

УДК (УДК) 629.113

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЗАГЛУШЕННОГО ШУМА ВЫХЛОПА АВТОМОБИЛЯ С ГИБРИДНОЙ ЭНЕРГОУСТАНОВКОЙ НА ОСНОВЕ ВОДОРОДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И АККУМУЛЯТОРОВ

EXPERIMENTAL STUDY OF THE UNSILENCED EXHAUST NOISE OF A HYDROGEN FUEL CELL ELECTRIC VEHICLE

Артемьев В.Н., Малкин И.В.
Artemyev V.N., Malkin I.V.ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ» (Москва, Россия)
Central Scientific and Research Institute of Automobiles and Automotive Engines NAMI (Moscow, Russia)

Аннотация. В рамках растущих требований к экологичности транспортных средств и потенциального достижения углеродной нейтральности на транспорте, автомобили с гибридными энергоустановками на основе водородных топливных элементов и аккумуляторов, спроектированные на модульных платформах, находят все большее распространение. В настоящее время тема проектирования систем шумоглушения для автомобилей с данным типом энергетической установки недостаточно освещена. В разрезе автомобильных модульных платформ также необходим анализ возможностей унификации системы шумоглушения для автомобиля с подобной гибридной энергоустановкой от соплатформенного автомобиля с двигателем внутреннего сгорания. В работе представлены результаты экспериментальных исследований по оценке незаглушенного шума выхлопа электрохимического генератора тока в составе гибридной энергоустановки автомобиля. Графически представлены обобщенные (интегральные) уровни звукового давления (уровни шума) незаглушенного выхлопа в контрольной измерительной точке, а также 1/3-октавный анализ для электрохимического генератора тока в составе гибридной энергоустановки автомобиля. Проведено сравнение данных показателей со значениями, полученными после испытаний соплатформенного автомобиля с двигателем внутреннего сгорания. Сделаны выводы о возможности унификации систем шумоглушения для автомобилей с гибридными энергоустановками на основе водородных топливных элементов и аккумуляторов и с двигателями внутреннего сгорания, сконструированных на модульных платформах. Полученные результаты исследования могут быть использованы для проектирования эффективных настроенных глушителей шума выхлопа для автомобилей с гибридными энергоустановками на основе водородных топливных элементов и аккумуляторов.

Ключевые слова: автомобиль с гибридной энергоустановкой, шум выхлопа, электрохимический генератор, модульные платформы для транспортных средств.

Abstract. Hydrogen Fuel Cell Electric Vehicles (FCEVs) and Plug-in Fuel Cell Electric Vehicles (PFCV) designed on modular platforms are becoming increasingly common due to the growing demands on environmental friendliness of vehicles and the potential achievement of carbon neutrality in transport. The topic of exhaust systems for vehicles with this type of power source currently is not sufficiently explained. It is necessary to analyze the possibilities of unifying the exhaust system for a vehicle with a Hydrogen Fuel Cell (FC) from a co-platform vehicle with an internal combustion engine (ICE) in the context of modular platforms for vehicles. This article presents the results of experimental studies for evaluation the unsilenced exhaust noise of a Fuel Cell in a vehicle. The graphical images presented in this article represent the overall (integral) sound pressure levels or noise levels of the unsilenced exhaust in the control point, as well as a 1/3-octave analysis for the Hydrogen Fuel Cell in the vehicle. These indicators are compared with the values obtained after testing a co-platform vehicle with an internal combustion engine. Conclusions are drawn about the possibility of unifying exhaust systems for vehicles with Hydrogen Fuel Cells and with Internal Combustion Engines designed on modular platforms. The obtained research results can be used to design effective exhaust systems for Hydrogen Fuel Cells Electric Vehicles (FCEVs).

Keywords: fuel cell electric vehicle, exhaust noise, electrochemical generator, modular platforms for vehicles.

Дата получения статьи: 03.03.2026 † Date of manuscript reception: 03.03.2026
Дата принятия к публикации: 10.04.2026 † Date of acceptance for publication: 10.04.2026
Дата публикации: 25.06.2026 † Date of publication: 25.06.2026

Сведения об авторах:

Артемьев Вадим Николаевич – аспирант, инженер-конструктор 2 категории бюро цифрового макета и платформ управления общей интеграции и архитектуры центра транспортных средств и систем ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ»,
e-mail: vadim.artemev@nami.ru.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-3593-0450>

Малкин Илья Владимирович – главный специалист отдела экологии энергоустановок управления систем энергоустановок центра «Энергоустановки» ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ»,
e-mail: ilia.malkin@nami.ru.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-6479-3681>

Authors' information:

Vadim N. Artemev – Postgraduate student, Cat. 2 Design-Engineer, Bureau of Digital Layout and Platforms, Department of General Integration and Architecture, Center of Vehicles and Systems of the Central Scientific and Research Institute of Automobiles and Automotive Engines NAMI,
e-mail: vadim.artemev@nami.ru.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-3593-0450>

Ilya V. Malkin – Head Specialist, Department of Ecology of Energy Stations, Management of Systems of Energy Stations, Center of Energy Stations of the Central Scientific and Research Institute of Automobiles and Automotive Engines NAMI,
e-mail: ilia.malkin@nami.ru.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-6479-3681>

1. Введение

Вследствие развития технологий и потребностей в большей унификации узлов и агрегатов автомобилей продолжается развитие модульных автомобильных платформ [1]. В рамках растущих требований к экологичности транспортных средств, на модульных платформах проектируются легковые автомобили с гибридными энергетическими установками на основе водородных топливных элементов и аккумуляторов, что в свою очередь обуславливает целесообразность развития методов проектирования, а также повышения эффективности таких транспортных средств [2, 3].

В настоящее время известны работы, связанные с различными типами автомобилей на таковых энергетических установках [4-6]. Направления исследований в области таких транспортных средств чаще всего связаны с особенностями эксплуатации систем хранения водорода, энергетическим менеджментом автомобилей и оптимизацией работы электрохимического генератора тока [7].

В некоторых случаях разработка автомобилей с гибридными энергоустановками на основе топливных элементов и аккумуляторов ведется без рассмотрения конкретной связи транспортных средств с модульными

платформами, на которых данные автомобили спроектированы [4, 5].

В контексте модульных платформ стоит задача по достижению большей унификации узлов, независимо от энергетической или силовой установки, которой должен быть оснащен автомобиль [8, 9]. Однако не все узлы базового транспортного средства можно однозначно переустановить с незначительными изменениями или без таковых на автомобиль с иной энергетической установкой.

Одной из таковых систем при разработке потенциально является система выпуска отработавших газов транспортного средства, выполняющая функцию шумоглушения. Для энергоустановки на основе водородных топливных элементов значимость данной системы очень высока, а характер распределения незаглушенного шума может существенно отличаться от показателей двигателя внутреннего сгорания (ДВС) [10]. В исследовании [10] также упоминается необходимость в удалении влаги при проектировании подобных систем из-за особенностей работы электрохимического генератора тока.

Обобщая обзор источников, следует отметить, что исследований шумов работы данной комбинированной энергетической установки и разработки систем шумоглушения в транспортных средствах с гибридными энергоустановками на основе водородных

топливных элементов в контексте модульных платформ недостаточно, так как проектирование подобных систем крупные автомобильные производители, как правило, отдают специализированным организациям, таким, например, как Eberspacher, Tenneco, Forvia, Walker или др. [11, 12].

2. Постановка задачи

Были проведены статические испытания электрохимического генератора тока с целью анализа специфики работы агрегата в составе автомобиля.

Для осуществления цели были поставлены задачи по оценке незаглушенного шума выхлопа электрохимического генератора тока в составе гибридной энергетической установки автомобиля на основе топливных элементов и аккумуляторов, а также по оценке возможности унификации системы шумоглушения между автомобилями с ДВС и с водородным топливным элементом на модульной платформе.

Данный анализ необходим для проектирования низкошумной конструкции системы выпуска отработавших газов по принципу предварительных расчетов по известным незаглушенным спектрам шума.

3. Объект исследования

Объектом исследования является прототип автомобиля с гибридной энергетической установкой на основе водородного топливного элемента и аккумулятора, внешний вид и характеристики которого приведены на рис. 1 и в табл. 1, имеющий серийный аналог с ДВС, сконструированный на модульной платформе.

Изображение типового электрохимического генератора тока показано на рис. 2, характеристики исследуемого электрохимического генератора приведены в табл. 2. Принципиальная схема энергетической установки с основными элементами и вспомогательным оборудованием представлена на рис. 3.



Рис. 1. Внешний вид автомобиля с гибридной энергетической установкой на основе водородного топливного элемента и аккумулятора

Таблица 1

Характеристики прототипа

Параметр	Значение
Длина, мм	5650
Ширина, мм	2050
Высота, мм	1700
Колесная база, мм	3300

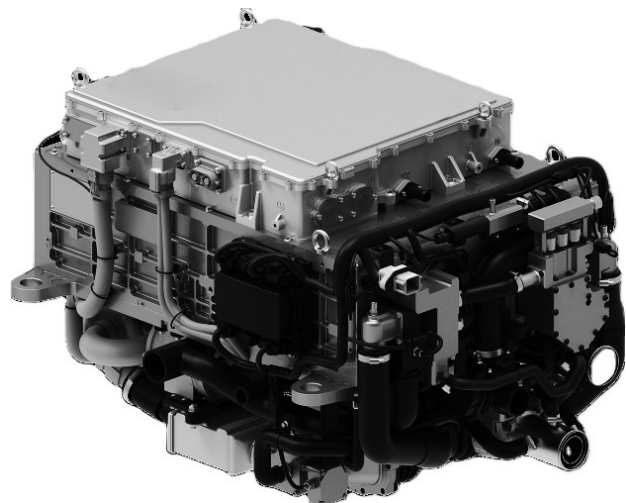


Рис. 2. Типовой электрохимический генератор тока, устанавливаемый на автомобиле с гибридной энергетической установкой на основе водородного топливного элемента и аккумулятора

Таблица 2
 Характеристики энергетической установки

Параметр	Значение
Пиковая мощность после преобразователя постоянного тока, кВт	120...135
Номинальная мощность после преобразователя постоянного тока, кВт	110...120
Масса электрохимического генератора тока, кг	225
КПД максимальный, %	57
КПД на номинальной мощности, %	42

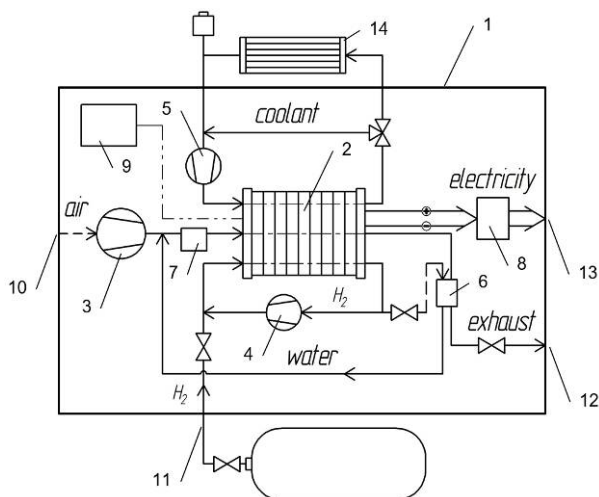


Рис. 3. Принципиальная схема энергетической установки

На рис. 3 обозначены: 1 – электрохимический генератор тока; 2 – батарея топливных элементов; 3 – компрессор подачи воздуха; 4 – компрессор подачи водорода; 5 – насос охлаждающей жидкости; 6 – влагоотделитель; 7 – увлажнитель; 8 – преобразователь постоянного тока; 9 – блок управления топливным элементом; 10 – подвод воздуха; 11 – подвод водорода; 12 – отвод отработавших газов; 13 – отвод электроэнергии; 14 – радиатор охлаждения.

4. Методика проведения испытания

Уровни звукового давления (уровни шума) выпуска отработавших газов регистрируются измерительным микрофоном, уста-

навливаемом в контрольной измерительной точке, расположенной на расстоянии 140 мм от открытого среза выпускного патрубка (рис. 4). В связи с ограниченным пространством в зоне измерений, микрофон допустимо располагать практически горизонтально, примерно в середине расстояния от поверхности дорожного покрытия до корпуса автомобиля и ориентировать к срезу выпускного патрубка.



Рис. 4. Схема установки измерительного микрофона

Перед проведением испытаний производится калибровка задействованных средств измерений. Для уменьшения влияния воздействия газового потока на уровни шума на микрофоне применяется ветрозащитный экран.

В качестве результатов измерений выступают значения эквивалентных уровней шума и 1/3 октавных спектров шума, зарегистрированных в звуковом диапазоне частот, усредненных за период измерения не менее 30 секунд, взвешенных по шкале А. Режим записи шумомера-анализатора устанавливается в положение «Slow (медленно)». Регистрация шума проводится на установившемся режиме работы. Для каждого режима измерение шума повторяется как минимум три раза. Фоновый шум в месте установки микрофона должен быть более чем на 15 дБ ниже уровней шума измеряемого объекта в режиме минимальной мощности его работы.

5. Результаты проведения эксперимента

Измерения проводились на установившихся режимах работы гибридной энергетической установки с нагружением электрохимического генератора тока от 10 до 70 кВт с шагом в 10 кВт. На рис. 5 представлена измерительная установка для проведения ис-

пытаний по экспериментальной оценке уровней звукового давления. На рис. 6 показана фактическая установка измерительного микрофона в процессе испытаний, где позициями обозначены: 1 – выпускной патрубок отвода уходящий газов, 2 – измерительный микрофон с предусилителем, 3 – ветрозащитный колпак.

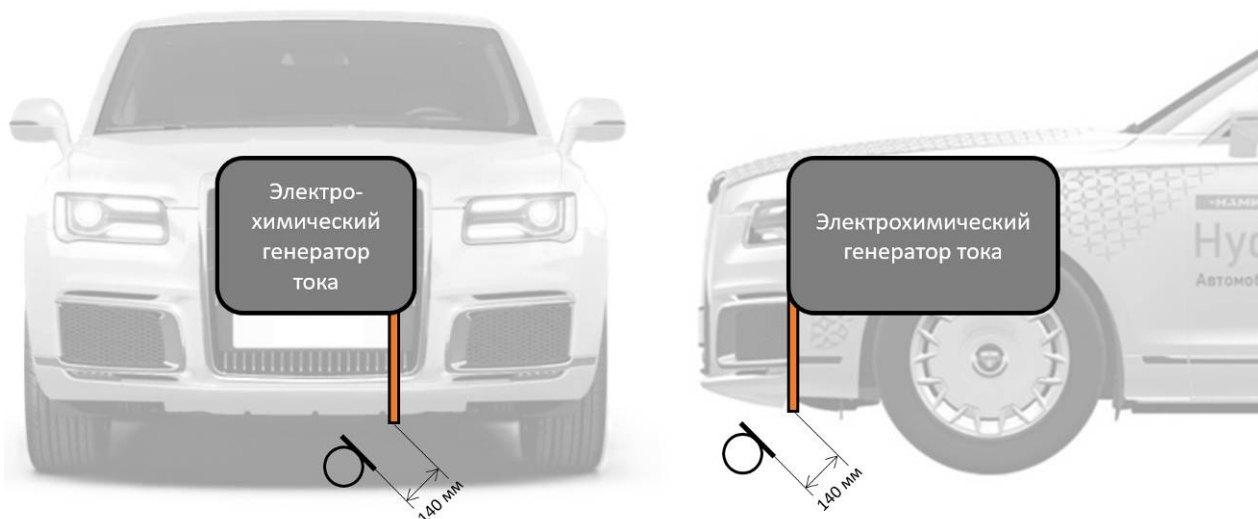


Рис. 5. Установка для экспериментального измерения шума выхлопа автомобиля с гибридной энергетической установкой на основе водородных топливных элементов и аккумуляторов

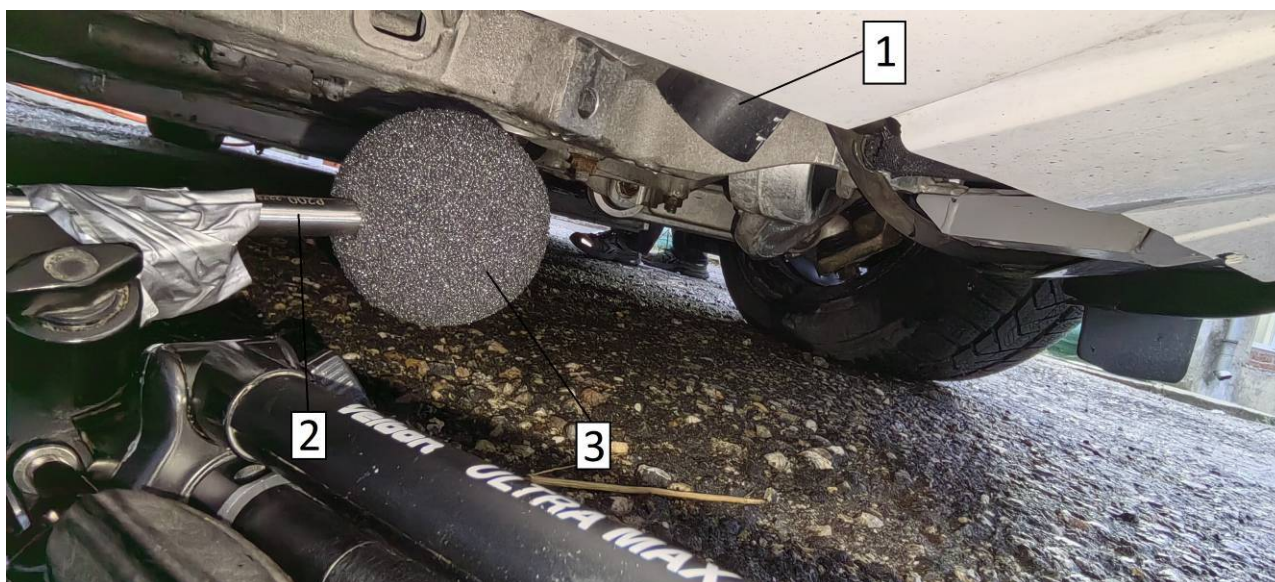


Рис. 6. Пример фактической установки измерительного микрофона в зоне измерений в процессе испытаний

Полученные в результате испытаний общие (интегральные) уровни шума выхлопа электрохимического генератора тока в со-

ставе автомобиля изображены на рис. 7. Общие (интегральные) уровни звукового давления (уровни шума) незаглушенного вы-

хлопа в контрольной измерительной точке, расположенной на расстоянии 140 мм от выходного отверстия, составляют от 98,8 до 124,4 дБА в диапазоне исследованных режимов нагрузки от 10 до 70 кВт. Прямое сравнение с показателями незаглушенного шума выхлопа ДВС, измеряемого в аналогичной точке ближнего звукового поля, является весьма условным, т.к. режимы работы данных энергетической и силовой установок в составе автомобиля сильно различны и зависят, в частности, от спроектированной системы энергоменеджмента.

1/3-октавный спектральный анализ (рис. 8) показывает, что в целом незаглушенное акустическое излучение выхлопа электрохимического генератора в составе гибридной энергоустановки автомобиля представляет

собой широкополосный шум. Доминирующим является высокочастотный диапазон в пределах от 1,6 до 16 кГц. Вместе с этим, в спектрах также выделяются повышенные показатели шума в 1/3-октаве с центром 630 Гц, но они не принимают участие в формировании значений общих уровней, так как значения меньше максимальных на 10...20 дБА. Спектры имеют схожий профиль вне зависимости от режима работы энергетической установки. Фоновый шум, регистрируемый в точке измерений, составляет 62,7 дБА, что значительно ниже незаглушенного шума выхлопа, и, таким образом, не оказывает заметного влияния на уровни полезных сигналов.

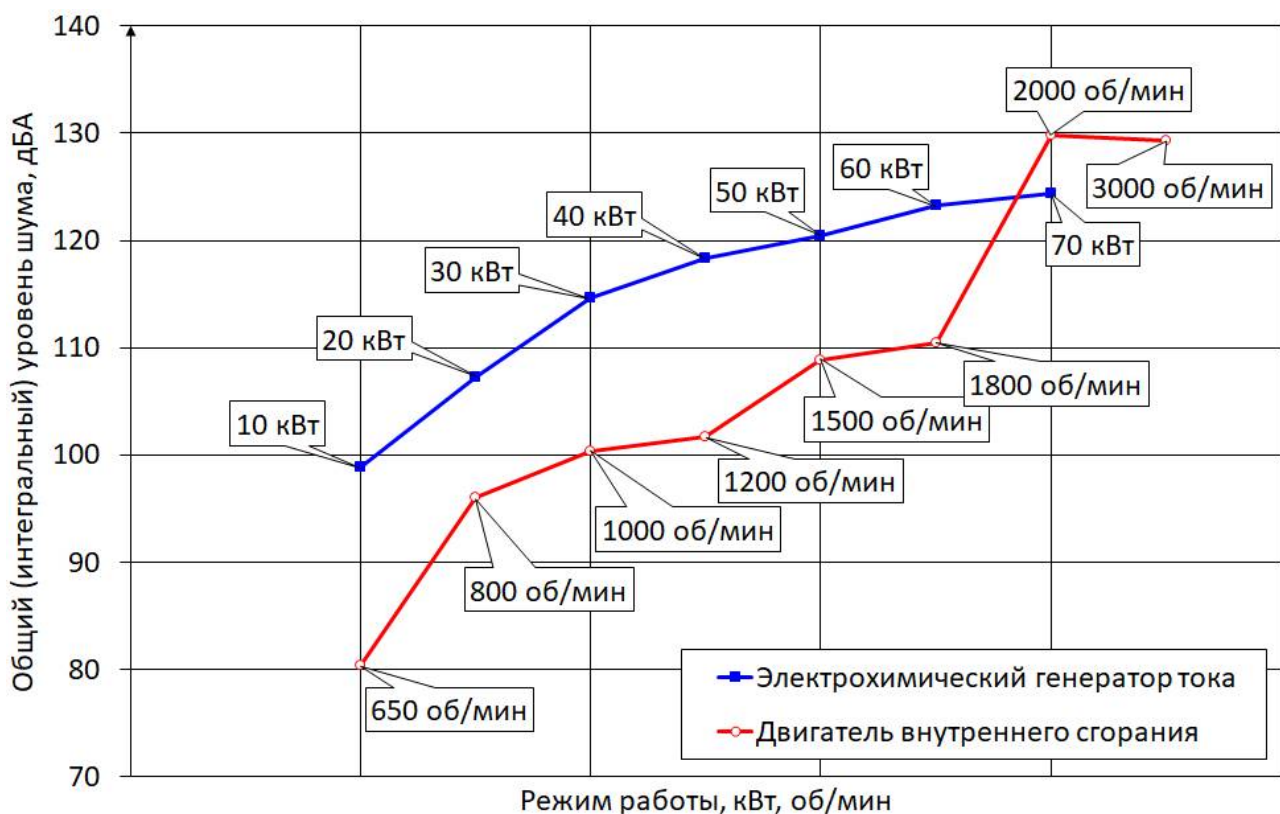


Рис. 7. Сравнение интегральных уровней незаглушенного шума выхлопа автомобиля с гибридной энергоустановкой на основе водородных топливных элементов и аккумуляторов и автомобиля с двигателем внутреннего сгорания

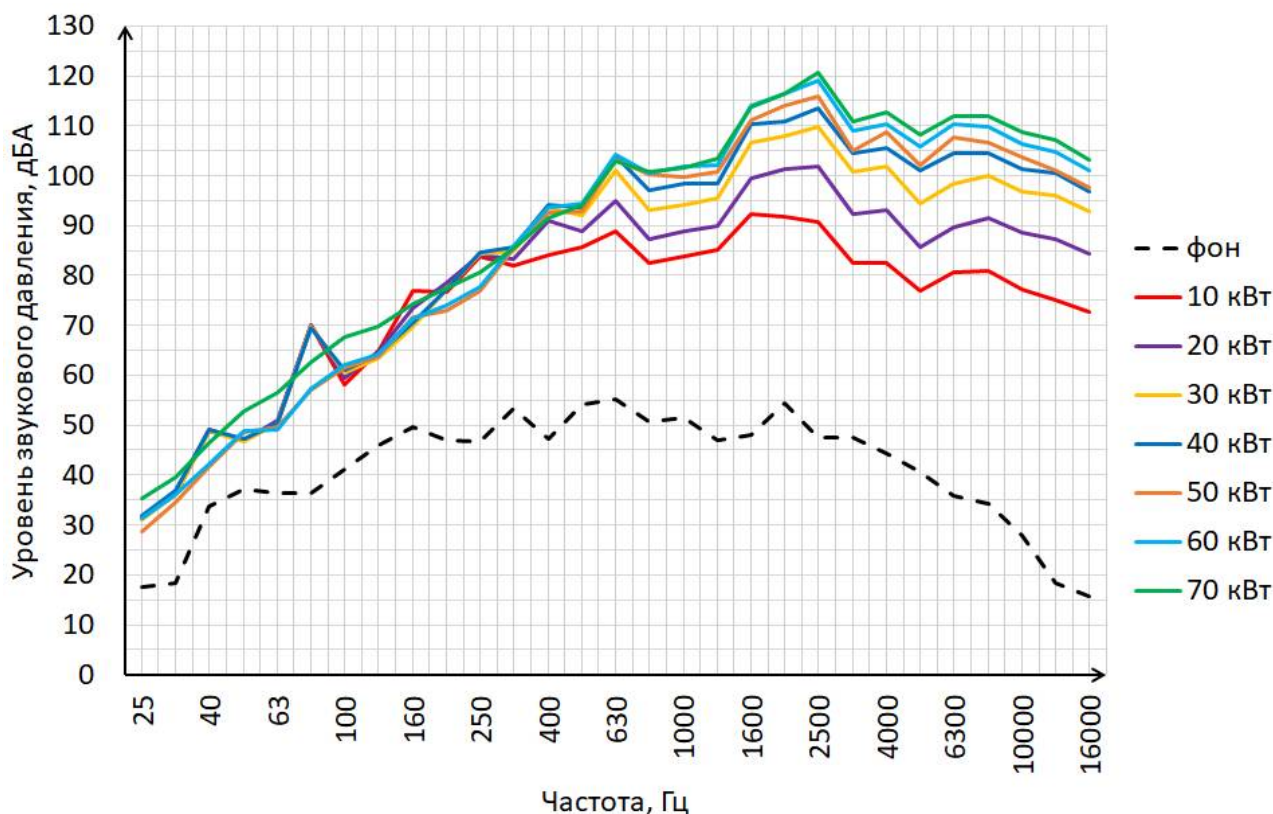


Рис. 8. График 1/3-октавных спектров незаглушенного шума выхлопа электрохимического генератора тока в составе гибридной энергоустановки автомобиля

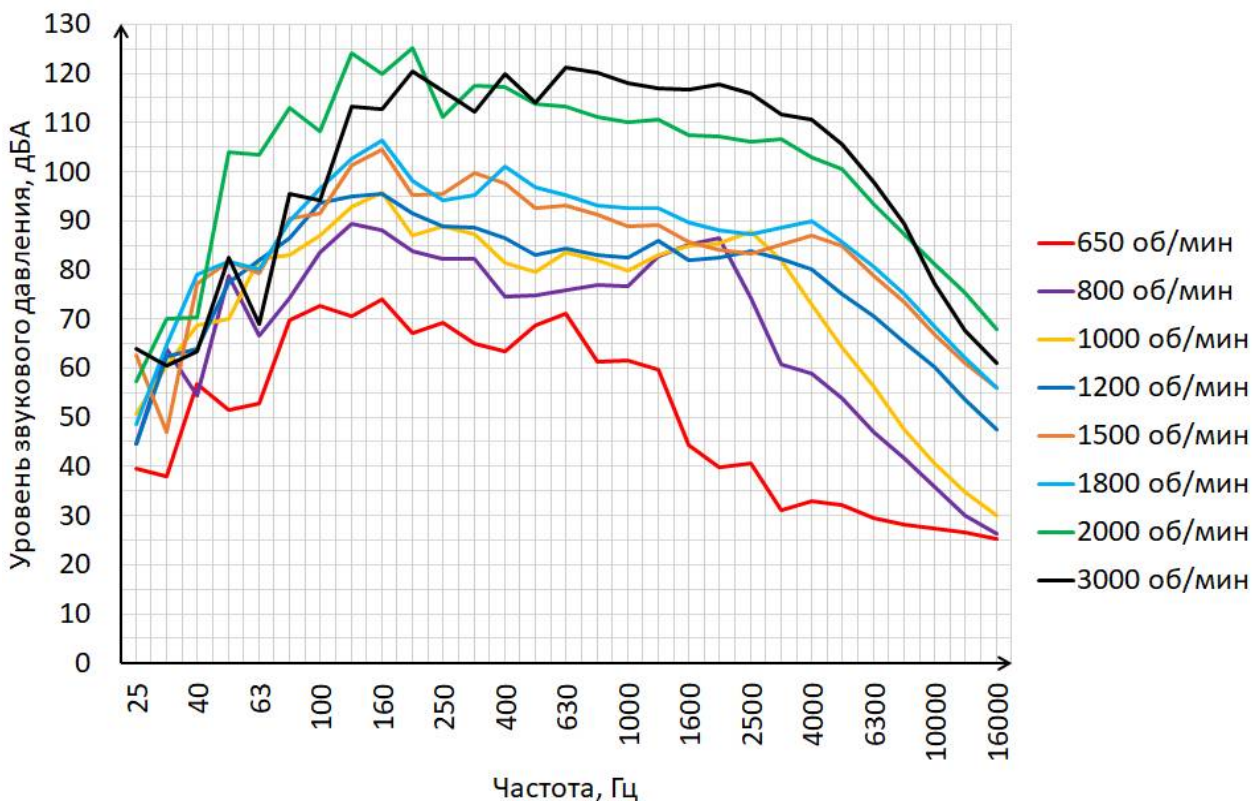


Рис. 9. График 1/3-октавных спектров незаглушенного шума выхлопа ДВС в составе автомобиля

Для ДВС характерны иные значения уровней незаглушенного шума выхлопа (рис. 9) в диапазоне работы ДВС от оборотов холостого хода, равных 650 об/мин, до 3000 об/мин. Спектры шума выхлопа поршневого ДВС в основном формируются звуковыми волнами от рабочего процесса в цилиндрах, которые характеризуются частотами, кратными оборотам коленчатого вала [13]. Эти частоты расположены в звуковом диапазоне преимущественно в низкочастотной области. Таким образом, спектры шума выхлопа ДВС в сравнении со спектрами шума выхлопа электрохимического генератора тока имеют заметно отличающийся профиль с гораздо более высокими значениями уровней в низко- и среднечастотном диапазоне и, напротив, более низкими уровнями в высокочастотном диапазоне. Спектры выхлопа электрохимического генератора представляют собой широкополосные шумы с выделяющимися шипящими высокочастотными составляющими. Кроме этого у электрохимического генератора тока уровни шума выхлопа сгруппированы на графике 1/3-октавных спектров гораздо плотнее, т.е. разброс значений в зависимости от режима нагружения силовой установки меньше, чем у ДВС. Результаты испытаний свидетельствуют о том, что применение классической системы выпуска отработавших газов автомобиля с двигателем внутреннего сгорания может работать неэффективно в случае замены энергетической установки на комбинированную с электрохимическим генератором тока в рамках платформенных изменений. Для автомобиля, оборудованного такой энергоустановкой, необходимо применение индивидуальной системы выпуска отработавших газов, настроенной на подавление доминирующих высоких частот в спектре шума. Это, в какой-то степени, может упростить конструкцию глушителей шума системы выпуска отработавших газов для подобного автомобиля, т.к. отсутствует необходимость эффективного заглушения низкочастотных составляющих, что, как правило, требует применения достаточно больших объемов глушителей шума и эффективной

настроенной компоновки резонаторных элементов [13, 14]. Вместе с этим, существуют дополнительные условия для системы выпуска комбинированной энергетической установки на основе водородных топливных элементов и аккумуляторов – кроме возможности использования более простых в конструктивном плане диссипативных глушителей шума, необходимо учитывать применение дополнительных устройств для удаления сконденсированной влаги [10, 15, 16].

6. Заключение

В работе приведены результаты экспериментального исследования незаглушенных шумов электрохимического генератора тока в составе гибридной энергоустановки на водородных топливных элементах и аккумуляторах автомобиля, произведенного на модульной платформе в статическом состоянии. Отмечено, что общие уровни звукового давления составили от 98,8 до 124,4 дБА в диапазоне исследованных режимов нагрузки. По результатам 1/3-октавного анализа, доминирующим является высокочастотный диапазон от 1,6 до 16 кГц. Спектры шума имеют схожий профиль, который мало зависит от режима работы электрохимического генератора тока гибридной энергоустановки.

Отмечено также, что полная унификация системы шумоглушения в контексте модульной платформы для автомобиля с комбинированной энергоустановкой на топливных элементах и аккумуляторах от автомобиля с ДВС невозможна. Ввиду особенностей работы электрохимического генератора тока, также требуется проработка дополнительной возможности удаления сконденсированной влаги из внутренних полостей системы выпуска отработавших газов.

Полученные результаты исследования могут быть использованы для проектирования эффективных настроенных глушителей шума выхлопа для автомобилей с гибридной энергетической установкой на основе водородных топливных элементов и аккумуляторов.

Список литературы

1. Назаров Ф.Л., Надарейшвили Г.Г., Курмаев Р.Х., Мухаметзянов Р.Г., Чупрунов С.П. Итоги и обзор МАНФ-2025 «Инновации в движении: перспективные технологии автомобильных платформ» // Труды НАМИ. 2025. № 4 (303). С. 6–16.
2. ГОСТ Р 56188.1-2023. Технологии топливных элементов. Часть 1. Терминология. Введ. 2023-05-31.
3. Albatayneh A., Juaidi A., Jaradat M., Manzano-Agugliaro F. Future of electric and hydrogen cars and trucks: an overview // *Energies*. 2023. Vol. 16. No. 7. P. 3230. DOI: 10.3390/en16073230.
4. Muthukumar M., Rengarajan N., Velliyangiri B., Omprakas M.A., Rohit C.B., Raja U.K. The development of fuel cell electric vehicles – A review // *Materials Today: Proceedings*. 2021. Vol. 45. P. 1181-1187. DOI: 10.1016/j.matpr.2020.03.679
5. Корнилов С.В., Фардеев Л.И., Кудин Д.В., Анисимов В.Р., Зверева Э.Р. Оптимизация параметров комбинированной энергоустановки на водородных топливных элементах для пассажирского транспортного средства полной массой 18 тонн городского исполнения. // *Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики*. 2025. Т. 27. №5. С. 118-129. DOI: 10.30724/1998-9903-2025-27-5-118-129.
6. Nguyen H.L., Lee S.M., Yu S. A comprehensive review of degradation prediction methods for an automotive proton exchange membrane fuel cell // *Energies*. 2023. Vol. 16. No. 12. P. 4772. DOI: 10.3390/en16124772
7. Sorlei I.-S., Bizon N., Thounthong P., Varlam M., Carcadea E., Culcer M., Iliescu M., Raceanu M. Fuel Cell Electric Vehicles — A Brief Review of Current Topologies and Energy Management Strategies // *Energies*. 2021. Vol. 14. No. 1. P. 252. DOI: 10.3390/en14010252.
8. Frank C., Holsten L., Şahin T., Vietor T. How to manage vehicle platform variants? A method to assess platform variance through competitive analysis // *Procedia CIRP*. 2022. Vol. 109. P. 598-603. DOI: 10.1016/j.procir.2022.05.300
9. Liu Z., Liu X., Zhao F. Research on

References

1. Nazarov F.L., Nadareyshvili G.G., Kurmaev R.Kh., Mukhametzyanov R.G., Chuprunov S.P. Results and review of IASFF-2025 “Innovations in motion: promising technologies of vehicle platforms” *Trudy NAMI*, 2025, No. 4 (303), pp. 6–16. (In Russian).
2. GOST R 56188.1-2023. *Tekhnologii toplivnykh elementov. Chast 1. Terminologiya*. (In Russian)
3. Albatayneh A., Juaidi A., Jaradat M., Manzano-Agugliaro F. Future of electric and hydrogen cars and trucks: an overview. *Energies*, 2023, Vol. 16, No. 7, p. 3230. DOI: 10.3390/en16073230.
4. Muthukumar M., Rengarajan N., Velliyangiri B., Omprakas M.A., Rohit C.B., Raja U.K. The development of fuel cell electric vehicles – A review. *Materials Today: Proceedings*, 2021, Vol. 45, pp. 1181-1187. DOI: 10.1016/j.matpr.2020.03.679
5. Kornilov S.V., Fardeev L.I., Kudinov D.V., Anisimov V.R., Zvereva E.R. Optimization of the parameters of a combined hydrogen fuel cell power plant for a passenger vehicle with a gross weight of 18 tons of urban use. *Power engineering: research, equipment, technology*, 2025, Vol. 27, No. 5, pp. 118-129. DOI:10.30724/1998-9903-2025-27-5-118-129. (In Russian)
6. Nguyen H.L., Lee S.M., Yu S. A comprehensive review of degradation prediction methods for an automotive proton exchange membrane fuel cell. *Energies*, 2023, Vol. 16, No. 12, p. 4772. DOI: 10.3390/en16124772
7. Sorlei I.-S., Bizon N., Thounthong P., Varlam M., Carcadea E., Culcer M., Iliescu M., Raceanu M. Fuel Cell Electric Vehicles — A Brief Review of Current Topologies and Energy Management Strategies. *Energies*, 2021, Vol. 14, No. 1, p. 252. DOI: 10.3390/en14010252
8. Frank C., Holsten L., Şahin T., Vietor T. How to manage vehicle platform variants? A method to assess platform variance through competitive analysis. *Procedia CIRP*, 2022, Vol. 109, pp. 598-603. DOI: 10.1016/j.procir.2022.05.300
9. Liu Z., Liu X., Zhao F. Research on NEV platform development strategies for

- NEV platform development strategies for automotive companies // *World Electric Vehicle Journal*. 2021. Vol. 12. No. 4. C. 201. DOI: 10.3390/wevj12040201
10. Zhou J., Jiang X., Qiu Y., Chen J., Feng P., Xie Q., Xie X., Tan L. Research on Noise Optimization of Exhaust System for Hydrogen Fuel Cell Vehicles // *SAE 2024 Vehicle Powertrain Diversification Technology Forum*. Xi'An, 2024. DOI: 10.4271/2025-01-7003
11. Kurzydym D. Comparative study of aftermarket and OEM DPFs for Periodic Technical Inspections (PTI) compliance with new PN emission limits // *Combustion Engines*. 2025. Vol. 203. No. 4. P. 126-137. DOI: 10.19206/CE-208400
12. Sontakke A. Impact of vehicle emission and development by OEM // *International Conference on Nascent Technologies in Engineering (ICNTE)*. Vashi, 2017. DOI: 10.1109/ICNTE.2017.7947916.
13. Шатров М.Г., Яковенко А.Л., Кричевская Т.Ю. Шум автомобильных двигателей внутреннего сгорания. Москва: МАДИ, 2014. 68 с.
14. Васильев В.А. Особенности снижения низкочастотного шума автомобильных ДВС с использованием глушителей шума // *Академический журнал Западной Сибири*. 2014. Т. 10. №. 2. С. 1-22.
15. Sazali N., Wan Salleh W.N., Jamaludin A.S., Mhd Razali M.N. New perspectives on fuel cell technology: A brief review // *Membranes*. 2020. Vol. 10. No. 5. P. 99. DOI: 10.3390/membranes10050099
16. Tanaka S., Nagumo K., Yamamoto M., Chiba H., Yoshida K., Okano R. Fuel cell system for Honda CLARITY fuel cell // *eTransportation*. 2020. Vol. 3. P. 100046. DOI: 10.1016/j.etrans.2020.100046
- automotive companies. *World Electric Vehicle Journal*, 2021, Vol. 12, No. 4, p. 201. DOI: 10.3390/wevj12040201
10. Zhou J., Jiang X., Qiu Y., Chen J., Feng P., Xie Q., Xie X., Tan L. Research on Noise Op-timization of Exhaust System for Hydrogen Fuel Cell Vehicles. *SAE 2024 Vehicle Powertrain Diversification Technology Forum*. Xi'An, China, December 2024. DOI: 10.4271/2025-01-7003
11. Kurzydym D. Comparative study of aftermarket and OEM DPFs for Periodic Technical Inspections (PTI) compliance with new PN emission limits. *Combustion Engines*, 2025, Vol. 203, No. 4, pp. 126-137. DOI: 10.19206/CE-208400
12. Sontakke A. Impact of vehicle emission and development by OEM. *International Conference on Nascent Technologies in Engineering (ICNTE)*. Vashi, India, January 2017. DOI: 10.1109/ICNTE.2017.7947916.
13. Shatrov M.G., Yakovenko A.L., Krichevskaya T.Yu. *Shum avtomobilnykh dvigateley vnutrennego sgoraniya* [The noise of automobile internal combustion engines]. Moscow, MADI, 2014. 68 p. (In Russian)
14. Vasilyev V.A. Osobennosti snigeniya nizkochastotnogo shuma avtomobilnykh DVS s ispolzovaniyem glushiteley shuma. *Akademicheskiiy zhurnal Zapadnoy Sibiri*, 2014, Vol. 10, No. 2, pp. 1-22. (In Russian)
15. Sazali N., Wan Salleh W.N., Jamaludin A.S., Mhd Razali M.N. New perspectives on fuel cell technology: A brief review. *Membranes*, 2020, Vol. 10, No. 5, p. 99. DOI: 10.3390/membranes10050099
16. Tanaka S., Nagumo K., Yamamoto M., Chiba H., Yoshida K., Okano R. Fuel cell system for Honda CLARITY fuel cell. *eTransportation*, 2020, Vol. 3, p. 100046. DOI: 10.1016/j.etrans.2020.100046