

УДК 656.13

© А. А. Белехов, ст. преподаватель

© А. И. Капенкова, студентка

© С. С. Евтюков, д-р техн. наук, доцент

(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Санкт-Петербург, Россия)

E-mail: ibddgasu@gmail.com

DOI 10.23968/1999-5571-2022-19-6-134-140

© А. А. Belehov, senior lecturer

© А. I. Kapenkova, student

© S. S. Evtyukov, Dr. Sci. Tech., Associate Professor

(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, St. Petersburg, Russia)

E-mail: ibddgasu@gmail.com

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ УСТАНОВКИ СИСТЕМ СБОРА И НАКОПЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ НА ТРАНСПОРТНЫЕ СРЕДСТВА, НАХОДЯЩИЕСЯ В ЭКСПЛУАТАЦИИ

ASSESSMENT OF THE POSSIBILITY OF INSTALLING ENERGY COLLECTION AND STORAGE SYSTEMS ON VEHICLES IN OPERATION

В статье рассматриваются конструкции существующих систем сбора и накопления энергии, применяемых на автомобильном транспорте. Приведена статистика выпуска новых автомобилей, оснащаемых гибридным приводом, а также возрастная структура парка машин на территории Российской Федерации. Сделан вывод о возможности дооснащения уже эксплуатируемых транспортных средств системами рекуперации энергии с пневмогидроаккумуляторами. На основании разработанного алгоритма приведен пример оценки возможности внесения подобного изменения в специализированное транспортное средство, оснащенное дополнительным оборудованием с гидравлическим приводом.

Ключевые слова: рекуперация, энергия, переоборудование, безопасность.

The article discusses the designs of existing energy collection and storage systems used in road transport. The authors present the available statistics regarding the production of new cars equipped with a hybrid drive, as well as the age structure of the car fleet in the Russian Federation. It is concluded that it is possible to retrofit already operated vehicles with energy recovery systems with pneumohydraulic accumulators. Based on the developed algorithm, an example is given of assessing the possibility of making such a change in a specialized vehicle outfitted with additional equipment with a hydraulic drive.

Keywords: recovery, energy, retrofitting, safety.

Введение

В последние годы системы сбора и накопления энергии получили широкое распространение в конструкции транспортных средств. Ведущие мировые автопроизводители имеют в своей линейке большое число моделей автомобилей, оснащаемых различными конструкциями систем рекуперации. При этом доля данных автомобилей непрерывно увеличивается; рост количества электромобилей и гибридных транс-

портных средств за последние 6 лет представлен на рис. 1.

Одновременно с этим стоит отметить существенный рост количества модификаций систем сбора и накопления энергии. Наиболее часто применяются следующие системы:

- с применением электроторможения и накопителями электроэнергии (аккумуляторы или суперконденсаторы);
- с маховичным накопителем энергии;

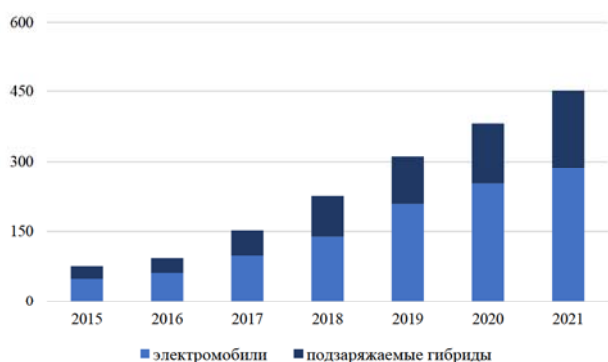


Рис. 1. Количество серийно выпускаемых моделей электромобилей и подзаряжаемых гибридов [1]

- с пневматическим, гидравлическим или пневмогидроаккумулятором [2–5].

На сегодняшний день при проектировании новых автомобилей производители отдают предпочтение системам с применением электрического накопителя энергии [6, 7].

На территории Российской Федерации транспортные средства, оснащенные системами накопления и повторного использования энергии, не получили широкого распространения. Это связано с малым количеством представленных на рынке моделей, а также с существенной их стоимостью¹ [8].

Одновременно с этим следует отметить увеличение среднего возраста эксплуатируемых автомобилей. Динамика изменения возрастной структуры парка машин в Российской Федерации представлена на рис. 2 [9]. Ввиду этого для повышения эффективности использования уже существующего парка у собственников может возникнуть необходимость дооснащения уже имеющихся транспортных средств системами рекуперации энергии.

Методы

В качестве объекта исследования рассмотрен процесс оценки возможности внесения изменений, связанный с установкой системы накопления и повторного использования энергии. Основу исследования составил анализ трудов отечественных и зарубежных ученых, анализ существующих конструкций систем рекуперации энергии, а также методов оценки возможности

¹ Какие гибридные автомобили продаются в России? URL: <https://www.autostat.ru/news/46731> (дата обращения: 21.05.2022).

внесения изменений в конструкцию транспортных средств, находящихся в эксплуатации.

Результаты

При выборе систем накопления и повторного использования энергии необходимо руководствоваться особенностями конструкции базовой машины и компоновочными особенностями оборудования, планируемого к установке. Так, системы, использующие электрические системы рекуперации, требуют существенной переработки конструкции, а также ее утяжеления по причине необходимости применения блока аккумуляторных батарей [10, 11].

Применение систем с маховичным накопителем наиболее целесообразно на транспортных средствах, используемых для перевозок пассажиров на городских маршрутах и специализированных транспортных средствах, которые совершают частые технологические остановки² [12]. При этом стоит отметить большие габариты данных систем накопления энергии, а также существенное снижение запасенной мощности с течением времени.

Наиболее оптимальным вариантом для дооснащения транспортных средств, находящихся в эксплуатации, являются системы, использующие в качестве накопителя энергии пневмогидроаккумуляторы [13, 14]. Системы данной конструкции целесообразно внедрять в специальные и специализированные транспортные средства, в конструкции которых уже установлено гидравлическое оборудование. Это позволит использовать систему рекуперации энергии

² Система рекуперации кинетической энергии. URL: <https://ru.knowledgr.com/07110493/> (дата обращения: 05.04.2022).

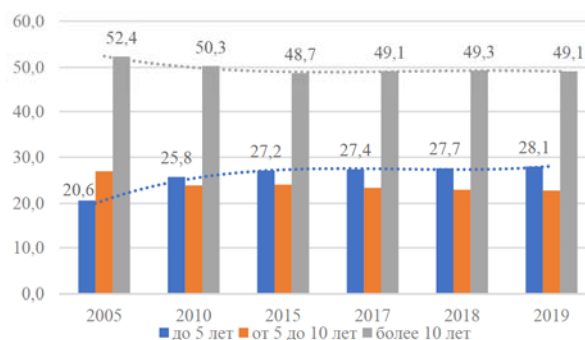


Рис. 2. Динамика изменения возрастной структуры парка транспортных средств в Российской Федерации

не только для приведения в движение автомобиля, но и для привода навесного оборудования.

Для этого к задней оси (или к осям) транспортного средства через электромагнитные муфты подключаются аксиально-поршневые гидронасосы. При торможении данные гидронасосы подключаются к полуосям и нагнетают гидравлическую жидкость в пневмогидроаккумулятор. По достижении максимального давления муфты отключаются, и процесс повышения давления в пневмогидроаккумуляторе останавливается. В дальнейшем накопленная энергия может быть использована для привода ведущих колес или гидравлического оборудования. Принципиальная схема предлагаемой системы рекуперации представлена на рис. 3.

Помимо сравнительно небольших габаритов и массы, установка данной системы на специальные и специализированные транспортные средства имеет ряд преимуществ. Так, при ее установке на транспортные средства, оснащенные дополнительным оборудованием с гидравлическим приводом, из конструкции можно исключить коробку отбора мощности и гидравлический насос, служащий для питания этого

оборудования. В качестве источника энергии в данном случае будет выступать пневмогидроаккумулятор. Также снижается расход топлива благодаря возможности использования гидронасосов в приводе ведущих колес при начале движения транспортного средства.

Помимо этого, при внесении изменений в конструкцию транспортного средства, на котором уже установлено гидравлическое оборудование, не потребуются соблюдения дополнительных требований в отношении элементов данной системы. Это существенно упростит процедуру оценки возможности внесения подобного рода изменений.

В ходе выполнения процедуры предварительной технической экспертизы конструкции для оценки возможности внесения изменений специалистам аккредитованной испытательной лаборатории необходимо выполнить лишь действия, описанные в блоках, относящихся к процедуре оценки свойств конструктивной безопасности из представленного на рис. 4 алгоритма [15, 16]. Так, необходимо оценить только изменение массово-габаритных показателей, а также указать общие требования, касающиеся

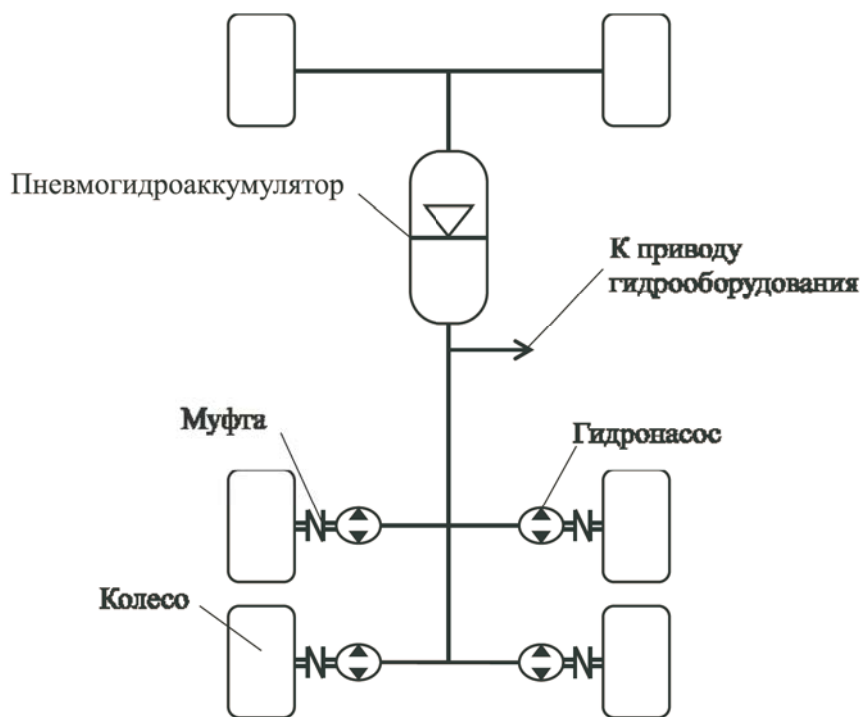


Рис. 3. Схема системы рекуперации с пневмогидроаккумулятором на трехосном транспортном средстве

ответствие параметра требованиям нормативной документации.

При этом значения k определяются следующим образом:

$$k = \begin{cases} k = 0, & \text{если изменение возможно} \\ k = 1, & \text{если изменение возможно} \\ & \text{при корректировке начальных условий} \\ k = 2, & \text{если изменение невозможно} \end{cases} \quad (2)$$

Для оценки возможности внесения изменений необходимо использовать следующие условия:

$$n < 3, \begin{cases} X(k) = 0, & \text{если изменение возможно} \\ 0 < X(k) \leq 1, & \text{если изменение возможно} \\ & \text{при корректировке начальных условий} \\ X(k) > 1, & \text{если изменение невозможно} \end{cases} \quad (3)$$

$$n \geq 3, \begin{cases} X(k) = 0, & \text{если изменение возможно} \\ 0 < X(k) \leq 2, & \text{если изменение возможно} \\ & \text{при корректировке начальных условий} \\ X(k) > 2, & \text{если изменение невозможно} \end{cases} \quad (4)$$

Обсуждение и выводы

Таким образом, в случае установки системы сбора и накопления энергии на специализированное транспортное средство, имеющее в своей конструкции оборудование с гидравлическим приводом, необходимо использовать соотношение (4), поскольку при монтаже данной системы изменится масса транспортного средства, возможно изменение его габаритов, конструкции гидравлического оборудования и способов его крепления.

Это позволит сократить существующий расход топлива специальных и специализированных транспортных средств, особенно на маршрутах, предусматривающих частые технологические останки. Накопленную в пневмогидроаккумуляторе энергию также можно использовать для привода рабочего оборудования, оснащенного гидравлическим приводом.

Следовательно, применение разработанных алгоритмов оценки при модернизации транспортных средств путем установки системы рекуперации энергии с использованием пневмогидроаккумулятора является эффективным способом повышения экономичности и обеспечения безопасности дорожного движения.

Библиографический список

1. Ekta Meena Bibra, Elizabeth Connelly, Shobhan Dhir, Michael Drtil, Pauline Henriot, Inchan Hwang,

Jean-Baptiste Le Marois, Sarah McBain, Leonardo Paoli, Jacob Teter Global EV Outlook 2022, International Energy Agency. 2022. 221 с.

2. Бахмутов С. В., Карунин А. Л., Круташов А. В., Ломакин В. В. Селифонов В. В., Карпунин К. Е., Баулина Е. Е., Урюков Ю. В. Конструктивные схемы автомобилей с гибридными силовыми установками. М.: МГТУ «МАМИ», 2007. 71 с.

3. Щербakov В. Ф. Рекуперативная система привода грузоподъемных машин // Строительные и дорожные машины. 2008. № 9. С. 49–51.

4. Бахмутов С. В., Филонов А. И., Баулина Е. Е. Совершенствование процесса рекуперации энергии гибридного автомобиля // Наука и образование. 2013. №7. С. 101–113.

5. Бороденко Ю. Н. Концепции построения пневматических гибридов // Автомобильный транспорт. 2020. № 46. С. 19–25.

6. Раков В. А. Исследование автопарка гибридных автомобилей // Транспорт на альтернативном топливе. 2013. № 1(31). С. 18–23.

7. Кочегаров Д. А., Лемешева Е. В., Тихомиров П. В. Сравнительный анализ альтернативных видов топлива для транспортных средств // Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования. 2015. Т. 2. № 2. С. 373–378.

8. Боровиков А. В. Анализ рынка гибридных легковых автомобилей в России // Международный студенческий научный вестник. 2018. № 2. URL: <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=18186> (дата обращения: 21.05.2022).

9. Окладников С. М., Акимова И. В., Багдасарянц Н. Г. [и др.]. Транспорт в России. 2020. М.: Стат. сб. / Росстат, 2020. 108 с.

10. Бахмутов С. В., Филонов А. И., Баулина Е. Е. Совершенствование процесса рекуперации энергии гибридного автомобиля // Наука и образование. 2013. № 7. С. 101–114.

11. Бахмутов С. В., Селифонов В. В., Филонов А. И. Работы МГТУ «МАМИ» в области автомобилей с гибридными силовыми установками // Транспорт на альтернативном топливе. 2011. № 2 (20). С. 17.

12. Худайбердиев А. И., Пулатов Т. Р. Оценка значения гидравлической системы рекуперации при торможении автобусов UZUZI // Universum: технические науки. 2021. 11 (92). С. 36–38.

13. Малыбаев Н. С., Касенов А. Ж., Абишев К. К., Кулумжанов Ж. Ж., Мукатов С. С. Рекомендации по выбору гидроаккумулятора для гидравлической системы // Наука и техника Казахстана. 2020. № 1. С. 88–95.

14. Бажанов В. И., Сгадлев А. М. Анализ эффективности гидравлической системы рекуперации энергии

торможения автомобиля // Международный научный журнал «Символ Науки». 2016. № 9 С. 20–23.

15. Ефанов С. И., Савельев Б. И., Шинкаренко А. А. Внесение изменений в конструкцию транспортных средств, зарегистрированных в ГИБДД ХМАО // Современные проблемы управления образовательными, социально-экономическими и техническими системами / СИБАДИ. Омск, 2010. С. 108–113.

16. Евтюков С. А., Белехов А. А. Совершенствование методов предварительной технической экспертизы как первый этап определения возможности внесения изменений в конструкцию транспортных средств // Вестник гражданских инженеров. 2017. № 1 (60). С. 239–246.

17. Белехов А. А., Горшков В. Н. Разработка алгоритма проведения оценки возможности внесения изменений в конструкцию транспортных средств, находящихся в эксплуатации // Вестник гражданских инженеров. 2016. № 6 (59). С. 182–187.

18. Белехов А. А. Качественная оценка возможности внесения изменений в конструкцию транспортных средств, находящихся в эксплуатации // Вестник гражданских инженеров. 2017. № 6 (65). С. 221–227.

19. Белехов А. А., Евтюков С. А. Оценка влияния изменений, вносимых в конструкцию транспортных средств, находящихся в эксплуатации, на безопасность дорожного движения // Вестник гражданских инженеров. 2020. № 6 (89). С. 151–157.

20. Евтюков С. А., Лукьянов С. В. Методика оценки контролируемых параметров транспортных средств после внесения изменений в их конструкцию / СПбГАСУ; Испытательная лаборатория «ЦЭБ» ИБДД. СПб., 2015. 22 с.

References

1. Ekta Meena Bibra, et al. *Global EV Outlook 2022*, International Energy Agency Publ., 2022, 221 p.

2. Bakhmutov S. V., Karunin A. L., Krutashov A. V., Lomakin V. V., et al. *Konstruktivnye skhemy avtomobiley s gibrnidnymi silovymi ustanovkami* [Design diagrams of vehicles with hybrid power trains]. Moscow, MGTU «MAMI», 2007, 71 p.

3. Shcherbakov V. F. *Rekuperativnaya sistema privoda gruzopod'emnykh mashin* [Recuperative drive system for hoisting machines]. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny – Building and Road Machines*, 2008, no. 9, pp. 49–51.

4. Bakhmutov S. V., Filonov A. I., Baulina E. E. *Sovershenstvovanie protsessa rekuperatsii energii gibrnidnogo avtomobilya* [Improvement of the energy recovery process of a hybrid car]. *Nauka i obrazovanie – Science and education*, 2013, no. 7, pp. 101–113.

5. Borodenko Yu. N. *Kontseptsii postroeniya pnevmaticheskikh gibrnidov* [Concepts of building

pneumatic hybrids]. *Avtomobil'niy transport – Automobile Transport*, 2020, no. 46, pp. 19–25.

6. Rakov V. A. *Issledovanie avtoparka gibrnidnykh avtomobiley* [Research of fleet of hybrid cars]. *Transport na al'ternativnom toplive – Transport on alternative fuel*, 2013, no. 1(31), pp. 18–23.

7. Kochegarov D. A., Lemesheva E. V., Tikhomirov P. V. *Sravnitel'niy analiz al'ternativnykh vidov topliva dlya transportnykh sredstv* [Comparative analysis of alternative fuels for vehicles]. *Al'ternativnye istochniki energii v transportno-tekhnologicheskoy komplekse: problemy i perspektivy ratsional'nogo ispol'zovaniya – Alternative energy sources in transport and technological complex: problems and prospects for rational use*, 2015, vol. 2, no. 2, pp. 373–378.

8. Borovikov A.V. *Analiz rynka gibrnidnykh legkovykh avtomobiley v Rossii* [Analysis of the market of hybrid passenger cars in Russia]. *Mezhdunarodniy studentcheskiy nauchniy vestnik – International Student Scientific Bulletin*, 2018, no. 2. Available at: <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=18186> (accessed: 21.05.2022).

9. Okladnikov S. M., Akimova I. V., Bagdasaryants N. G., et al. *Transport v Rossii* [Transport in Russia]. 2020. Moscow, Stat. sb. Rosstat Publ., 2020, 108 p.

10. Bakhmutov S. V., Filonov A. I., Baulina E. E. *Sovershenstvovanie protsessa rekuperatsii energii gibrnidnogo avtomobilya* [Improvement of energy recovery process of hybrid car]. *Nauka i obrazovanie – Science and Education*, 2013, no. 7, pp. 101–114.

11. Bakhmutov S. V., Selifonov V. V., Filonov A. I. *Raboty MGTU «MAMI» v oblasti avtomobiley s gibrnidnymi silovymi ustanovkami* [Works of Moscow State Technical University “MAMI” in the field of vehicles with hybrid power trains]. *Transport na al'ternativnom toplive – Alternative Fuel Transport*, 2011, no. 2 (20), p. 17.

12. Khudayberdiev A. I., Pulatov T. R. *Otsenka znacheniya gidravlicheskoj sistemy rekuperatsii pri tormozhenii avtobusov uzuzi* [Assessment of the value of the hydraulic recovery system when braking UZUZI buses]. *Universum: Technical Sciences*, 2021, no. 11(92), pp. 36–38.

13. Malybaev N. S., Kasenov A. Zh., Abishev K. K., Kulumzhanov Zh. Zh., Mukatov S. S. *Rekomendatsii po vyboru gidroakkumulyatora dlya gidravlicheskoj sistemy* [Recommendations on selection of hydraulic accumulator for hydraulic system]. *Nauka i tekhnika Kazakhstana – Science and Technology of Kazakhstan*, 2020, no. 1, pp. 88–95.

14. Bazhanov V. I., Sgadlev A. M. *Analiz effektivnosti gidravlicheskoj sistemy rekuperatsii energii tormozheniya avtomobilya* [Analysis of effectiveness of hydraulic system for recuperation of braking energy of the car]. *Mezhdunarodniy nauchniy zhurnal «Simvol Nauki» – International scientific journal “Symbol of Science”*, 2016, no. 9, pp. 20–23.

15. Efanov S. I., Savelev B. I., Shinkarenko A. A. *Vnesenie izmeneniy v konstruktsiyu transportnykh sredstv, zaregistririvannykh v GIBDD KhMAO* [Introduction of changes in the design of vehicles registered in the GIBDD of the Khanty-Mansi Autonomous Area]. *Sovremennyye problemy upravleniya obrazovatel'nymi, sotsial'no-ekonomicheskimi i tekhnicheskimi sistemami* [In: Modern problems of management of educational, socio-economic and technical systems]. Omsk, SibADI Publ., 2010, pp. 108–113.
16. Evtyukov S. A., Belekhov A. A. *Sovershenstvovanie metodov predvaritel'noy tekhnicheskoy ekspertizy kak perviy etap opredeleniya vozmozhnosti vneseniya izmeneniy v konstruktsiyu transportnykh sredstv* [Improving the methods of preliminary technical assessment as the first step of determining the possibility of changes in the vehicle design]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2017, no. 1 (60), pp. 239–246.
17. Belekhov A. A., Gorshkov V. N. *Razrabotka algoritma provedeniya otsenki vozmozhnosti vneseniya izmeneniy v konstruktsiyu transportnykh sredstv, nakhodyashchikhsya v ekspluatatsii* [Development of an algorithm for assessing the possibility of making changes in the design of vehicles in operation]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2016, no. 6 (59), pp. 182–187.
18. Belekhov A. A. *Kachestvennaya otsenka vozmozhnosti vneseniya izmeneniy v konstruktsiyu transportnykh sredstv, nakhodyashchikhsya v ekspluatatsii* [Qualitative assessment of the possibility of introducing changes in the design of vehicles in operation]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2017, no. 6 (65), pp. 221–227.
19. Belekhov A. A., Evtyukov S. A. *Otsenka vliyaniya izmeneniy, vnosimyykh v konstruktsiyu transportnykh sredstv, nakhodyashchikhsya v ekspluatatsii, na bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya* [Estimation of the impact of changes made to the design of vehicles in operation on road safety]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2020, no. 6 (89), pp. 151–157.
20. Evtyukov S. A., Luk'yanov S. V. *Metodika otsenki kontroliruemyykh parametrov transportnykh sredstv posle vneseniya izmeneniy v ikh konstruktsiyu* [Methodology of evaluation of controlled parameters of vehicles after changes in their design]. St. Petersburg, SPbGASU Publ., Ispytatel'naya laboratoriya «TsEB» IBDD, 2015, 22 p.