

УДК 621.43:534.6

Моделирование структурного шума двигателя внутреннего сгорания на эксплуатационных режимах работы

Гофман Максим Денисович

gofmantyt@yandex.ru

Стряпунин Александр Сергеевич

alex.s.study@mail.ru

SPIN-код: 8064-2945

Галевко Елизавета Юрьевна

eliz.galevko@mail.ru

Казakov Станислав Сергеевич

ya.stanislav2000@yandex.ru

SPIN-код: 4459-1926

Яковенко Андрей Леонидович^()*

iakovenko_home@mail.ru

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва, Россия

Аннотация. В докладе рассмотрена методика и результаты моделирования двигателя внутреннего сгорания в составе транспортного средства с использованием программного комплекса AVL CRUISE M для выявления характерных эксплуатационных режимов и оценки на данных режимах структурного шума двигателя от отдельных источников. Представлена модель дизеля 4ЧН 11/12,5, интегрированная в модели грузового автомобиля и автобуса для исследования совместной работы. С использованием разработанных моделей определена звуковая мощность дизеля от рабочего процесса и переключений поршней для различных условий эксплуатации транспортных средств. Показаны отличия шума дизеля в составе грузового автомобиля и автобуса при одинаковых условиях эксплуатации.

Ключевые слова: структурный шум, двигатель внутреннего сгорания, AVL CRUISE M, неустановившийся режим, акустический баланс

Modeling of the structure-borne noise of an internal combustion engine in operational modes

Gofman Maksim Denisovich

gofmantyt@yandex.ru

Stryapunin Aleksandr Sergeevich

alex.s.study@mail.ru

SPIN-code: 8064-2945

Galevko Yelizaveta Yur'yevna

eliz.galevko@mail.ru

Kazakov Stanislav Sergeevich

ya.stanislav2000@yandex.ru

SPIN-code: 4459-1926

Iakovenko Andrey Leonidovich^()*

iakovenko_home@mail.ru

SPIN-code: 8777-2729

Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia

Abstract. The report examines the methodology and results of modeling an internal combustion engine in a vehicle using the AVL CRUISE M software package to identify characteristic operating modes and evaluate structure-borne engine noise from individual sources in these modes. The model of the 4-cylinder diesel engine integrated into truck and bus models for joint work research is presented. Using the developed models, the sound power

of a diesel engine from the working process and piston slap for various vehicle operating conditions was determined. The differences between diesel noise in a truck and a bus under the same operating conditions are shown.

Keywords: structure-borne noise, internal combustion engine, AVL CRUISE M, unsteady mode, acoustic balance

Введение. Шум двигателя внутреннего сгорания является важной экологической характеристикой. В составе транспортного средства двигатель работает преимущественно на неустановившихся режимах [1, 2], что вызывает необходимость дополнения существующих подходов к исследованию шума.

В зависимости от условий эксплуатации транспортного средства двигатель работает в характерном диапазоне режимов, которые определяют комплекс показателей двигателя (мощностных, экономических и экологических), в том числе и структурный шум. Является актуальной задача исследования влияния условий эксплуатации транспортного средства на акустические показатели двигателя для формирования предложений по выполнению требований к уровню шума.

Материалы и методы. Для исследования работы двигателя в составе транспортного средства был использован объектно-ориентированный программный комплекс AVL CRUISE M [2–5]. Данный комплекс позволяет определять показатели двигателя для заданного режима работы, в том числе нестационарного, а также выявить характерные режимы работы двигателя для заданных условий эксплуатации транспортного средства, например, в виде ездовых циклов [6] или экспериментальных замеров параметров движения автомобиля [7–9].

Моделирование структурного шума дизеля выполнялось с использованием разработанных на кафедре «Теплотехника и автотракторные двигатели» МАДИ методик [1, 10, 11] и программного комплекса «Виброакустика ДВС МАДИ». В качестве исходных данных применялись полученные в ПК AVL CRUISE M индикаторные диаграммы и комплекс компоновочных и массово-геометрических параметров дизеля. Результатами моделирования являлись уровни звуковой мощности от рабочего процесса и перекидок поршней — основных источников структурного шума ДВС [10].

Результаты. Разработана модель дизеля 4ЧН11/12,5, верифицированная на основе результатов экспериментальных исследований. Данная модель была интегрирована в модели грузового автомобиля и автобуса (рис. 1).

В качестве различных условий эксплуатации транспортных средств были заданы ездовые циклы, имитирующие движение в городе, пригородной зоне и на трассе (рис. 2).

По результатам моделирования определены характерные рабочие режимы дизеля 4ЧН11/12,5 для рассматриваемых условий эксплуатации в составе грузового автомобиля и автобуса. Данные режимы сопоставлялись с полученными ранее акустическими показателями двигателя (структурный шум от рабочего процесса, перекидки поршня и их сумма) в поле активных режимов (рис. 3 и 4) для определения шума дизеля на режимах эксплуатации.

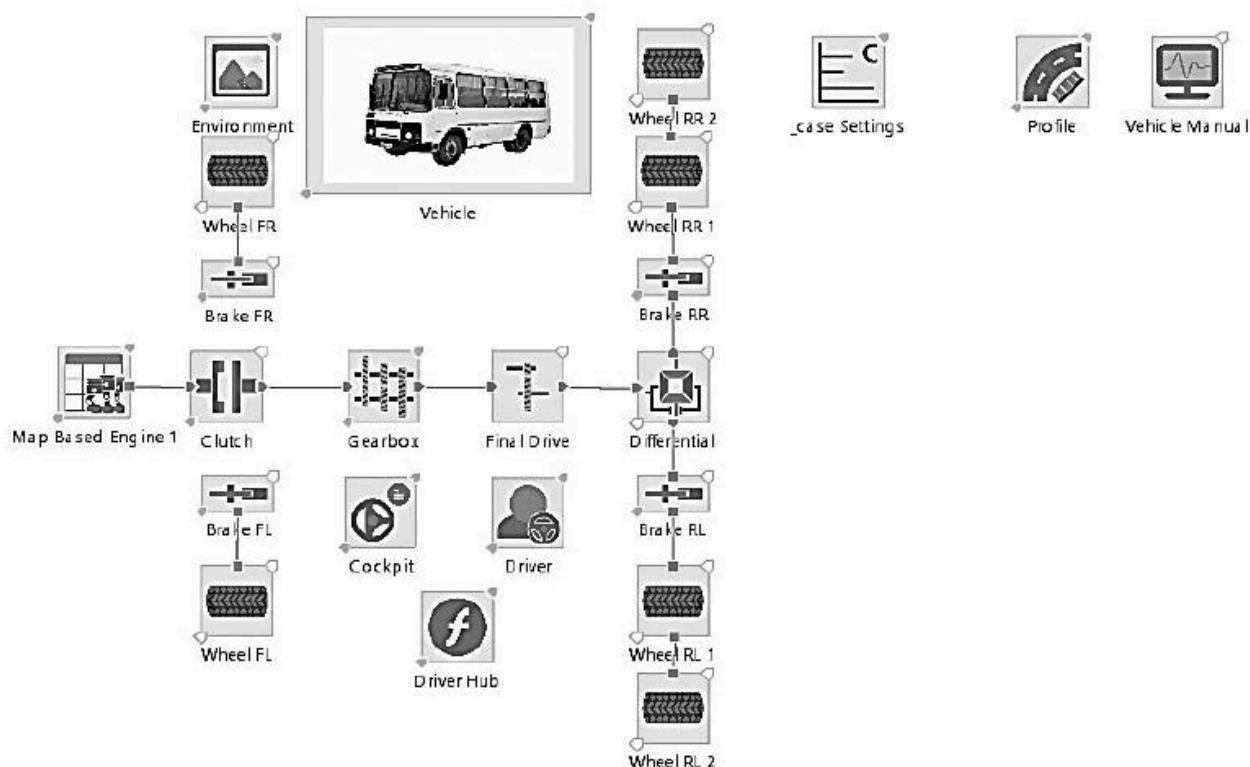


Рис. 1. Модель автобуса с дизелем 4ЧН 11/12,5

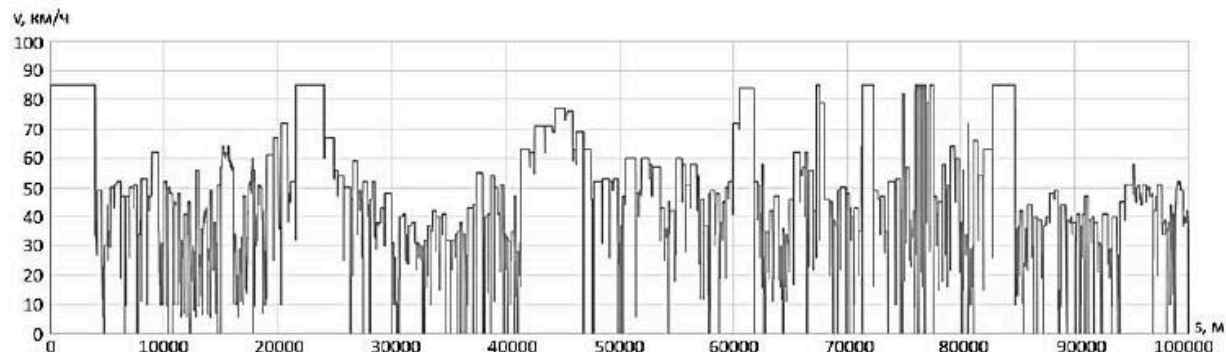


Рис. 2. Пример ездового цикла, соответствующего движению транспортного средства в городе

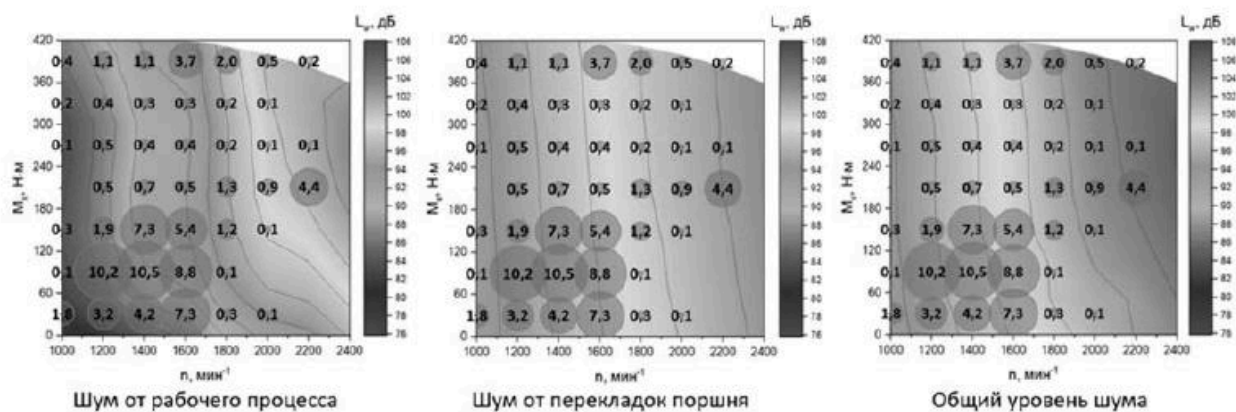


Рис. 3. Результаты исследования шума дизеля 4ЧН11/12,5 при эксплуатации грузового автомобиля в городе

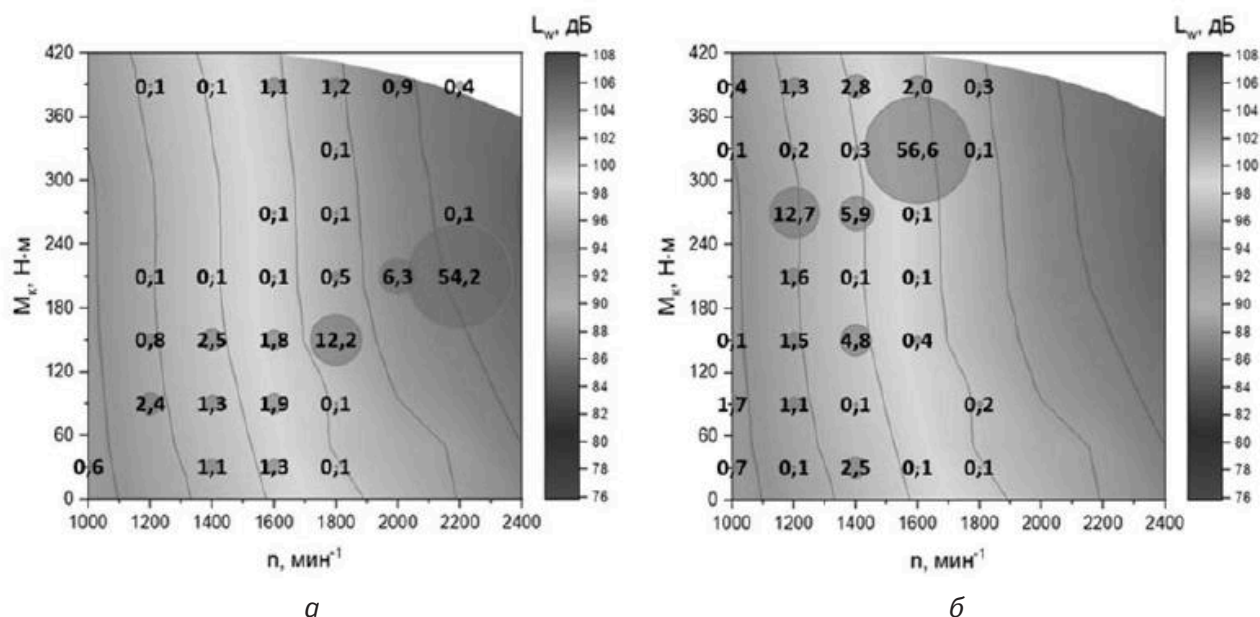


Рис. 4. Структурный шум дизеля 4ЧН11/12,5 от рабочего процесса и перекладки поршней при эксплуатации грузового автомобиля и автобуса в пригородной зоне:
а — грузовой автомобиль; б — автобус

Обсуждение. Анализ полученных результатов показал, что наиболее активным источником структурного шума дизеля 4ЧН 11/12,5 при городской эксплуатации являются перекладки поршня. Шум от рабочего процесса приближается к шуму от перекладок поршня при эксплуатации в пригородной зоне и на трассе. Снижению шума от рабочего процесса способствовало применение в исследуемом дизеле электронной системы управления и аккумуляторной топливной системы. В случае применения в данном дизеле механической топливной аппаратуры, как это было сделано на более старых моделях, акустический баланс сместится в сторону рабочего процесса, что соответствует традиционному соотношению источников шума дизеля [10].

Сопоставление результатов для грузового автомобиля и автобуса выявило отличие режимов работы дизеля при одинаковых условиях движения, что может быть объяснено различием массово-геометрических показателей транспортных средств и передаточных отношений в коробке передач. Шум дизеля в диапазонах режимов работы с повышенным шумом в составе грузового автомобиля оказался выше на 1...5 дБ по сравнению с автобусом для (рис. 4).

Заключение. Представленные модели и технология их применения при моделировании функционирования двигателя внутреннего сгорания в составе транспортного средства позволяют выполнять широкий спектр исследований в области структурного шума ДВС на установившихся и нестационарных режимах работы двигателя и движения транспортного средства.

Полученные результаты в виде характерных режимов работы двигателя и его акустических показателей на данных режимах используются для фор-

мирования предложения по снижению структурного шума от отдельных источников в соответствии с требованиями условий эксплуатации транспортного средства. При этом управление шумом от рабочего процесса дизеля может быть оперативным в случае применения электронной системы управления двигателем и аккумуляторных топливных систем, а шум от других источников, например, от перекачки поршня или механизма газораспределения может быть снижен только путем модернизации конструкции деталей [12] и механизмов [13].

Список источников

- [1] Шатров М.Г., Яковенко А.Л., Алексеев И.В., Гадир Н. Методика моделирования структурного шума ДВС на неустановившихся режимах. *Известия Волгоградского государственного технического университета. Сер. Наземные транспортные системы*, 2014, № 3 (130), с. 60–65.
- [2] Стряпунин А.С., Яковенко А.Л., Шатров М.Г., Голубков Л.Н., Трофименко Ю.В., Дунин А.Ю. Применение комплекса AVL Cruise M для моделирования работы двигателя в составе транспортного средства. *Двигателестроение*, 2023, № 4 (294). <https://doi.org/10.18698/jec.2023.4.16-23>
- [3] Nemes D., Palfi T., Hajdu S. Vehicle Dynamic Simulation Possibilities Using AVL Cruise M. *International Journal of Engineering and Management Sciences*, 2020, vol. 5, no. 2, pp. 309–323. <https://doi.org/10.21791/IJEMS.2020.2.35>
- [4] Bagameri N., Varga B.-O., Moldovanu D., Csato A., Karamousantas D. Analysis of Range Extended Hybrid Vehicle with Rotary Internal Combustion Engine Using AVL Cruise. AMMA-2018, PAE, 2019, pp. 312–319. https://doi.org/10.1007/978-3-319-94409-8_35
- [5] Яковенко А.Л., Шатров М.Г., Голубков Л.Н., Тер-Мкртичян Г.Г., Предеин А.А. Исследование структурного шума дизеля с использованием современных технологий. *Двигателестроение*, 2022, № 1 (287), с. 45–54.
- [6] Барченко Ф.Б., Сячинов А.В., Шишко И.Д. Моделирование работы двигателя при движении колесного транспортного средства по ездовому циклу. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2015, № 6 (663), с. 9–19.
- [7] Александров А.В., Долгов И.А., Сидоров К.М. Мобильный диагностический комплекс для анализа работы ДВС. *Автомобиль. Дорога. Инфраструктура*, 2025, № 1(43).
- [8] Александров А.В., Долгов И.А., Морозкин Т.В., Конюшков Д.С. Динамические испытания в условиях реальной эксплуатации транспортного средства. *Автомобиль. Дорога. Инфраструктура*, 2024, № 3 (41).
- [9] Долгов И.А., Александров А.В. Мобильный комплекс для регистрации и обработки параметров работы автомобильного двигателя. *Журнал автомобильных инженеров*, 2017, № 2(103), с. 11–17.
- [10] Яковенко А.Л. *Разработка методики и инструментальных средств для прогнозирования структурного шума двигателя внутреннего сгорания*. Автореф. дис. ... канд. техн. наук Москва, МАДИ, 2009, 24 с.
- [11] Шатров М.Г., Яковенко А.Л. Методика и некоторые результаты расчета структурного шума двигателя внутреннего сгорания для формирования компонентов

единого информационного пространства «ДВС». *Вестник Московского автомобильно-дорожного института (государственного технического университета)*, 2009, № 1 (16), с. 10–18.

- [12] Якунин Р.В. *Методические основы оптимизации профиля юбки поршня ДВС с целью снижения механических потерь*. Дис. ... канд. техн. наук. Москва, НАМИ, 2019, 127 с.
- [13] Корчемный Л.В. *Механизм газораспределения автомобильного двигателя: кинематика и динамика*. Москва, Машиностроение, 1981, 191 с.