

УДК 621.43:534.6

Исследование структурного шума дизеля 4Чн 11/12,5 при изменении режима работы и коэффициента короткоходности

М.Г. Шатров, А.Л. Яковенко

В статье представлена методика и инструментальные средства для расчета структурного шума двигателя внутреннего сгорания. Показано их использование на примере расчета уровней структурного шума дизеля 4ЧН 11/12,5 от рабочего процесса и перекладок поршней по внешней скоростной характеристике и при изменении коэффициента короткоходности.

Ключевые слова: структурный шум, единое информационное пространство, двигатель внутреннего сгорания, трехмерное моделирование двигателя, шум от рабочего процесса, шум от перекладок поршней.

In the article the method and tools for internal combustion engine structure-born noise calculation are discussed. Using of method was shown by example of structure-born noise level calculation for 4-cylinder diesel engine from work process and piston transpositions by speed characteristic and for coefficient K varying.

Keywords: structure-born noise, common information space, Internal—combustion engine, 3D-modelling of engine, noise from work process, noise from piston transpositions.

Наиболее значимыми источниками структурного шума двигателя внутреннего сгорания (ДВС) являются рабочий процесс и соударения элементов в подвижных сочленениях (например, перекладки поршней, удары в механизме газораспределения и т. д.).

Современные информационные технологии позволяют на качественно новом уровне реализовать методики расчета структурного шума двигателя в рамках единого информационного пространства ДВС (ЕИП ДВС) [1, 2]. Использование компонентов ЕИП ДВС существенно уменьшает сроки создания технических объектов и позволяет удовлетворить все более высокие требования к их качеству.

Основой ЕИП ДВС является информационная модель ДВС, которая представляет собой совокупность данных, описывающих его конструкцию и рабочий процесс.

В процессе проектирования в зависимости от стадии проектирования меняется объем используемой информации. Например, при формировании концепции двигателя для описания его конструкции ис-



ШАТРОВ

Михаил Георгиевич
доктор технических наук,
профессор, заведующий
кафедрой «Теплотехника
и автотракторные
двигатели»
(МАДИ)



ЯКОВЕНКО

Андрей Леонидович
ассистент кафедры
«Теплотехника
и автотракторные
двигатели»
(МАДИ)

пользуют только самые общие параметры: количество цилиндров, ход поршня, диаметр цилиндра и т. д. При этом массо-геометрические показатели определяют по аналитическим зависимостям или выбирают по прототипу. Акустическое излучение рассчитывают по формулам, приведенным в работах [3, 4]. Для определения параметров конструкции и рабочего процесса, акустического излучения двигателя при его детальной проработке используют специализированные подсистемы САПР ДВС.

Особенности информационной модели двигателя при выполнении его детальной проработки

При проработке конструкции ДВС в целях повышения точности расчетов следует использовать существенно более обширный объем структурированной информации о двигателе, чем при формировании концепции ДВС. На данном этапе проектирования для выполнения качественной оценки структурного шума ДВС применяют модели, которые имеют общую физическую и методическую основу. Они позволяют рассчитать уровни акустической мощности от отдельных источников структурного шума: рабочего процесса, переключений поршней и т. д.

Используемая для расчета акустической мощности индикаторная диаграмма двигателя на данном этапе формируется по результатам расчета его рабочего цикла по соответствующим типу ДВС методикам или экспериментально.

Модели конструкции двигателя, которые применяются при его детальной проработке, должны быть сформированы на единой методической основе, быть типовыми и параметрическими [5, 6]. Под параметризацией модели понимается выявление ее характерных размеров и установление функциональной взаимосвязи между ними. Подобная концепция позволяет повысить преемственность моделей, оперативность и качество перехода от одного уровня описания конструкции к другому, обеспечить при поиске приемлемой конструкции быструю трансформацию различных вариантов типовой модели в требуемую оригинальную.

Для повышения качества акустических расчетов были разработаны специализированные компоненты ЕИП ДВС: для формирования трехмерных моделей конструкции, расчета рабочего цикла и структурного шума от основных источников.

Применение разработанных компонентов ЕИП ДВС для расчета структурного шума двигателя

Расчет структурного шума ДВС на заданном режиме работы выполняется по разработанной методике с использованием указанных ранее компонентов ЕИП ДВС и включает в себя следующие этапы:

- 1) подготовка информационной модели для описания ДВС;
- 2) получение модели конструкции ДВС заданной конфигурации с последующим определением ее требуемых характерных параметров;
- 3) расчет рабочего цикла ДВС и получение его индикаторной диаграммы;
- 4) расчет общего уровня и спектров акустической мощности источников структурного шума ДВС.

Для реализации данного алгоритма были разработаны следующие подсистемы САПР ДВС:

- *подсистема концептуального проектирования ДВС;*
- *подсистема формирования рабочего цикла двигателя;*
- *подсистема формирования конструкции ДВС.* На основе сформированных трехмерных моделей конструкции генерируются конечно-элементные модели, которые применяются для оценки напряженно-деформированного состояния элементов конструкции двигателя с целью анализа их работоспособности, уровней вибрации и шумоизлучения. С помощью трехмерных моделей определяются массо-геометрические параметры отдельных компонентов и всего двигателя;

• *проектирующие подсистемы.* Данные подсистемы предназначены для решения задач, связанных с определением параметров работы отдельных систем двигателя (впуска и выпуска, топливоподачи, смазывания, охлаждения

и др.). В состав САПР ДВС входит разработанная подсистема «Виброакустика ДВС», позволяющая выполнять расчет структурного шума двигателя от основных источников (рабочего процесса и соударений в подвижных сочленениях ДВС).

Расчет структурного шума ДВС осуществляется по методикам, разработанным на кафедре «Теплотехника и автотракторные двигатели» МАДИ [1, 3–5]. Исходными данными для расчета шума являются параметры конструкции двигателя и индикаторная диаграмма.

К конструктивным параметрам относятся наружные поверхности, масса, длина и некоторые массо-геометрические параметры поршня и шатуна, которые определяются в подсистеме формирования конструкции двигателя, входящей в состав САПР ДВС.

Индикаторная диаграмма двигателя формируется в результате расчета его рабочего цикла по методике, разработанной на кафедре МАДИ [6].

Результатами расчета акустического излучения двигателя в подсистеме «Виброакустика ДВС» являются общий уровень и спектры акустической мощности источников структурного шума.

Применение разработанной методики расчета структурного шума ДВС на примере дизеля 4ЧН 11/12,5

В качестве иллюстрации возможностей использования разработанных методики и инструментальных средств рассмотрим расчет уровня звуковой мощности рабочего процесса и перекладок поршней по внешней скоростной характеристике (ВСХ) дизеля 4ЧН 11/12,5 с базовыми параметрами: $iV_h = 4,75$ л, $\varepsilon = 17$, $D = 110$ мм, $S = 125$ мм, $l_{ш} = 226$ мм, $\lambda = 0,276$, коэффициент короткоходности $K = S/D = 1,136$.

На первом этапе с помощью разработанных компонентов ЕИП ДВС была сформирована информационная модель двигателя, получена его трехмерная модель (рис. 1), на основе которой были определены необходимые для расчета акустической мощности массо-геометрические параметры двигателя.

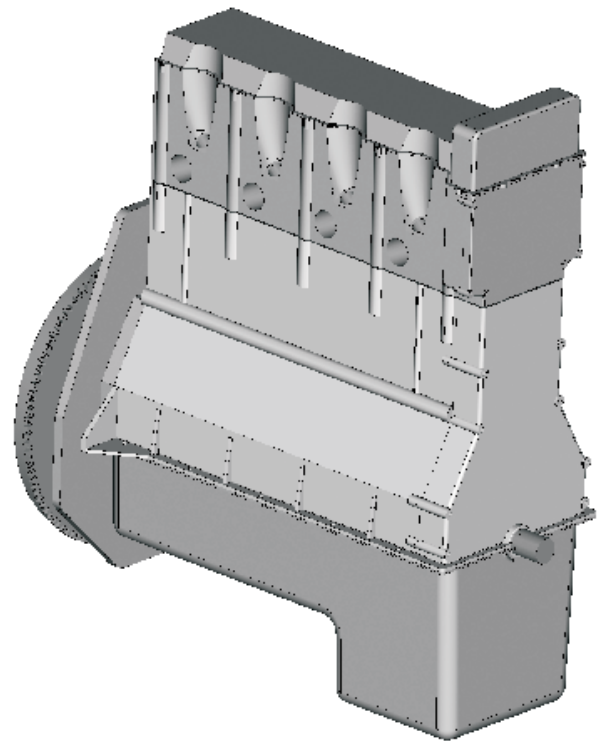


Рис. 1. Трехмерная модель дизеля 4ЧН 11/12,5

Далее был рассчитан рабочий цикл ДВС для нескольких режимов ВСХ с использованием полученных ранее экспериментальных данных. В результате были сформированы индикаторные диаграммы. Для оценки правильности расчета рабочего цикла рассчитанные мощностные и экономические показатели были сопоставлены с экспериментальными (рис. 2). В результате был выполнен расчет общего уровня звуковой мощности основных источников структурного шума дизеля 4ЧН 11/12,5 по ВСХ, результаты которого представлены на рис. 3.

Разработанные методика и инструментальные средства для расчета структурного шума двигателя могут быть использованы для его оценки при изменении параметров конструкции ДВС.

В качестве примера таких исследований была выполнена оценка влияния коэффициента короткоходности $K = S/D$ на уровень структурного шума 4ЧН 11/12,5 от рабочего процесса и перекладок поршней. Исследование проводилось на номинальном режиме работы двигателя. При расчетах были приняты постоянными рабочий объем дизеля, длина шатуна и кон-

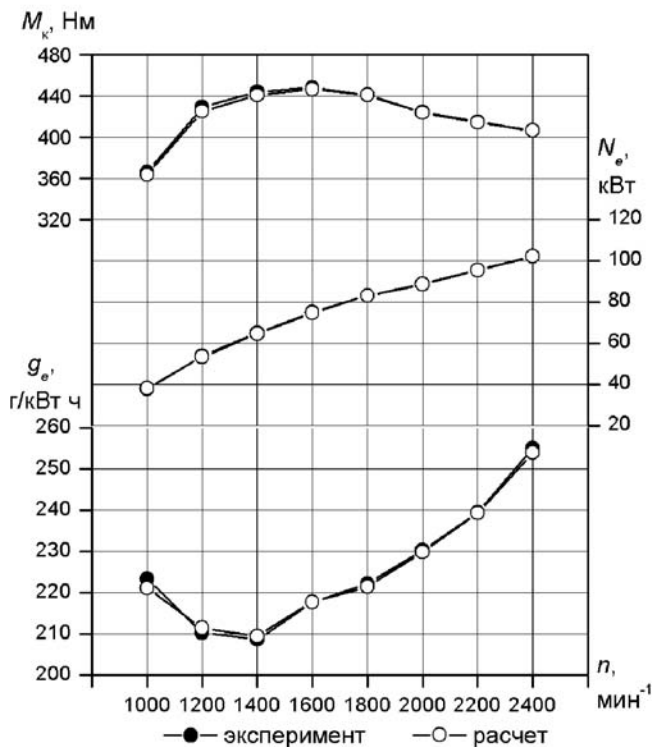


Рис. 2. Сравнение расчетных и экспериментальных показателей рабочего цикла дизеля 4ЧН 11/12,5

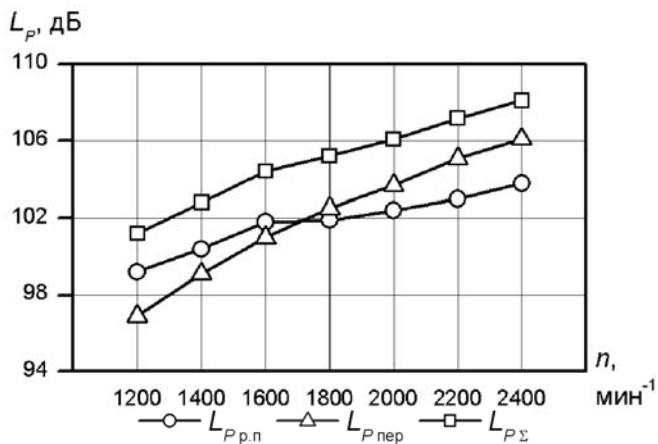


Рис. 3. Результаты расчета уровня акустической мощности основных источников структурного шума двигателя 4ЧН 11/12,5 по ВСХ

структивные параметры, которые требуются для однозначности решаемой задачи: межцилиндровое расстояние $a_{м.ц}$ и толщина рубашки охлаждения между цилиндрами $t_{в.ц}$. Коэффициент короткоходности K увеличивался от 0,8 до 1,2. Таким образом, обеспечивалась неизменность или длины двигателя ($a_{м.ц} = \text{const}$), или условий охлаждения ($t_{в.ц} = \text{const}$).

При варьировании величины коэффициента короткоходности для каждого значения K формировался набор данных по двигателю с учетом изменения массо-геометрических параметров (рис. 4).

Далее для всех рассмотренных вариантов конструкции ДВС был выполнен расчет общего уровня акустической мощности от рабочего процесса и переключков поршней (рис. 5).

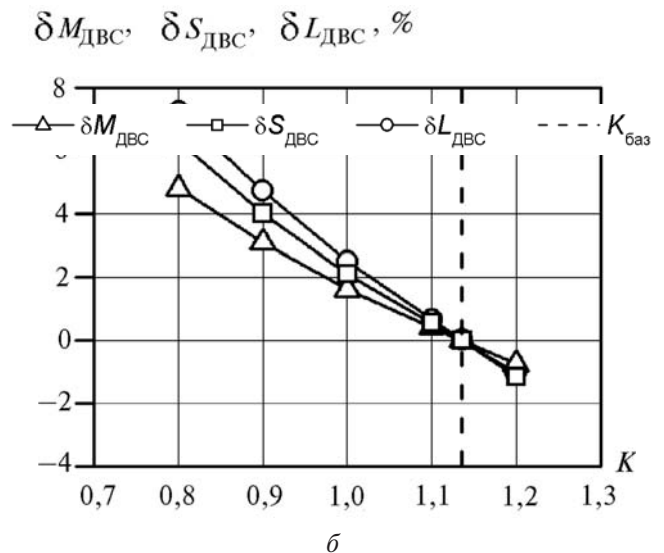
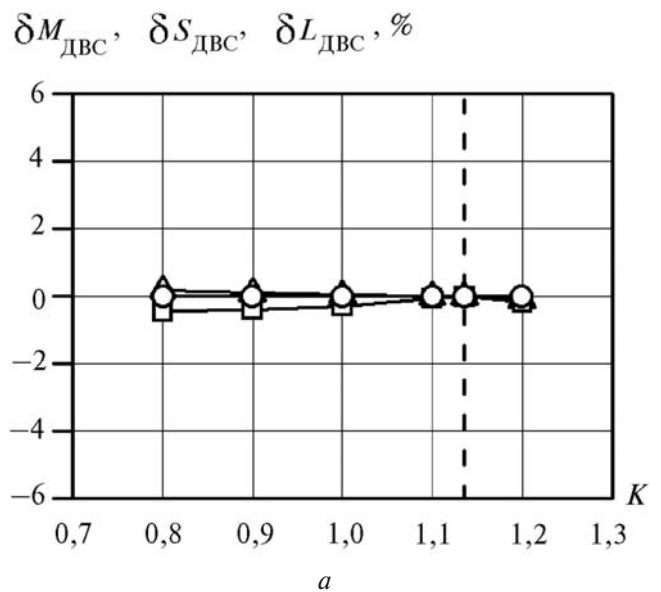


Рис. 4. Зависимость относительных отклонений δ массо-геометрических параметров дизеля 4ЧН 11/12,5 от коэффициента короткоходности K при постоянных параметрах конструкции: а — межцилиндровом расстоянии $a_{м.ц}$; б — толщине рубашки охлаждения $t_{в.ц}$ между соседними цилиндрами

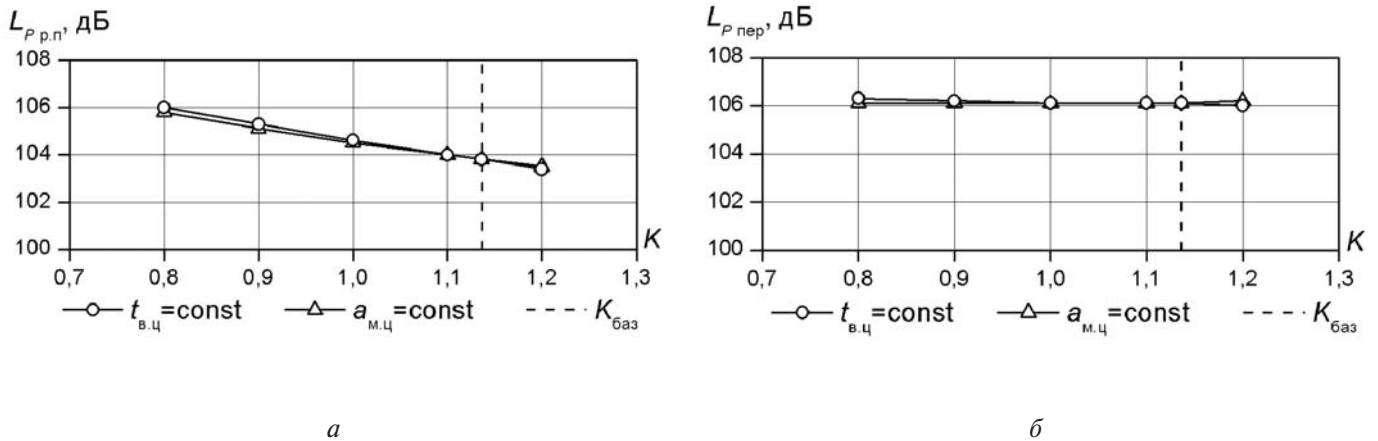


Рис. 5. Зависимость уровня акустической мощности основных источников структурного шума двигателя 4ЧН 11/12,5 от коэффициента короткоходности при разных дополнительных условиях исследования: а — рабочий процесс; б — перекладки поршней

Анализ полученных результатов

Анализ полученных результатов показал, что при изменении частоты вращения коленчатого вала дизеля 4ЧН 11/12,5 по ВСХ (см. рис. 4) от минимальной до номинальной происходит увеличение уровня структурного шума от рабочего процесса на 4,6 дБ, от перекладок поршней — на 9,2 дБ, суммарного уровня — на 6,9 дБ.

При изменении коэффициента короткоходности K от 0,8 до 1,2 (см. рис. 5) и постоянстве межцилиндрового расстояния $a_{м.ц}$ уровень звуковой мощности рабочего процесса дизеля 4ЧН 11/12,5 уменьшился на 2,3 дБ, а при фиксированной толщине рубашки охлаждения $t_{в.ц}$ между соседними цилиндрами — на 2,6 дБ. При постоянстве межцилиндрового расстояния площадь поверхности дизеля 4ЧН 11/12,5 увеличилась на 0,3%, длина осталась неизменной, а масса уменьшилась на 0,3%, в то время как при постоянстве толщины рубашки охлаждения между цилиндрами площадь поверхности уменьшилась на 7%, масса — на 5,3%, а длина — на 7,7%.

Основным фактором, вызвавшим уменьшение уровня акустической мощности в обоих случаях, является изменение диаметра цилиндра, так как спектральная плотность силового возбуждения конструкции от реализации рабочего процесса в цилиндре двигателя пропорциональна площади поршня, или квадрату

диаметра цилиндра. Влияние принятых дополнительных условий (постоянства межцилиндрового расстояния и толщины рубашки охлаждения между цилиндрами) в данном случае не является существенным.

При увеличении коэффициента короткоходности K от 0,8 до 1,2 акустическая мощность от перекладок поршней практически не изменяется (см. рис. 5). В отличие от рабочего процесса спектральная плотность силы от перекладок поршней неоднозначно зависит от $D, S, M_{двс}, S_{двс}, L_{двс}$. При варьировании коэффициента короткоходности влияние изменения указанных параметров взаимно компенсируется.

Общий уровень акустической мощности дизеля 4ЧН 11/12,5 при увеличении K от 0,8 до 1,2 уменьшается на 0,9 дБ при $a_{м.ц} = const$ и на 1,3 дБ — при $t_{в.ц} = const$.

Выводы

1. Разработана методика и инструментальные средства для расчета структурного шума ДВС, которые позволяют повысить точность получаемых результатов и сократить продолжительность проведения исследований.

2. Возможности использования разработанных инструментальных средств показаны на примере расчета структурного шума дизеля 4ЧН 11/12,5 по ВСХ. В результате при увеличе-

нии частоты вращения от минимальной до номинальной уровень акустической мощности рабочего процесса увеличился на 4,6 дБ, от переключений поршней — на 9,2, а суммарный уровень — на 6,9 дБ, соответственно.

3. Проанализировано влияние коэффициента короткоходности K на структурный шум дизеля 4ЧН 11/12,5 при постоянстве режима его работы и ряда других факторов. При увеличении K от 0,8 до 1,2 уровень шума рабочего процесса при неизменности межцилиндрового расстояния уменьшился на 2,3 дБ, а при постоянстве толщины рубашки охлаждения между цилиндрами — на 2,6 дБ, соответственно. Основной причиной этого является уменьшение диаметра цилиндра. Дополнительные условия, ограничивающие изменение длины блока—картера двигателей, в данном случае не имеют значения. Уровень акустической мощности от переключений поршней при изменении коэффициента короткоходности практически не изменяется, что можно объяснить неоднозначным влиянием совокупности конструктивных параметров: диаметра цилиндра, хода поршня, массы, площади поверхности и длины двигателя.

Литература

1. Шатров М.Г. Формирование компонентов единого информационного пространства для обеспечения жизненного цикла двигателей внутреннего сгорания: Дисс. ... д-ра техн. наук. М., 2007. 403 с.
2. Шатров М.Г. Проблемы формирования единого информационного пространства ПДВС. В сб. науч. тр. по проблемам двигателестроения, посвященный 175-летию МГТУ им. Н.Э. Баумана / Под ред. Н.А. Ивашенко, Л.В. Грехова. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. С. 90—96.
3. Алексеев И.В. Основы теории поршневых двигателей внутреннего сгорания с пониженными уровнями акустического излучения: Дисс. ... д-ра техн. наук. М., 1985. 287 с.
4. Алексеев И.В. Расчет колебательной скорости наружных поверхностей двигателя от основных источников структурного шума // Рабочие процессы и конструкция автотракторных двигателей внутреннего сгорания: Сб. науч. тр. МАДИ. М.: МАДИ (ГТУ), 1984. С. 118—129.
5. Яковенко А.Л. Разработка методики и инструментальных средств для прогнозирования структурного шума двигателя внутреннего сгорания: Дис. ... канд. техн. наук. М., 2009. 146 с.
6. Двигатели внутреннего сгорания. В 3 кн. Кн. 3. Компьютерный практикум. Моделирование процессов в ДВС / В.Н. Луканин, М.Г. Шатров, Т.Ю. Кричевская и др.; Под ред. В.Н. Луканина и М.Г. Шатрова. М.: Высш.шк., 2007. 414 с.

Статья поступила в редакцию 02.06.2011 г.