

УДК 629.33-82:85

DOI: 10.35211/2500-0586-2024-4-49-92-96

*Р. А. Лапенков¹, А. М. Щербин¹, М. П. Малиновский^{1,2}***ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИВодОВ
ПНЕВМАТИЧЕСКОГО И ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ТИПА
НА АВТОМОБИЛЬНОМ ТРАНСПОРТЕ**¹ ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», Москва, Россия² Московский автомобильно-дорожный государственный
технический университет (МАДИ), Москва, Россия

roman.lapenkov@nami.ru, alexey.scherbin@nami.ru, m.malinovskiy@nami.ru

Автор, ответственный за переписку: Михаил Павлович Малиновский, m.malinovskiy@nami.ru

Пневматический и гидравлический приводы уже более ста лет используются в конструкции автомобильного транспорта, например, в рулевом управлении, тормозной системе, подвеске, в системах, обслуживающих моторную установку (питания, охлаждения, смазки), а также для привода различного дополнительного оборудования. Однако серийное производство электромобилей и массовое внедрение электробусов в качестве городского транспорта привели к необходимости пересмотра традиционной концепции применения энергоносителей в различных системах управления. Авторы статьи провели анализ различных систем автомобилях с позиции перехода от пневматического и гидравлического привода к электромеханическому.

Ключевые слова: электромобиль, электробус, электромеханический привод, рулевое управление, тормозная система, активная подвеска

*R. A. Lapenkov¹, A. M. Shcherbin¹, M. P. Malinovsky^{1,2}***PROSPECTS FOR USING PNEUMATIC AND HYDRAULIC
TYPE DRIVES IN AUTOMOBILE TRANSPORT**¹ Federal State Unitary Enterprise «Central Scientific Research Automobile
and Automotive Engines Institute» (FSUE «NAMI»), Moscow, Russia² Moscow automobile and road construction state
technical university (MADI), Moscow, Russia

Pneumatic and hydraulic drives have been used in the design of motor vehicles for over a hundred years, for example, in steering, braking systems, suspension, in systems servicing the engine installation (power, cooling, lubrication), as well as for driving various additional equipment. However, serial production of electric vehicles and the mass introduction of electric buses as urban transport have led to the need to revise the traditional concept of using energy carriers in various control systems. The authors of the article analyzed various systems in cars from the position of the transition from pneumatic and hydraulic drives to electromechanical ones.

Keywords: electric vehicle, electric bus, electromechanical drive, steering, braking system, active suspension

Проведя краткий исторический экскурс в область использования гидравлики и пневматики на автомобиле, можно установить следующее.

Первый гидравлический тормозной привод в 1908 г. запатентовал инженер Эрнест Уолтер Уэйт (GB190800241A) из Бристоля, Англия, и представил его на Лондонском автосалоне 1909 г. Через год его брат, Уильям Герберт Уэйт, усовершенствовал конструкцию (GB190921122A). Основанная ими компания «Weight Patent Automobile Brake Ltd.» некоторое время устанавливала гидравлическую тормозную систему на бельгийское шасси «Metallurgique», первый образец которого был показан на Лондонском автосалоне в ноябре 1910 г.

Американский инженер Малколм Локхид (1886–1958), более известный как авиаконструктор, в период с 1917 по 1936 гг. получил 70 патентов в отношении конструкции гидравлической тормозной системы (US1249143A, US1288944A, CA192303A и т. д.). Фред Дюзенберг использовал гидравлические тормоза «Lockheed Corporation» на своих гоночных автомобилях еще в 1914 г., а первой серийной моделью стала «Duesenberg Model A» в 1921 г. [1].

Американский инженер Фрэнсис Райт Дэвис после окончания Гарвардского университета в 1910 г. работал испытателем 5-тонных грузовиков «Pierce-Arrow», затем стал главным инженером и получил опыт по работе с гидравликой. В 1925 г. он установил на «Pierce-Arrow

Roadster» первый гидравлический усилитель рулевого управления [2], а в период с 1932 по 1959 г. получил 16 патентов, касающихся его конструкции (US1846089A, GB371816A, US1874248A и т. д.).

Первый гидравлический амортизатор запатентовал французский инженер Морис Худай в 1909 г. (GB190906139A, US933076A). Внутри цилиндрического корпуса, заполненного маслом, на оси вращалось колесо с четырьмя лопатками, в которых имелись калиброванные отверстия (позже – с клапанами), создававшие сопротивление потоку жидкости при повороте оси. Подобная конструкция применялась на автомобилях «Ford» вплоть до конца 1940-х гг., а из отечественных автомобилей – на «ГАЗ-А».

В 1910 г. фирмы «Knorr-Bremse» (Германия) и «WABCO» (США), производившие тормоза для железнодорожного транспорта, практически синхронно разработали первые пневматические тормоза для грузовых автомобилей [3]. На большегрузных автомобилях, оснащенных такими тормозами, в 1930-х гг. устанавливали пневматический усилитель руля, однако его массовому внедрению мешали такие недостатки, как релейный принцип действия и отсутствие следящего действия [4]. Первый патент на пневматическую подвеску также относится к 1904 г. (GB190322400A).

Таким образом, гидравлический и пневматический приводы применяются на автомобиле уже более века. Основной причиной их внедрения на автомобиле являлись постоянный прирост мощности, скорости и грузоподъемности, так что механический привод, хотя и будучи простым по конструкции, перестал справляться с поставленными задачами, особенно когда использовалась мускульная сила водителя.

Однако в настоящее время наблюдается другая тенденция – отказ от пневматического и гидравлического привода в пользу электрического. Начался данный процесс достаточно давно и по мере развития электротехники набирал обороты. Например, появление компактных электромоторов позволило использовать их в качестве приводов вспомогательного оборудования (стеклоподъемники, стеклоомыватели, сидения с массажем и регулировкой положения и многое другое).

За последние 20 лет эта тенденция получила новый виток развития, связанный с активной электрификацией автомобильного транспорта [5]. До недавнего времени основным источником энергии на автомобиле был двигатель

внутреннего сгорания (ДВС), с коленчатого вала которого производился отбор механической энергии для преобразования в гидравлическую, пневматическую и электрическую энергию. У современного электромобиля взамен ДВС используется аккумуляторная батарея [6], вследствие чего усложняется процесс преобразования энергии для получения источника пневматической или гидравлической энергии. Логичным шагом становится применение единого электрического источника энергии для всех систем автомобиля, что приводит к снижению снаряженной массы и уменьшению потерь на преобразование энергии. Проведенные в НАМИ исследования показали, что отказ от дополнительных устройств преобразования энергии, таких как электрический компрессор [7–8] и электрическая насосная станция [9], положительно сказывается на стоимости систем и автомобиля в целом, хотя на данный момент электрические исполнительные механизмы пока оказываются дороже, чем гидравлические и пневматические (например, гидроцилиндры).

Рассмотрим подробнее некоторые системы автомобиля.

Рулевое управление. Гидропривод используется в качестве гидроусилителя руля с целью снижения требуемого усилия водителя для поворота управляемых колес автомобиля. Начиная с конца прошлого века, замена гидравлического усилителя на электрогидравлический или электромеханический усилитель ведется на автомобилях традиционной конструкции с ДВС, и в настоящий момент можно констатировать, что на легковых автомобилях электромеханический усилитель руля почти полностью вытеснил другие его типы [10].

На грузовых автомобилях дело обстоит несколько иначе. Дело в том, что с ростом мощности и момента сопротивления повороту значительно проявляются недостатки электропривода: электрическое исполнительное устройство оказывается больше по массе и габаритам, чем гидравлическое. Данный фактор, а также потребность в достаточно мощном источнике электрической энергии, затормозили распространение электроусилителей руля на грузовом автотранспорте. Впрочем, работы в данном направлении активно ведутся, в том числе в отечественной промышленности [11–12], и в ближайшее время ожидается активное их внедрение в производство.

Тормозная система. На текущий момент гарантированного технического решения с при-

менением электрического привода в тормозной системе нет, но есть огромное количество предложений. Десятки фирм с мировым именем занимаются разработкой электромеханических тормозов: «Bosch», «Haldex», «Siemens», «Mando» и др. При проведении научных исследований в НАМИ только за последние 10 лет было обнаружено более 200 международных патентов в данной области. Первым опытным образцам уже более 20 лет.

Основным «тормозом» серийного применения электромеханических тормозов является законодательный аспект. В связи с тем, что тормозная система напрямую влияет на безопасную эксплуатацию автомобилей, нормативная база, регламентирующая их применение и сертификацию, отличается некоторой инертностью и консервативностью, за десятки лет отработанная под специфику применения тормозов с гидравлическим и пневматическим приводом. В Правилах ООН № 13 лишь в самых последних редакциях начали появляться разделы, касающиеся электропневматического привода [13], прежде всего, для прицепного звена автопоезда.

В подтверждение стоит отметить, что электропривод тормозов уже нашел серийное применение в авиации (на последних моделях фирмы «Boeing») [14] и на железнодорожном транспорте [15]. Ряд фирм, например, шведская «Haldex», даже официально перенесли свои разработки в Китай, где законодательная база несколько мягче, чем в Европе, чтобы ускорить их внедрение.

Система поддрессирования. Многие крупнейшие автомобильные производители во всем мире ведут большое количество научно-исследовательских работ по внедрению электроприводов в конструкцию подвески. Цели этих работ разнообразны: повышение управляемости и устойчивости; повышение энергоэффективности; снижение массы и т. д.

С технической точки зрения исследования можно разделить на три направления:

1. Применение электромагнитных устройств в качестве упругого элемента. В данном случае, как правило, применяются линейные магниты с дополнительными устройствами для изменения магнитного поля, позволяющего изменять жесткость подвески. Получившаяся электромагнитная пружина обладает чрезвычайно полезным свойством мгновенной реакции на управляющее воздействие. Никаким

другим способом добиться такой скорости невозможно: гидравлика и пневматика имеют задержки, измеряемые десятками долями секундами [16], что для быстрого изменения мгновенной жесткости неприемлемо. Данное направление имеет очень хорошие перспективы применения. Проведенные опыты доказали возможность реализации и повышение характеристик автомобиля. Однако до серийного внедрения еще далеко: электромагнитная рессора обладает большими габаритами, высокой стоимостью и сложностью.

2. Электромеханические амортизаторы, основанные на применении линейных или вращательных электродвигателей. Основными преимуществами данного типа амортизаторов являются высокая гибкость электромеханических приводов с точки зрения адаптации их характеристик к условиям эксплуатации, меньшая чувствительность к воздействию окружающей среды, в отличие от гидравлических приводов, в которых вязкость рабочей жидкости зависит от температуры. Серьезным преимуществом является также экономия энергии, которую они могут обеспечить, вплоть до рекуперации вырабатываемой электрической энергии обратно в аккумуляторные батареи [17].

3. Разработки, направленные на компенсацию недостатков гидравлических амортизаторов, например, за счет применения специальной магнито-реологической жидкости [18], вязкость которой изменяется под действием магнитного поля.

Безусловно, в настоящий момент говорить о полном отказе от гидравлических и пневматических приводов в автомобильной технике еще рано, хотя по ряду систем такой переход можно считать состоявшимся. При проведении настоящих исследований серьезных работ по развитию гидро- и пневмопривода обнаружено не было, и, вероятнее всего, применяться они будут на достигнутом техническом уровне без серьезного дальнейшего развития.

Серийное производство электромобилей и массовое внедрение городских электробусов [19] придали новый импульс развитию электропривода, что связано с двумя факторами: с одной стороны, появился мощный источник электрической энергии, который способен обеспечить работу всех систем. Однако с другой стороны, емкость батарей не бесконечна [20], в связи с чем необходимо продолжать снижать потери и повышать их энергоэффек-

тивность [21], и с этой точки зрения любое лишнее преобразование энергии только наносит вред.

В целом, судя по интенсивности проводимых исследований мировыми автопроизводителями, прослеживается их желание полностью отказаться от пневмо- и гидропривода. Ряд подобных работ проводится и в отечественной промышленности.

Следует отметить, что желание автопроизводителей технически обосновано. При построении систем, начиная от источника энергии и заканчивая исполнительным устройством, любые преобразования, такие как электрические компрессор и насосная станция, оказываются лишними. В то же время необходимо установить, насколько данный переход обоснован технически по другим параметрам и какие нюансы упускаются. Пневматический и гидравлический привод прошли столетний путь развития на автомобиле, проведена огромная работа по устранению ошибок. В итоге технический облик систем пришел к относительно единообразию, на разных автомобилях наблюдаются аналогичные технические решения и архитектура построения, что, в свою очередь, отражено и в нормативной базе. С какими проблемами придется столкнуться при переходе на электромеханический привод, пока можно только догадываться, ведь по ряду систем его применение находится лишь в начале своего развития. Однако высокий технический уровень и интенсивность текущих разработок, несомненно, позволит в ближайшие 10 лет увидеть на серийных автомобилях новый тип электрической тормозной системы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бандура, Н. А. Эволюция систем безопасности автомобиля / Н. А. Бандура, В. В. Булычев // Автомобили, транспортные системы и процессы: настоящее, прошлое и будущее: сборник статей 4-й Международной научно-технической конференции, Курск, 20 мая 2022 года / отв. ред. Е.В. Агеев. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2022. – С. 20–22. – EDN NOBLYK.
2. Олещицкий, С. В. Усилители рулевого управления / С. В. Олещицкий, О. Ю. Закурдаева // Поколение будущего: Взгляд молодых ученых-2018: сборник научных статей 7-й Международной молодежной научной конференции: в 4 т., Курск, 13–14 ноября 2018 года. Том 4. – Курск: Закрытое акционерное общество «Университетская книга», 2018. – С. 143–145. – EDN YTRNQD.
3. Малиновский, М. П. Эволюция систем управления АТС / М. П. Малиновский // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2014. – № 4(39). – С. 22–31. – EDN TAEVTL.
4. Малиновский, М. П. Системы управления колесных машин: учебное пособие / М. П. Малиновский. – М.: МАДИ, 2018. – 100 с. – EDN XOKVNJ.
5. Зленко, М. А. Электричество, водород или е-топливо? / М. А. Зленко, А. С. Теренченко // Труды НАМИ. – 2023. – № 1(292). – С. 56–81. – EDN WDCDVC.
6. Результаты разработки и исследовательских испытаний тяговой аккумуляторной батареи электромобиля / К. М. Сидоров, А. Г. Грищенко, В. Н. Козловский, С. А. Васин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – № 12. – С. 361–366. – EDN SWTDWJ.
7. Аболтин, Э. В. Современные направления развития систем наддува автомобильных двигателей / Э. В. Аболтин, В. К. Ванин // Труды НАМИ. – 2013. – № 253. – С. 70–84. – EDN REOMON.
8. Меркулов, В. И. Применение электрокомпрессоров в системах кондиционирования воздуха вертолетов / В. И. Меркулов, И. В. Тищенко, С. А. Абалакин // Известия МГТУ МАМИ. – 2019. – № 2(40). – С. 59–66. – EDN SLUION.
9. Сильвестров, Э. Е. К нахождению критических скоростей ротора электронасоса / Э. Е. Сильвестров, В. В. Кореновский // Известия МГТУ МАМИ. – 2010. – № 1(9). – С. 60–66. – EDN LBECKL.
10. Кутепов, П. А. Тенденции и перспективы развития усилителя руля / П. А. Кутепов, Р. А. Малеев // Известия МГТУ МАМИ. – 2013. – Т. 1, № 2(16). – С. 97–101. – EDN RXTIFR.
11. Доманов, В. И. Исследование системы управления электромеханическим усилителем руля / В. И. Доманов, А. В. Доманов // Электротехника. – 2010. – № 8. – С. 46–50. – EDN MSNSXP.
12. Электроусилитель рулевого управления колесного транспортного средства для горных лесов / В. А. Каляшов, В. А. Макуев, С. И. Ревяко, И. В. Григорьев, В. А. Бурмистров // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2022. – № 11. – С. 8–15. – EDN QXGLOA.
13. Малиновский, М. П. Оценка эффективности электропневматического тормозного привода автопоезда с применением итерационного метода / М. П. Малиновский, Е. С. Смолко // Автомобильная промышленность. – 2020. – № 7. – С. 27–32. – EDN GYFGSC.
14. Байков, С. В. Перспективы развития и автоматизации систем торможения колес современных самолетов / С. В. Байков // Научный вестник ГосНИИ ГА. – 2011. – № 1(312). – С. 35–42. – EDN QYVRWT.
15. Земсков, А. В. Типы тормозной системы пассажирских вагонов / А. В. Земсков, М. П. Козлов // Наука. – 2024. – № 6–2. – С. 286–292. – EDN XJBZJD.
16. Malinovsky, M. P. Experimental study of an articulated vehicle performing a lane changing maneuver / M. P. Malinovsky // Science Journal of Transportation. – 2022. – No. S(12). – P. 188–197. – EDN HCRNXG.
17. Стыров, А. Е. Подход к использованию рекуперации энергии в электромеханической активной подвеске транспортного средства / А. Е. Стыров // Сборник научных трудов Новосибирского государственного технического университета. – 2015. – № 2(80). – С. 106–115. – EDN UIPXCV.
18. Влияние температуры магнитоэологической жидкости на демпфирование вибровозмущений гидравлическими опорами / Б. А. Гордеев, А. И. Ермолаев, С. Н. Охул

ков, А. С. Плехов, Д. Ю. Титов // Вестник машиностроения. – 2023. – Т. 102, № 3. – С. 192–201. – EDN TFRWIK.

19. *Феофанов, С. А.* Электробусы и зарядная инфраструктура в условиях мегаполисов / С. А. Феофанов, Е. М. Лайко, Л. С. Феофанова // Автомобильная промышленность. – 2019. – № 2. – С. 31–35. – EDN YUZJIK.

20. *Сидоров, К. М.* К вопросу исследования влияния работы климатической установки на запас хода электро-

мобиля / К. М. Сидоров, В. Н. Козловский, Д. И. Панюков // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – № 11. – С. 410–412. – EDN FYQZBH.

21. *Жердев, П. И.* Способы увеличения пробега и анализ силовых установок электрифицированных транспортных средств / П. И. Жердев, К. Е. Карпухин // Труды НАМИ. – 2024. – № 3(298). – С. 92–100. – EDN NRDXZZ.