

Программа для расчета и оптимизации двигателей

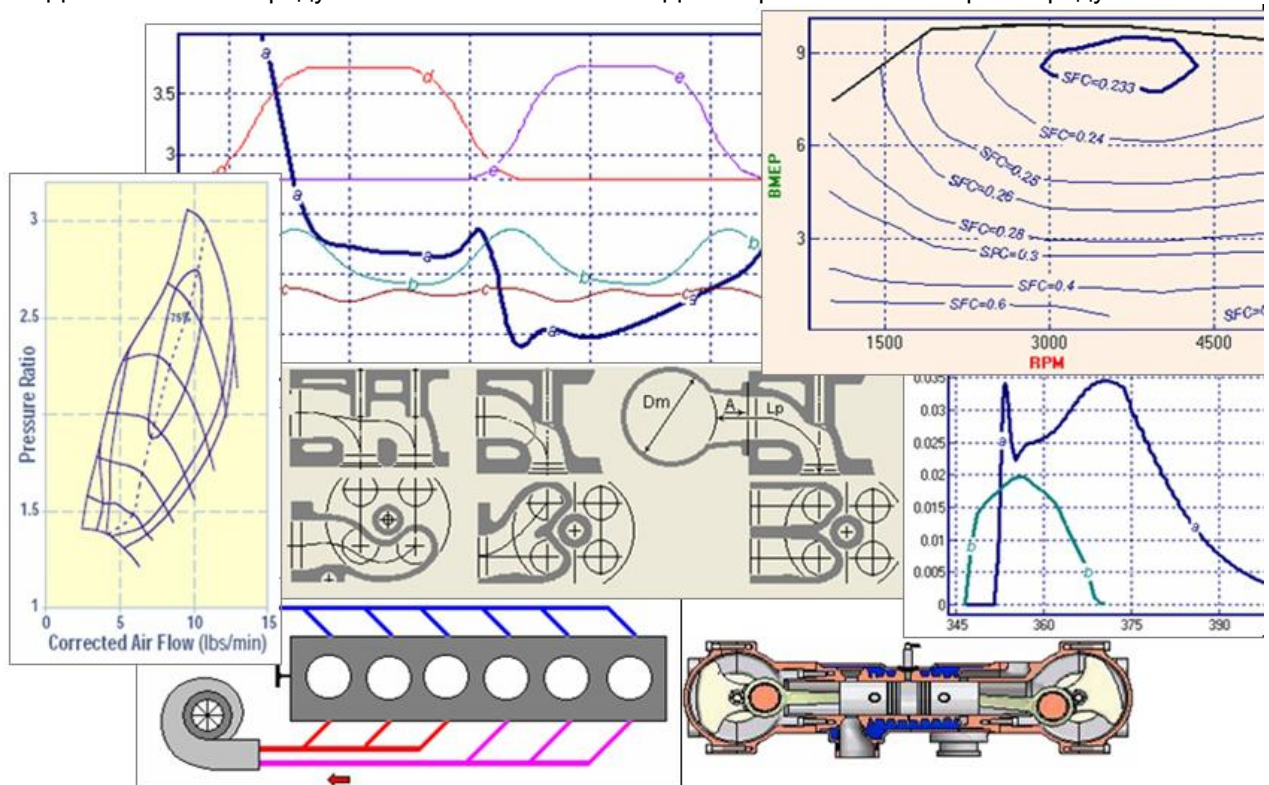
www.diesel-rk.bmstu.ru

Программа ДИЗЕЛЬ-РК принадлежит к классу термодинамических программ описывающих полный цикл поршневого двигателя. Она предназначена для расчетов и оптимизации 2- и 4-тактных ДВС с любыми схемами наддува, позволяя рассчитывать следующие типы двигателей:

- Дизели.
- Бензиновые и газовые искровые, включая предкамерные ДВС.
- Газо-дизели.

Программа ДИЗЕЛЬ-РК поддерживает расчет и оптимизацию всех типов продувки 2-тактных ДВС:

- ДВС с прямоточно-клапанной продувкой.
- ДВС с петлевой продувкой.
- Двигатели Юнкера.
- ДВС с кривошипно-камерной продувкой.



Типичная область применения программы:

- Расчет и оптимизация характеристик двигателей.
- Расчет и оптимизация расхода топлива.
- Оптимизация топливной аппаратуры для минимизации выбросов NOx, твердых частиц и CO₂.
- Расчет детонации.
- Оптимизация фаз газораспределения.
- Оптимизация системы рециркуляции ОГ.
- Оптимальный подбор агрегатов наддува и перепуска ОГ (согласование характеристик агрегатов).
- Перевод дизелей на газ и биотопливо.
- Выбор концепции двигателя.

- Параметры газа в цилиндрах и коллекторах двигателей определяются методом пошагового решения систем разностных уравнений баланса массы, энергии и уравнения состояния записанных для открытой термодинамической системы.
- Модель газообмена учитывает нестационарное течение газа в каналах и окнах, особенности конструкции каналов и окон, а также конструкции преобразователя импульсов. При расчете продувки в 2-тактных двигателях используется комбинация гипотез о послойном вытеснении, полном перемешивании и замыкании, что позволяет проводить оптимизацию конфигурации впускных и выпускных окон 2-тактных ДВС.
- ДИЗЕЛЬ-РК позволяет исследовать двигатели с двухступенчатым наддувом, системой Гипербар, а также согласовывать оптимальным образом характеристики турбин и компрессоров с поршневым ДВС.
- Ядро программы ДИЗЕЛЬ-РК может запускаться под управлением внешней программы пользователя, для чего используются текстовые файлы входных и выходных данных. Шаблоны интерфейсных файлов управления создаются автоматически.

Программа ДИЗЕЛЬ-РК позволяет рассчитывать рабочий процесс любого типа ДВС. Использование современных расчетных моделей с минимальным числом эмпирических коэффициентов позволяет моделировать рабочий процесс двигателей с высокой точностью. Величины этих эмпирических коэффициентов легко подбираются и являются строго постоянными во всем диапазоне работы ДВС, включая режимы малой мощности и холостой ход.

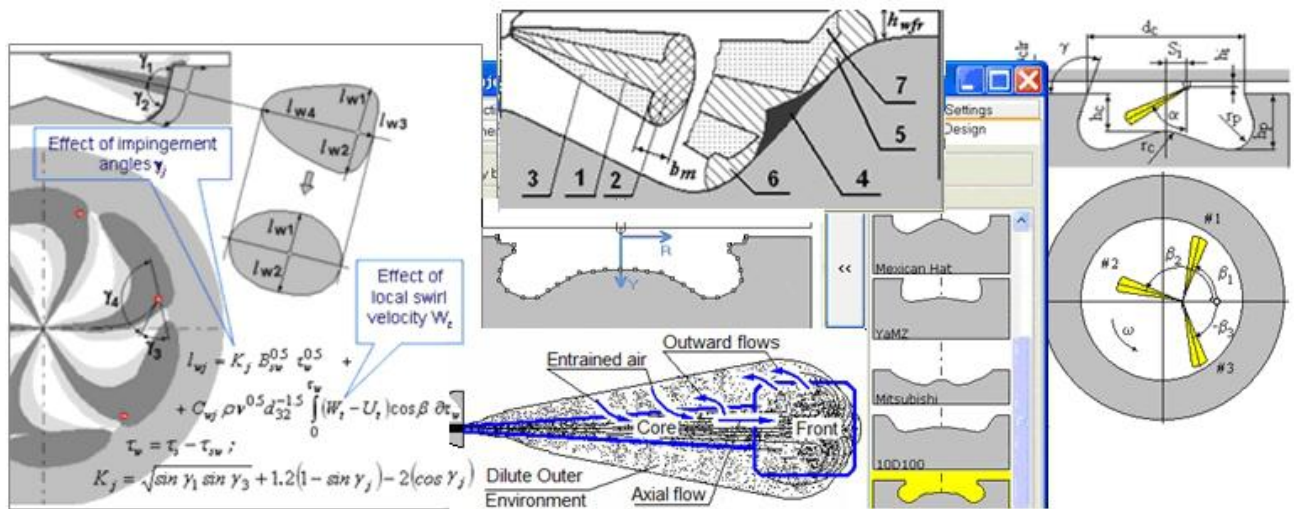
Новые возможности программы ДИЗЕЛЬ-РК:

1. Новая многозонная модель сгорания на основе расчета развития дизельной струи:

- поддерживает любую форму камеры в поршне которая может быть сохранена в базе данных, последняя уже содержит наиболее популярные конструкции, включая камеры "double lip";
- учитывает динамику и профиль вихря в КС;
- учитывает движение воздушно-капельных потоков внутри топливной струи, отслеживая спектры диаметров капель внутри характерных зон в процессе их испарения;
- учитывает расположение форсунки, а также количество, диаметр и направления распыливающих отверстий;
- учитывает форму характеристики впрыска, включая **многократный впрыск, РССИ / НССИ / РССИ процессы**;
- учитывает особенности развития топливных струй, включая их взаимодействие со стенками, обтекание кромки камеры в поршне, пересечение их между собой в объеме и вблизи стенок.

Публикации:

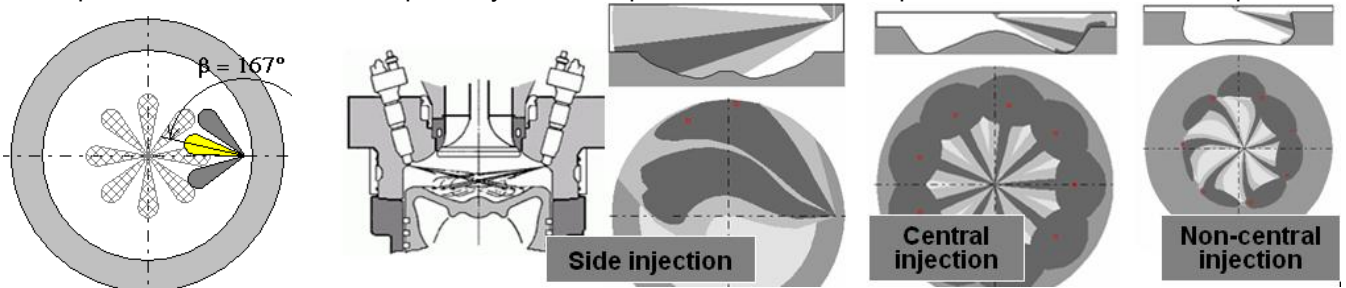
SAE Paper No 2005-01-2119, 2005
 SAE Paper No 2006-01-1385, 2006
 SAE Paper No 2007-01-1908, 2007
 SAE Paper No 2009-01-1956, 2009
 SAE Paper No 2010-01-1960, 2010
 SAE Paper No 2013-01-0882, 2013
 ASME ICEF2014 – 5700, 2014
 SAE Paper No 2015-01-1791, 2015
 SAE Paper No 2015-01-1859, 2015



Новая модель сгорания позволяет оптимизировать форму камеры сгорания, параметры топливной системы (число, диаметр и направление топливных струй), а также стратегию многократного впрыска и алгоритм управления системой Common Rail и системами рециркуляции ОГ во всем диапазоне работы.

2. Программа визуализации развития струй.

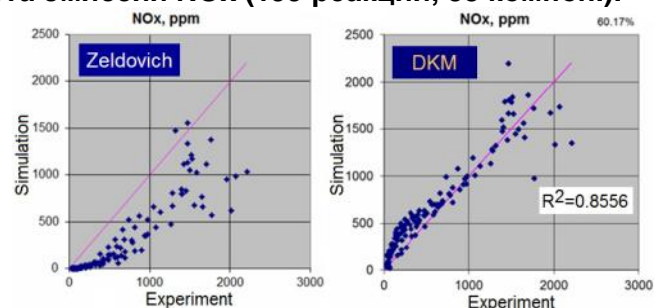
Эта программа, являясь частью ДИЗЕЛЬ-РК, позволяет представлять в виде фильма результаты расчета взаимодействия струй с воздушным вихрем и стенками, а также между собой во время процесса топливоподачи. Программа помогает проектировать камеру сгорания и выбирать оптимальными диаметр, количество и ориентацию сопловых отверстий, учитывая продолжительность впрыска и интенсивность вихря.



3. Детальный кинетический механизм для расчета эмиссии NOx (199 реакций, 33 компон.).

Пользователь может выбрать модель для расчета NOx по своему усмотрению:

- механизм Зельдовича (18 комп.) для обычных ДВС.
- Детальный Кинетический Механизм (ДКМ) (199 реакций, 33 комп.) для корректного расчета NOx в двигателях с большой рециркуляцией ОГ и / или с многократным впрыском. Рисунок справа иллюстрирует гораздо более высокую точность ДКМ для всего поля режимов автомобильного дизеля (135 режимов).

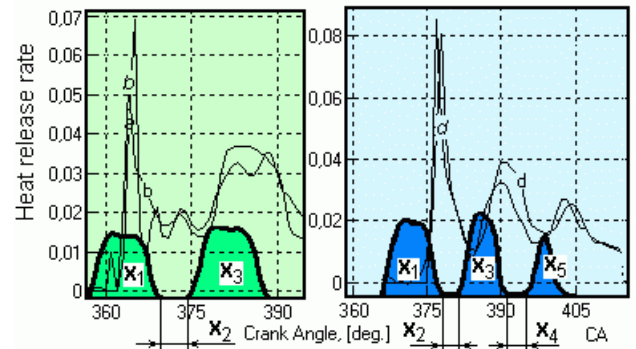


4. ДИЗЕЛЬ-РК имеет очень удобный и простой пользовательский интерфейс.

Профессиональная программа ДИЗЕЛЬ-РК может быть легко освоена начинающими пользователями. Чтобы радикально упростить начало работы с программой, разработчики создали систему **Мастеров Настроек**, которая позволяет быстро создать файл данных на основе лишь общих сведений об объекте исследований. Мастер Настроек рассчитает и поместит в файл данных все недостающие размеры и параметры, а также эмпирические коэффициенты расчетных методик. Для этого используется внутренняя база данных, содержащая наиболее распространенные решения по проектированию двигателей разной размерности и назначения. Это особенно важно для пользователей, работающих в условиях дефицита информации, или с большой номенклатурой двигателей.

5. Оптимизация многоразового впрыска.

Программа позволяет проводить автоматизированную оптимизацию многоразового впрыска одновременно с рециркуляцией ОГ. Для этого в вектор (список) независимых переменных включаются: доли топлива в порциях: X_1, X_3, X_5 и временные задержки между порциями: X_2, X_4 ; а также степень рециркуляции ОГ: X_6 для каждого рабочего режима. Функция цели включает расход топлива, а также эмиссию РМ и NOx. Ограничения: $p_z, dp/d\varphi, \dots$ (Количество порций во впрыске – до 20.)

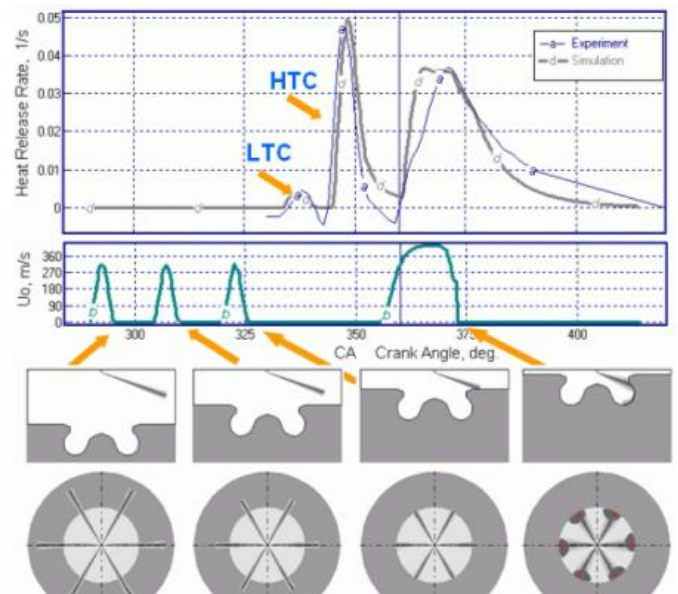


6. Исследование PCCI процесса (Premixed Charge Compression Ignition).

Расчет PCCI процесса и обычного процесса сгорания проводится с одними и теми же эмпирическими коэффициентами.

Особенностью PCCI процесса является очень ранний многоразовый впрыск пилотных порций топлива. Период задержки рассчитывается по **детальному кинетическому механизму** (1540 реакций для 160 компонентов). Используется технология TABKIN. Учитывается низкотемпературное окисление / сгорание (LTC) и высокотемпературное сгорание (HTC).

На рисунке диаграммы иллюстрируют процесс развития струй. Каждое изображение струй соответствует окончанию впрыска порции.



7. Расчет работы двигателей на биотопливах и газовых топливах произвольного состава.

Программа ДИЗЕЛЬ-РК поддерживает библиотеку различных топлив и их смесей с дизельным топливом.

Физические и химические свойства топлив, заданные пользователем можно сохранить во внутренней базе данных проекта.

Свойства газовых смесей рассчитываются автоматически. Состав питающего газа задается произвольно объемными долями компонентов: $H_2, O_2, N_2, H_2O, CO_2, CH_4, C_2H_6, C_3H_8, C_4H_{10}, CH_3OH, CH_3-O-CH_3, C_2H_5OH, CO, NH_3$. (Поддерживается природный газ, биогаз, сингаз, и пр.)

Project Fuel Library			
Diesel No. 2			
Biofuel SME B40			
55%CH4+35%CO2+10%H2O			

Project Fuel Library			
Fuel Title	Fuel Group	Class	
55%CH4+35%CO2+10%H2O	Bio Gas	Gas	
Substance	CH4	CO2	H2O
% Volume	55	35	10
Composition (mass fractions)			
C	0,4295	H	0,05787
O			0,5782
Sulfur fraction in fuel, [%]			
			0
Low Heating Value of fuel, [MJ/kg]			
			16,93

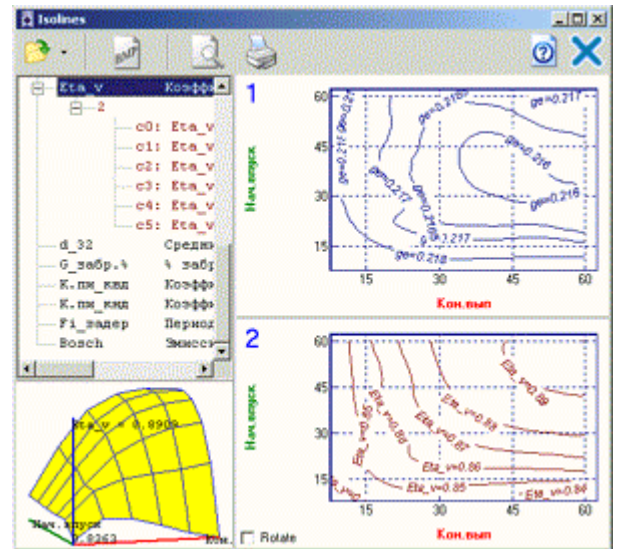
System Fuel Library			
Fuel Title	Fuel Group	Class	
55%CH4+35%CO2+10	G		
CH4	CO2	H2O	
55	35	10	
Composition			
C	0,429	H	0,057
O			0,578
Sulfur fraction in fuel, [%]			
			0
Low Heating Value of fuel, [MJ/kg]			
			16,93

8. Многомерная оптимизация, процедуры для 1D и 2D параметрических исследований.

Для выполнения оптимизационных исследований программа ДИЗЕЛЬ-РК имеет встроенные процедуры многомерной оптимизации, которые включают 15 методов нелинейного программирования, а также процедуры одномерного и двумерного сканирования.

Средства оптимизации позволяют радикально увеличить эффективность численных экспериментов направленных на поиск путей совершенствования ДВС. При решении задач связанных с одновременной оптимизацией целого ряда параметров, формирующих рабочий процесс ДВС (степень сжатия, опережение впрыска, диаметр, число и направленность сопловых отверстий, форма КС, фазы газораспределения, параметры наддува, стратегия впрыска и т.д.) трудно сформировать численный эксперимент и проанализировать его результаты из-за большого числа влияющих параметров. В этих условиях многомерная оптимизация является очень эффективным средством.

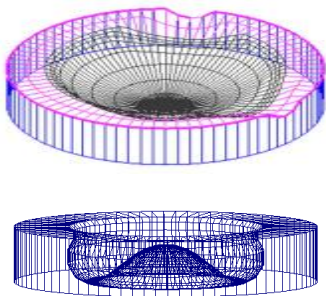
Оптимизационные процедуры используют математическую модель двигателя, чтобы найти оптимальное сочетание оптимизируемых параметров двигателя. Благодаря высокому быстродействию ядра программы, оптимизация выполняется достаточно быстро и без больших затрат.



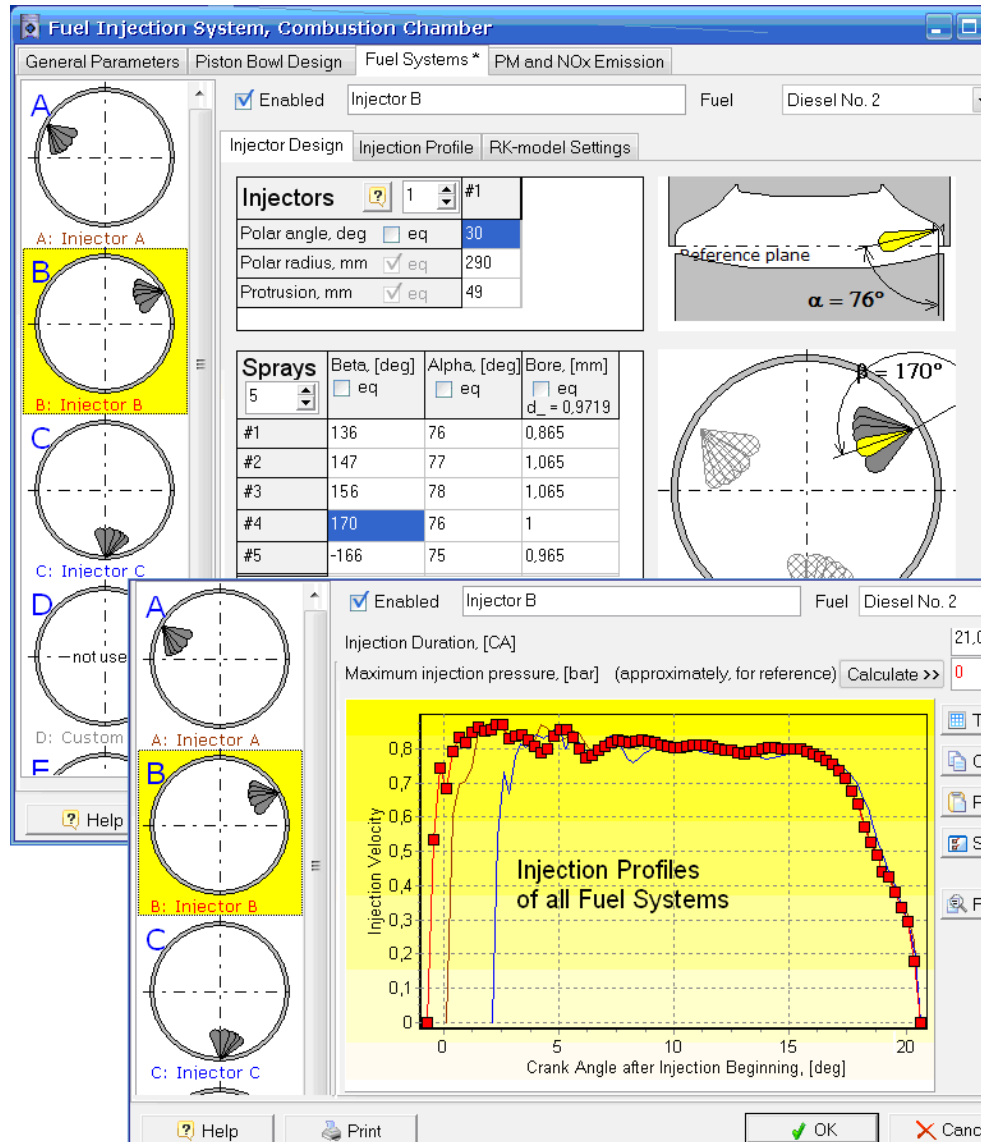
9. Расчет и оптимизация сгорания в ДВС с несколькими топливными системами

ДИЗЕЛЬ-РК позволяет задавать до 5 независимых топливных систем работающих в одном цикле и подающих разные топлива. Системы обозначаются индексами А, В, С, D, Е.

Каждая система может включать несколько форсунок в одном цилиндре и может подавать собственное топливо. Каждая форсунка может иметь произвольно ориентированные отверстия разного диаметра. Для описания геометрии камеры сгорания и пространственных зон топливных струй используется 3D сетка.

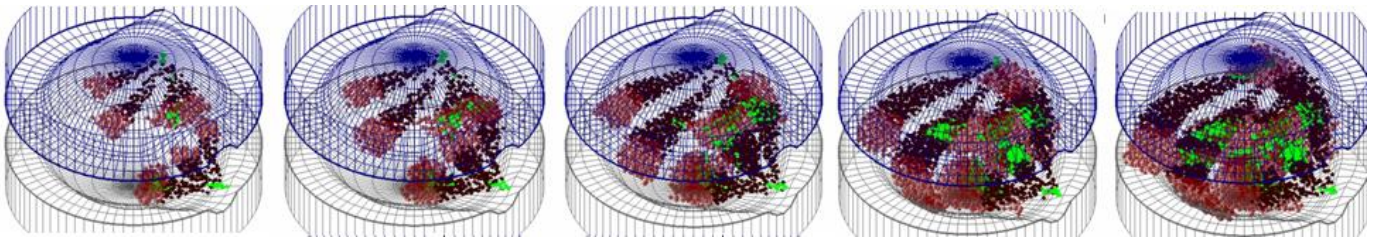


В отличие от CFD моделирования, здесь система уравнений сохранения решается сразу для кластеров ячеек, благодаря чему **время счета одного режима не превышает 1 минуты** на обычном ПК.



3D визуализация развития струй в камере сгорания позволяет анализировать особенности смесеобразования в ДВС и оптимизировать ориентацию сопловых отверстий.

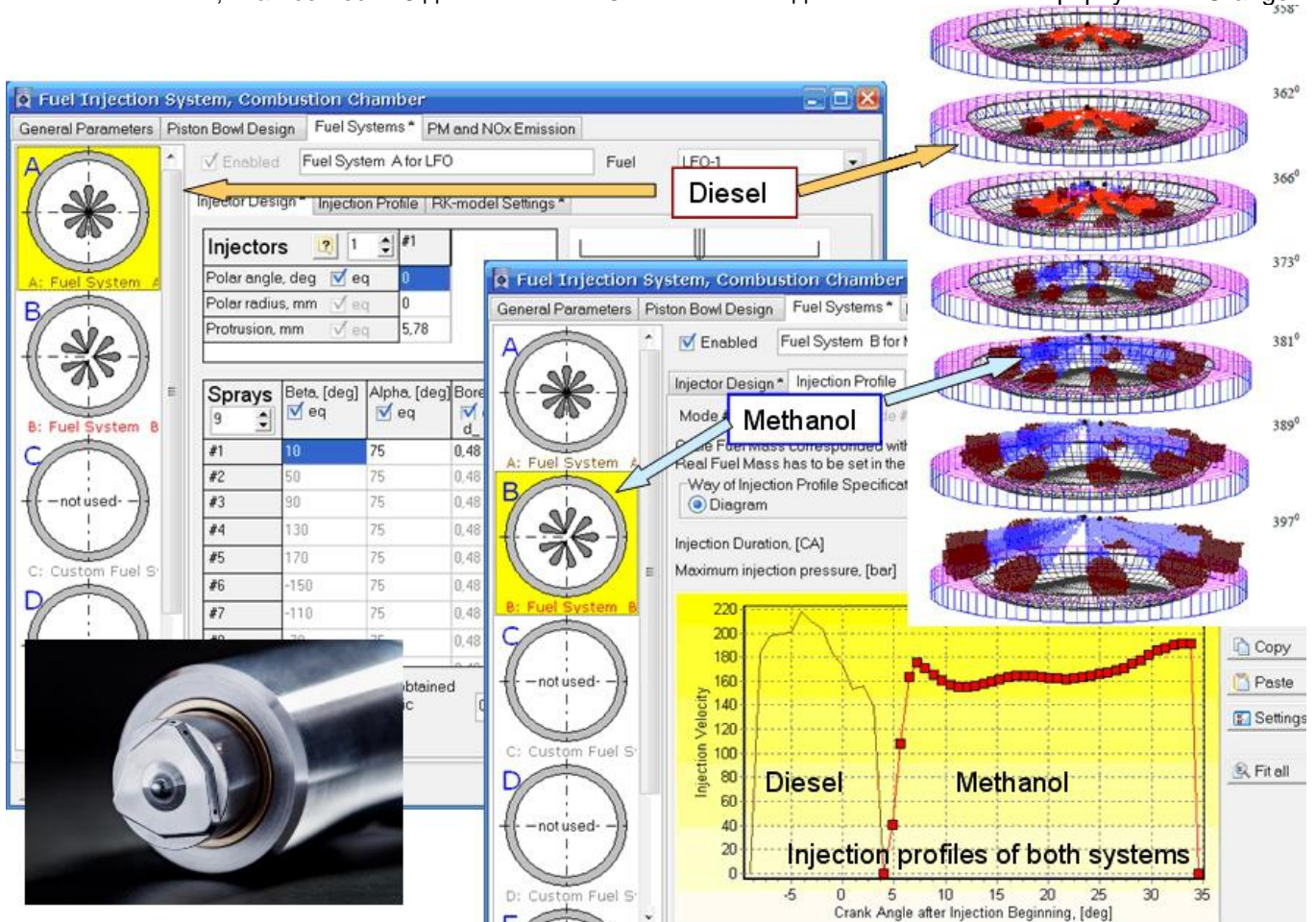
10. 3D визуализация развития и взаимодействия топливных струй в камере сгорания ДВС.



3D развитие топливных струй от 2-х форсунок в цилиндре 2-х тактного дизеля с ПДП и канавками в поршнях для подачи топлива в камеру сгорания (двигатель 18 ДПРН 23х2/30). Зелеными маркерами обозначены зоны пересечения струй в объеме КС, которые снижают скорость испарения и тепловыделения. Доли топлива в зонах пересечения выводятся на графики в функции угла поворота. Это позволяет проводить оптимизацию пространственной ориентации топливных струй.

11. Расчет сгорания в многотопливных ДВС (Dual Fuel engines).

Расчет сгорания метанола (система B) поджигаемого запальной порцией дизельного топлива (система A) в двигателе Wartsila W32. Учитывается взаимодействие топливных струй между собой. Задержка самовоспламенения обоих топлив рассчитывается по детальным кинетическим механизмам: LLNL v3.1 для дизельного топлива; Agasomech-v3 для метанола. Оба топлива подаются 4 игольчатой форсункой L'Orange.



12. Расчет сгорания в газодизеле с форкамерным поджигом, или с непосредств. впрыском пилотной порции дизельного топлива.

Возможные варианты подачи топливного газа: перед компрессором, во впускной коллектор, во впускной канал или непосредственно в цилиндр. Поджиг газа осуществляется как от свечи зажигания, так и впрыском ДТ непосредственно в цилиндр или в форкамеру. Можно оптимизировать параметры форкамеры и системы впрыска ДТ. Сгорание газа и детонация рассчитываются по 3-х зонной модели с использованием теории затопленных струй и детальной хим. кинетики.

