

КИНЕМАТИЧЕСКИЙ И ДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ОСНОВНОГО МЕХАНИЗМА ДВИГАТЕЛЯ ВАНКЕЛЯ НА ОСНОВЕ ЕГО ВЕКТОРНОЙ МОДЕЛИ

© 2011 Б. Б. Косенок

Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет)

Приведены описание двигателя Ванкеля, его структурная схема и векторная модель. Проведён сравнительный анализ динамики двигателя Ванкеля и кривошипно-ползунного механизма «классического» двигателя внутреннего сгорания.

Роторно-поршневой двигатель, Ванкель, кинематика, динамика, моделирование векторных контуров.

Двигатель внутреннего сгорания (ДВС) - частный вариант машин объёмного вытеснения, к которым относятся также насосы и компрессоры различного назначения. Из всего многообразия механизмов машин объёмного вытеснения наибольшее практическое применение в авиационном двигателестроении получили кривошипно-ползунные поршневые механизмы. Роторно-поршневые двигатели (РПД) Ванкеля, обладающие более компактными размерами при той же литровой мощности, что и двигатели классического образца (в 1,5–2 раза меньше габаритные размеры и на 35–40 % меньше число деталей), также представляют интерес иссле-

дования, в том числе и в плане сравнения их кинематики и динамики с классическим ДВС. Проведём данное исследование, используя метод математического моделирования векторных замкнутых контуров, который достаточно подробно освещён в работе [1]. Основу метода составляют векторные замкнутые контуры, описывающие структуру механизмов в виде векторов и позволяющие получить решение задач анализа и синтеза механизмов.

На рис. 1,а представлена структурная схема РПД Ванкеля, а на рис. 1,б - замещающая его рычажная схема, необходимая для преобразования структурной схемы РПД в

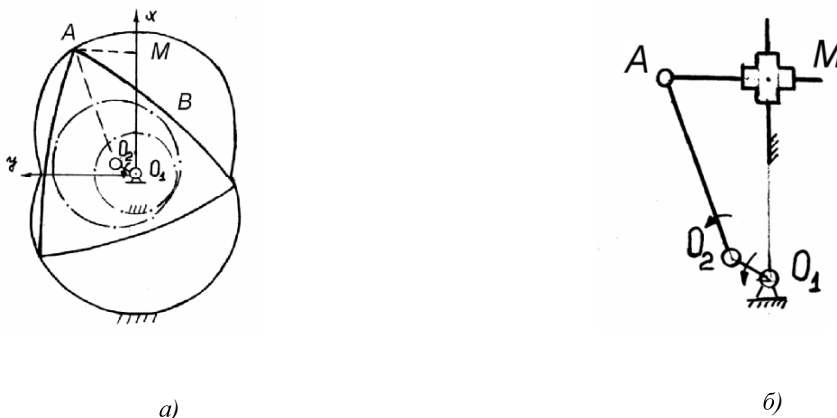


Рис. 1. Конструктивно-структурная схема (а) РПД Ванкеля и замещающая рычажная схема (б)

векторную модель.

Преобразуем замещающую рычажную схему (рис. 1,б) в векторную модель (рис. 2,а). Параметрическая формула данной векторной модели представлена на рис. 2,б. Кроме того, необходимо учесть, что в РПД используется зубчатое соединение с передаточным отношением 3. Поэтому поворот звена O_2O_1 в три раза больше поворота звена AO_2 , что учиты-

вается заданием связи между углом поворота вектора 4 от угла поворота вектора 3 (рис. 2,б). Модель на рис. 2,а достаточна для кинематического исследования РПД Ванкеля, но для динамического анализа необходимо описание точек приложения нагрузок, центров масс. Поэтому применим расширенную векторную модель, представленную на рис. 3.

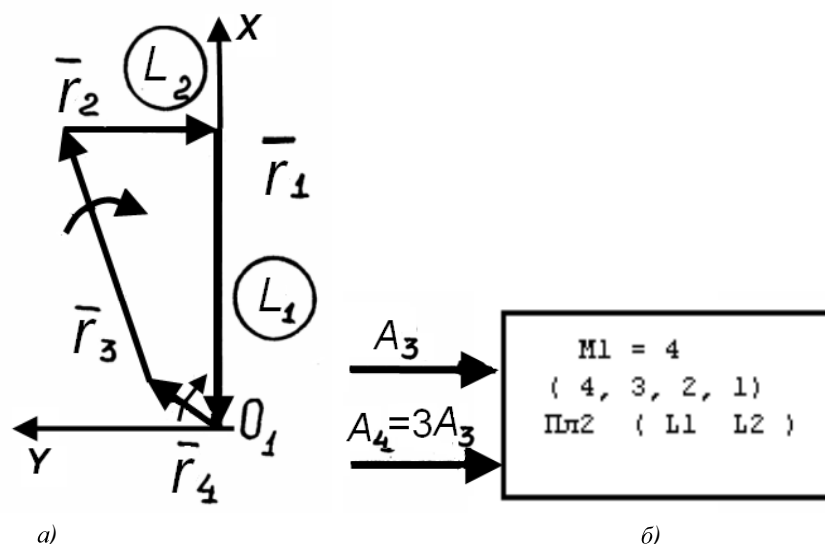


Рис. 2. Векторная модель (а) РПД Ванкеля и параметрическая формула (б)

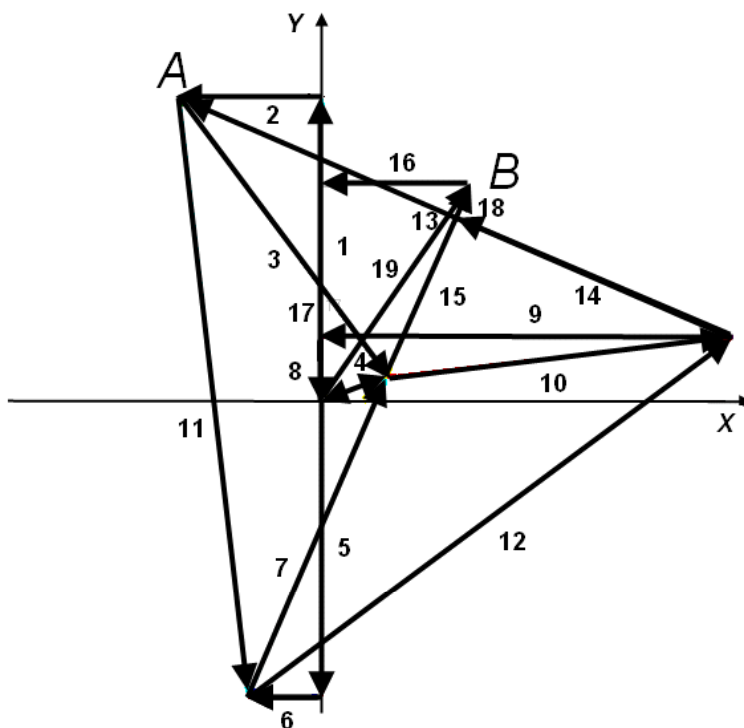


Рис. 3. Расширенная векторная модель РПД Ванкеля

Параметрическая формула расширенной векторной модели представлена на рис. 4. Векторную модель с рис. 3 введём в программу кинематического и динамическо-

го анализа механизмов (КДАМ) для последующего анализа.

Рассмотрим движение точек A и B, траектория их движения показана на рис. 5.

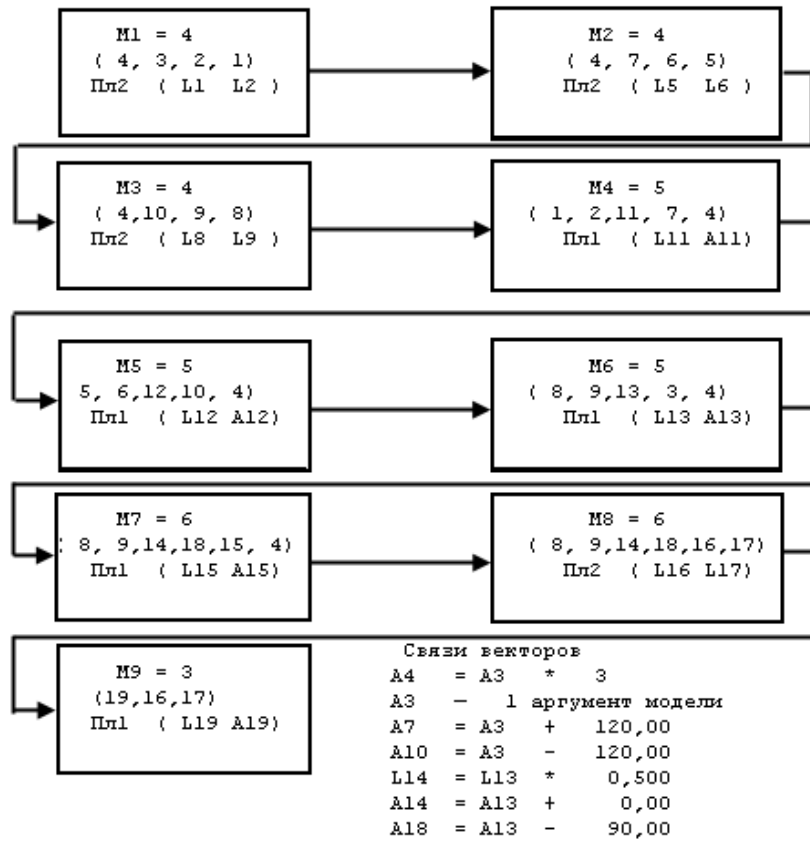


Рис. 4. Параметрическая формула расширенной векторной модели

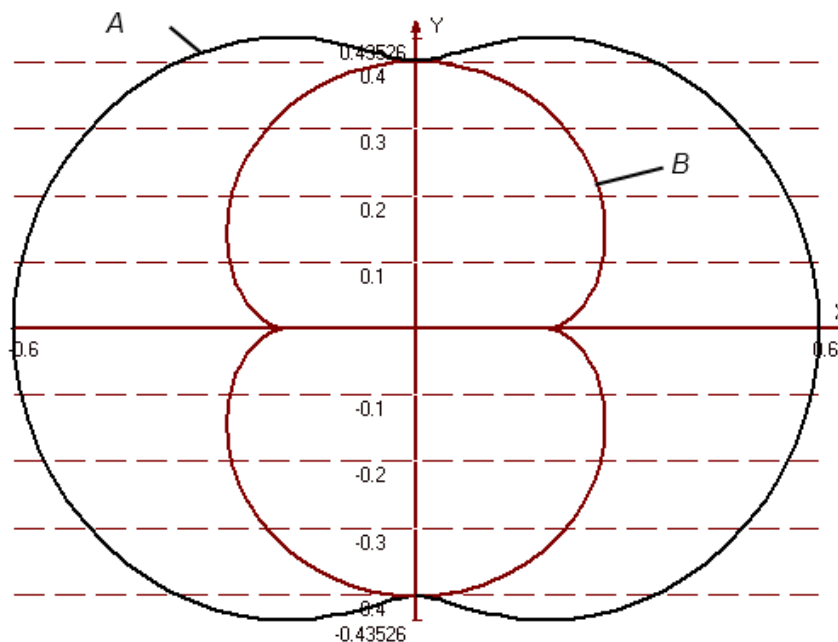


Рис. 5. Траектории движения точек A и B расширенной векторной модели РПД

На рис. 6 представлены графики изменения координат точки *B* и их производные в зависимости от угла поворота ротора.

Сравним динамические характеристики РПД Ванкеля и кривошипно-ползунного основного механизма ДВС, сопоставимого с ним по габаритам (рис. 7,а), на основе его векторной модели (рис. 7,б).

Для этого, с использованием дополнительного расчётного блока в КДАМ, была получена индикаторная диаграмма (рис. 8).

Введя в КДАМ векторную модель (рис. 7,б) и дополнив её силами от индикаторной диаграммы и массовыми характеристиками, проведём исследование изменения уравнивающего момента с ростом

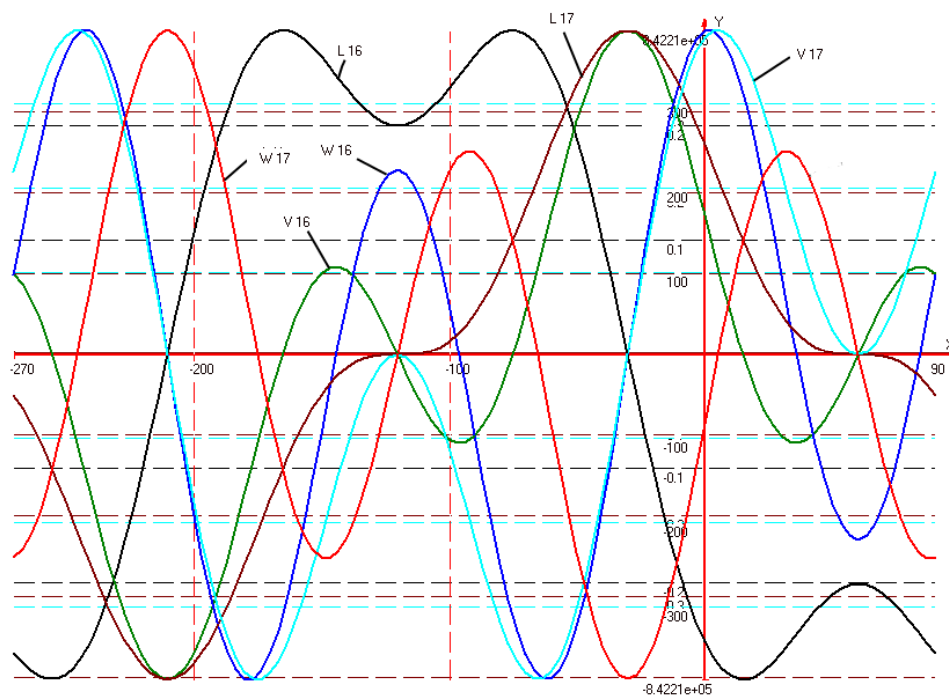


Рис. 6. График кинематических параметров движения точки *B* в зависимости от угла поворота ротора: *L16* – координата *x* точки *B*; *L17* – координата *y* точки *B*; *V16* – скорость изменения координаты *x* точки *B*; *V17* – скорость изменения координаты *y* точки *B*; *W16* – скорость изменения координаты *x* точки *B*; *W17* – скорость изменения координаты *y* точки *B*

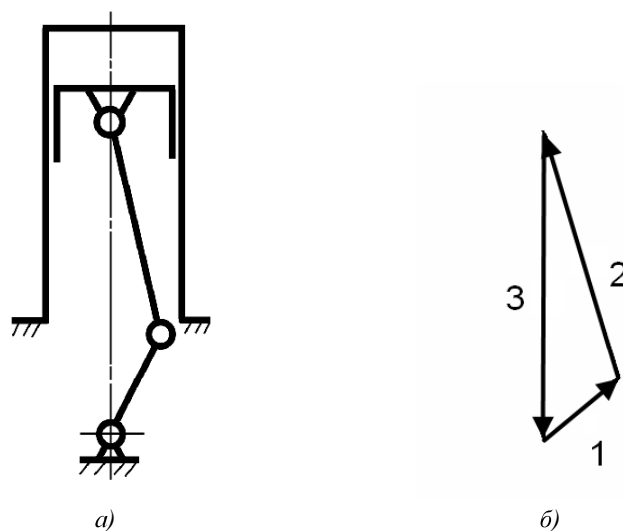


Рис. 7. Структурная схема (а) и векторная модель (б) кривошипно-ползунного основного механизма ДВС

числа оборотов, для числа оборотов от 60 об/мин до 10000 об/мин. Совмещённый график полученных уравнивающих моментов приведён на рис. 9.

Для РПД Ванкеля в качестве активной нагрузки также используем индикаторную диаграмму с рис. 8, что является определенным упрощением, но для проведения анализа динамики в первом приближении достаточно. Рассмотрим изменение уравнивающего момента с ростом числа оборотов двигателя. Для этого проведём расчёт динамики векторной модели РПД для числа оборотов от 60 об/мин до 10000 об/мин. Совмещённый график полученных уравнивающих моментов приведён на рис. 10.

Как видно из рис. 9 и 10, РПД по сравнению с классическим ДВС является более сбалансированным двигателем и инерционное «биение» наступает на 2000 оборотов позднее, чем на двигателе классической схемы, и, следовательно, падение мощности РПД наступает при большей частоте вращения, чем у классического ДВС. Кроме этого,

максимальная активная нагрузка прикладывается в двигателе Ванкеля на плече, отличным от нуля, и поэтому полезная отдача от активной фазы горения у двигателя Ванкеля выше, чем у «классики». В «родном» термодинамическом цикле РПД Ванкеля проходит активную фазу горения в течение трёх четвертей каждого оборота выходного вала, в отличие от одноцилиндрового поршневого двигателя, который проходит фазу горения только в течение одной четверти каждого оборота выходного вала.

Но у РПД Ванкеля есть и недостатки. Особенности геометрического профиля рабочего цилиндра РПД Ванкеля позволяют незначительно увеличивать потребную литровую мощность при радиальном увеличении габаритов двигателя, и его увеличение приходится производить за счёт увеличения осевого габарита, что приводит к большей площади рабочего цилиндра и росту линейного контакта в уплотнениях. Соединение ротора с выходным валом через эксцентриковый механизм вызывает давление между

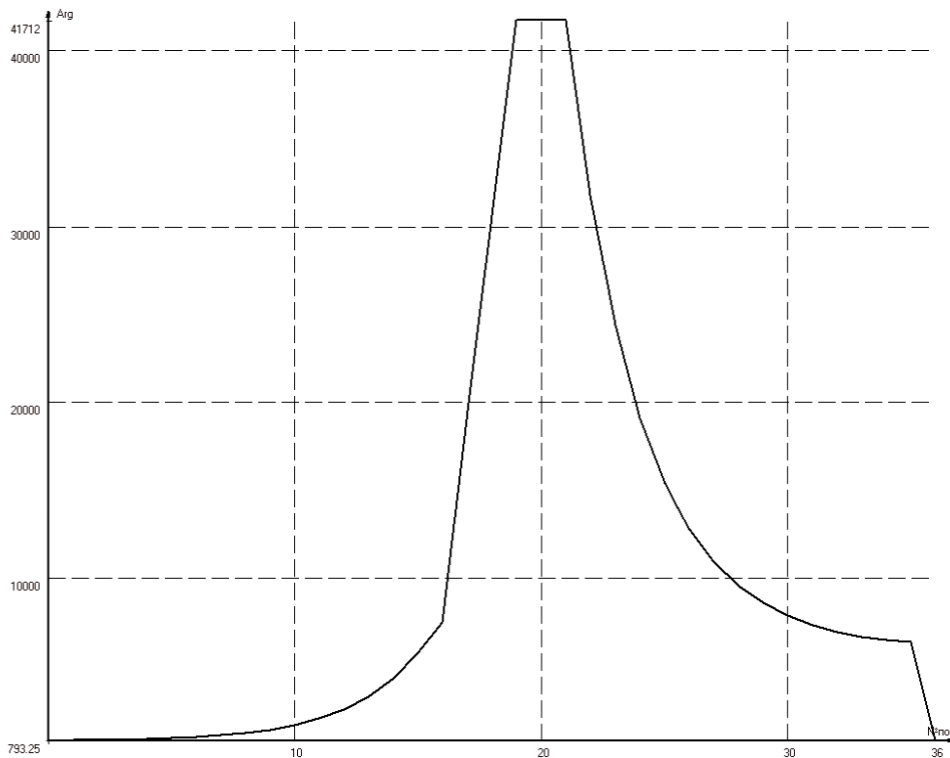


Рис. 8. Индикаторная диаграмма

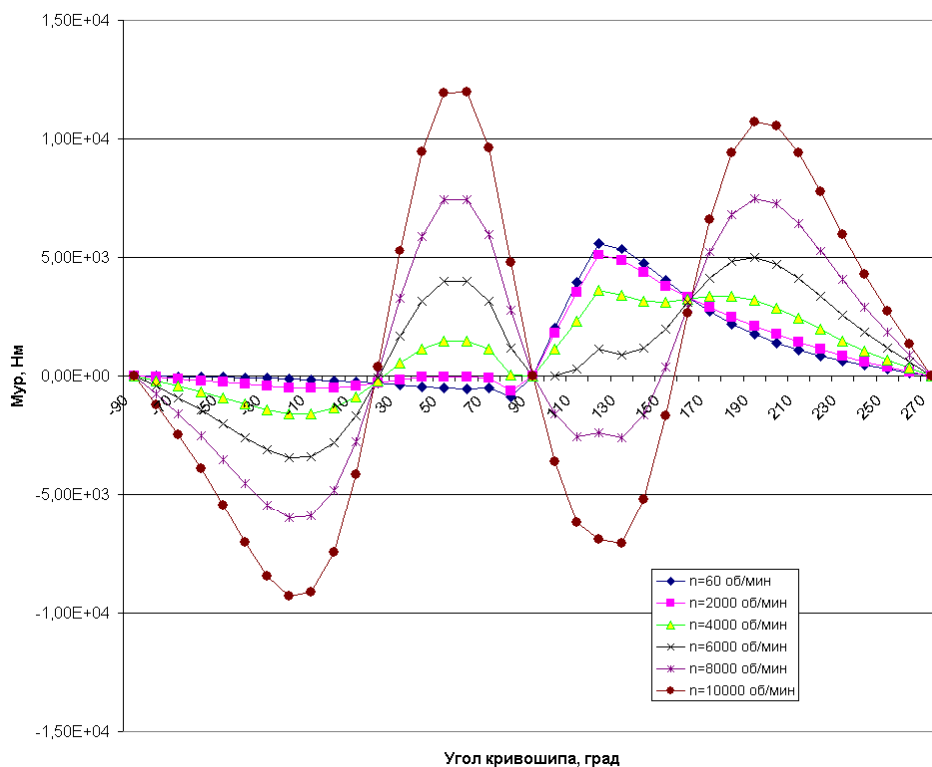


Рис. 9. Совмещенный график уравнивающего момента за рабочий цикл классического ДВС

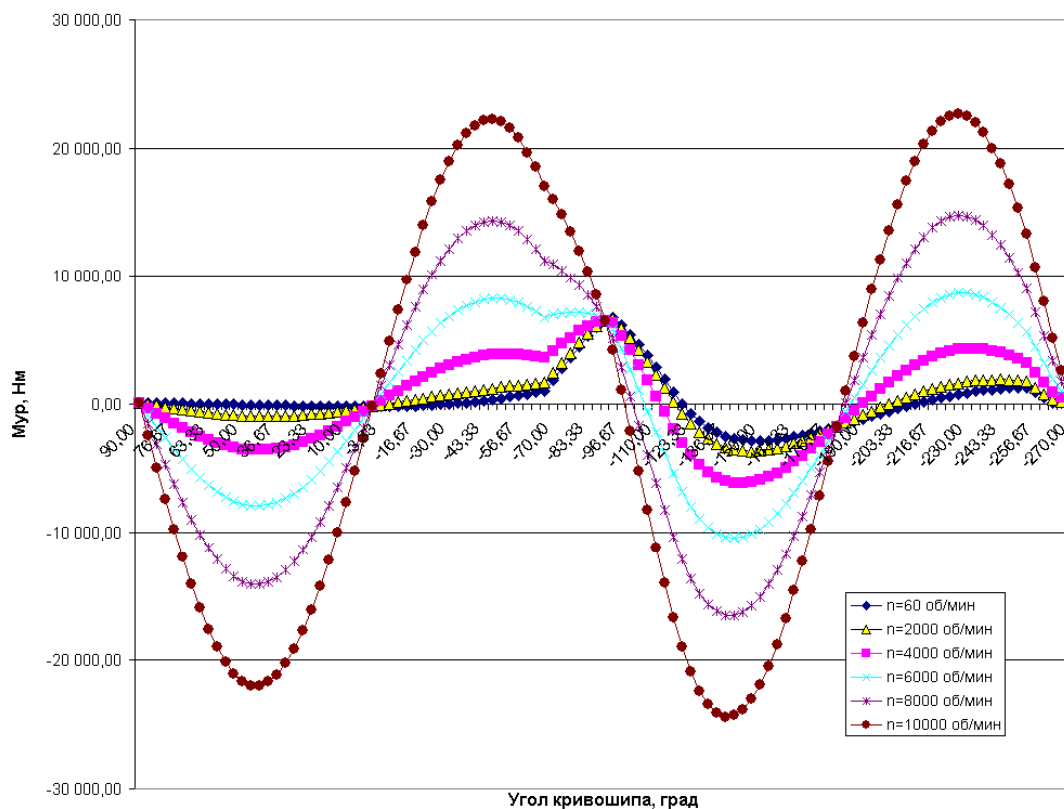


Рис. 10. Совмещенный график уравнивающих моментов за один рабочий цикл

трущимися поверхностями и в сочетании с высокой температурой приводит к дополнительному износу и нагреву двигателя при небольшом пятне контакта уплотнителей. Следствием этого противоречия являются высокие утечки между отдельными камерами и, как следствие, падение коэффициента полезного действия и токсичность выхлопа. Высокие требования к исполнению деталей двигателя делают его сложным в производстве – требуется применение высокотехнологичного и высокоточного оборудования: станков, способных перемещать инструмент по сложной траектории эпитрохоидальной поверхности камеры объёмного вытеснения.

Вывод: РПД Ванкеля по сравнению с классическим ДВС имеет более оптимальные и сбалансированные динамические характеристики при более компактном размере, но

эффективность этого серьёзно снижается за счет возрастания сложности конструкции и производства, потерь в уплотнениях, больших потерь на теплоотдачу, невозможности получения двигателей больших мощностей без увеличения потерь на трение и площади уплотнений.

Библиографический список

1. Семенов, Б. П. Методы и средства динамического синтеза механизмов авиационных энергоустановок [Текст] / Б. П. Семенов, Б. Б. Косенок. - Самара: Самар. науч. центр РАН, 2010. – 281 с.

References

1. Semyonov, B.P. Methods and tools for dynamic synthesis of mechanisms for aircraft power systems [Text] / B. P. Semyonov, B. B. Kosenok / Samara: Samara Scientific Center of RAS, 2010. - 281 p.

KINEMATIC AND DYNAMIC ANALYSIS OF THE BASIC MECHANISM OF THE WANKEL ENGINE, BASED ON ITS VECTOR MODEL

© 2011 B. B. Kosenok

Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov
(National Research University)

The description of Wankel engine, its block diagram and vector model are given in the paper. Comparative analysis of the dynamics of Wankel engine and the slider-crank mechanism of a "classical" internal combustion engine is carried out.

Rotary-piston engine, the Wankel, kinematics, dynamics, modeling of vector paths.

Информация об авторе

Косенок Борис Борисович, кандидат технических наук, доцент кафедры основ конструирования машин, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: borkos@yandex.ru. Область научных интересов: методы исследования и композиция механизмов.

Kosenok Boris Borisovitch, candidate of technical science, associate professor of the department of the basics of designing of machine", Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov (National Research University). E-mail: borkos@yandex.ru. Area of research: methods of research and composition of mechanisms.