

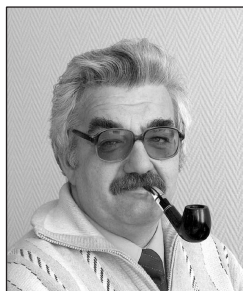
СИСТЕМЫ ДЕМПФИРОВАНИЯ БОЛЬШЕГРУЗНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ЖИДКОСТЕЙ



Е.В. Коробко,
зав. лабораторией
реофизики и
макрокинетики
Института тепло-
и массообмена
им. А.В. Лыкова НАН
Беларуси,
д-р техн. наук,
профессор



В.А. Билык,
научный сотрудник
лаборатории
реофизики и
макрокинетики
Института тепло-
и массообмена
им. А.В. Лыкова НАН
Беларуси



А.Е. Биншток,
ведущий конструктор
КБ «Подвеска»
Минского завода
колесных тягачей



В.А. Кузьмин,
старший научный
сотрудник лаборатории
реофизики и
макрокинетики
Института тепло-
и массообмена
им. А.В. Лыкова
НАН Беларуси,
канд. техн. наук

Введение

Перспектива развития новых технологий связана с разработкой и внедрением принципиально новых подходов, сочетающих эффективные способы воздействия и управления с уникальными возможностями интеллектуальных материалов [1], к которым относятся электро- и магниточувствительные жидкости (ЭРЖ и МРЖ). Такие интеллектуальные жидкости допускают возможность их использования в демпфирующих системах с автоматическим плавным или дискретным программным управлением и регулированием сопротивления при внешних воздействиях.

В процессе эксплуатации транспортные средства (ТС), особенно высоконагруженные, имеющие на борту специальное оборудование и устройства, подвергаются механическим воздействиям (вибрации, удары, линейные ускорения) в различных направлениях. В условиях

эксплуатации упругие и демпфирующие характеристики систем пассивного поддрессирования ТС остаются неизменными и подбор оптимальных параметров для различных условий нагрузок до сих пор не представлялся возможным [2–5]. Для большегрузных ТС с низкой собственной частотой колебаний (1–5 Гц) пассивное поддрессирование не позволяет получить высокие декременты затухания за требуемое время 1–2 с.

Улучшить характеристики демпфирования позволяют виброзащитные системы активного поддрессирования (ВСУАП), которые требуют внешнего источника энергии для исполнительного устройства и системы управления [6].

Многофакторность анализа различных воздействий на ТС усложняет возможность создания сложных систем поддрессирования [7, 8], в то же время ВСУАП позволяют решить проблему создания устройства по гашению случайных и периодических воздействий различного характера.

Использование разработанных рецептур интеллектуальных жидкостей в Институте тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси в демпферах вязкого трения показало свою эффективность и перспективность применения в виброзащитных системах управления активно-поддрессоривания. Ряд преимуществ (широкий диапазон изменения демпфирующей способности, возможность одновременного демпфирования одним таким устройством колебаний в нескольких направлениях, возможность создания активной виброизоляции, простота конструкции) таких электрореологических и магнито-реологических демпферов (ЭРД и МРД) делает предпочтительным применение именно их для многих ТС. Один из образцов ЭРД дроссельного типа с интеллектуальными жидкостями был апробирован на Минском заводе колесных тягачей.

С учетом исследованных реологических свойств интеллектуальных жидкостей (ЭРЖ и МРЖ) необходимо экспериментально изучить расходно-напорные характеристики демпфера и демпфирующие характеристики виброзащитной системы.

Экспериментальные исследования

Для исследования напорно-расходных характеристик был взят ЭРД, который представляет собой телескопический демпфер с двумя кольцевыми зазорами.

Испытания проводились при различных амплитудно-частотных режимах работы изме-

рительного стенда: диапазон амплитуд — $\pm 5, 10, 20, 30, 40$ мм; диапазон частот — $0,05\text{--}3$ Гц. Управляющий сигнал в виде электрического поля подавался на электроды, образующие кольцевые зазоры, в диапазоне напряженности электрического поля $0\text{--}3$ кВ/мм. Были произведены измерения значений усилия на штоке цилиндра, перемещения штока, перепада давлений в дроссельных зазорах. По замеренным значениям вычислялись напряжение и скорость сдвига ЭРЖ в дроссельных каналах. Кроме того оценивалась диссипация энергии в демпфирующем устройстве.

На рис. 1 представлены расходно-напорные характеристики дроссельной щели ЭРД.

Из рис. 1 видно, что с увеличением напряженности электрического поля изменяется начальный перепад давления ΔP_0 , который в отсутствие электрического поля практически не регистрируется, при этом растет нелинейность кривых. Испытания ЭРД подтвердили принципиальную возможность практической реализации управления расходно-напорными характеристиками таких конструкций.

Как показали результаты экспериментальных исследований, декременты затухания макета колебательной системы изменяются в 5 раз, удерживаемые усилия на штоке ЭРД достигают $4,5$ кН при напряженности электрического поля $2,5$ кВ, что в 4 раза больше по сравнению со значениями при отсутствии внешнего электрического воздействия.

Таким образом, экспериментальные исследования показывают, что управляемость интеллектуальных жидкостей может быть использована применительно к задачам автомобильного транспорта для гашения вибраций, например, кабин большегрузных автомобилей, а также подвесок двигателей и сидений водителей. На автомобилях также могут использоваться небольшие пускатели двигателей, позиционирующие устройства для дверей, оптические переключатели и датчики перемещения, содержащие «умные» компоненты. Применение амортизаторов с электрочувствительной рабочей жидкостью позволяет изменять их сопротивление в зависимости не только от скорости деформации, но и от ее величины, уровня вибраций, а также от различных сочетаний указанных факторов [9]. При этом регулирование сопротивления можно производить с высокой частотой (до 100 Гц),

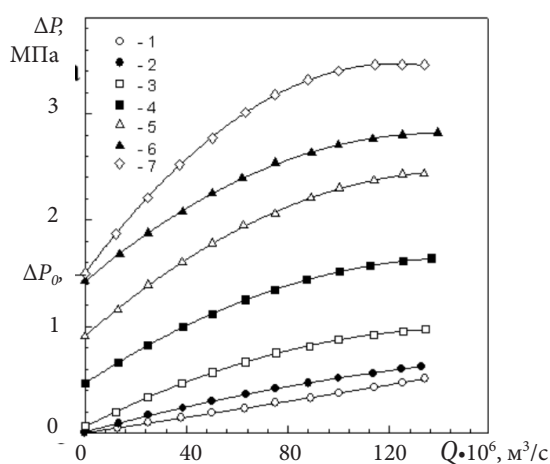


Рис. 1. Расходно-напорные характеристики дроссельной щели ЭРД
1) 0 кВ/мм; 2) $0,5$ кВ/мм; 3) $1,0$ кВ/мм; 4) $1,5$ кВ/мм;
5) $2,0$ кВ/мм; 6) $2,5$ кВ/мм; 7) $3,0$ кВ/мм

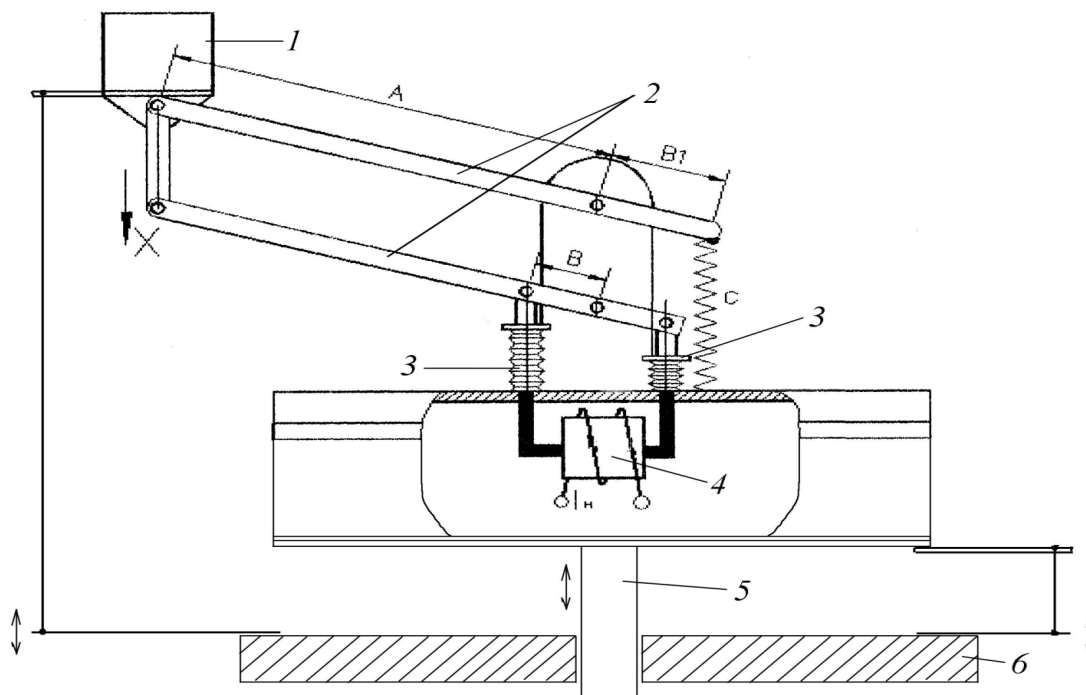


Рис. 2. Схема макета кресла водителя: 1) груз массой 60 кг; 2) рычаг, соединяющий макет кресла с креплением основания; 3) сильфон; 4) демпфер с интеллектуальной жидкостью; 5) шток с направляющей виброиспытательного стенда; 6) основание стенда

что позволит изменять сопротивление несколько раз в течение одного цикла колебаний.

Управление демпфирующими характеристиками интеллектуальной жидкости было экспериментально исследовано на виброзащитной системе в виде макета кресла водителя (рис. 2).

Для двух типов интеллектуальных жидкостей — ЭРЖ и МРЖ — были разработаны управляемые ЭРД и МРД соответственно.

Были проведены испытания интеллектуальной жидкости в виброзащитной системе с ЭРД или МРД, в ходе которых измерялись: перемещения макета кресла с управляемым демпфе-

ром во времени при различных электрических полях; частотах и фиксированной амплитуде (5 мм) колебаний основания стенда; отклик колебательной системы на внешнее электрическое или магнитное воздействие при изменении амплитуды входного сигнала.

Схема МРД приведена на рис. 3.

Схема ЭРД приведена на рис. 4.

В ходе испытаний был использован гармонический закон перемещения основания виброиспытательного стенда с максимальной амплитудой 5 мм и исследованы собственные и вынужденные колебания при различных режи-

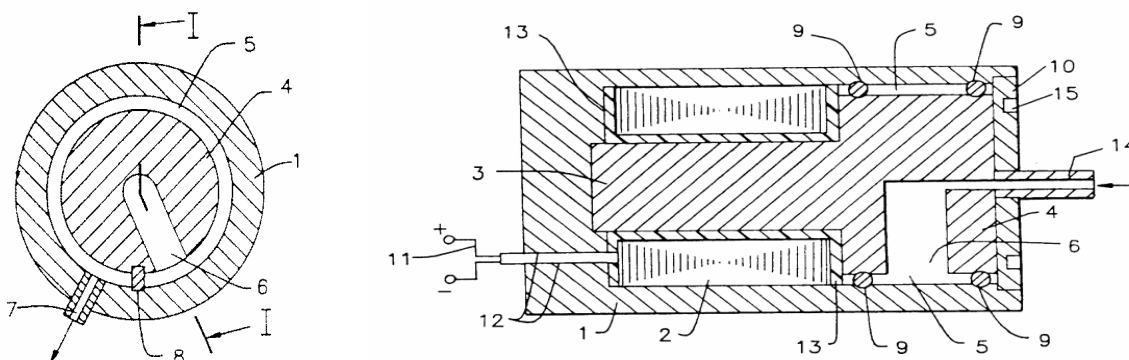


Рис. 3. Схема МРД для макета кресла водителя: 1) корпус демпфера; 2) катушка с сердечником; 3) сердечник; 4) дополнительная часть сердечника; 5) гидравлическая линия; 6) впускной канал; 7) выходное отверстие; 8) немагнитная перегородка; 9) уплотнение (изоляция); 10) немагнитное покрытие; 11) источник питания; 12) электрические провода; 13) немагнитное диэлектрическое тело катушки; 14) входное отверстие трубы; 15) специальное углубление крышки

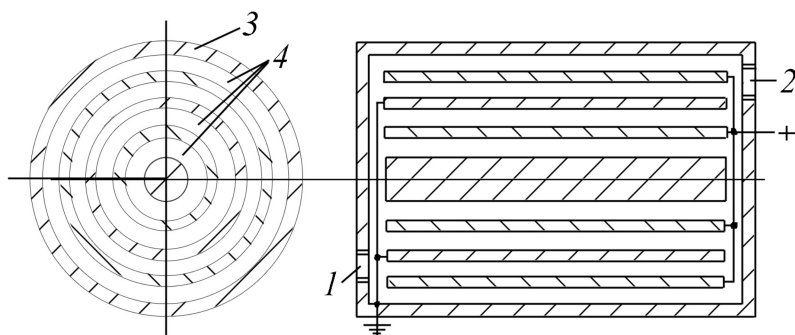


Рис. 4. Схема ЭРД для макета кресла водителя: 1) входное отверстие для ЭРЖ; 2) выходное отверстие для жидкости; 3) корпус ЭРД; 4) кольцевые зазоры

мах вибронагрузки и величин электрического управляющего сигнала. Частоты изменялись ступенчато в диапазоне 0,36–3,3 Гц. Для ЭРД в качестве управляющего сигнала было использовано электрическое поле в диапазоне 0–2,5 кВ с шагом 0,5 кВ, для МРД — магнитное поле в диапазоне управляющего сигнала 0–0,5 А с шагом 0,1 А. Значения тока 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 и 0,5 А тождественны значениям напряженности электромагнитного поля B соответственно 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 и 0,5 кА/мм.

Результаты и анализ исследований

Получено затухание амплитуды собственных колебаний в виде зависимости $x(t)$ (рис. 5).

Установлено, что начиная со значений управляющего сигнала при токе 0,2 А на катушке дросселя демпфера подрессоренная масса до положения равновесия не доходит, что связано с упругими деформациями сильфонов демпфирующей системы. Аналогичная ситуация наблюдается при увеличении тока на дросселе.

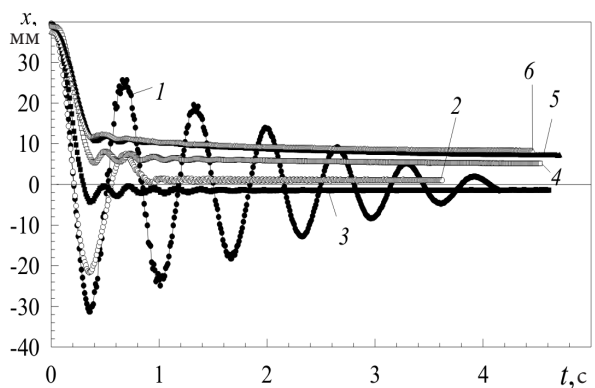


Рис. 5. Диаграмма собственных колебаний макета кресла водителя при использовании МРД: магнитные поля: 1) ток $I = 0$ А; 2) 0,1 А; 3) 0,2 А; 4) 0,3 А; 5) 0,4 А; 6) 0,5 А

С увеличением тока происходит значительное отклонение от положения равновесия и фиксируется меньшее растяжение сильфонов, так как в них создается более высокое давление. В то же время с увеличением тока уменьшается прирост силы сопротивления. Это связано с насыщением вязких свойств интеллектуальной жидкости.

Как видно из рис. 5, собственные колебания макета кресла водителя в демпфирующей системе с МРЖ затухают быстрее при увеличении тока электромагнитного поля в диапазоне 0–0,5 А. Причем, если для собственных колебаний без поля для полного затухания необходимо время, соответствующее ~12 периодам (примерно 8 с), то при поле (ток 0,5 А) полное затухание соответствует ~3 периодам (менее 1,5 с). Таким образом, время затухания собственных колебаний при включении поля больше почти в три с половиной раза времени затухания магнитного поля без магнитного сигнала.

Аналогично для макета кресла в демпфирующей системе с ЭРЖ для собственных колебаний получена диаграмма (рис. 6).

Зависимость логарифмического декремента затухания собственных колебаний макета кресла от магнитного поля представлена на рис. 7. Максимальные значения амплитуд выбирались для двух ее последовательных колебаний и сравнивались с аналогичными в поле.

Как видно из рис. 7, увеличение логарифмического декремента затухания составляет более 5 раз.

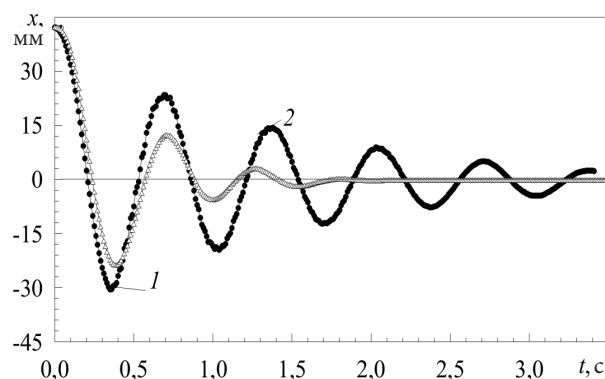


Рис. 6. Диаграмма собственных колебаний макета кресла водителя при использовании ЭРД: электрическое поле 1) $U = 0$ кВ; 2) 2,5 кВ

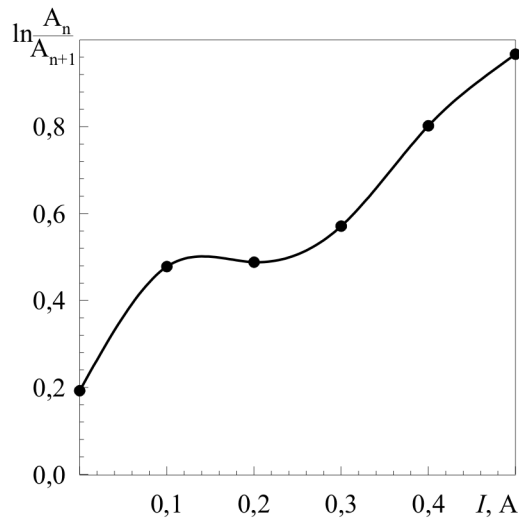


Рис. 7. Зависимость логарифмического декремента затухания от управляющего сигнала МРД

Для ЭРД все режимы колебаний были исследованы в диапазоне частот 0,92–2,2 Гц. Для МРД режимы были исследованы в диапазоне частот 0,36–3,3 Гц. При исследовании вынужденных колебаний входная амплитуда x_0 была постоянной (5 мм), а амплитуда колебаний x макета кресла изменялась в зависимости от частоты и величин электрического или магнитного поля (рис. 8).

Из рис. 8 видно, что время запаздывания t_3 — реакция макета кресла водителя на вынужденные колебания основания при частоте 1,96 Гц — составляет 0,23 с при отключенном электрическом управляющем сигнале.

Для сравнения на рис. 9 приведены зависимости $x(t)$, $x_0(t)$ колебания макета кресла при подаче управляющего сигнала на МРД и ЭРД.

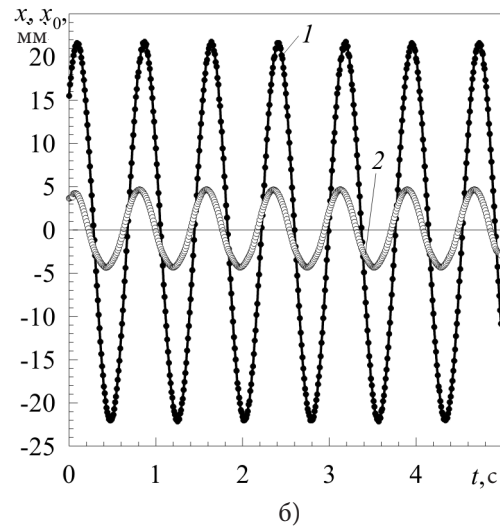
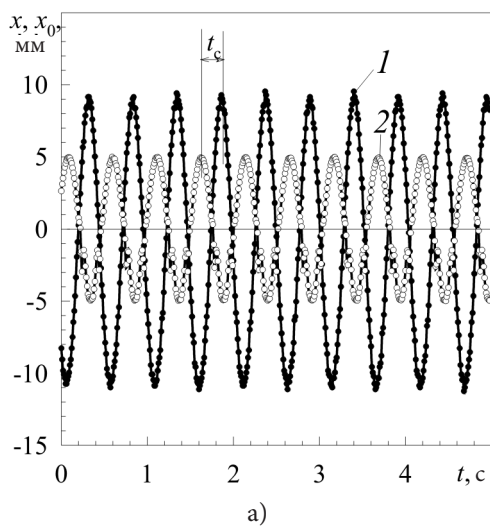


Рис. 8. Перемещение кресла водителя при вынужденных колебаниях без поля при частоте 1,96 Гц для МРД (а) и 1,3 Гц для ЭРД (б): 1) на кресле водителя x ; 2) на основании x_0 .

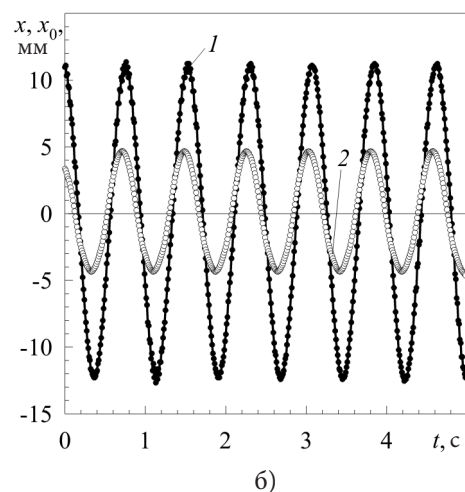
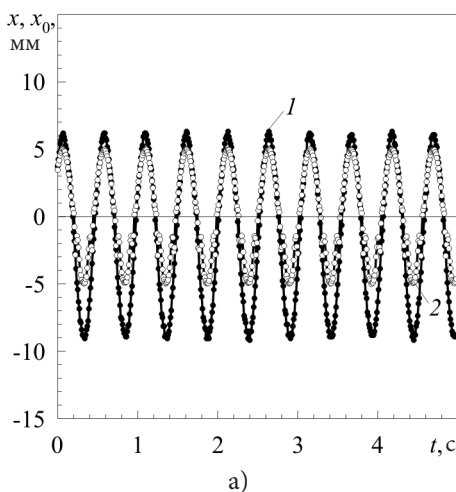


Рис. 9. Перемещение макета кресла водителя при вынужденных колебаниях при частоте 1,96 Гц и включенном управляющем сигнале (ток $I = 0,5$ А) для МРД (а) и при частоте 1,3 Гц и включенном управляющем сигнале (напряжение $U = 2,5$ кВ) для ЭРД (б): 1) на кресле водителя x ; 2) на основании x_0

Как видно из рис. 9, время запаздывания реакции макета сидения водителя на вынужденные колебания макета кресла при включенном управляющем сигнале ($I = 0,5 \text{ A}$) составляет уже менее $0,01 \text{ с}$.

Возможность управления силой сопротивления демпфера наиболее ярко иллюстрируется реакцией виброзащитного устройства при подаче в обмотки дросселя максимального тока $0,5 \text{ A}$ при частоте $1,59$ вынужденных колебаний основания макета сидения водителя (рис. 10). Видно, что амплитуда колебаний снижается в несколько раз.

Анализ экспериментальных исследований показывает, что амплитуда колебаний при включенном и управляющем сигнале по сравнению с его отсутствием изменяется примерно в 5 раз. Время установления амплитуды колебаний в поле $\Delta t_y = t_y - t_b$ после включения управляемого сигнала в момент t_b равен $1,5 \text{ с}$.

По всем полученным экспериментальным данным были построены амплитудно-частотные характеристики системы с МРД (рис. 11).

Таким образом, при частоте 1 Гц вынужденные гармонические колебания кресла полностью гасились управляемым демпфирующим устройством (макет сидения водителя находился на одном и том же уровне) на сидении, при частотах $0,36\text{--}0,8 \text{ Гц}$ и $1,1\text{--}3,3 \text{ Гц}$ — снижались в несколько раз. Амплитуда вынужденных колебаний при применении реологической жидкости в демпфирующем устройстве уменьшалась (до 5 раз) в зависимости от внешнего управляемого сигнала в диапазоне электрического поля $0\text{--}2,5 \text{ кВ}$ для ЭРЖ или электромагнитного поля $0\text{--}0,5 \text{ A}$ для МРЖ.

При резонансных колебаниях поддрессоренной массы при подаче управляющего сигнала амплитуда относительных колебаний снижается примерно в 2–5 раз.

Выводы

Анализ экспериментальных данных показал, что происходит увеличение добротности колебательной системы на 300% и больше, увеличение натурального логарифма декремента затухания — в 5 раз. Анализ полученных характеристик макетной колебательной системы с управляемым амортизатором (амплитуды собственных и вынужденных колебаний, коэффициент логарифмического декремента затухания, амплитуда резонансных колебаний) показывает, что снижение

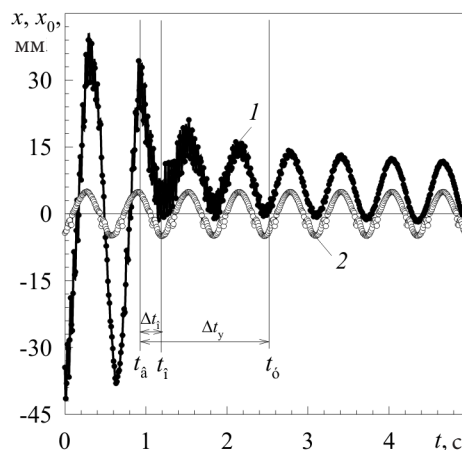


Рис. 10. Перемещение макета кресла при вынужденных колебаниях с частотой $1,59 \text{ Гц}$ без поля и при включенном управляющем сигнале (ток $I = 0,5 \text{ A}$; t_b — включение поля): 1) на кресле водителя; 2) на основании x_0

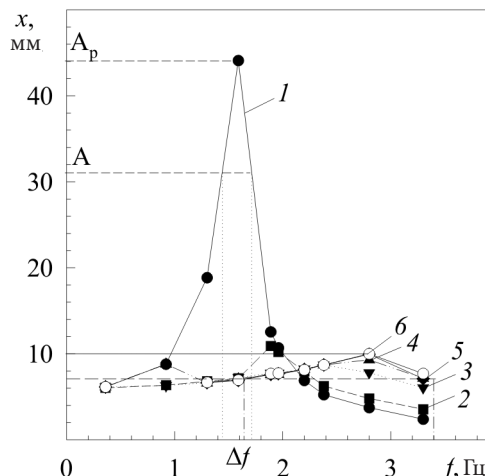


Рис. 11. Амплитудно-частотная характеристика колебаний макета кресла водителя с МРД: 1) ток $I = 0 \text{ A}$; 2) $0,1 \text{ A}$; 3) $0,2 \text{ A}$; 4) $0,3 \text{ A}$; 5) $0,4 \text{ A}$; 6) $0,5 \text{ A}$

амплитуды колебаний на поддрессоренной массе может быть достигнуто как увеличением демпфирования в системе, так и при увеличении частоты резонанса из-за изменения собственной частоты колебаний системы в результате увеличения упругих характеристик электрореологического демпфирующего материала.

Экспериментальные исследования позволяют сделать вывод о том, что с помощью интеллектуальных жидкостей возможно непосредственно управлять гидромеханическими процессами в системе демпфирования, что позволяет снизить вибронрузку на объект ТС.

Таким образом, при использовании ВСУАП существует возможность управления активным подпрессориванием объектов ТС как гражданского, так и военного назначения без больших энергетических затрат, так как потребляемая мощность при токе 10^{-5} А и 5 кВ составляет 0,05 Вт. Реальное применение таких интеллектуальных жидкостей и виброзащитных систем активного подпрессоривания может быть реализовано для подпрессоривания кресла водителя, кабины тягачей, отдельных измерительных и других объектов специального назначения.

Литература:

1. Коробко Е.В. Электроструктурированные (электрореологические) жидкости: особенности гидромеханики и возможности использования. — Мн.: ИТМО АНБ, 1996. — 190 с.
2. Антонов Д.А. Теория устойчивости движения многоосных автомобилей. — М.: Машиностроение, 1978. — 216 с.
3. Ломако Д.М., Сапелкин А.М. Выбор параметров гидропневматической рессоры подвески транспортных машин // Изв. вузов. Машиностроение. — 1982. — № 12. — С. 48.
4. Фурунжиев Р.И. Проектирование оптимальных виброзащитных систем. — Мн.: Вышэйшая школа, 1971. — 320 с.
5. Аксенов П.В. Многоосные автомобили. Теория общих конструктивных решений. — М.: Машиностроение, 1980. — 246 с.
6. Рулев С.В., Самсонов В.Н., Савостьянов А.М., Шмырин Г.К. Управляемые магнитоэлектрические виброизоляторы. — М.: МО, 1988. — 72 с.
7. Рейзина Г.Н. Вибронагруженность систем подпрессоривания многоопорных машин. Монография. — Мн.: ВУЗ-ЮНИТИ, БГПА, 1999. — 104 с.
8. Ротенберг Р.В. Основы надежности системы водитель-автомобиль-дорога-среда. — М.: Машиностроение, 1986. — 216 с.
9. Николаев Ю.И., Биншток А.Е., Ефремов В.Л., Коробко Е.В., Левин М.Л., Билык В.А. Электрореологический демпфер для подпрессоривания элементов АТС // Автомобильная промышленность. — 2005. — № 11. — С. 19–22.