



Электронное научное издание
«Ученые заметки ТОГУ»
2017, Том 8, № 4, С. 80 – 86

Свидетельство
Эл № ФС 77-39676 от 05.05.2010
[http://pnu.edu.ru/ru/ejournal/about/
ejournal@pnu.edu.ru](http://pnu.edu.ru/ru/ejournal/about/ejournal@pnu.edu.ru)

УДК 621.436

© 2017 г. Д. В. Тимошенко, канд. техн. наук,
Е. А. Новиков

(Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск)

ПОВЫШЕНИЕ КОМПАКТНОСТИ ПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

В статье анализируется возможность повышения массогабаритных показателей поршневого ДВС за счет применения дезаксиального (смещенного) КШМ. Предложена схема ДВС, представлены результаты исследования уравновешенности и механических потерь двигателя данной схемы.

Ключевые слова: поршневой ДВС, массогабаритные показатели, VR-двигатель, дезаксиальный (смещенный) кривошипно-шатунный механизм, анализ уравновешенности, механические потери.

D. V. Timoshenko, E. A. Novikov

INCREASE OF COMPACTNESS OF INTERNAL COMBUSTION ENGINE

The article analyses the possibility of reducing the weight and size of the piston engine by the use of offset crank mechanism. The proposed scheme of the engine, presents the results of a study of balance and mechanical losses of the engine of this scheme.

Keywords: piston engine, reciprocating engine, weight and dimensions performance, VR-engine, offset crank mechanism, power calculation, analysis of balance, mechanical losses

Массогабаритными показателями поршневого ДВС являются литровая мощность – мощность, снимаемая с единицы рабочего объема и удельная мощность – мощность, приходящаяся на единицу массы двигателя. Эти параметры, в свою очередь, определяются средним эффективным давлением цикла, рабочим объемом и частотой вращения коленчатого вала. Требуемый рабочий объем, отношение S/D цилиндра, постоянная КШМ, схема двигателя и используемые технологии изготовления формируют внешний облик, размеры и массу ДВС. Каждая из областей применения двигателей предъявляют свои требования к массогабаритным показателям. Наиболее компактных и легких двигателей требует автомобильный транспорт, маломерные суда, легкомоторная авиация.

Зададимся вопросом – целесообразен ли поиск новых конструктивных схем поршневых ДВС с повышенными массогабаритными показателями? На первый взгляд в области автомобильных ДВС давно существует целая гамма отработанных классических схем – рядное расположение цилиндров, V-образное и оппозитное. Эти схемы могут быть реализованы с разным числом цилиндров, что позволяет получить двигатель наиболее подходящий для установки на заданном транспортном средстве. Не будем забывать и газотурбинный наддув, позволяющий кардинально повысить среднее эффективное давление цикла. Однако анализ литературы и, далеко не самый глубокий, патентный поиск показывают, что разработка новых схем поршневых ДВС не прекращается и ведут его не только отдельные энтузиасты, но и ведущие автомобильные и двигателестроительные фирмы [1 – 5]. Для этого существуют причины как объективного, так и субъективного плана в числе которых: традиции конструкторских школ; ориентация на высокооборотные двигатели, что требует легких деталей движения и обуславливает увеличение числа цилиндров при заданном литраже; проблемы компоновки на автомобиле блока двигатель–коробка передач; ухудшение некоторых характеристик двигателя при наддуве и общие проблемы наддува бензиновых ДВС.

Наглядным примером является фирма Volkswagen, создавшая для легковых автомобилей среднего класса семейство компактных двигателей схем VR и W (рис. 1) [6].

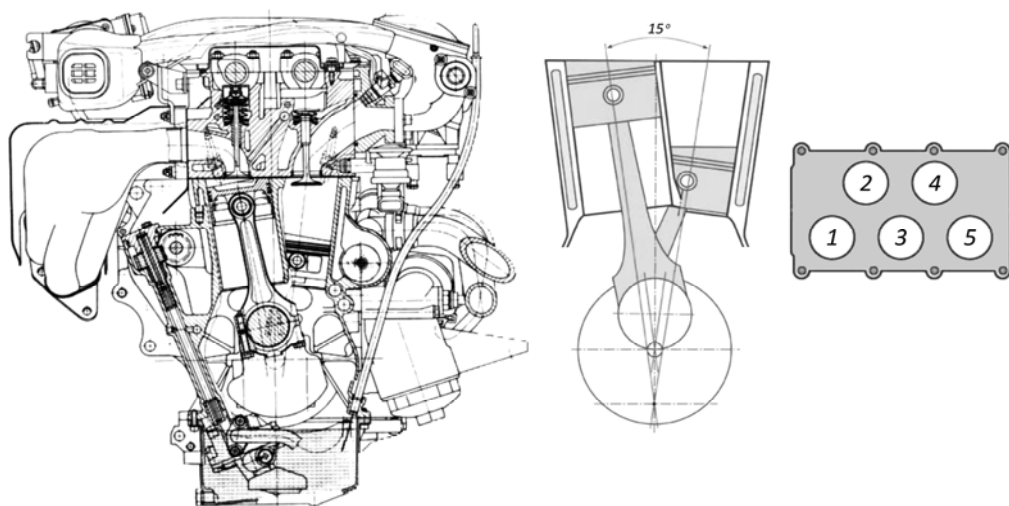


Рис. 1. Поперечный разрез и схема двигателя VR5

Цилиндры двигателя устанавливаются под углом 15° в шахматном порядке. Точка пересечения осей цилиндров находится ниже оси вращения коленчатого вала, то есть КШМ каждого цилиндра имеют небольшие дезаксиалы (смещения) противоположного знака. В результате получена конструкция более компактная, чем рядный или V-образный двигатель с тем же числом цилиндров. Кроме этого, все цилиндры VR-двигателя имеют общую головку блока. Модели схемы VR выпускаются с числом ци-

цилиндров 5 и 6. Двигатели W-схемы – это два блока цилиндров исполнения VR, установленных с углом развала 72° .

Пример VR-двигателей наглядно показывает положительное влияние, оказываемое дезаксиалом (смещением) в кривошипно-шатунном механизме на компактность поршневого ДВС. С одной стороны дезаксиал в КШМ позволяет уменьшить угол между осями цилиндров, что актуально для схем V, VR и W; а с другой, увеличить ход поршня и, соответственно, объем цилиндра при неизменном радиусе кривошипа вследствие смещения положений верхней и нижней мертвых точек (рис. 2).

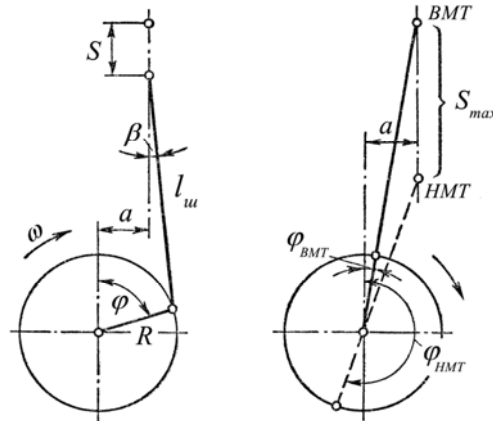


Рис. 2. Особенности кинематики дезаксиального КШМ

Рассмотрим возможность уплотнения компоновки V-образного двигателя со следующими основными геометрическими параметрами: постоянная КШМ $\lambda = 0,27$; отношение $S/D = 1,16$ (рис. 3). При использовании центральных КШМ угол между осями цилиндров γ (угол развала) невозможно сделать меньшим 52° . Применение в правом ряду цилиндров дезаксиального КШМ с относительным дезаксиалом $a/R = 0,75$ позволяет уменьшить этот угол до 30° .

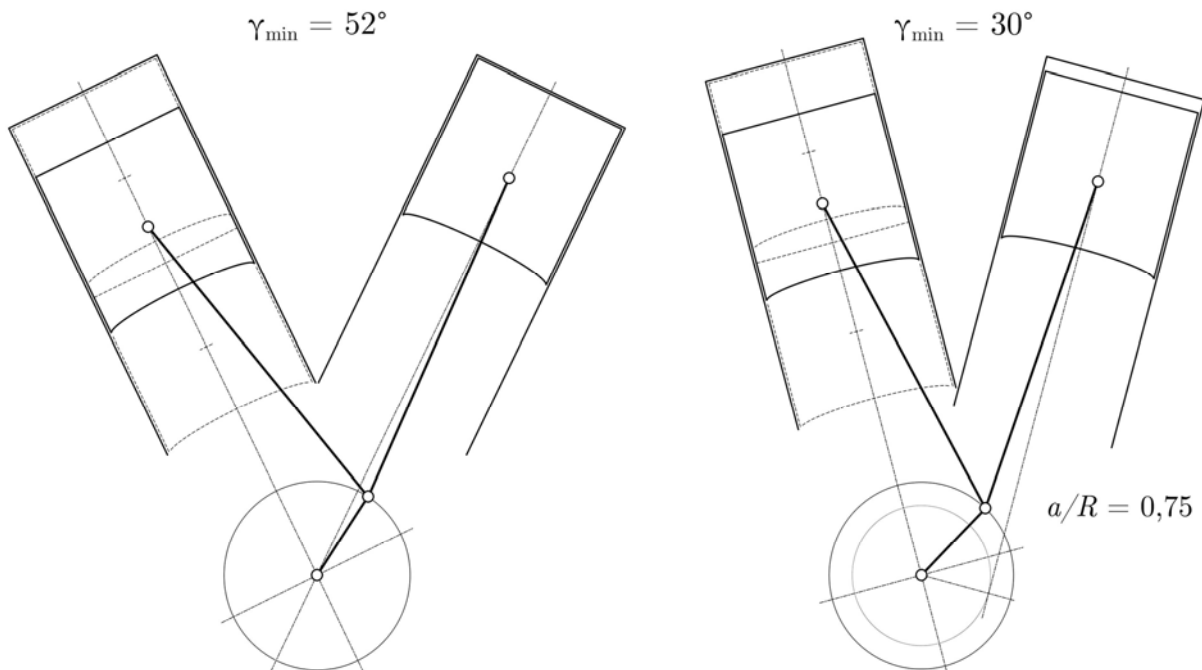


Рис. 3. Повышение компактности V-образного двигателя

К преимуществам дезаксиальных КШМ также следует отнести меньшую, чем в центральном механизме, скорость поршня около ВМТ, что положительно влияет на процесс сгорания, которой теперь будет протекать при условиях, приближающихся к условиям сгорания при постоянном объеме. Более длительное перемещение поршня от ВМТ до НМТ увеличивает продолжительности процессов впуска и сгорания, что также повышает их качество. Отрицательным качеством дезаксиальных КШМ следует считать увеличение силы инерции возвратно-поступательно движущихся масс в сравнении с двигателем тех же размеров с центральным КШМ. В числе прочего, это увеличение может повлиять на уравновешенность двигателя.

Применение дезаксиальных КШМ в ДВС мероприятие далеко не однозначное. Например, по данным [7] при значениях относительного дезаксиала 0,05 – 0,2 можно получить снижение бокового давления поршня на цилиндр, а другие источники [8], наоборот, говорят о его увеличении. Следует отметить, что в литературе отсутствует информация об использовании в поршневых ДВС дезаксиальных КШМ с относительным дезаксиалом большим, чем вышеуказанные значения.

Чтобы ответить на вопрос – существует ли возможность повышения компактности поршневого ДВС за счет использования дезаксиального КШМ согласно предложенной схеме (рис. 3) – необходимо решить следующие задачи:

- выполнить анализ изменения боковой силы в дезаксиальном КШМ при различных значениях относительного дезаксиала, а также оценить ее воздействие на износ и механические потери;

- выполнить анализ уравновешенности двигателя при различных значениях относительного дезаксиала.

Решение поставленных задач требует проведения цикла динамических расчетов для нескольких значений дезаксиала при различных соотношениях инерционных и газовых сил. Динамические расчеты, в свою очередь, требуют расчета кинематических параметров дезаксиального КШМ – ускорение поршня необходимо для расчета сил инерции, и расчета рабочего процесса с получением индикаторной диаграммы – определение газовой силы в дезаксиальном КШМ.

Для моделирования рабочего процесса и синтеза индикаторной диаграммы была использована математическая модель внутрицилиндровых процессов, разработанная на кафедре ДВС ТОГУ, дополненная соотношениями для расчета перемещения в дезаксиальном КШМ.

Результаты динамического расчета показали следующее: характер изменения по углу поворота коленчатого вала силы вдоль оси шатуна, тангенциальной силы и силы вдоль оси кривошипа слабо зависит от величины относительного дезаксиала; характер изменения боковой (нормальной) силы в этом случае меняется кардинально (рис. 4).

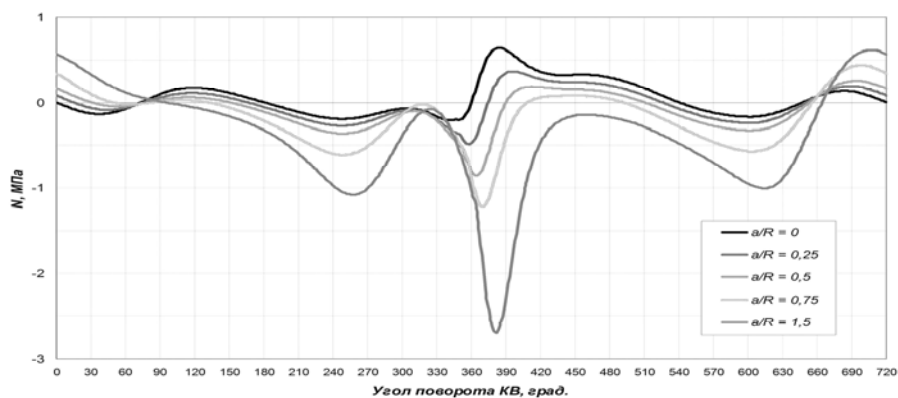


Рис. 4. Боковая сила в дезаксиальном КШМ

Был выполнен цикл динамических расчетов при варьировании значений относительного дезаксиала и различных соотношениях газовой силы и силы инерции. Соотношение сил определялось отношением максимального значения газовой силы к максимальному значению силы инерции (по модулю). В качестве критерия, позволяющего хотя бы приближенно учесть влияние боковой силы на износ и механические потери, было принято среднее значение модуля боковой силы. Анализ полученных результатов показал следующее (рис. 5):

1. Для каждого отношения сил существует значение относительного дезаксиала, при котором среднее значение боковой силы минимально.

2. Для каждого отношения сил существует диапазон значений дезаксиала, в котором среднее значение боковой силы меньше чем у центрального КШМ ($N_{cp} < 1$).

3. Чем меньше отношение сил (то есть, чем больше влияние силы инерции), тем меньшие значения относительного дезаксиала можно рекомендовать.

4. Для дизельных двигателей, у которых газовые силы преобладают над силами инерции (как правило, $p_{max}/p_{jmax} > 6$), допустимые значения относительного дезаксиала выше, чем для бензиновых двигателей ($p_{max}/p_{jmax} < 4$).

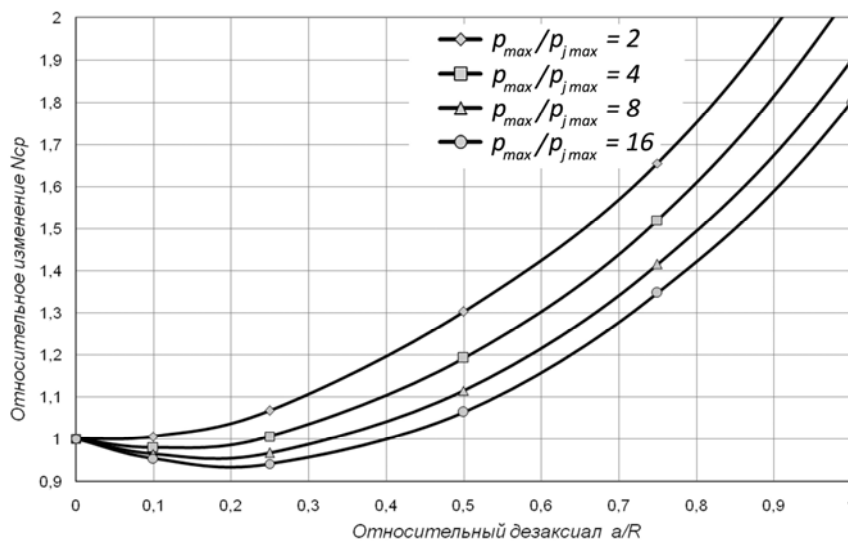


Рис. 5. Изменение среднего значения боковой силы

Расчетное исследование и анализ внешней уравновешенности проводились для восьмицилиндрового V-образного двигателя. В ходе исследований варьировались величина относительного дезаксиала и угол развала γ между рядами цилиндров. Во всех случаях коленчатый вал двигателя принимался статически и динамически уравновешенным. При исследовании V-образный двигатель рассматривался как совокупность двух однорядных двигателей с углом γ между плоскостями расположения из цилиндров. В этом случае, если однорядные двигатели будут уравновешенными, то будет уравновешен и «суммарный» V-образный двигатель. Расчетный анализ уравновешенности производился в табличной форме с использованием сил инерции первого и второго порядков для различных значений дезаксиала, полученных на этапе динамического расчета. В результате были построены годографы суммарных сил инерции первого и второго порядков, а также годографы моментов этих сил (пример годографов – рис. 6).

Анализ полученных результатов позволил выявить следующие особенности:

1. У двигателя с $\gamma = 90^\circ$ и центральным КШМ суммарная сила инерции первого порядка равна нулю. Дезаксиальный КШМ в этом случае вызывает появление неуравновешенной суммарной силы инерции первого порядка. Это, во-первых, подтверждает

вывод [7], что подход к анализу уравновешенности, основанный на рассмотрении только первого и второго порядков сил инерции, не подходит для дезаксиальных КШМ, а, во-вторых, наглядно показывает, что двигатель с дезаксиальным КШМ будет характеризоваться большей неуравновешенностью.

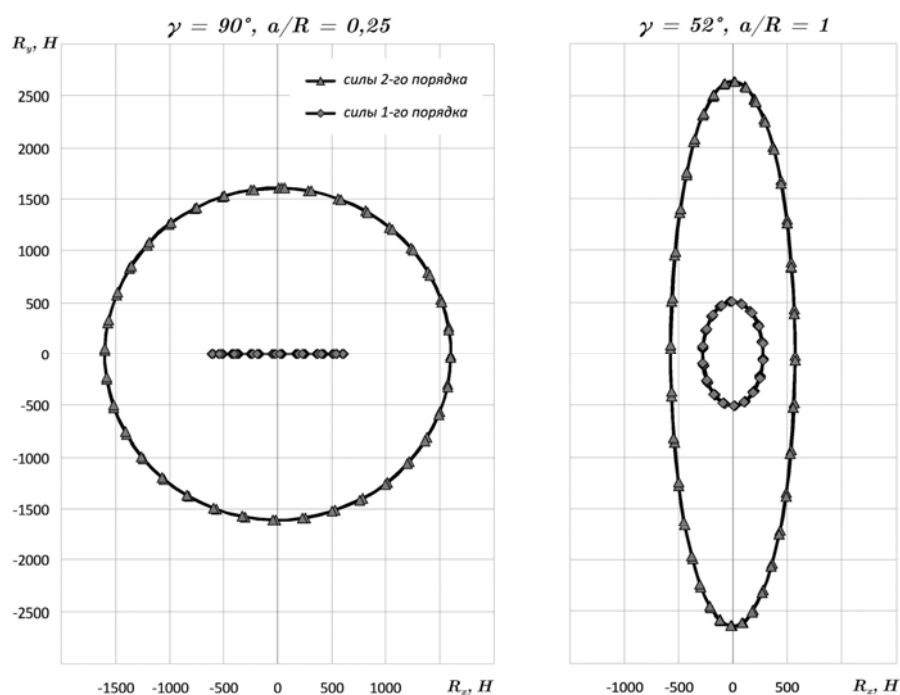


Рис. 6. Годографы сил инерции первого и второго порядков

2. С увеличением дезаксиала и уменьшением угла γ наблюдается рост максимальных значений суммарных сил инерции первого и второго порядка, а также моментов этих сил. Форма годографов изменяется – с увеличением дезаксиала они становятся более вытянутыми, более эллиптическими.

Вывод

Применение дезаксиального КШМ позволит получить двигатель уменьшенных габаритов при условии, что значение дезаксиала и, в конечном итоге, компоновочная схема двигателя будут выбраны с учетом соотношения газовой и инерционной сил, то есть с учетом типа двигателя (дизельный или с принудительным воспламенением) и рабочей частоты вращения. Во всех случаях целесообразны разработка и применение на двигателе уравновешивающих механизмов и/или других средств виброгашения и демпфирования.

Список литературы

- [1] Overheat Valve Internal Combustion Engine : U. S. Patent 2,944,536 / Payne E. R. ; Austin Motor Company – № 811,115 ; May 5, 1959 ; Jul. 12, 1960 – 4 p.
- [2] V-type Internal Combustion Engine Arrangement : U. S. Patent 6,076,489 : F02B 75/22 / Deutsch H., Metzner F., Meyer-Hessing F. ; Volkswagen AG – № 09/175,260 ; Oct. 20, 1998 ; Jun. 20, 2000 – 8 p.
- [3] Verbrennungsmotor mit Zylindern in enger V-Anordnung : European Patent Office EP 1 146 219 A1 : F02F 7/00, F02B 75/22 / Vissek T. ; Steyr Motorentechnik Ges.m.b.H. – №

- 00890113.4 ; 11.04.2000 ; 17.10.2001 ; Patentblatt 2001/42 – 9 s.
- [4] Four Cycle Outboard Internal Combustion Engine for Driving a Watercraft : U. S. Patent 6,508,223 B2 : F02F 7/00 / Laimböck F., Cowland C. N., Moran R. J. ; AVL List GmbH – № 09/933,673 ; Aug. 22, 2001 ; Jan. 21, 2003 – 10 p.
- [5] Motorcycle Comprising a Compact Internal Combustion Engine : U. S. Patent 2008/0168957 A1 : F02B 75/22 / Neese C. – № 11/661,586 ; Sep. 1, 2005 ; Jul. 17, 2008 – 18 p.
- [6] Ebel B., Kirsch U. Der neue Fünfzylindermotor von Volkswagen // MTZ. Motortechnische Zeitschrift – 59 (1998) № 1. S. 8–19.
- [7] Гоц А. Н. Кинематика и динамика кривошипно-шатунного механизма поршневых двигателей: учеб. пособие / А. Н. Гоц. – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2005. – 124 с.
- [8] Дизели. Справочник / под общей ред. В.А. Ваншейдта, Н.Н. Иванченко, Л.К. Колерова. – Л.: Машиностроение, 1977. – 480 с.

E-mail:

Тимошенко Д. В., – 000595@pnu.edu.ru