

### Изменение коэффициента трения

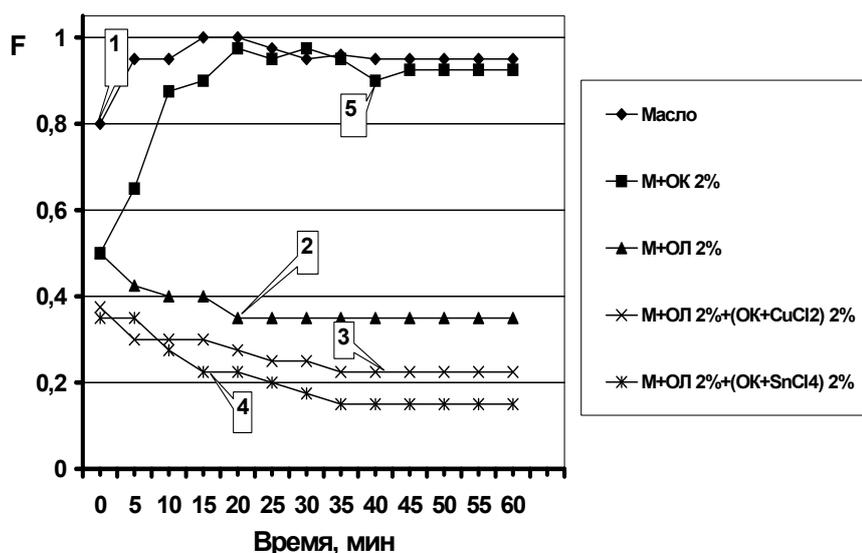


Рис. 1

Кривая 5, соответствующая маслу с введенным в него октанолом (ОК), показывает, что сам низкомолекулярный спирт, использованный в качестве растворителя на режим трения не влияет.

Таким образом, используя указанные тройные композиционные присадки, возможно снижение потерь на трение до 5 раз. Следует отметить, что аналогичные результаты были получены и в паре сталь-алюминий.

Полученные результаты требуют проведения дальнейшей работы по анализу и дополнительному исследованию обнаруженных свойств тройных композиционных добавок к смазочным материалам с целью практического использования их положительных качеств.

## ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ ИНЖЕНЕРНОГО АНАЛИЗА ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ КИНЕМАТИКИ АКСИАЛЬНО-ПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ

**Никишин В. Н., Тетерин М. Ф.**

(Камская государственная инженерно-экономическая академия)

Современные системы автоматизированного проектирования и инженерного анализа (CAD-CAM-CAE системы) позволяют, не прибегая к созданию динамических моделей с сосредоточенными (точечными) массами, провести анализ кинематики и динамики механизмов поршневых двигателей уже на этапе эскизного проектирования. Переход к использованию таких современных программных продуктов, как Unigraphics, ANSYS и ADAMS, позволяет создать конструкторско-расчетную систему, в которой получаемая 3-х мерная параметрическая модель будущего двигателя или его элементов может быть подвергнута кинематическому и динамическому анализу, а также расчетам на прочность. Из литературы известно, что применение систем твердотельного моделирования и других современных технологий проектирования позволяет сократить сроки проектирования конструктивно-сложных деталей и узлов более чем в 5 раз [1].

Рассмотрим построение 3-х мерной модели аксиально-поршневого двигателя (АПД) П-4 ( $D=120$  мм,  $S=90$  мм, число цилиндров 4), спроектированного на КА-МАЗе под руководством А.А. Шестакова. На рис. 1. показано рабочее окно при работе в среде Unigraphics при построении сборки приводного механизма аксиального двигателя.

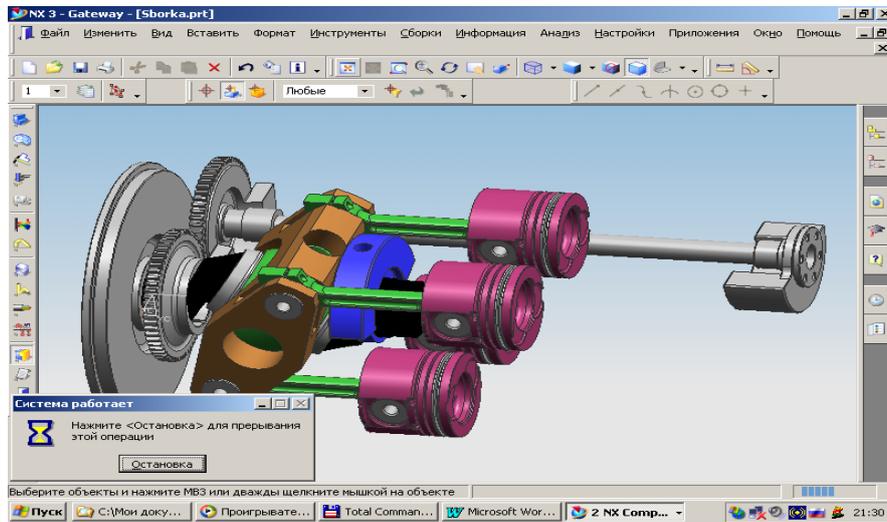


Рис. 1. Сборка приводного механизма аксиального двигателя в рабочем окне среды Unigraphics

Построение 3-х мерной модели является самой трудоемкой операцией при проектировании двигателя, что объясняется большим количеством деталей, составляющих модель (приводной механизм – кривошипно-шатунный или аксиально-поршневой, корпусные детали, детали крепежа – болты, гайки, детали механизмов двигателя). На рис. 2. приведены 3-х мерные модели отдельных элементов АПД: шатуна, рамки, шарнирного пальца, коленчатого вала АПД.

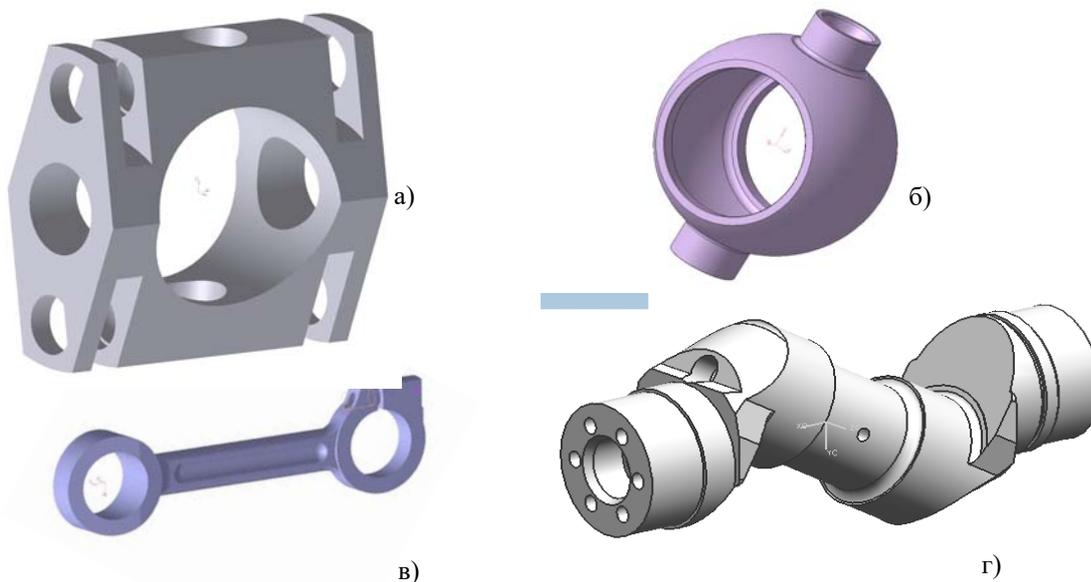


Рис. 2. 3-х мерные модели элементов приводного механизма аксиального двигателя П-4: а) рамка, б) шарнирный палец; в) шатун, г) коленчатый вал

Построение параметризованной модели всего поршневого двигателя позволяет при изменении размеров, определяющих конструктивные соотношения в двигателе, либо при изменении конструкции ряда его элементов, получать разные варианты исполнения двигателя.

На рис. 2 показаны 3-х мерные модели элементов приводного механизма аксиального дизеля П-4. Разработанные 3-х мерные модели деталей могут быть использованы для динамического и далее для прочностного расчета. Построение моделей и их расчет на прочность возможен при использовании пакета Unigrafics. Однако, при решении ряда сложных задач (сопряженные задачи, задачи типа краш-тестов, расчет гидрогазодинамики), приемлемые результаты можно получить только с помощью специализированных пакетов, таких как ADAMS, ANSYS.

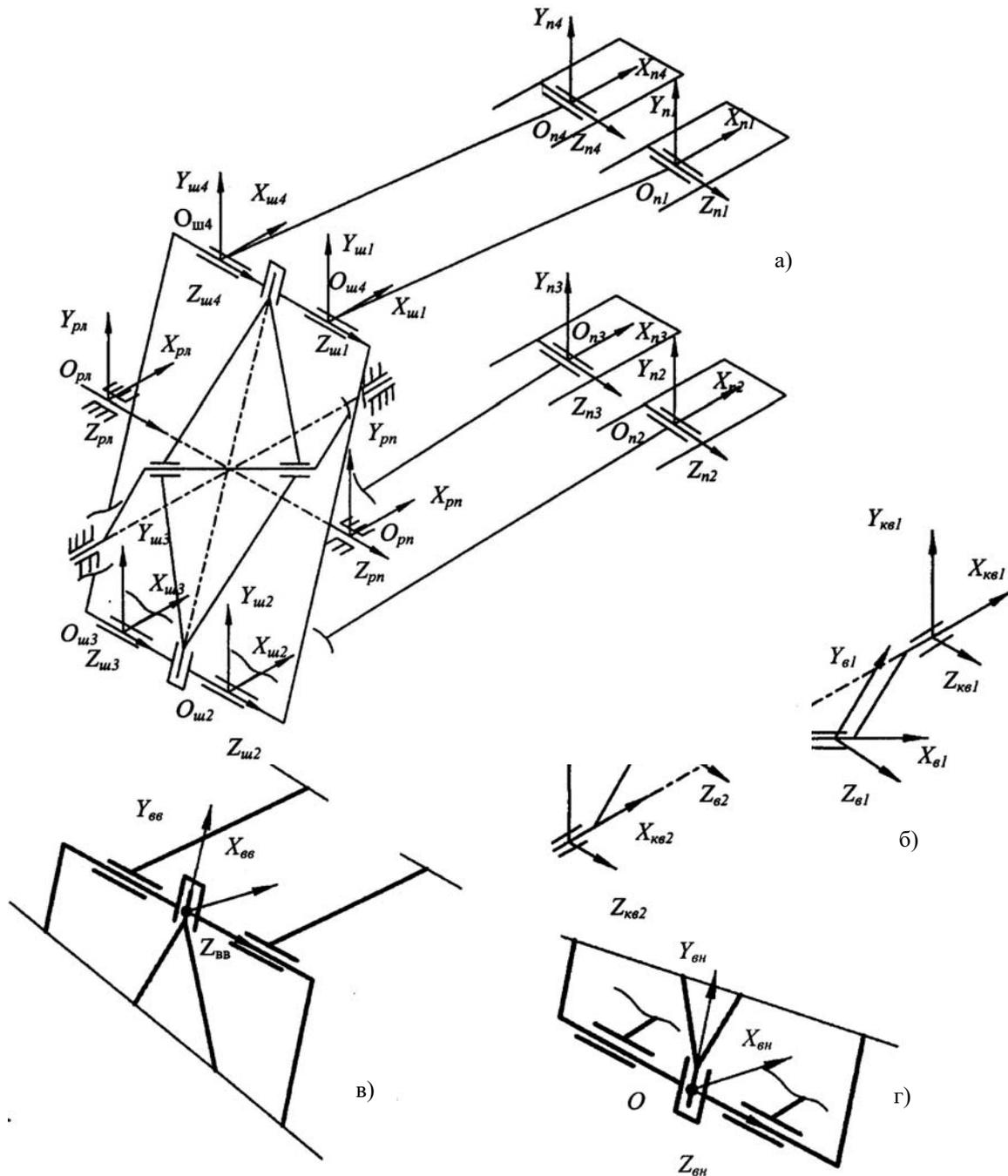


Рис. 3. Расположение систем координат на модели механизма АД: а) общий вид механизма; б) коленчатый вал и его опоры; в) верхняя опора шарнирного пальца в рамке; г) нижняя опора шарнирного пальца в рамке

После подготовки 3-мерной модели она была экспортирована в среду ADAMS. Процесс подготовки в ADAMS включает в себя:

- наложение связей и степеней свободы на звенья, определение материала;
- постановку систем координат в исследуемых узлах звеньев;
- создание исходных файлов данных (газовых сил, действующих на поршни согласно порядку чередования вспышек в цилиндрах);
- задание частоты вращения коленчатого вала (выходного звена);
- задание момента сопротивления на выходном звене (момент сопротивления равен среднему крутящему моменту на маховике).

Порядок работы цилиндров не отличается от порядка работы 4-х цилиндрового 4-х-тактного двигателя с равномерным чередованием вспышек через  $180^\circ$  угла поворота коленчатого вала (1-2-4-3).

Системы координат привязывались к шарнирам. Начало координат каждой системы (точка  $O$  с координатой  $(0,0,0)$ ) соответствует оси шарнирного соединения (поршня и шатуна, шатуна и рамки, шарнирного пальца и рамки, шарнирного пальца и коленчатого вала, коленчатого вала и опор, см. рис. 3). В каждой системе координат определялось перемещение, скорость и ускорение (а так же силы и реакции) в соответствующем шарнире, при чем эти характеристики получались как проекции на координатные оси. В ходе расчета кинематики были определены: перемещение поршня, скорость поршня, ускорение поршня, угловое перемещение рамки, угловая скорость рамки, угловое ускорение рамки. При этом определялась кинематика поршня первого цилиндра.

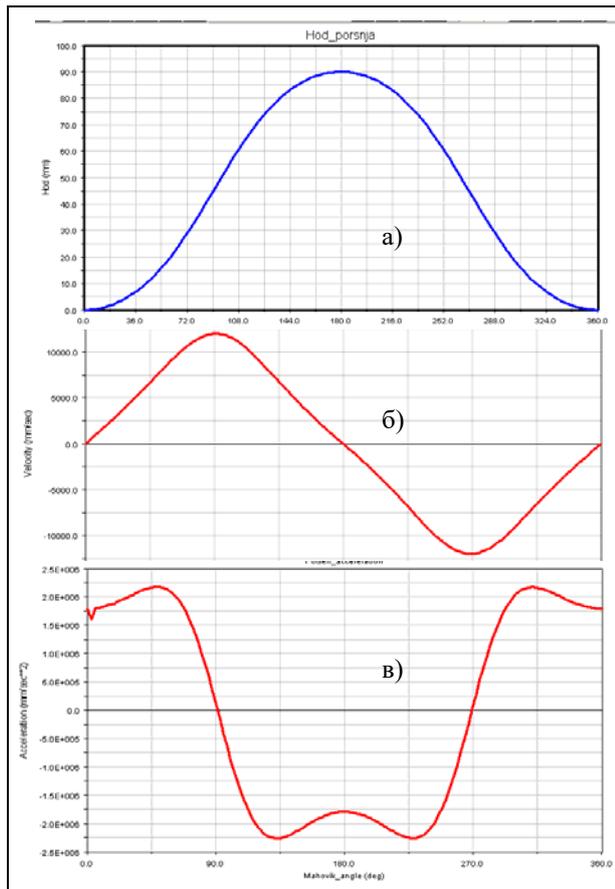


Рис. 4. Кинематические зависимости, полученные в ходе расчета кинематики механизма аксиально-поршневого двигателя в системе ADAMS:  
 а) перемещение поршня;  
 б) скорость поршня;  
 в) ускорение поршня

На рис. 4 показаны перемещение, скорость и ускорение поршня, полученные в ходе расчета в ADAMS. Внешний вид полученных зависимостей кинематических характеристик звеньев при постоянной угловой скорости вращения коленчатого вала не отличается от полученных ранее аналитическим способом [2]. Для определения доминирующих гармоник был проведен гармонический анализ кинематических характеристик рамки и поршня, полученных в системе инженерного анализа ADAMS.

Анализом установлено:

1. Для исследуемых кинематических характеристик доминирующими являются гармоники нечетных порядков (1-я, 3-я, 5-я и т.д.).
2. Наиболее существенными являются постоянная составляющая для перемещений (линейных и угловых) и гармоники 1-го и 3-го порядков для всех исследо-

ванных временных процессов, при этом амплитуды четных гармоник и нечетных гармоник выше 5-й составляют менее 1,0% от амплитуды первой гармоники.

#### **ВЫВОДЫ.**

1. Таким образом, на примере аксиального дизеля П-4 ( $D=120$  мм,  $S=90$  мм, число цилиндров 4) показана возможность применения систем автоматизированного проектирования и инженерного анализа при исследовании кинематики АПД.
2. Достигнуто полное совпадение с результатами аналитических исследований.
3. Особенностью применения систем инженерного анализа является отсутствие необходимости в аналитических выражениях для кинематики и динамики исследуемых механизмов.

#### **Литература:**

1. Байрамов Ф.Д., Никишин В.Н., Тетерин М.Ф. Кинематика аксиального приводного механизма (АПМ) поршневого двигателя // Труды II Международной научно-практической конференции «Автомобиль и техносфера». Казань: Изд-во Казан. гос. тех. ун-та, 2001 г., 714 с., С.239 – 244.

### **ПРОГРАММА PISTON-DHT ДЛЯ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ДИНАМИКИ, ГИДРОДИНАМИКИ И ТРИБОЛОГИИ ПОРШНЯ ДВС**

**Путинцев С.В., Аникин С.А., Иванов О.В.** (МГТУ им. Н.Э.Баумана)

**Назначение.** Программа PISTON-DHT предназначена для расчета основных параметров динамики, гидродинамики и трибологии поршня применительно к двигателю внутреннего сгорания (ДВС).

**Основные расчетные параметры.** Под ними подразумеваются достаточно трудно определяемые не только расчетом, но и экспериментом величины, сопровождающие движение поршня в цилиндре ДВС:

1. *Параметры динамики.* Это, прежде всего, приложенные к поршню реакции, возникающие как со стороны масляного слоя, так и (при его нарушении) в зонах непосредственного контакта поршня с поверхностью цилиндра. Сюда же относится и опрокидывающий момент, действующий на поршень со стороны указанных сил. На основе решения уравнений равновесия поршня под действием факторов внешней нагрузки и реакций (включая силы и моменты) в программе определяются параметры положения поршня в цилиндре с учетом наличия зазоров в сопряжении «поршень-цилиндр», формы боковой поверхности (профиля) поршня, а также деформации образующей внутренней поверхности (зеркала) цилиндра и юбки поршня. Кроме того, по известным зазорам и времени их выбора программа определяет энергию соударения поршня с цилиндром.

2. *Параметры гидродинамики.* Решение уравнений равновесия было бы невозможным без нахождения реакции со стороны слоя смазочного материала. Эта реакция, называемая еще гидродинамической несущей способностью смазываемой поверхности, определяется как результат интегрирования гидродинамического давления в слое масла, заполняющего зазор между поршнем и цилиндром. Программа позволяет получать и анализировать распределение этого давления по поверхности юбки поршня для любого расчетного положения поршня в течение рабочего цикла.

3. *Параметры трибологии.* После определения положения поршня относительно стенки цилиндра на основании сопоставления минимальной толщины слоя масла в зазоре с шероховатостью поверхностей программа определяет режим трения и в соответствии с ним вычисляет силу трения и износ поверхности поршня в