

УДК 629.33

Методы улучшения комфорта магистральных грузовых автомобилей путем внедрения управляемого демпфирования в системы поддрессоривания кабин

Максимов Роман Олегович^{1,2(*)}

romychmaximov@gmail.com

SPIN-код: 7384-6758

¹ ООО «Инновационный центр «КАМАЗ», Москва, Россия² Московский политехнический университет, Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрена проблема борьбы с возникновением резонансных явлений в кабинах магистральных грузовых автомобилей. Представлены результаты исследований колебательных процессов, в том числе в резонансных режимах, в динамической системе кабины на подвеске. Показаны способы снижения амплитуд раскачивания кабин при возникновении резонансов и сформулирована стратегия управления демпфированием. Разработан метод комплексного синтеза требуемых с точки зрения улучшения комфорта нагрузочных характеристик амортизаторных стоек подвески кабины. Синтезирован закон управления демпфированием. Разработан концепт универсального устройства пневматической амортизаторной стойки с системой непрерывного регулирования демпфирования. Достигнуто улучшение комфорта в кабинах до 23 % и обеспечено снижение вибронегативности в вертикальном направлении колебаний в пределах 10 % во всем автомобильном диапазоне частот колебаний и во всем диапазоне скоростей движения грузового автомобиля.

Ключевые слова: транспортное средство, грузовой автомобиль, система поддрессоривания, подвеска кабины, управляемое демпфирование, комфорт

Methods for mainline vehicles comfort improving by introducing controlled damping into cabin suspension systems

Maksimov Roman Olegovich^{1,2(*)}

romychmaximov@gmail.com

SPIN-code: 7384-6758

¹ KAMAZ Innovation Center LLC, Moscow, Russia² Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia

Abstract. The problem of dealing with the resonant phenomena occurrence in the mainline trucks cabins is considered. The results of oscillatory processes research, including in resonant modes, in the cabin on a suspension dynamic system are presented. The methods of the cabins rocking amplitudes reducing in the event of resonances are shown and a damping control strategy is formulated. A method of complex synthesis of the cabin suspension shock struts load characteristics required from the point of view of improving comfort has been developed. The law of damping control is synthesized. The concept of a universal device for a pneumatic shock strut with a continuous damping control system has been developed. Cabin comfort has been improved by up to 23% and vibration load in the vibration vertical direction has been reduced by 10% over the entire automotive frequency range and over the entire truck speed range.

Keywords: vehicle, truck, suspension system, cabin suspension, controlled damping, comfort

Введение. В работе решается проблема борьбы с часто возникающими неблагоприятными явлениями вибраций, резонансов, дребезга и раскачивания в кабинах магистральных грузовых автомобилей. Актуальность исследования заключается в отсутствии отечественных серийно производимых активных, полуактивных и даже пассивных пневматических систем поддрессоривания (СП) кабин для грузовых автомобилей. В то время как известны системы непрерывно управляемых амортизаторных стоек (АС) для подвесок кабин [1], СП с управляемыми амортизаторами [2], принципы и системы непрерывного регулирования демпфирования в подвесках [3, 4].

Целью исследования является улучшение комфорта в кабинах магистральных грузовых транспортных средств (ТС) путем разработки новых методов синтеза нагрузочных характеристик, обеспечивающих исключение условий для возникновения явлений внутренних резонансов и дребезга, и закона управления демпфированием для СП кабин. Разработанные методы анализа пространственных колебательных систем с «малой» нелинейностью типа поддрессоренная кабина и способы синтеза нагрузочных характеристик с законом управления формируют научную новизну исследования. Практическая значимость работы обусловлена возможностями создания на ее базе отечественных грузовых автомобилей высокого класса комфорта, где в кабинах минимизированы риски последствий вибрационной нагруженности, а также возможностями технологического развития автомобильной отрасли и смежных отраслей по производству оборудования для систем автоматического управления.

Материалы и методы. На базе аналитического исследования устойчивости пространственных колебаний с «малой» нелинейностью [5] по второму методу А.М. Ляпунова выявлены условия для возникновения внутренних и внешних резонансов в кабине ТС [6], на основании которых могут быть организованы конструктивные и компоновочные средства снижения амплитуд раскачивания кабины на подвеске при возникновении в ней явлений пространственных резонансов [7]. Сформулирована и обоснована стратегия управления демпфированием в СП кабин ТС, обеспечивающая устойчивость их колебаний [8].

При помощи методов имитационного моделирования динамики [9] разработан способ анализа пространственных колебательных систем на базе технологии виртуальных стендовых испытаний, позволяющий проводить анализ совместимости характеристик систем вторичного поддрессоривания с характеристиками других систем ТС [10].

Аналитически разработан новый метод последовательного комплексного синтеза требуемых с точки зрения улучшения комфорта нагрузочных характеристик АС СП кабины и закона управления демпфированием в них [5, 11]. В рамках метода разработан способ синтеза требуемых нелинейных упругих характеристик АС подвески кабины, позволяющий формировать характеристики упругих элементов с околонулевой жесткостью в положениях около положения статического равновесия АС, прогрессивно нарастающие и спа-

дающие на ходах сжатия и отбоя соответственно и удовлетворяющие требованиям динамичности СП кабины ТС. Для практической реализации указанного способа разработан метод синтеза геометрии профиля поршня пневматического упругого элемента (УЭ) с резинокордной оболочкой (РКО), позволяющий формировать требуемую нелинейную упругую характеристику АС СП кабины [12]. Разработан метод синтеза закона нелинейного управления демпфированием в СП кабин ТС [11], позволяющий на базе синтезированных упругих характеристик АС формировать функциональную зависимость изменения величины коэффициента демпфирования в демпфирующем элементе АС от текущего значения величины ее деформации, в основе которой лежит принцип непрерывного регулирования демпфирования между тремя зонами — максимального демпфирования, минимального демпфирования и зоной переходного участка регулирования демпфирования [13].

Результаты. Выявлены следующие способы снижения амплитуд раскачивания кабины на подвеске при возникновении явлений пространственных резонансов:

- упругодемпфирующие элементы подвески кабины в горизонтальной плоскости необходимо компоновать как можно дальше от центра масс кабины;
- внедрение в СП кабины УЭ с нелинейной прогрессивной нагрузочной характеристикой;
- при возникновении резонансов в любых направлениях пространства необходимо в процессе движения ТС увеличивать коэффициент демпфирования СП кабины.

Крайний указанный способ формирует стратегию управления демпфированием в СП кабин наземных ТС (рис. 1).

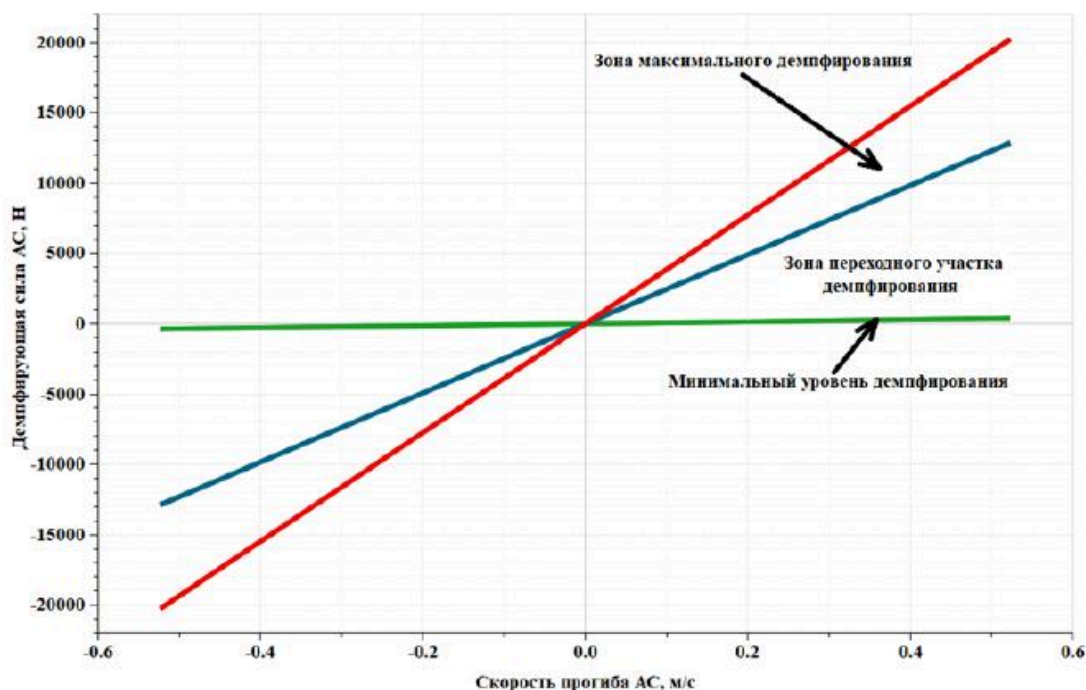


Рис. 1. Переменные нагрузочные характеристики демпфирования в СП кабины

Моделированием динамики обнаружены 3 типа возникновения резонансных явлений в СП кабины: классический резонанс, дребезг и биения. Установлены следующие способы снижения рисков их возникновения в подрессоренной кабине ТС:

- снижение высоты центра масс кабины относительно ее СП;
- внедрение в подвеску кабины УЭ с нелинейными характеристиками;
- выбор характеристик жесткости УЭ и шарниров должен осуществляться с учетом их совместимости с характеристиками других систем ТС в соответствии с методикой [10].

В результате применения нового метода последовательного комплексного синтеза требуемых с точки зрения улучшения комфорта нагрузочных характеристик и закона управления демпфированием синтезированы требуемые упругие характеристики (рис. 2), закон управления демпфированием (рис. 3) и формируемые с его помощью переменные демпфирующие характеристики (см. рис. 1) для СП кабины наземного ТС.

Обсуждение полученных результатов. По результатам исследования предложен путь практической реализации разработанных методов в виде внедрения в СП кабин наземных магистральных ТС пневматических УЭ с РКО и профилированными формами поршней в совокупности с трехтрубными гидравлическими амортизаторами со встроенными электромагнитными клапанами управления демпфированием, сигналы управления для которых поступают из электронного блока управления (ЭБУ), формирующего их в соответствии с разработанным законом управления демпфированием. Разработан концепт (рис. 4) универсального устройства АС с системой непрерывного регулирования демпфирования для СП кабины.

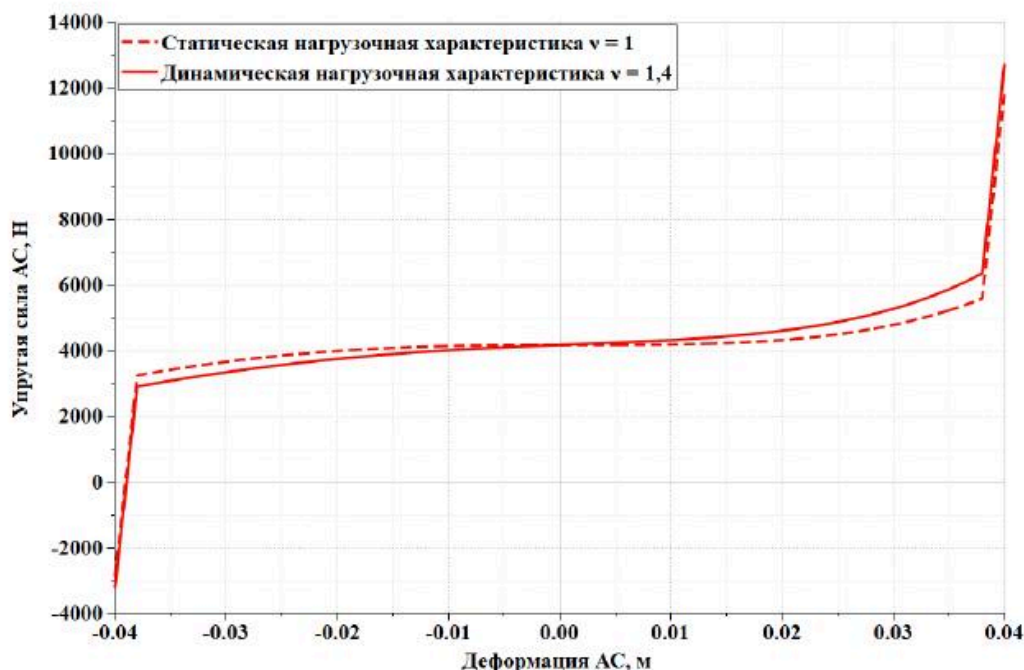


Рис. 2. Требуемые упругие характеристики АС СП кабины

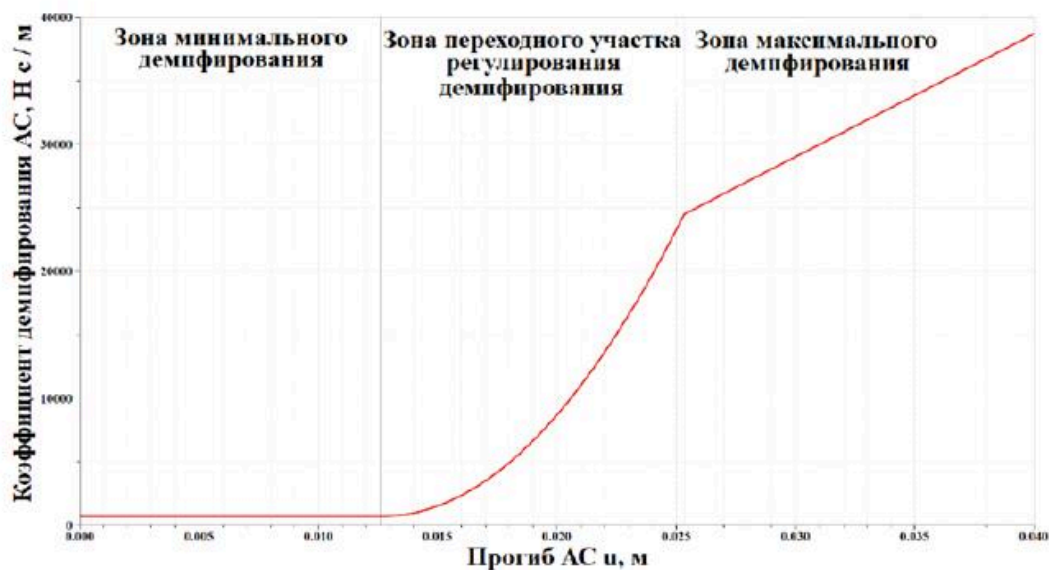


Рис. 3. Закон управления демпфированием в АС СП кабины

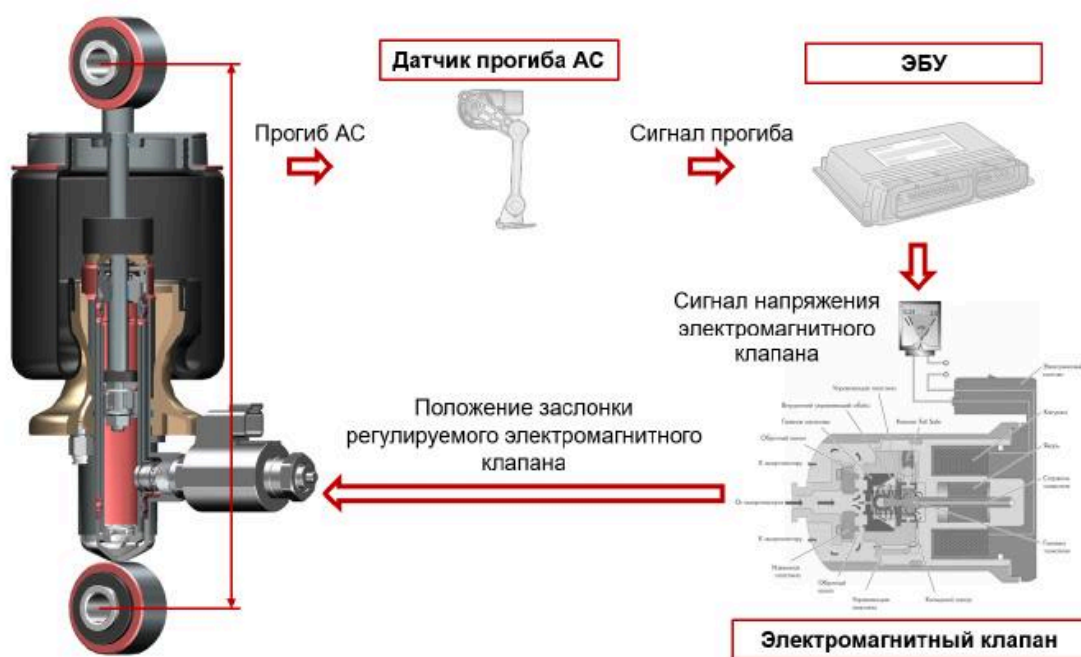


Рис. 4. Концепт СП кабины с системой непрерывного регулирования демпфирования

Разработанная управляемая СП кабины не имеет отечественных аналогов, концептуально близка к зарубежным аналогам [1, 3] и предположительно будет иметь преимущество в цене при применении в составе отечественных магистральных грузовых ТС.

Заключение. В результате исследования достигнуто улучшение показателей комфорта в кабинах магистральных грузовых ТС на дорогах 1-й и 2-й категорий на 2–5 % при их движении в порожнем весовом состоянии и на 10–23 % при их движении в весовом состоянии полной загрузки. Разработанные методы позволяют обеспечивать снижение вибронагруженности кабины в вертикаль-

ном направлении колебаний в пределах 10 % во всем автомобильном диапазоне частот колебаний 0,7–22,4 Гц и во всем диапазоне скоростей движения автомобиля. Система управляемых амортизаторов подвески кабины реализуема, так как частота непрерывного регулирования демпфирования не превышает 15 Гц при движении ТС с максимальными скоростями. Управляемая СП кабины не допускает ударов об ограничитель хода и стремится работать в зоне около положения статического равновесия, в том числе в переходных режимах разгонов, торможений и поворотов ТС. Преимуществом разработанной АС с системой регулирования демпфирования является быстрая и нетрудоемкая адаптация для кабин различных типоразмеров и масс за счет изменения статического давления в пневматическом УЭ и обновления прошивки ЭБУ без изменений геометрических и конструктивных параметров АС.

Список источников

- [1] *Suspension components and systems. For commercial vehicles / Driveline and chassis technology*. ZF Sachs AG-CV-Suspension components, 2010, 24 p.
- [2] *Системы пневмоподвесок. Регулирование дорожного просвета Audi A6. Устройство и принцип действия*. Ингольштадт, AUDI AG, 2001, 63 с.
- [3] *Система адаптивного управления ходовой части DCC. Конструкция и принцип действия*. Вольфсбург, Volkswagen AG, 2008, 32 с.
- [4] *Автомобиль Phaeton. Пневматическая подвеска с регулируемыми амортизаторами. Устройство и принцип действия*. Вольфсбург, Volkswagen AG, 2002, 68 с.
- [5] Ганиев Р.Ф., Кононенко В.О. *Колебания твердых тел*. Москва, Наука, 1976, 432 с.
- [6] Блехман И.И., ред. *Вибрации в технике: справочник. Т. 2. Колебания нелинейных механических систем*. Москва, Машиностроение, 1979, 351 с.
- [7] Maksimov R., Zhileykin M., Klimov A. Mathematical Model of Cabin with Suspension System to Analyze its Oscillatory Stability during Vehicle Movement. *International Journal of Automotive Science and Technology*, 2024, vol. 8, no. 4, pp. 527–536. <https://doi.org/10.30939/ijastech>
- [8] Максимов Р.О., Жилейкин М.М. Исследование нелинейных резонансных явлений в системе вторичного поддрессирования кабины транспортного средства. *Грузовик*, 2023, № 2, с. 6–13. <https://doi.org/10.36652/1684-1298-2023-2-6-13>
- [9] Жилейкин М.М., Козелков О.А. *Моделирование систем транспортных средств*. Москва, Московский политехнический университет, 2025, 130 с.
- [10] Максимов Р.О. Методика проведения виртуальных стендовых испытаний для анализа совместности технических характеристик систем транспортного средства для выявления и предотвращения возможностей возникновения резонансных явлений в поддрессированной кабине. *Известия МГТУ «МАМИ»*, 2023, т. 17, № 4, с. 387–400. <https://doi.org/10.17816/2074-0530-456459>
- [11] Максимов Р.О. Повышение комфорта водителей транспортных средств за счет применения управляемых амортизаторов подвески кабины. *Грузовик*, 2023, № 12, с. 15–23. <https://doi.org/10.36652/1684-1298-2023-12-15-23>
- [12] Максимов Р.О. Модель пневматического упругого элемента с резинокордной оболочкой и профилированной формой поршня для формирования требуемых упругих характеристик систем поддрессирования кабин грузовых транспортных средств. *Труды НАМИ*, 2025, № 2 (301), с. 44–55.
- [13] Максимов Р.О., Жилейкин М.М., Гусев Е.С., Григорьев М.В. Способ динамического управления гидропневматической амортизаторной стойкой системы поддрессирования кабины транспортного средства. Патент № 2828915 С1 РФ, 2024, бюл. № 30.