

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРНОГО ШУМА ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ДЛЯ РАЗНЫХ УРОВНЕЙ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

**Казаков Станислав Сергеевич**, студент,  
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, iakovenko\_home@mail.ru

**Предеин Александр Александрович**, магистрант,  
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, rapryjib@gmail.com

**Глазков Андрей Олегович**, аспирант,  
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64,  
andrushka.andrushka28@gmail.com

**Яковенко Андрей Леонидович**, канд. техн. наук, доц.,  
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, iakovenko\_home@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассмотрены особенности моделирования и расчета структурного шума ДВС на разных этапах его проектирования: внешнем и внутреннем проектировании. Проведено сравнение методов и программных средств для расчета структурного шума двигателя от рабочего процесса и переключений поршней, необходимых исходных данных и результатов расчетов на этапах внешнего и внутреннего проектирования. Показано, что при детальной проработке рабочего процесса и конструкции двигателя для расчета шума на стационарном режиме целесообразно применять объектно-ориентированные комплексы, например, AVL Excite, которые позволяют получить подробную информацию по звуковому полю двигателя, определить основные детали - излучатели шума. При необходимости расчета переходных режимов могут быть применены программные комплексы "Рабочий процесс" и "Акустика ДВС", разработанные на кафедре «Теплотехника и автотракторные двигатели» МАДИ.

**Ключевые слова:** шум двигателя, структурный шум, этапы проектирования, исследование шума, рабочий процесс, переключенка поршня.

## COMPARATIVE ANALYSIS OF INTERNAL COMBUSTION ENGINE STRUCTURE-BORNE NOISE RESEARCH METHODS FOR DIFFERENT DESIGN LEVELS

**Kazakov Stanislav S.**, student,  
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, iakovenko\_home@mail.ru

**Predein Aleksandr A.**, undergraduate,  
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, rapryjib@gmail.com

**Glazkov Andrej O.**, postgraduate,  
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia,  
andrushka.andrushka28@gmail.com

**Yakovenko Andrej L.**, Ph.D., associate professor,  
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, iakovenko\_home@mail.ru

**Abstract.** The article considers the features of modeling and calculating the structure-borne noise of an internal combustion engine at different stages of its design: external and internal design. A comparison of methods and software tools for calculating the structural noise of the engine from the working process and piston tilts, the necessary initial data and calculation results at the stages of external and internal design is carried out. It is shown that with a detailed study of the working process and the design of the engine it is advisable to use object-oriented complexes, for example, AVL Excite, which allows you to get detailed information on the sound field of the engine to determine the main parts-noise emitters. If it is necessary to calculate the transient modes the software complexes "Working process" and "Internal Combustion Engine Acoustics" developed at the Department of "Heat Engineering and Automotive engines" of MADI can be used.

**Key words:** engine noise, structure-borne noise, design stages, noise research, workflow, piston tilt.

**Актуальность темы.** Акустическое излучение двигателя внутреннего сгорания является его важной характеристикой. В любом автотранспортном средстве ДВС является одним из наиболее значимых источников шума.

По физической природе происхождения шум ДВС подразделяется на:

- аэродинамический, источником которого являются импульсные пульсации газового потока при входе в ДВС и выходе из него;

- структурный, вызываемый колебаниями наружных поверхностей в результате внесения в конструкцию ДВС энергии от процесса сгорания, а также от соударений в его подвижных элементах [1].

С научной точки зрения наибольший интерес и, одновременно, наибольшие сложности вызывает структурный шум, так как методы снижения аэродинамического шума хорошо известны и отработаны на практике [1].

**Методы и средства исследования шума.** На разных этапах проектирования имеется существенно отличающийся набор данных о компоновке, рабочем процессе и конструкции двигателя внутреннего сгорания. Этим объясняется отличие в используемых методах и средствах для исследований шума ДВС.

На этапе внешнего проектирования известны только общая компоновка двигателя и крайне ограниченный объем информации о его основных конструктивных параметрах. В результате для оценки шума применяются эмпирические зависимости, например [1, 2], которые справедливы для конкретного семейства двигателей:

$$L_A = 10 \lg n + 5,5 \lg N_e + 55,$$

$$L_A = 30 \lg n + 50 \lg D - 51,5.$$

Результатом расчета на этом этапе является общий уровень шума без его спектральных характеристик.

При внутреннем проектировании (подробной проработке двигателя) для расчета рабочего процесса, моделирования конструкции и расчета шума используются специализированные программные средства, которые также имеют различный уровень детализации.

Методика расчета структурного шума включает следующие этапы [2, 3]:

- формирование набора данных по двигателю;
- разработка модели конструкции двигателя;

- расчет рабочего цикла двигателя для получения его индикаторной диаграммы;
- расчет структурного шума.

Для определения массово-геометрических параметров двигателя могут использоваться упрощенные аналитические зависимости либо статистическая информация, а также 3D моделирование, которое позволяет получать более точные данные, но требует времени на создание модели. Затраты времени могут быть уменьшены при использовании САПР ДВС, разрабатываемой на кафедре "Теплотехника и автотракторные двигатели" МАДИ на базе системы трехмерного моделирования.

Расчет рабочего цикла двигателя может быть выполнен с использованием программного комплекса "Рабочий процесс" (МАДИ) либо более сложных пакетов, например, "Дизель-ПК" и AVL FIRE. Последние требуют большого количества исходных данных для расчета и позволяют получить более детальные результаты, например, по токсичности, которые не нужны при расчете шума. ПК "Рабочий процесс", в свою очередь, имеет меньше исходных данных и малую продолжительность расчета, что может являться преимуществом при исследовании неустановившихся режимов [4].

После получения массово-геометрических параметров двигателя и индикаторной диаграммы выполняется расчет структурного шума. Для этого могут применяться ПК "Акустика ДВС" (МАДИ), AVL EXCITE или другие комплексы.

В ПК "Акустика ДВС" использована упрощенная модель двигателя в виде эквивалентной цилиндрической оболочки, которая показала на практике достаточную точность расчетов [2, 3, 5]. Преимуществом данного комплекса также является малое время расчета шума. Результатами расчета являются спектр и общий уровень звуковой мощности двигателя от рабочего процесса и перекадки поршня. Корректность расчета общего

уровня шума по данному методу неоднократно подтверждалась экспериментальным путем (рис. 1) [2].

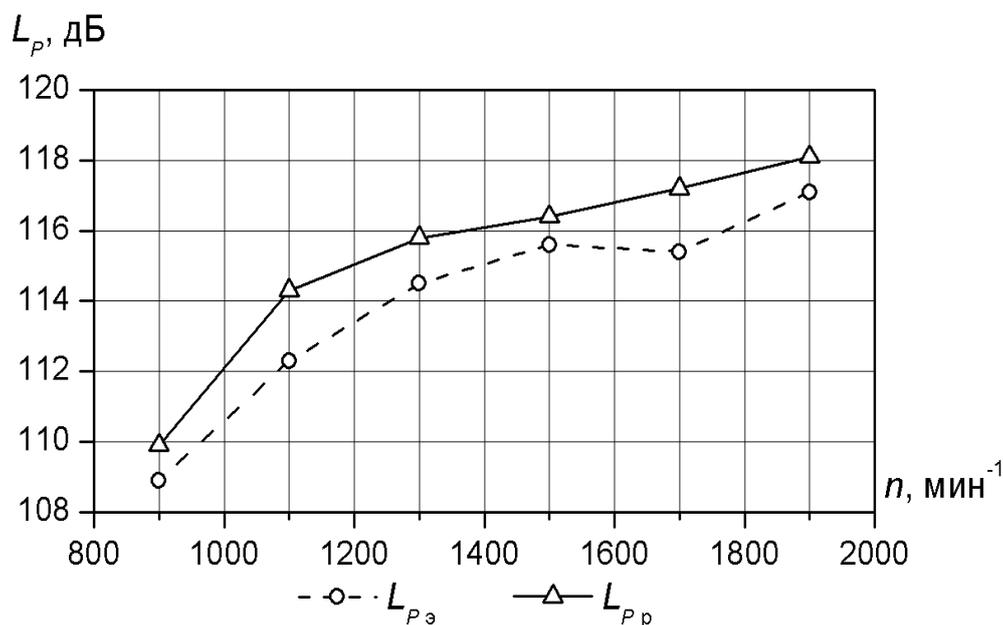


Рис. 1. Сравнение расчетных и экспериментальных уровней структурного шума дизеля 8ЧН 12/13 по внешней скоростной характеристике [2]

Комплекс AVL EXCITE позволяет получить гораздо более детальную информацию о колебаниях наружных поверхностей корпусных деталей и звуковом поле двигателя (рис. 2). Также при расчете переключков поршня учитывается геометрия его юбки и цилиндра, тепловое расширение и т.д.

Однако подготовка расчетной модели и выполнение расчета требуют значительно большего количества времени и высокого уровня подготовки инженера, выполняющего расчет.

Поэтому при выполнении исследований структурного шума на данном этапе проектирования необходимо четко определить цель и задачи исследования для выбора наиболее рациональных инструментальных средств для расчета рабочего процесса и структурного шума двигателя.

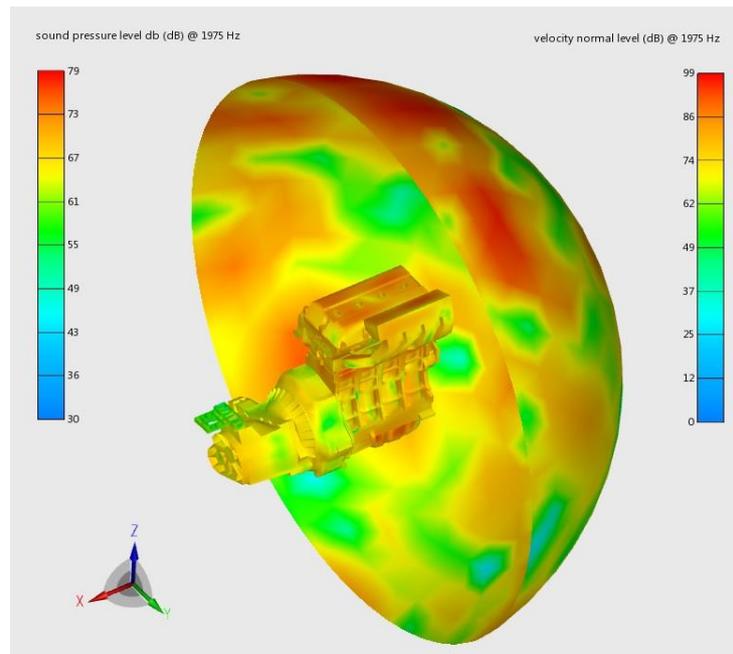


Рис. 2. Пример результатов расчета шума в комплексе AVL EXCITE

## Выводы

1. Проведено сравнение возможностей программных средств для расчета рабочего процесса и структурного шума на разных этапах проектирования двигателя.

2. ПК "Рабочий процесс" и "Акустика ДВС" имеют преимущества во времени исследований и могут быть использованы в условиях ограниченных исходных данных, а также при расчете шума на неустановившихся режимах работы двигателя. Комплексы "Дизель-РК", AVL FIRE, AVL EXCITE требуют большое количество исходных данных, высокой квалификации пользователя и предпочтительны для расчетов на стационарном режиме.

## Список литературы

1. Шатров, М.Г. Шум автомобильных двигателей внутреннего сгорания: учеб. пособие / М.Г. Шатров, А.Л. Яковенко, Т.Ю. Кричевская. – М.: МАДИ, 2014. – 68 с.
2. Яковенко, А.Л. Разработка методики и инструментальных средств для прогнозирования структурного шума двигателя внутреннего сгорания: дис. ... канд.

техн. наук : 05.04.02 / Яковенко Андрей Леонидович; МАДИ. – М., 2009. – 144 с.: ил. РГБ ОД, 61 09-5/3316.

3. Шатров, М.Г. Методика и некоторые результаты расчета структурного шума двигателя внутреннего сгорания для формирования компонентов единого информационного пространства "ДВС" / М.Г. Шатров, А.Л. Яковенко // Вестник Московского автомобильно-дорожного института (государственного технического университета). – 2009. – № 1 (16). – С. 10-18.

4. Шатров, М.Г. Методика моделирования структурного шума ДВС на неустановившихся режимах / М.Г. Шатров, А.Л. Яковенко, И.В. Алексеев, Н. Гадир // Известия Волгоградского государственного технического университета. Серия: Наземные транспортные системы. – 2014. – Т. 8. – № 3(130). – С. 60-65.

5. Шатров, М.Г. Исследование влияния скоростного режима работы ДВС на уровень его структурного шума / М.Г. Шатров, А.Л. Яковенко // Грузовик. – 2011. – № 5. – С. 34-39.

### References

1. Shatrov M.G., Yakovenko A.L., Krichevskaya T.Y. *SHum avtomobil'nyh dvigatelej vnutrennego sgoraniya* (Noise of Automobile Internal Combustion Engines), Moscow, MADI, 2014, 68 p.

2. Yakovenko A.L., *Razrabotka metodiki i instrumental'nyh sredstv dlya prognozirovaniya strukturnogo shuma dvigatelya vnutrennego sgoraniya* (Development of methods and tools for predicting structure-borne noise of the internal combustion engine), PhD thesis, Moscow, MADI, 2009, 144 p.

3. Shatrov M.G., Yakovenko A.L. *Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo instituta (gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta)*, 2009, no. 1(16), pp. 10-18.

4. Shatrov M.G., Yakovenko A.L., Alekseev I.V., Gadir N. *Izvestiya Volgogradskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta. Seriya Nazemnye Transportnye Sistemy*, 2014, vol. 8, no. 3, pp. 60–65.

5. Shatrov M.G., Yakovenko A.L., *Gruzovik*, 2011, no. 5, pp. 34-39.

Рецензент: М.Г. Шатров, д-р техн. наук, проф., МАДИ