответственно, что обусловлено фрикционной парой сухого трения в муфте ИФА.

Также были получены экспериментальные АЧХ размахов абсолютных колебаний поддрессоренной массы $M = 0,7$ т в одноопорной колебательной системе (пружина, имитирующая шину, жестко зажимается на стенде) с пневматической рессорой и различными амортизаторами при тех размахах кинематического возмущения. Уменьшение поддрессоренной массы потребовало уменьшения массы маховика ($M_{\max} = 1,5$ кг) и ослабление момента буксования фрикционной муфты ИФА ($F_{\text{тр}} = 1,5$ кН).

В одномассовой колебательной системе с ГА и ИФА коэффициент динамичности принимает значения в диапазоне $K_d = 1,27$ – $1,31$, что существенно ниже, чем у подвески с ГА ($K_d = 1,6$ – $1,7$).

Отдельное использование в подвеске ИФА с ослабленным в редукторе сухим трением без ГА приводит к резкому увеличению низкочастотных колебаний поддрессоренной массы с коэффициентом динамичности $K_d = 2,9$, что характерно для серийной подвески с ГА.

Поэтапное увеличение рабочих витков пружины, имитирующей пневматическую шину автомобиля, приводит к незначительному усилению колебаний во всем рассматриваемом частотном диапазоне.

Получены АЧХ размахов абсолютных колебаний поддрессоренной массы $M = 0,7$ т при $M_{\max} = 1,5$ кг, $2q_0 = 26$ и 18 мм и различной силе сухого трения в муфте ИФА ($F_{\text{тр}} = 0,5$ кН; $F_{\text{тр}} = 0,75$ кН; $F_{\text{тр}} = 1,25$ кН).

Выявлено, что наименьшие колебания поддрессоренной массы в рассматриваемом диапазоне частот обеспечивает оптимальное приведенное к оси колебаний сухое трение в муфте ИФА, равное $0,75$ кН. При этом коэффициент динамичности в случае совместной установки ГА и ИФА достигает величины $K_d = 1,27$, что значительно ниже, чем при классической подвеске с ГА и $K_d = 1,7$.

На рис. 3 приведены экспериментальные зависимости максимальных размахов абсолютных колебаний поддрессоренной массы $M = 0,7$ т от двойной амплитуды кинематического возмущения $2q_0$ на пневмоподвеске с различными амортизаторами, полученные при резонансной частоте возмущения.

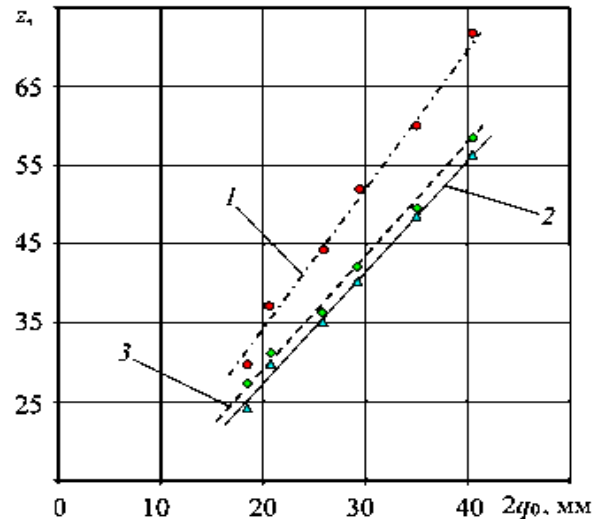


Рис. 3. Экспериментальные зависимости максимальных размахов абсолютных колебаний поддрессоренной массы $M = 0,7$ т от двойной амплитуды кинематического возмущения $2q_0$ на пневмоподвеске:
1 – ГА; 2, 3 – совместная установка ГА и ИФА; 1 – $\nu = 1,71$ Гц;
2 – $M_{\max} = 1,5$ кг, $F_{\text{тр}} = 0,75$ кН, $\nu = 2,05$ Гц; 3 – $M_{\max} = 1,5$ кг, $F_{\text{тр}} = 1,2$ кН, $\nu = 2,05$ Гц; 1, 2, 3 – работает один виток пружины, имитирующей шину

Из рис. 3 видно, что максимальные размахи абсолютных колебаний поддрессоренной массы изменяются пропорционально двойной амплитуде кинематического возмущения $2q_0$, причем наименьшие размахи соответствуют оптимальной настройке ИФА.

Выводы:

- наилучший эффект гашения колебаний поддрессоренной массы достигается только при совместной работе гидравлического и инерционно-фрикционного амортизаторов (коэффициент динамичности $K_d = 1,2$ – $1,3$);

- инерционно-фрикционный амортизатор с маховиком массой $1,5$ кг обеспечивает более высокие виброзащитные свойства подвески, чем с маховиком массой 5 кг;

- выявлено оптимальное приведенное к оси колебаний трение в муфте инерционно-фрикционного амортизатора, равное $0,75$ кН;

- стендовые испытания автомобиля «ГАЗель» подтвердили эффективность совместного применения инерционно-фрикционного и гид-

равлического амортизаторов, обеспечивающих эффективное снижение ускорений в низкочастотной и высокочастотной зонах кинематического воздействия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Smith, M. C.* (2002). «Synthesis of mechanical networks: The inerter». *IEEE Transactions on Automatic Control*. 47 (10): 1648–1662. doi:10.1109/TAC.2002.803532
2. *Балабин, И. В.* Инертер как элемент эффективной защиты подвески автомобиля от высокочастотных динамических нагрузок / И. В. Балабин, Д. А. Плетин, И. С. Чабунин // *Журнал автомобильных инженеров*. – 2016. – № 2(97). – С. 26–31.
3. *Ree, F. E.* The use of centrifugal pendulum absorber for the reduction of linear vibration. *J. Appl. Mech.* – 1949. – V. 16, № 2. – P. 190–194.
4. *Xu, T.* Design and analysis of a shock absorber with variable moment of inertia for passive vehicle suspensions / T. Xu, M. Liang // *Journal of Sound and Vibration*. – 2015. – Vol. 355. – P. 66–85.
5. *Новиков, В. В.* Исследование инерционно-фрикционного амортизатора «СКАРН» / В. В. Новиков, И. М. Рябов, К. В. Чернышов, Д. В. Быкадоров, В. В. Воробьев, А. В. Галов // *Прогресс транспортных средств и систем: материалы междунар. науч.-практ. конф.* (7–10 сентября 1999 г.) / ВолгГТУ [и др.]. – Волгоград, 1999. – Ч. II. – С. 160–161.
6. *Новиков, В. В.* Амортизаторы с рекуперацией энергии в цикле колебаний / В. В. Новиков, И. М. Рябов, К. В. Чернышов, В. В. Воробьев, А. В. Галов // *Справочник. Инженерный журнал*. – М.: Машиностроение, 2001. – № 7. – С. 31–34.
7. *Новиков, В. В.* Расчет инерционно-фрикционных амортизаторов подвесок / В. В. Новиков // *Грузовик &*. – М.: Машиностроение, 2005. – № 3. – С. 22–23.
8. *Рябов, И. М.* Инерционные амортизаторы со сдвигающим элементом для подвесок АТС / И. М. Рябов, В. В. Новиков, В. В. Воробьев, С. В. Данилов, О. В. Смолянов // *Грузовик &*. – М.: Машиностроение, 2005. – № 4. – С. 9–10.
9. *Рябов, И. М.* Типы конструкций инерционно-фрикционных амортизаторов, их моделирование и испытания / И. М. Рябов, В. В. Новиков, А. В. Поздеев, К. В. Чернышов, А. С. Митрошенко // *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. – 2013. – № 4. – С. 23–26.
10. *Рябов, И. М.* Экспериментальные исследования инерционно-фрикционных демпферов в системах подвешивания транспортных средств (Ч. 1) / И. М. Рябов, К. В. Чернышов, С. В. Елисеев, Р. Ю. Упырь // *Вестник Иркутского гос. техн. ун-та*. – 2010. – Т. 42, № 2. – С. 146–154.
11. *Новиков, В. В.* Универсальный стенд для испытания подвесок и колес автотранспортных средств / В. В. Новиков, И. М. Рябов, В. И. Колмаков, К. В. Чернышов // *Сборка в машиностроении, приборостроении*. – 2008. – № 3. – С. 45–50.