

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ PRADIS

X Международная Молодежная Научно-техническая конференция
«Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы – 2009»

Мухлисуллина Д.Т., студентка 6 курса МГТУ им. Н.Э.Баумана

Карпенко А.П., д.ф.- м.наук, профессор МГТУ им. Н.Э.Баумана

Овчинников В. А., к.т.н., ООО Ладуга

Цель работы

- ▶ Построение параметризованной трехмерной модели механической подсистемы ДВС
- ▶ Разработка модели испытательного стенда для анализа характеристик модели ДВС
- ▶ Исследование характеристик ДВС на основе модели



Причины использования PRADIS

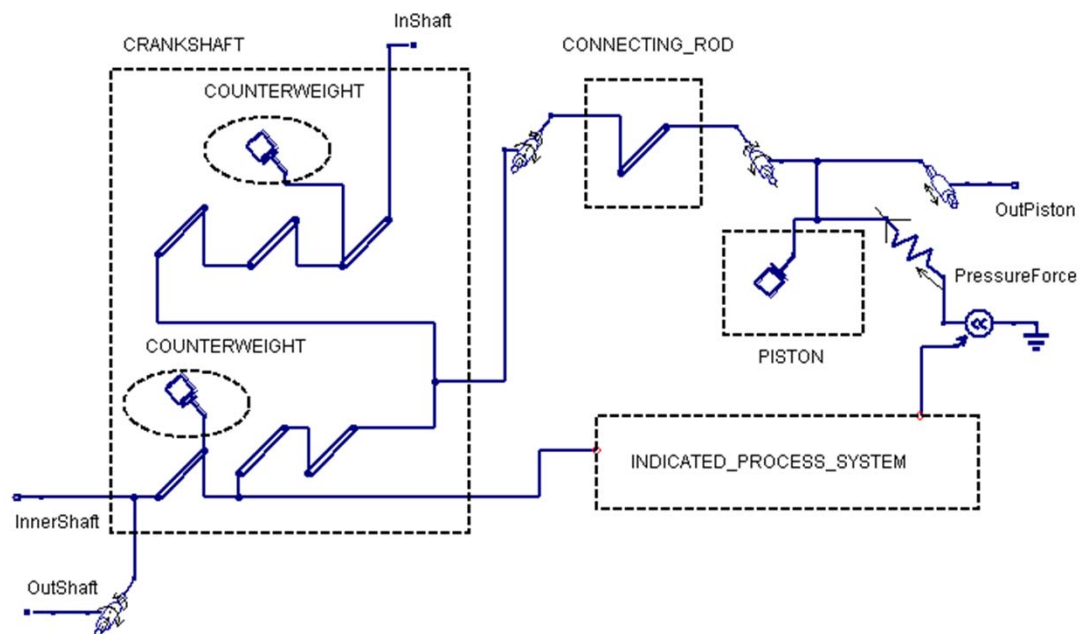
PRADIS - программный комплекс для анализа динамики систем различной физической природы.

- ▶ Большая междисциплинарная библиотека моделей (наиболее развита механическая) и модулей анализа:
 - пружины, массы, балочные и стержневые элементы, различные шарниры (с учетом зазоров, податливости и вязкости);
 - системы управления;
 - многовариантный модуль (сканирование, анализ чувствительности)
- ▶ Возможность разработки собственных библиотек моделей и поддержка параметризации схем
- ▶ Развитые средства работы с пользователем (препроцессор, постпроцессор)
- ▶ Применение PRADIS в автомобильной промышленности



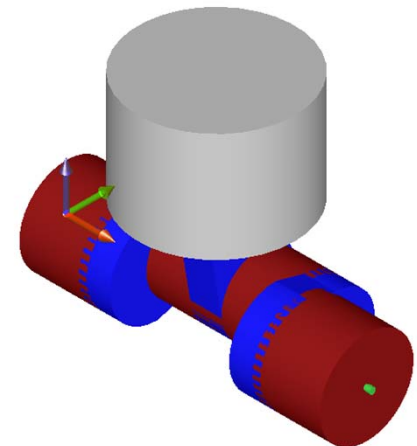
Подсхема КШМ

- ▶ модель кривошипа с противовесами (CRANKSHAFT, COUNTERWEIGHT)
- ▶ модель шатуна (CONNECTING_ROD)
- ▶ модели поршня (PISTON)
- ▶ системы индикаторного процесса (INDICATED_PROCESS_SYSTEM)



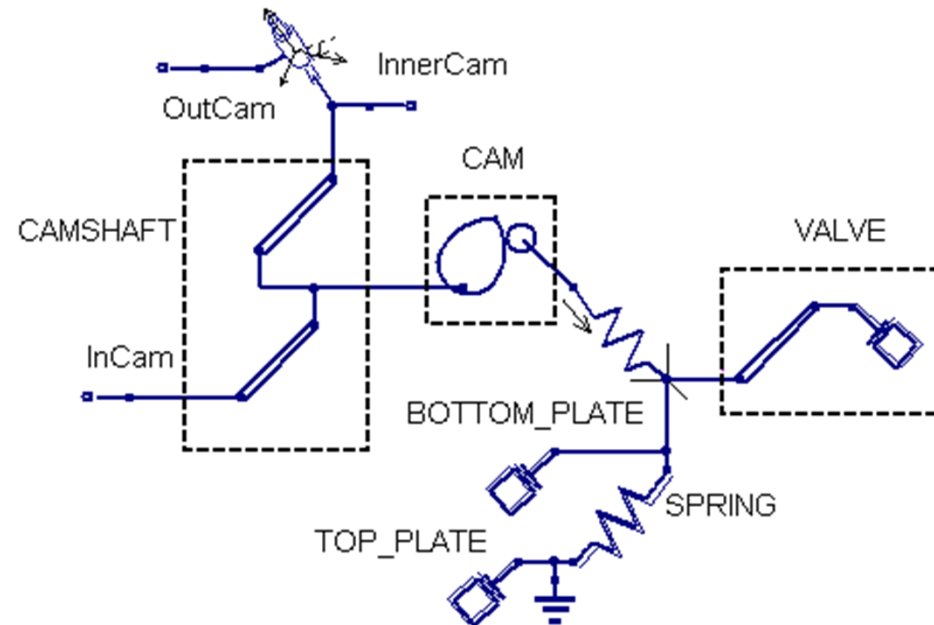
Моделируемые свойства и эффекты подсхемы КШМ

- ▶ Модели PRADIS отдельных элементов подсхемы:
 - коленчатый вал, кривошип и шатун - система упругих трехмерных балок;
 - поршень - трехмерная масса с инерцией;
 - противовесы - трехмерная масса со смещенным центром тяжести;
 - подшипники - цилиндрический шарнир с учетом зазоров, податливости и вязкости;
 - контакт между поршнем и цилиндром - цилиндрический шарнир с учетом зазоров, податливости, вязкости в различных направлениях;
 - система индикаторного процесса - система управления, которая позволяет задавать в аналитическом виде или в виде таблицы значений зависимость давления газов от угла поворота кривошипа.



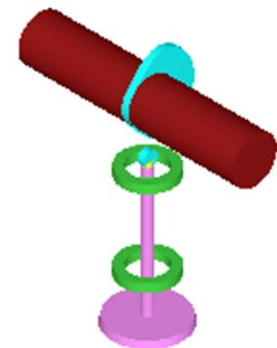
Подсхема участка ГРМ

- ▶ модель участка распределительного вала (CAMSHAFT)
- ▶ модель кулачка(CAM)
- ▶ модель клапана(VALVE)
- ▶ модель тарелок пружины (TOP_PLATE, BOTTOM_PLATE)
- ▶ модель пружины (SPRING)



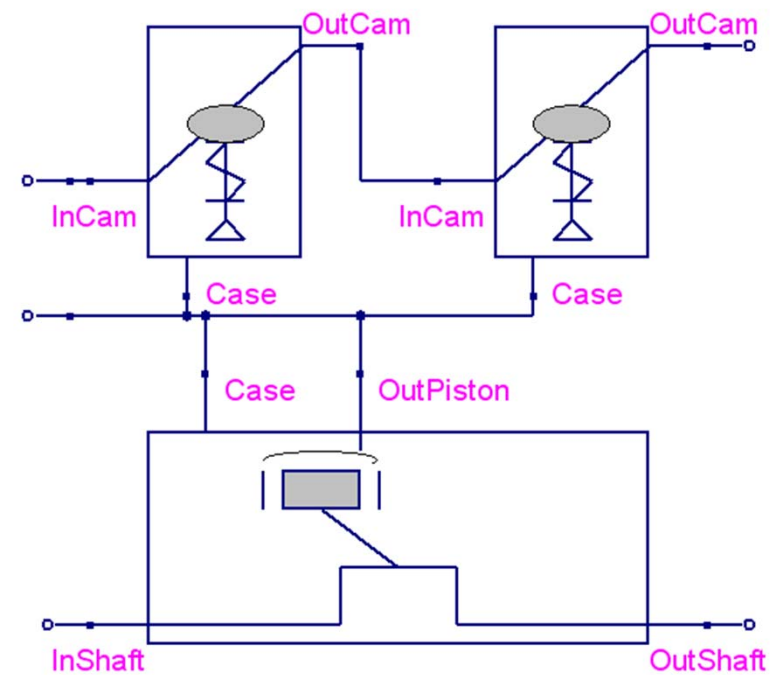
Моделируемые свойства и эффекты участка ГРМ

- ▶ Модели PRADIS отдельных элементов подсистемы:
 - участок распределительного вала, стержни клапанов - система упругих трехмерных балок;
 - тарелки и клапана - трехмерная масса с инерцией;
 - подшипники - цилиндрический шарнир с учетом зазоров, податливости и вязкости;
 - кулачок – модель двумерного кулачка с роликовым толкателем (существует возможность использования кулачка с тарельчатым толкателем), профиль кулачка описывается кубическим сплайном. Моделируется податливость и инерция кулачка и ролика, трение скольжения и качения между кулачком и роликом.
 - пружины - упругий элемент, зависимость "деформация - усилие" задаются в виде таблицы значений.



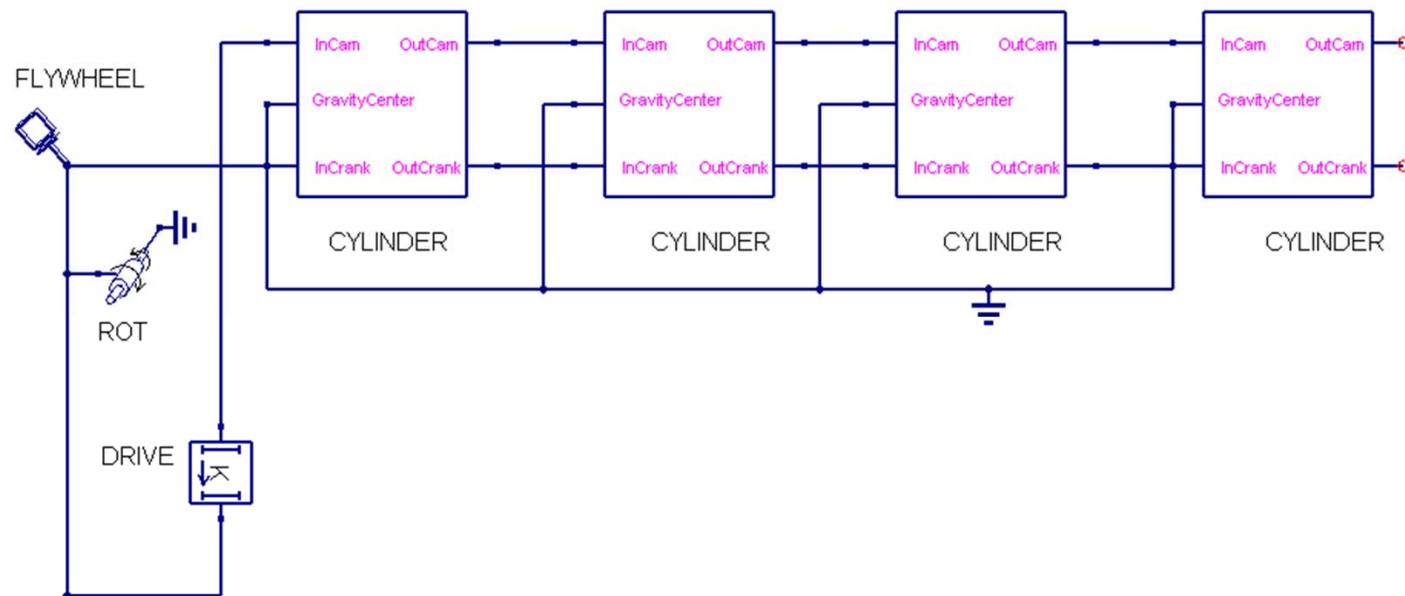
Подсхема 2-х клапанного цилиндра двигателя

- ▶ Подсхема кривошипно-шатунного механизма
- ▶ 2 участка газораспределительного механизма



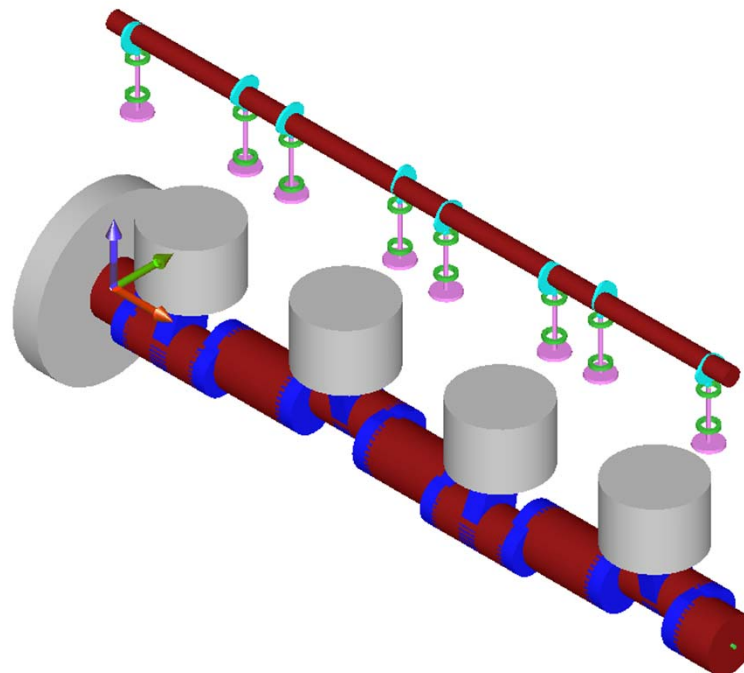
Схемная модель 4-х цилиндрового 8-ми клапанного двигателя

- ▶ модель маховика (FLYWHEEL)
- ▶ модель передачи (DRIVE)
- ▶ набор цилиндров (CYLINDER)



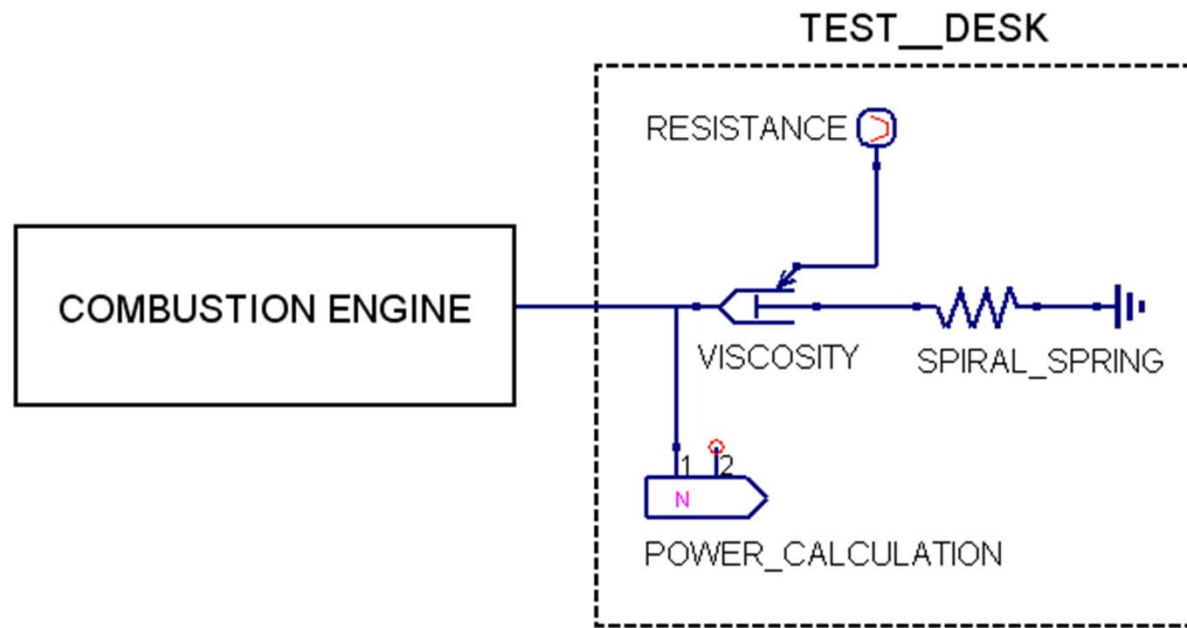
Моделируемые свойства и эффекты двигателя

- ▶ Модели PRADIS отдельных элементов подсистемы:
 - маховик - трехмерная масса с инерцией;
 - подшипники - цилиндрический шарнир;
 - передача - элемент моделирует ременную или цепную передачу и служит для передачи вращения от коленчатого вала на распределительный вал. Потери в передаче учитываются КПД передачи.



Модель испытательного стенда

Эффективная мощность - снимаемая с маховика - развиваемая двигателем, поглощается тормозной установкой. В качестве тормозной установки в модуле TEST_DESK выступает управляемый сигнал демпфер и упругий элемент.



Исследуемая задача

Исследуются:

- ▶ 1-но цилиндровый 2-х клапанный 4-х тактный двигатель;
- ▶ 2-х цилиндровый 4-х клапанный 4-х тактный двигатель;
- ▶ 4-х цилиндровый 8-ми клапанный 4-х тактный двигатель.

Ключевые параметры:

- ▶ S (ход поршня) = 156 мм;
- ▶ D (диаметр цилиндра) = 123 мм;
- ▶ λ (отношение длины шатуна к радиусу кривошипа) = 0.3.



Давление газов в цилиндре

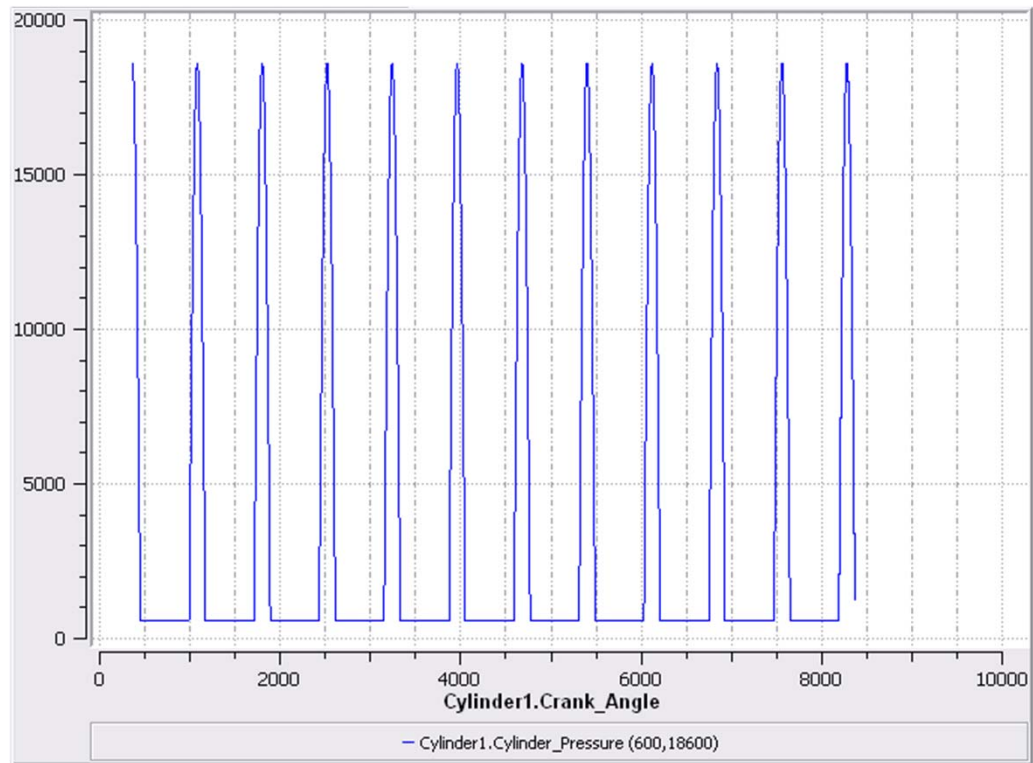
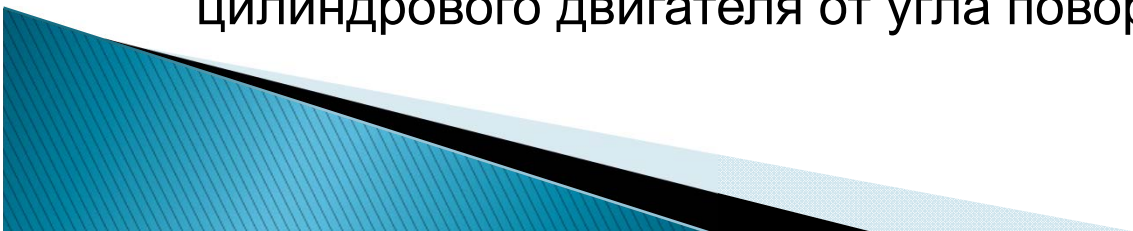


График зависимости давления газов в цилиндре [Па] 4-х цилиндрического двигателя от угла поворота кривошипа



Частота вращения двигателя

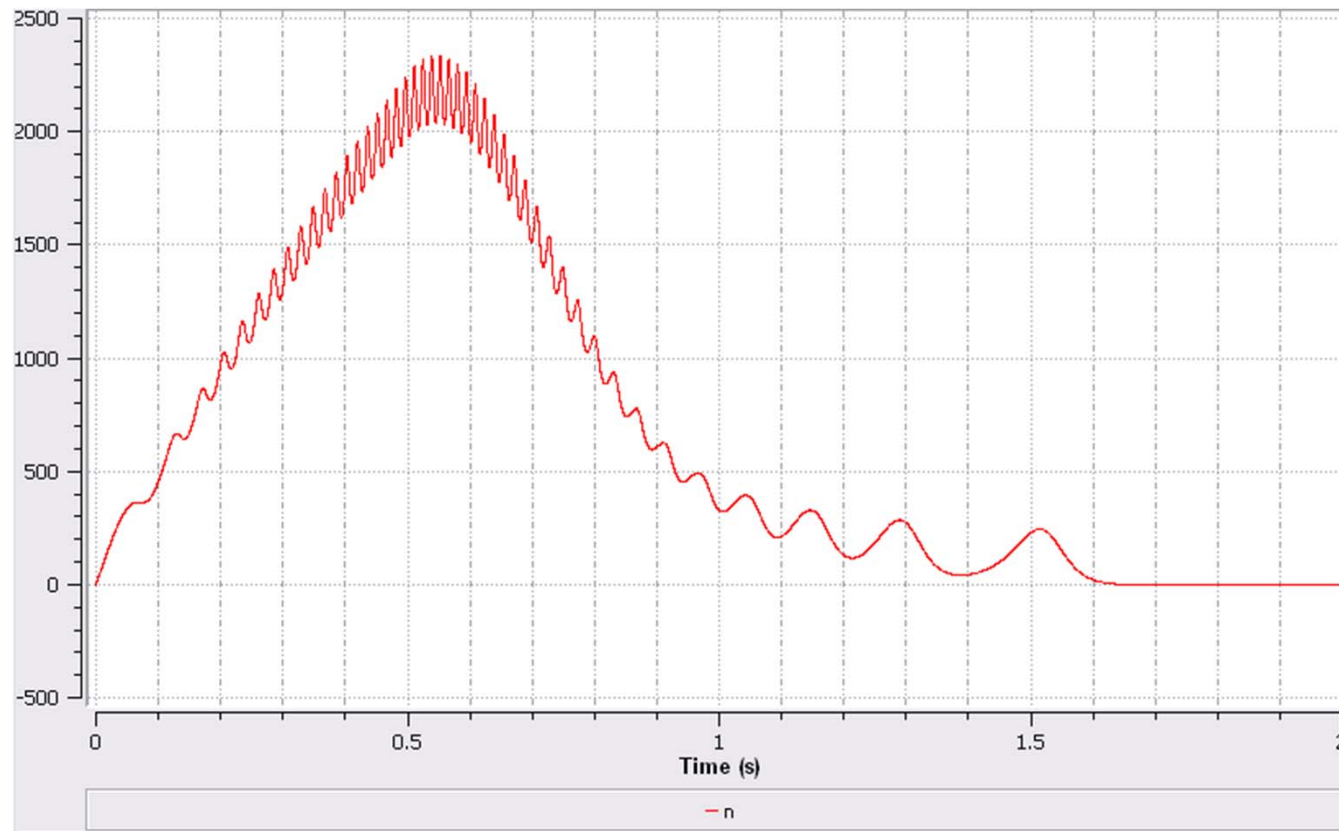


График зависимости частоты вращения [об/мин] 4-х цилиндрового двигателя от времени [с]

Ход толкателя кулачка ГРМ

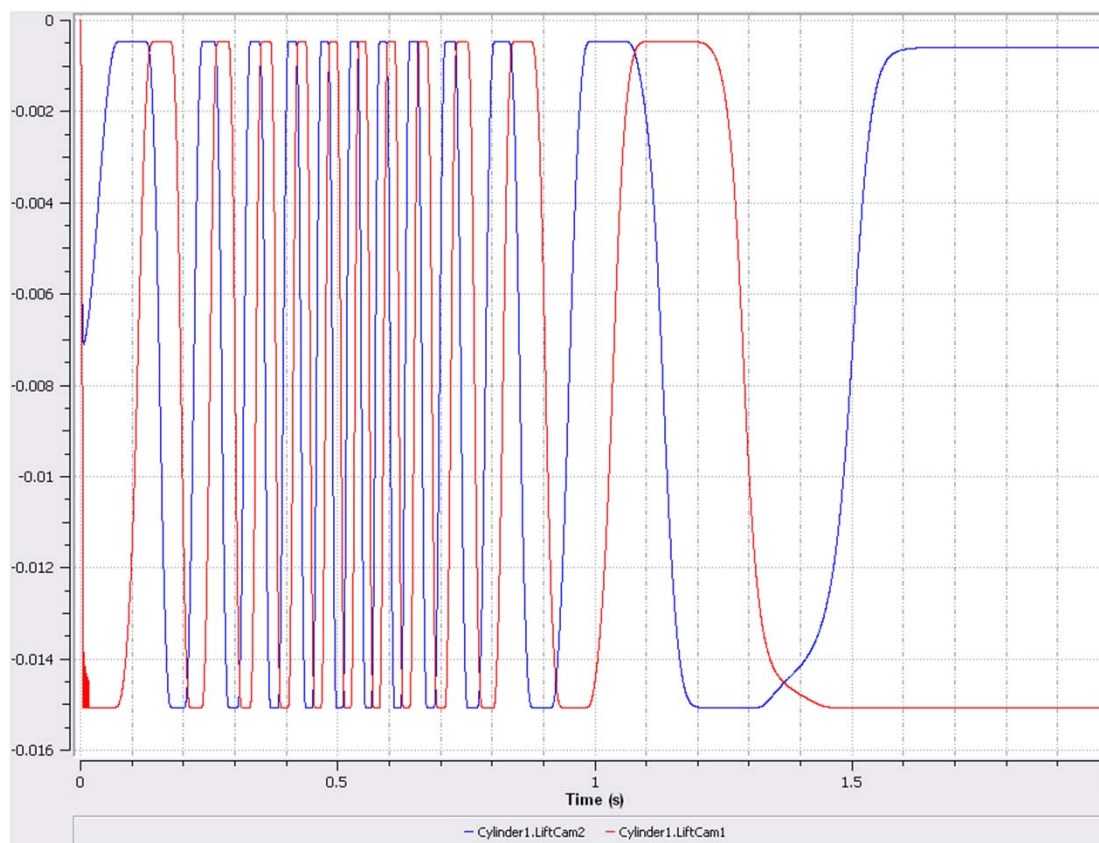


График зависимости хода толкателя кулачка [м] ГРМ первого цилиндра 4-х цилиндрового двигателя от времени [с]

Силы реакции в подшипнике шатуна

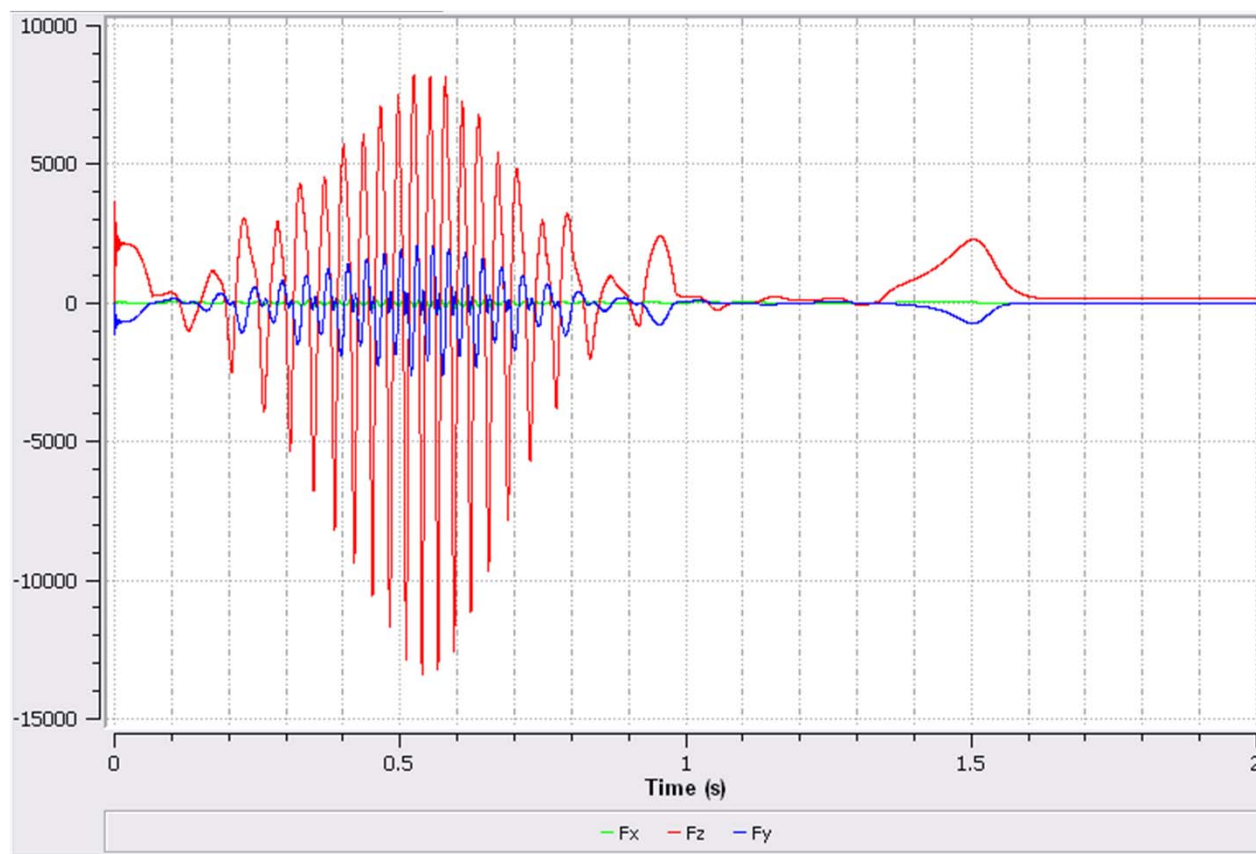


График зависимости сил реакций [Н] в подшипнике шатуна 4-х цилиндрового двигателя от времени [с]

Силы реакции в подшипнике шатуна

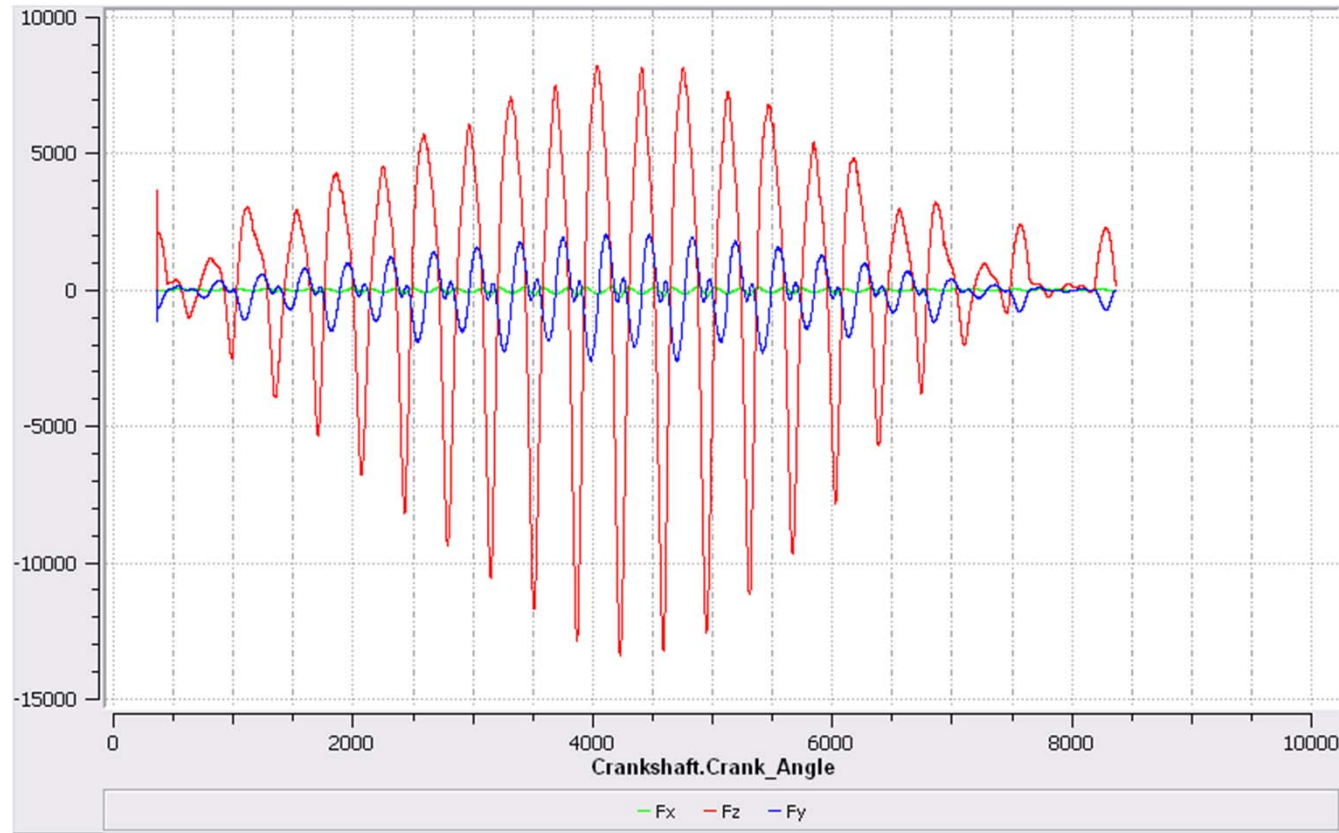
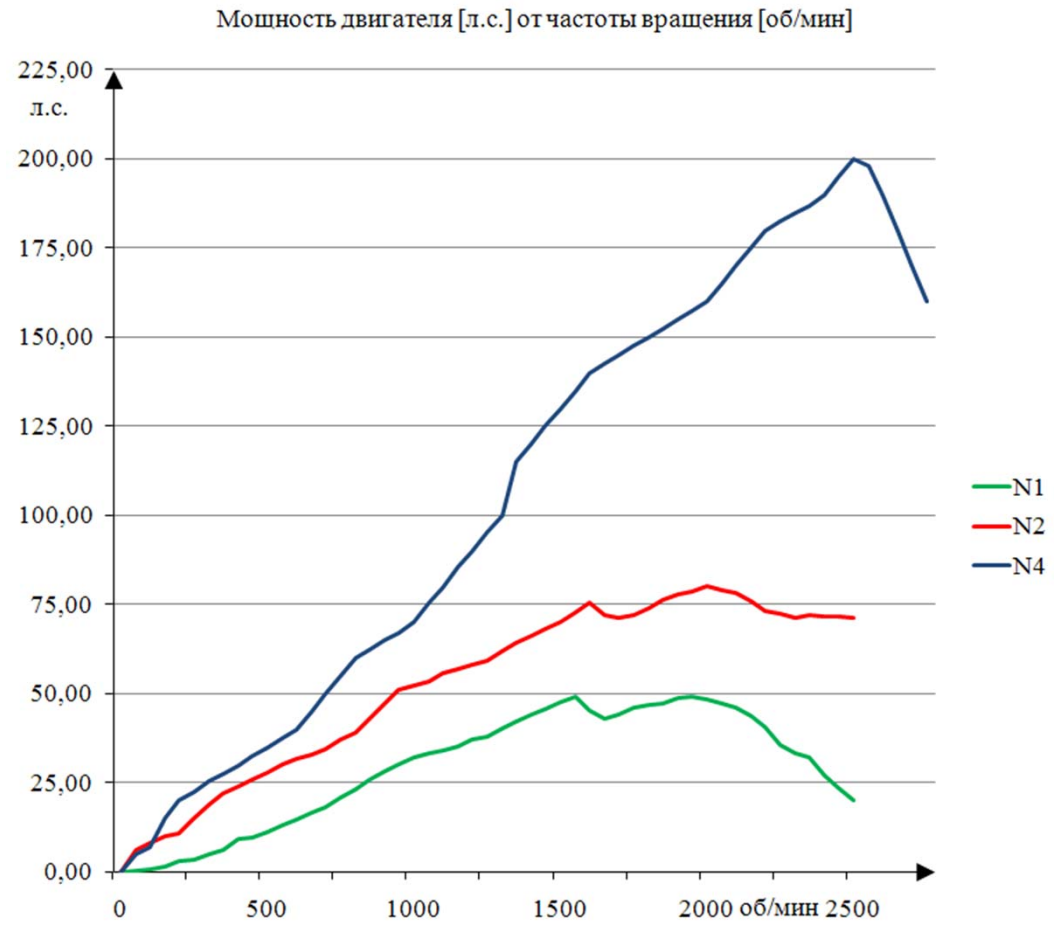
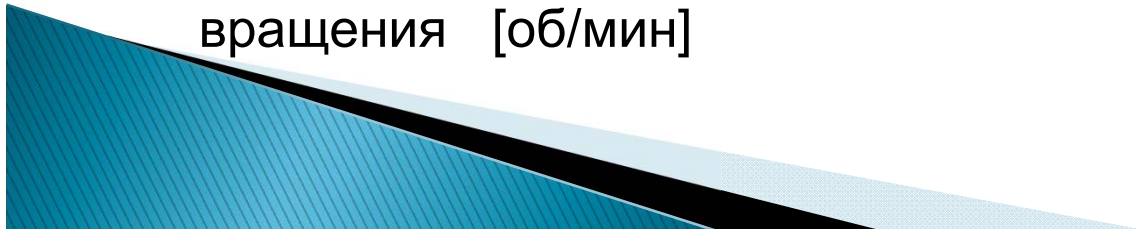


График зависимости сил реакций [Н] в подшипнике шатуна 4-х цилиндрового двигателя от угла поворота кривошипа

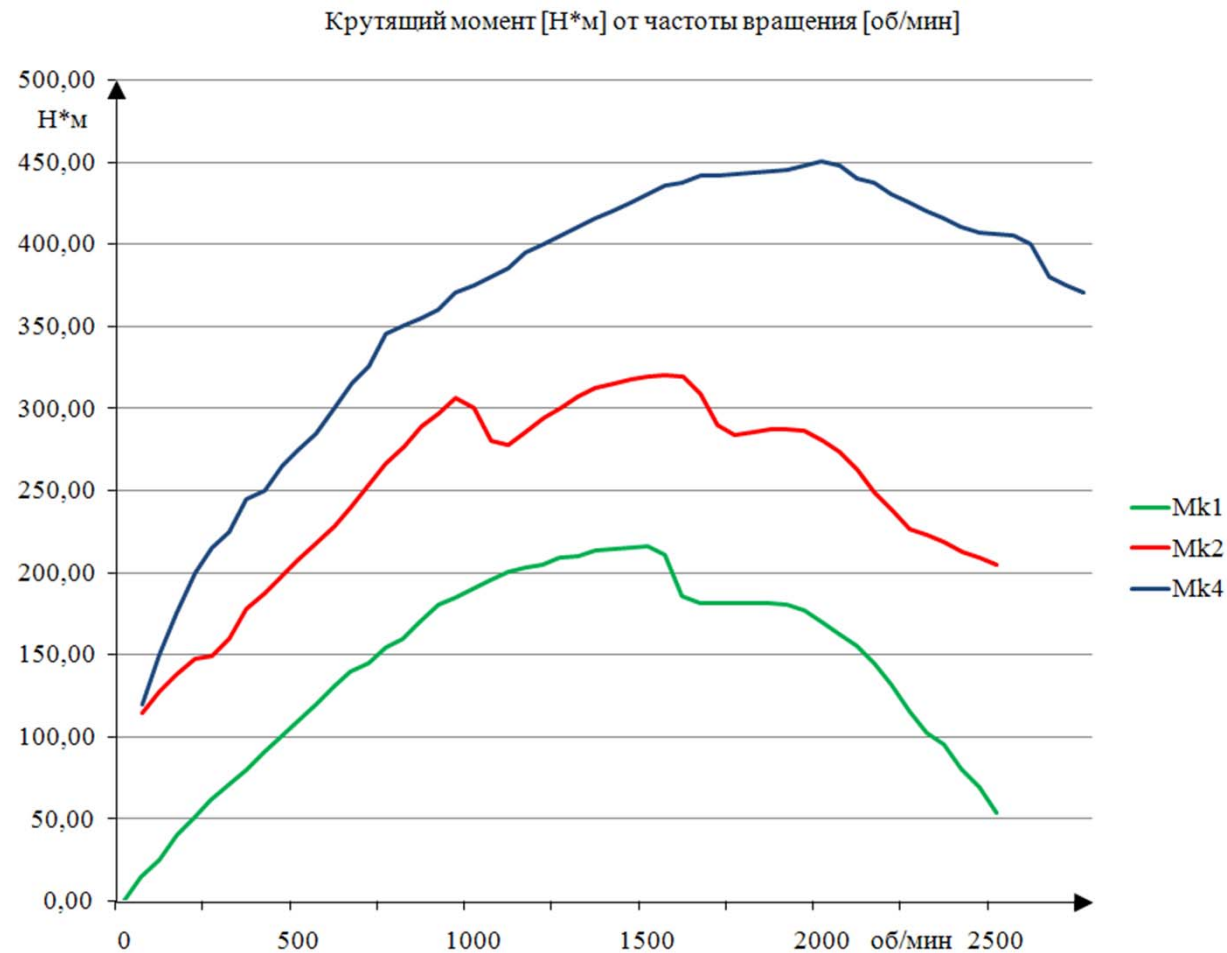
Мощность



Мощность 1-2-4-х цилиндрового двигателя [л.с.] от частоты вращения [об/мин]



Крутящий момент



Крутящий момент 1-2-4-х цилиндрового двигателя [Н*м] от частоты вращения [об/мин]

Выводы и перспективы

Решенные задачи:

- ▶ Построена параметризованная модель ДВС
- ▶ Исследована работа ДВС отдельных элементов и двигателя в целом на основе построенной модели

Продолжение работы:

- ▶ Формальная проверка адекватности модели
- ▶ Доработка модели (совместный конечно-элементный анализ, модуль привода ГРМ, модуль клапанов, модуль синтеза профиля кулачка и т.д.)
- ▶ Расчет характеристик двигателя при различных режимах работы (холостой ход, разгон, торможение и др.)
- ▶ Постановка задачи синтеза и анализа двигателя
- ▶ Расчет на долговечность

