

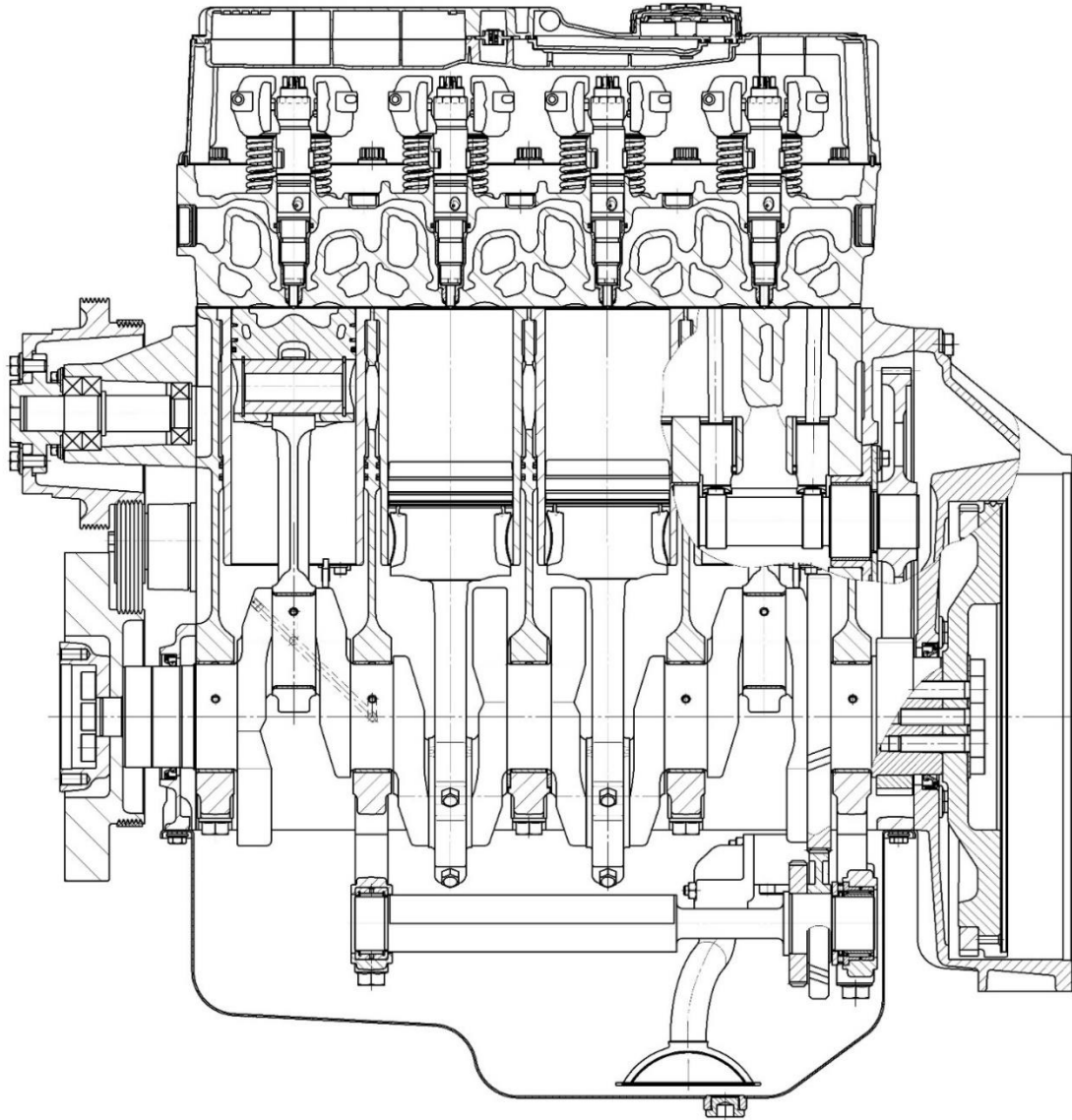
Многокритериальная оптимизация полости охлаждения в поршне дизельного двигателя



МГТУ ИМ. Н.Э. БАУМАНА
КАФЕДРА Э-2
"ПОРШНЕВЫЕ ДВИГАТЕЛИ"

Зенкин В.А.
Комарова М.Г.
Кулабухов М.А.

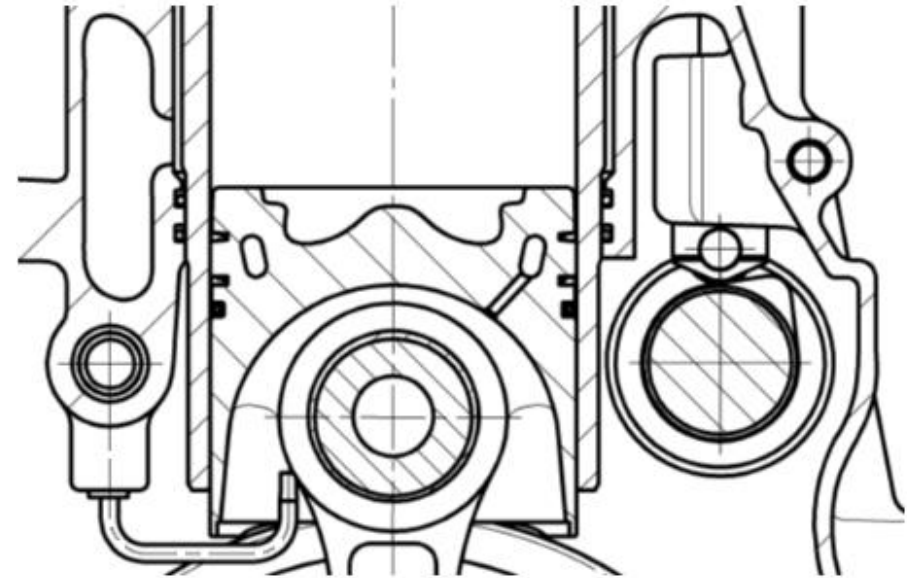
ВВЕДЕНИЕ



Продольный разрез дизельного двигателя

Двигатель внутреннего сгорания (ДВС) — разновидность теплового двигателя, в котором топливная смесь сгорает непосредственно в рабочей камере (внутри) двигателя

Дизельный двигатель — поршневой двигатель внутреннего сгорания, работающий по принципу самовоспламенения распылённого топлива



Поршень дизельного двигателя

ПРОБЛЕМЫ ВО ВРЕМЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Поршень в разрезе

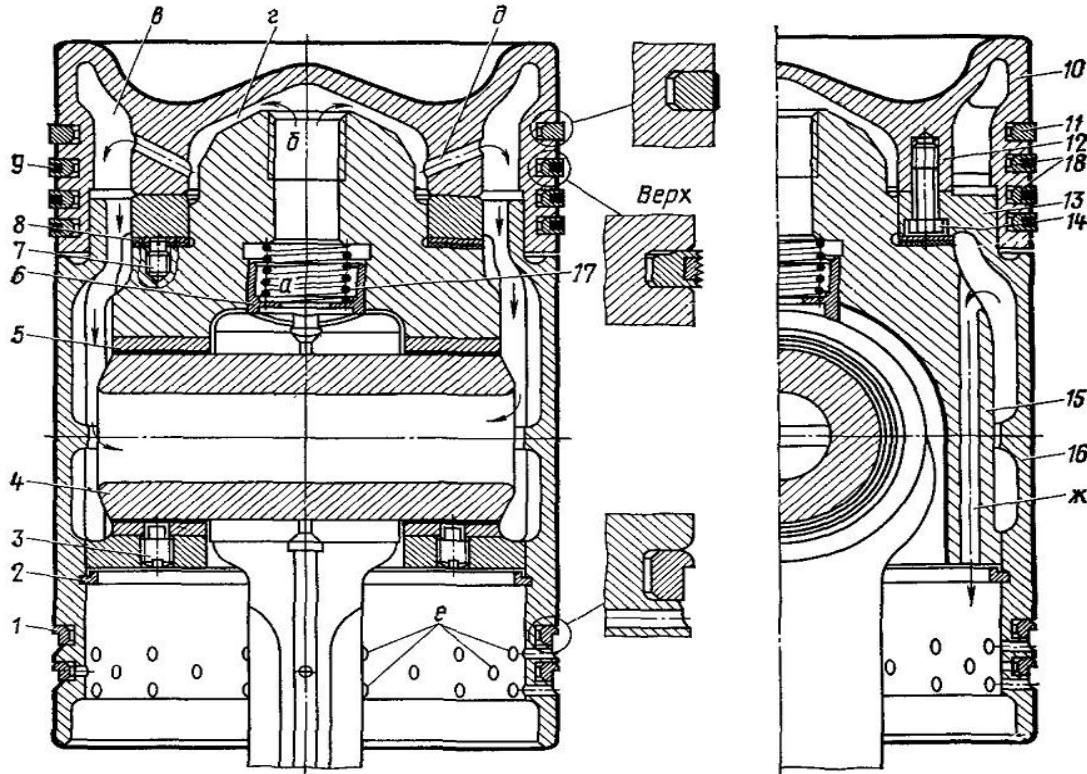


Примеры разрушения поршня

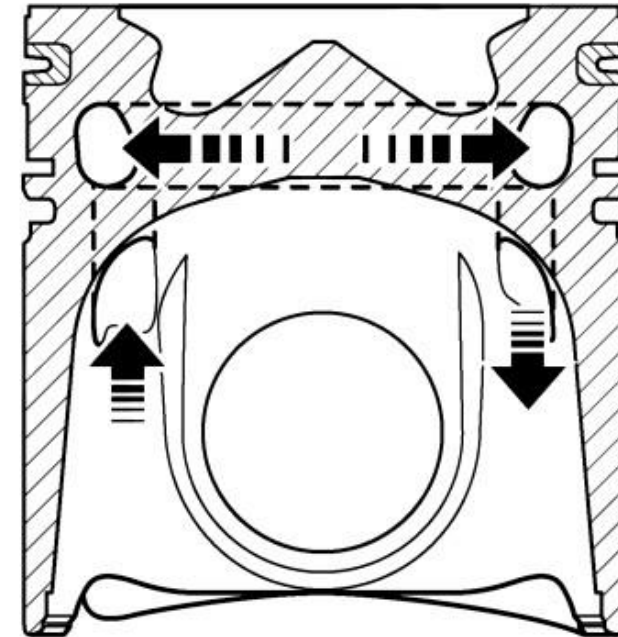


ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ

Составной поршень



Полость охлаждения



Материалы поршней

Серые и ковкие чугуны

СЧ 24-44, СЧ 28-48, СЧ 32-52

Алюминиевые сплавы

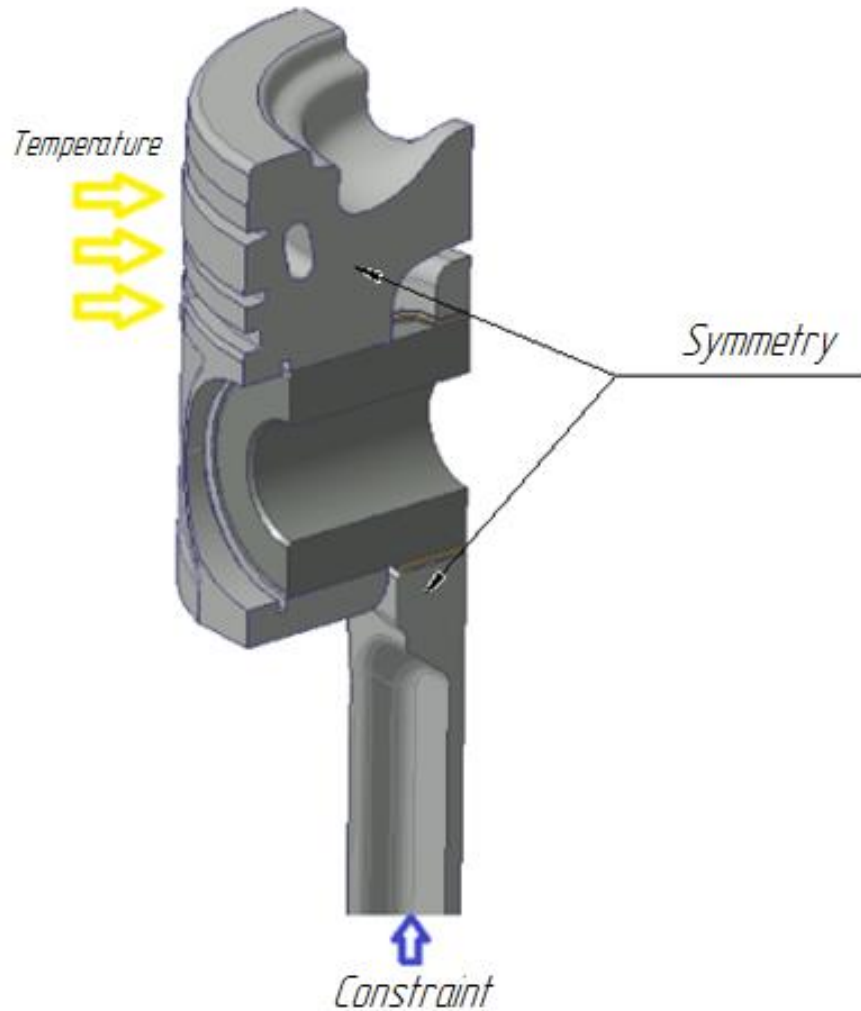
АЛ1, АК2, АК4, ЖЛС

Жаропрочная сталь

20Х3МВФ, 03Н18К9М5Т

МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Поверочный расчет



Испытание



МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

- **OpenFOAM (OF)** - свободно распространяемый инструментальный вычислительный гидродинамики, задач теплопроводности в твёрдом теле, прочностных расчетов для операций с полями (скалярными, векторными и тензорными);
- **SolidDisplacementFoam (SDF)** - решатель для расчета напряжений для упругого твердого тела, применимый как к стационарному состоянию, так и для переходных процессов.

На первом этапе определялось поле температур, путем решения стационарного уравнения теплопроводности:

$$\Delta(T) = 0$$

где T — поле температур, К.

Далее итерационно (для учета взаимной связи компонентов вектора перемещений) находилось решение уравнения перемещений:

$$((2 \cdot \mu + \lambda) \cdot D) + \operatorname{div}(\sigma) - \operatorname{grad}((3\lambda + 2\mu) \cdot \alpha_T \cdot T) = 0$$

где D — вектор перемещений, м;

λ, μ — коэффициенты Ламэ, Па;

α_T — коэффициент линейного расширения, 1/К.

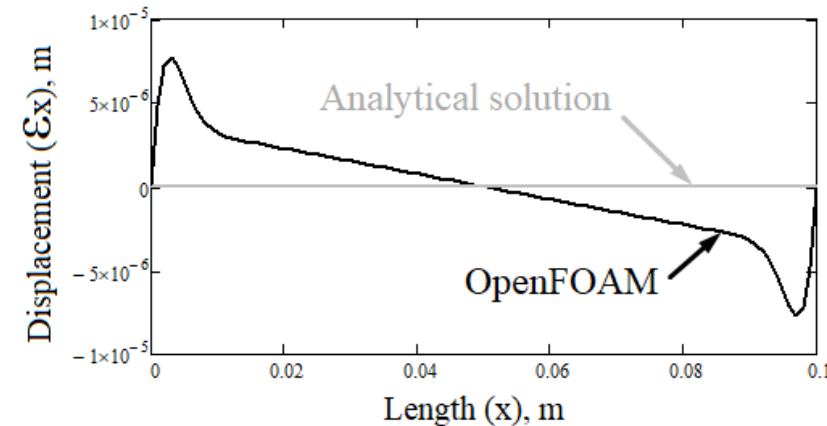
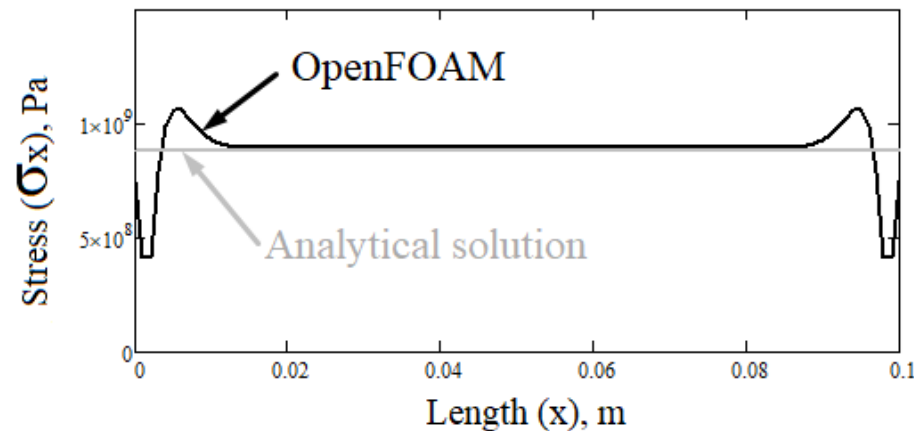
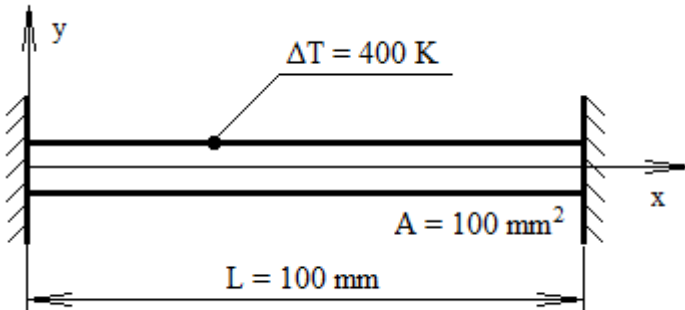
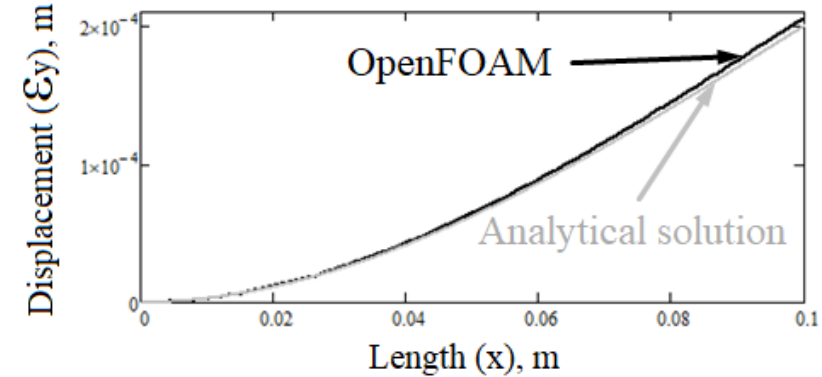
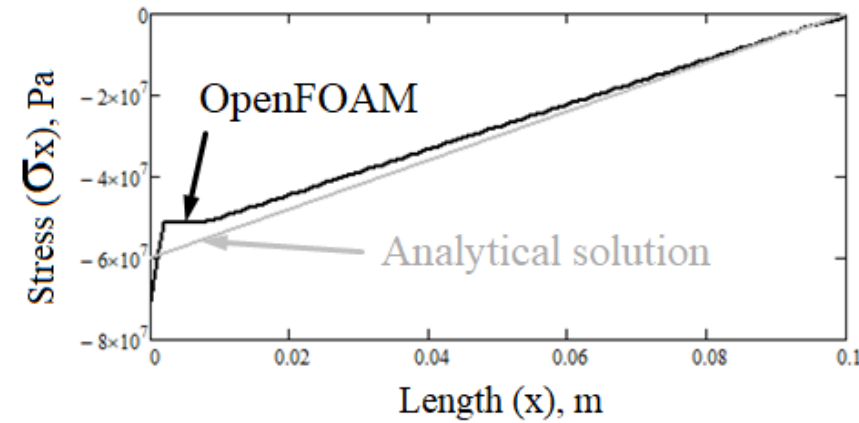
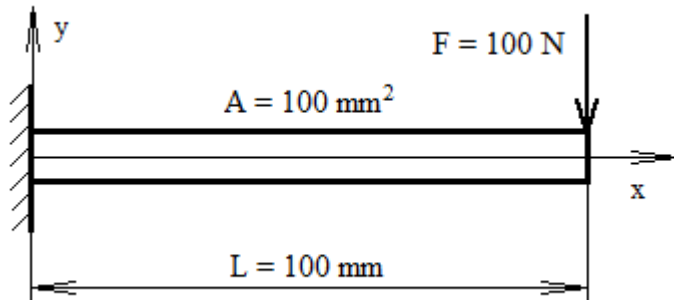
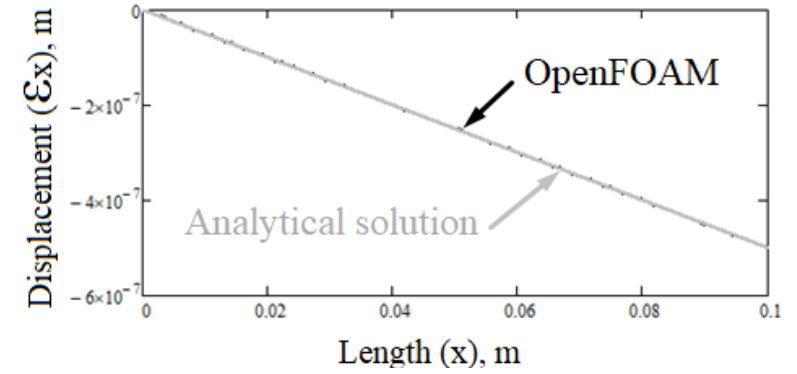
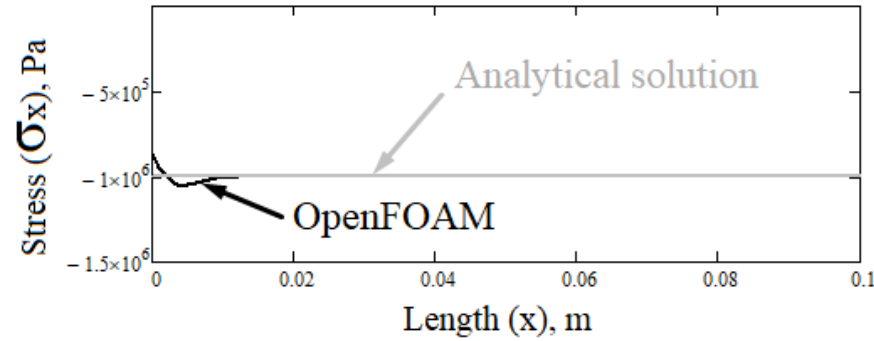
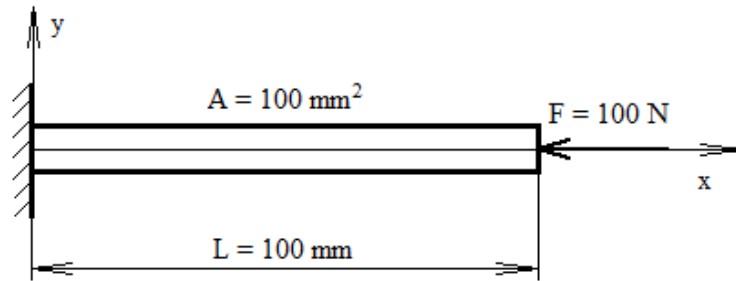
Тензорное поле напряжений (σ) определялось из обобщенного уравнения Гука по формуле:

$$\sigma = 2\mu\varepsilon + \lambda \operatorname{tr}(\varepsilon)I$$

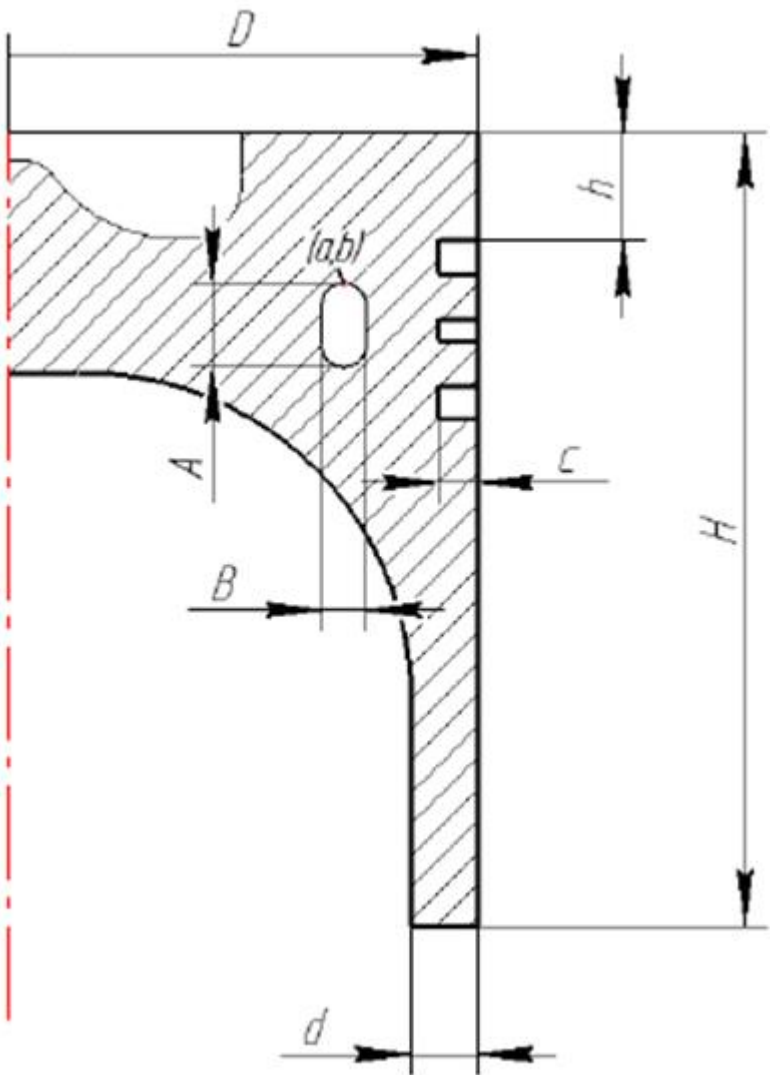
где

$\varepsilon = 1/2[\nabla u + (\nabla u)^T]$ — тензор деформаций.

Верификация SolidDisplacementFoam

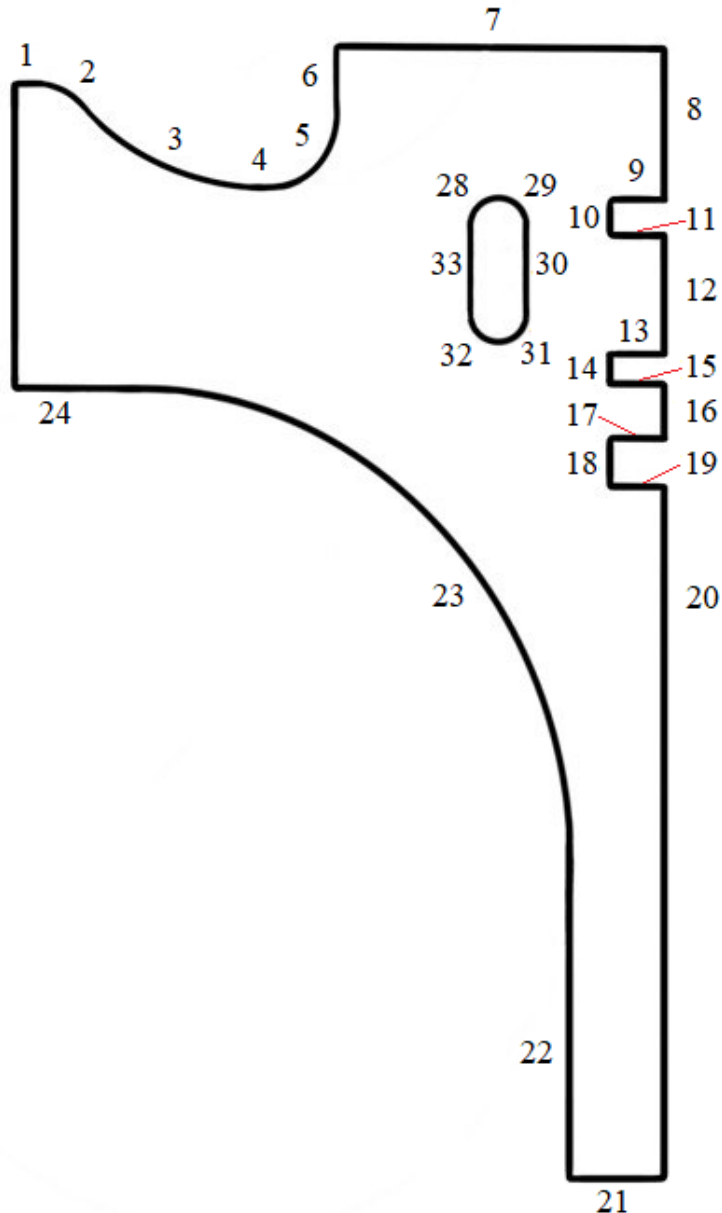


ПАРАМЕТРЫ ПОРШНЯ



Параметр	Значение
Диаметр поршня	84 мм
Высота поршня	71 мм
Высота жарового пояса	9.75 мм
Форма камеры сгорания	Омега-образная
Диаметр камеры сгорания	41.7 мм
Глубина камеры сгорания	8.9 мм
Количество колец	3
Материал поршня	Алюминиевый сплав
Плотность	2712 кг/м ³
Коэффициент Пуассона	0.34
Модуль упругости 1-го рода	7e10 Па
Удельная теплоемкость	880 Дж/(кг*К)
Теплопроводность	160 Вт/(м*К)
Коэффициент линейного расширения	2.4e-5 1/К

ГРАНИЧНЫЕ УСЛОВИЯ



<i>pl №</i>	$\alpha_w, Bm/m^2 \cdot K$	T, K	<i>pl №</i>	$\alpha_w, Bm/m^2 \cdot K$	T, K	<i>pl №</i>	$\alpha_w, Bm/m^2 \cdot K$	T, K
1	425	1165.5	11	15500	418	21	115	353
2	440	1165.5	12	500	418	22	115	353
3	570	1165.5	13	500	418	23	1160	363
4	790	1165.5	14	0	418	24	1160	363
5	900	1165.5	15	11012	418	28	2500	428
6	910	1165.5	16	500	418	29	2500	428
7	570	1165.5	17	500	418	30	2500	428
8	225	573	18	0	413	31	2500	428
9	600	418	19	1500	413	32	2500	428
10	0	418	20	2000	393	33	2500	428

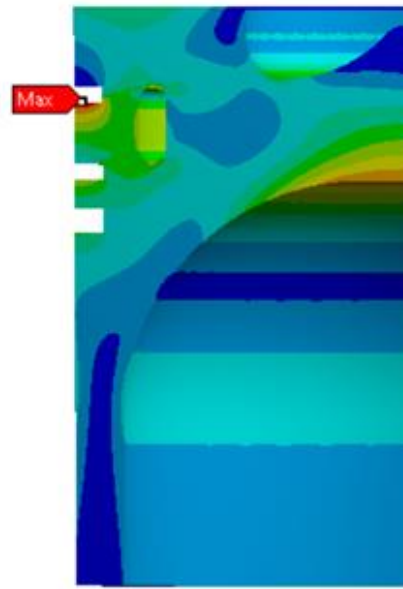
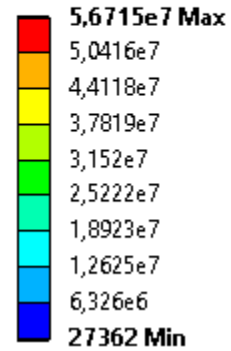
Граничные условия:

- Боковым поверхностям присваивается условие симметрии;
- Расчетная модель представляет собой сектор с углом $\pi/12$;
- Поверхность 21 зафиксирована от вертикальных перемещений.

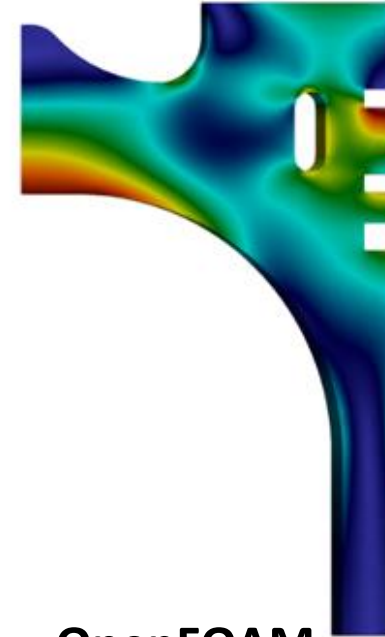
Верификация SolidDisplacementFoam

Сравнение распределения
эквивалентных напряжений

Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: Pa
Time: 1



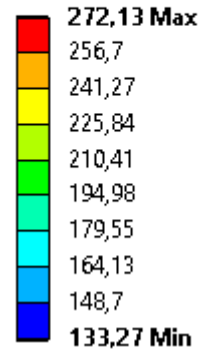
Ansyes



OpenFOAM

Сравнение
температурных полей

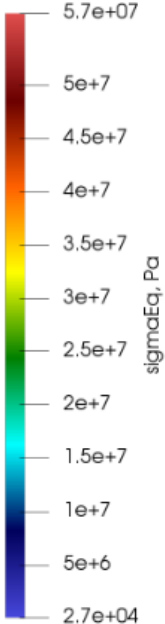
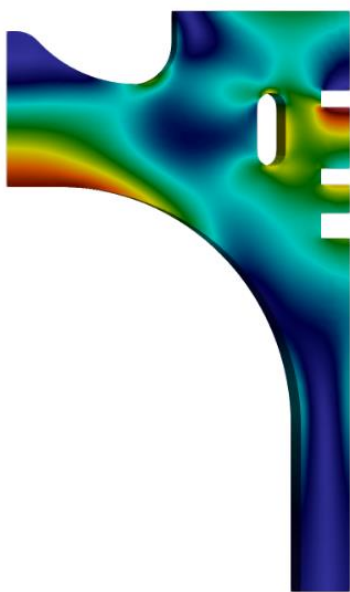
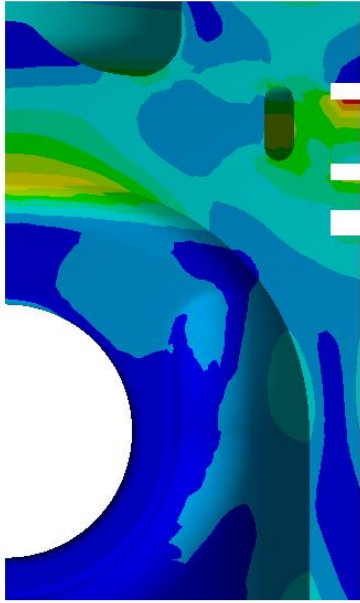
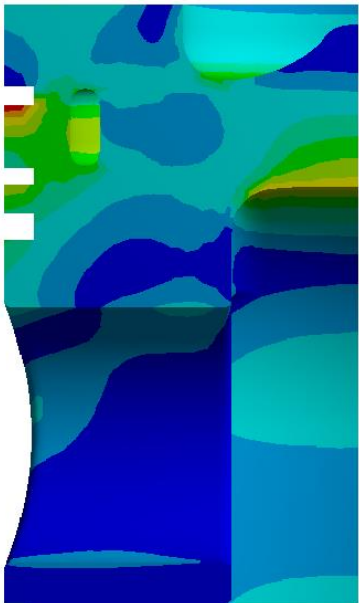
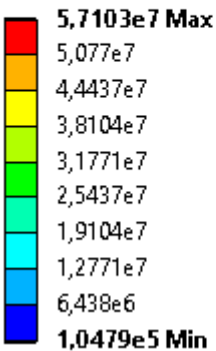
Temperature
Type: Temperature
Unit: °C
Time: 1



Верификация SolidDisplacementFoam

Сравнение
распределения
эквивалентных
напряжений

Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: Pa
Time: 1

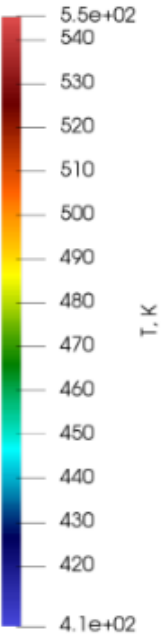
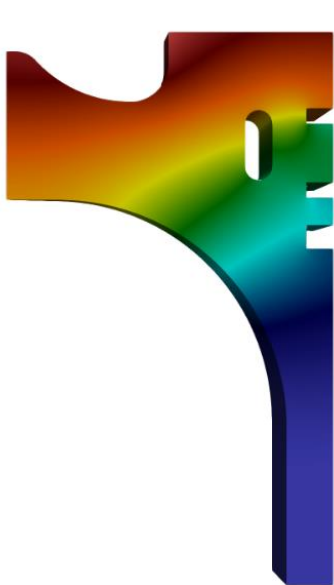
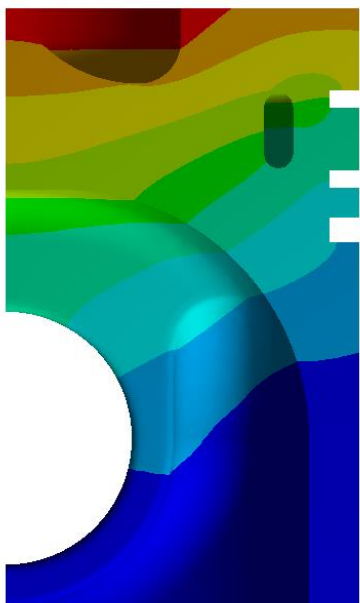
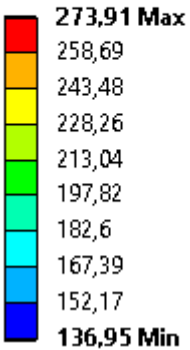


Ansys

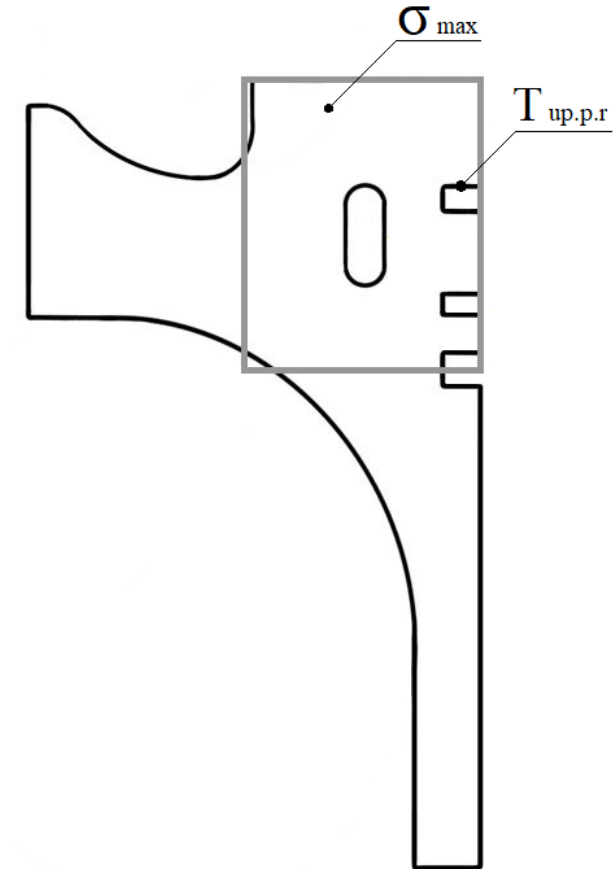
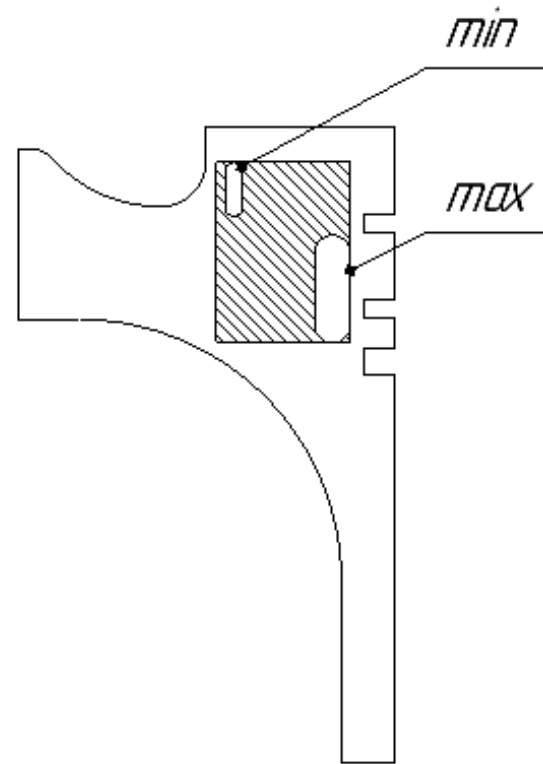
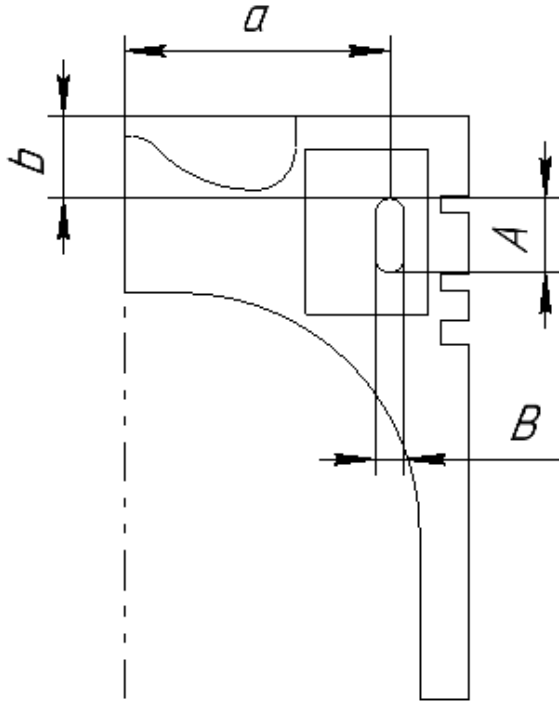
OpenFOAM

Сравнение
температурных
полей

Temperature
Type: Temperature
Unit: °C
Time: 1



ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ



Независимые параметры:

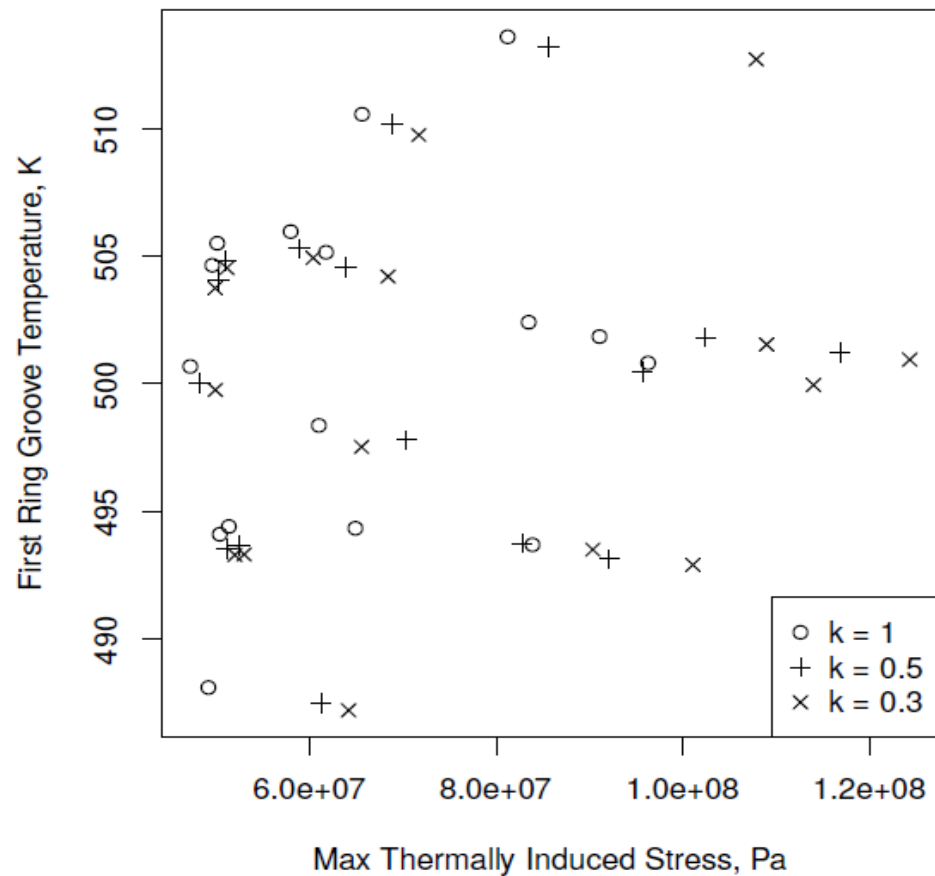
Параметр	min	max
a	24	35
b	4	13
A	6	12
B	2	4

Целевые функции:

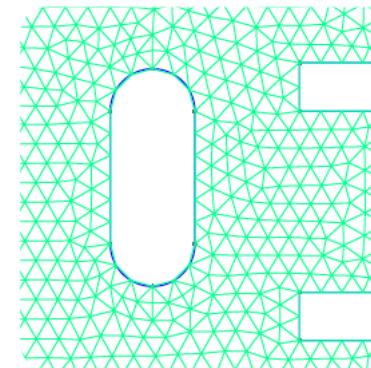
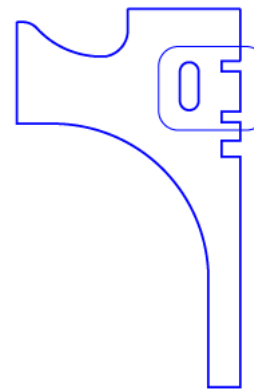
- Максимальная температура вблизи первого поршневого кольца;
- Максимальное эквивалентное напряжение в контрольной области .

Алгоритм решения - NSGA2

ПРОВЕРКА СЕТОЧНОЙ СХОДИМОСТИ

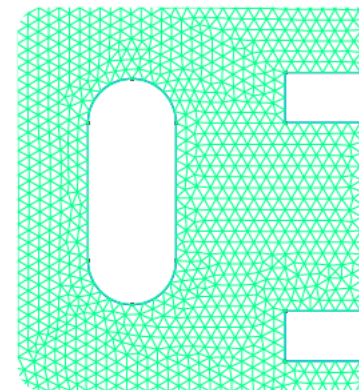


Обозначение	Кол-во ячеек	Размер ячейки (k)	Длительность расчета
Не показан	1000	2 мм	8 с.
○	3200	1 мм	15 с.
+	11800	0,5 мм	59 с.
×	32900	0,3 мм	219 с.



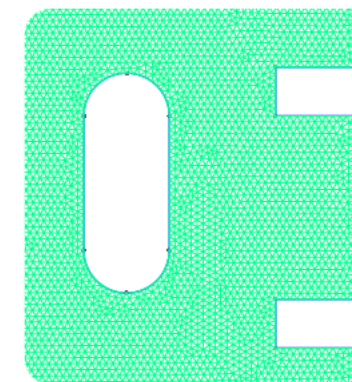
k=1.0 mm

3200 cell



k=0.5 mm

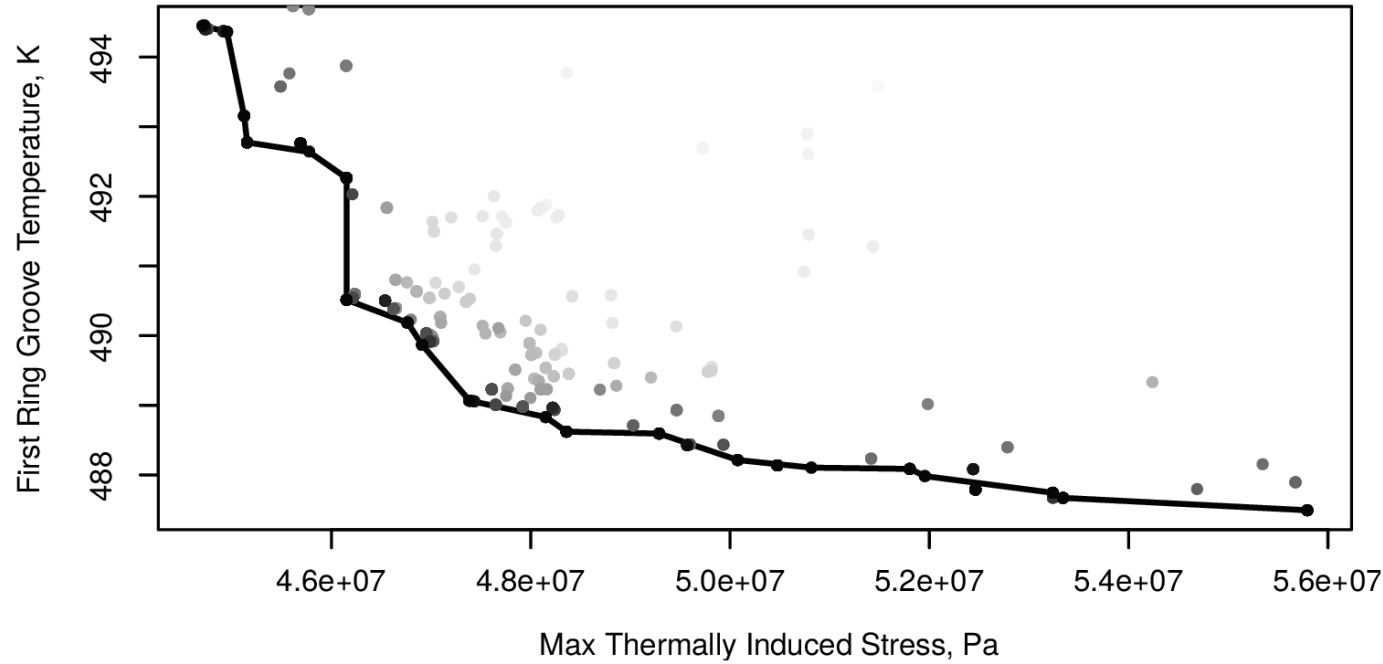
11800 cell



k=0.3 mm

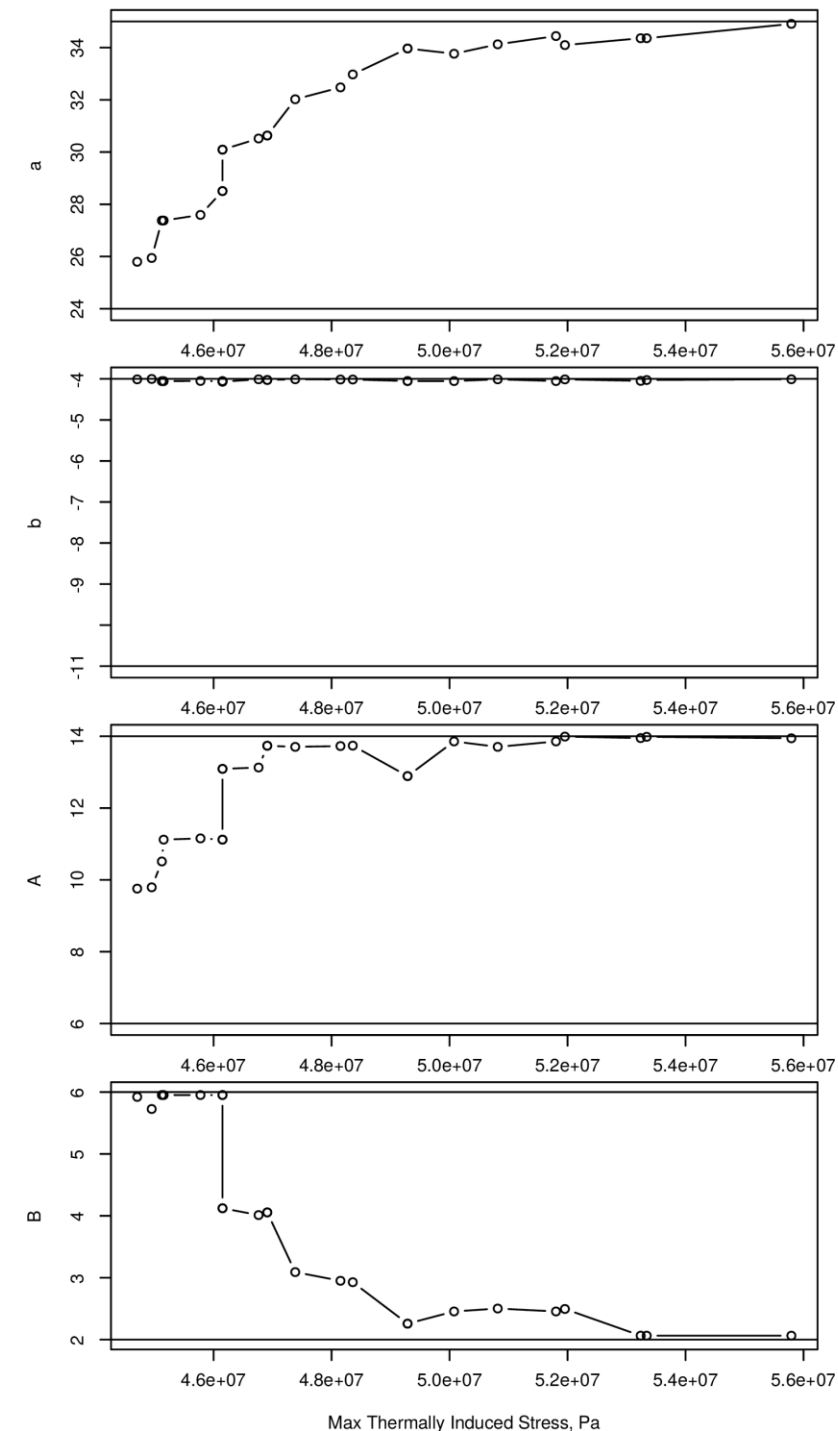
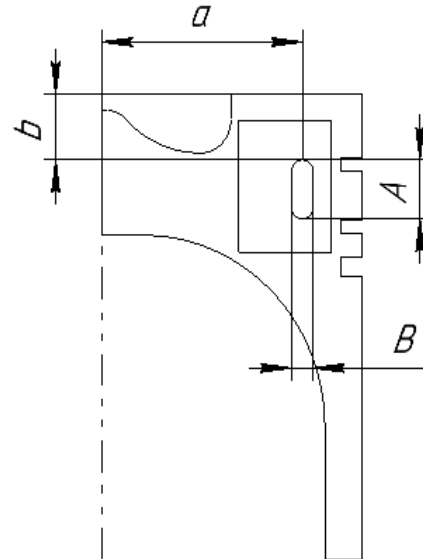
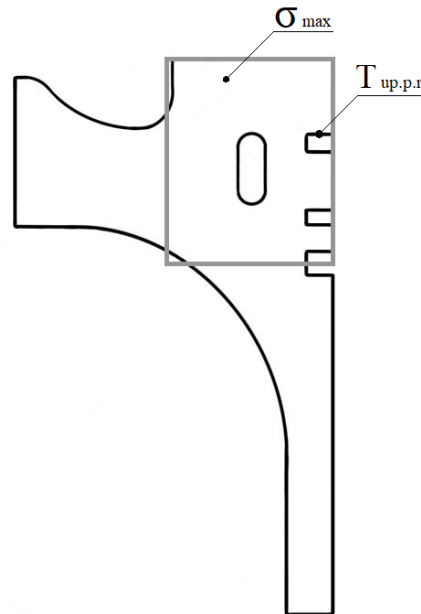
32900 cell

ФРОНТ ПАРЕТО

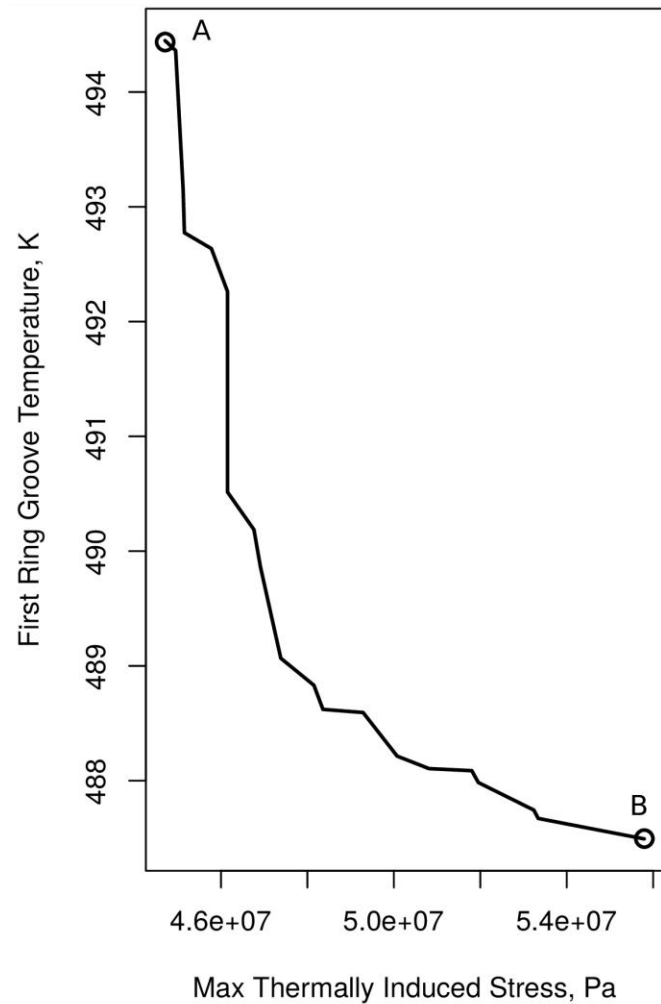


Целевые функции:

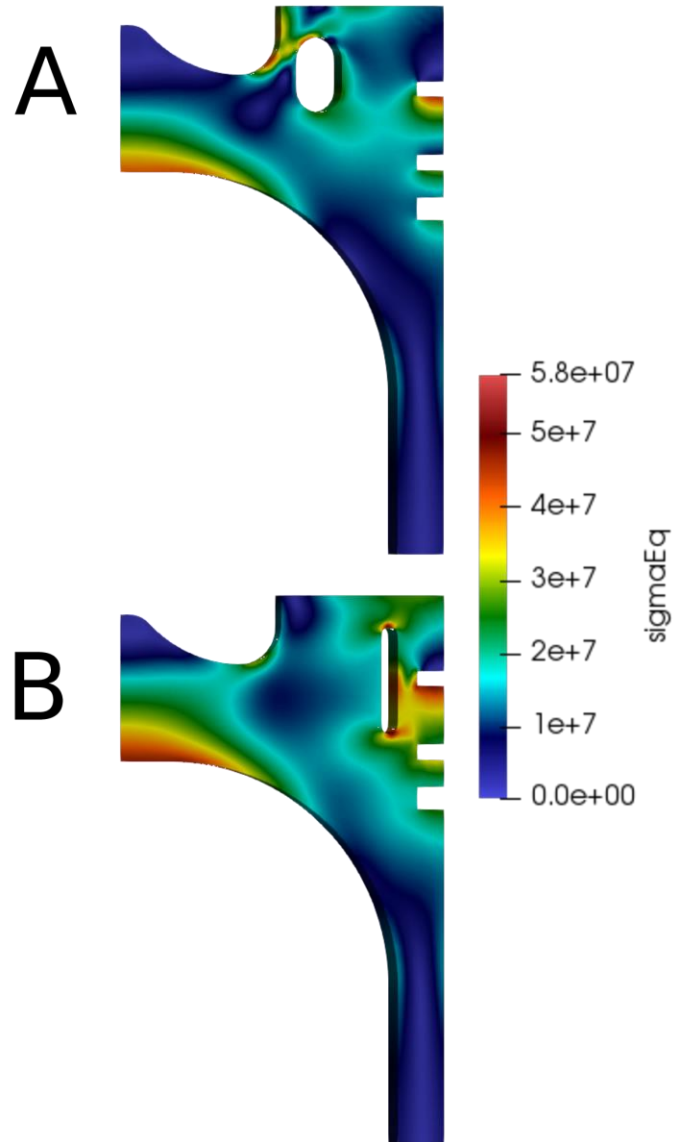
- Значение максимальной температуры верхнего поршневого кольца;
- Максимальное эквивалентное напряжение в контрольной области.



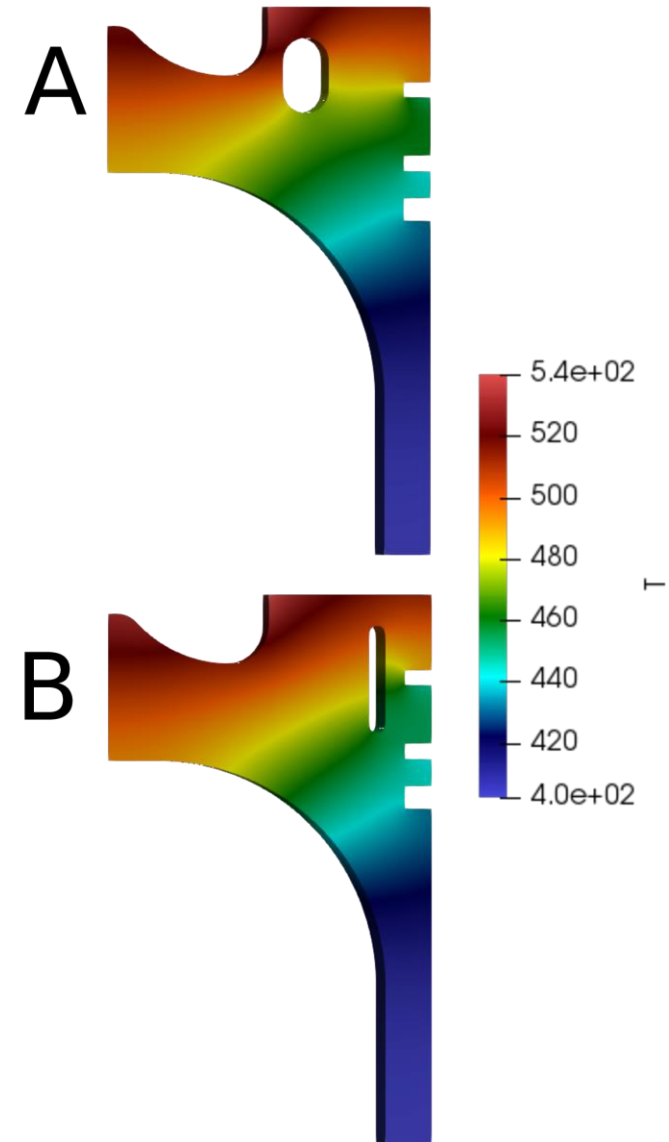
РЕЗУЛЬТАТЫ



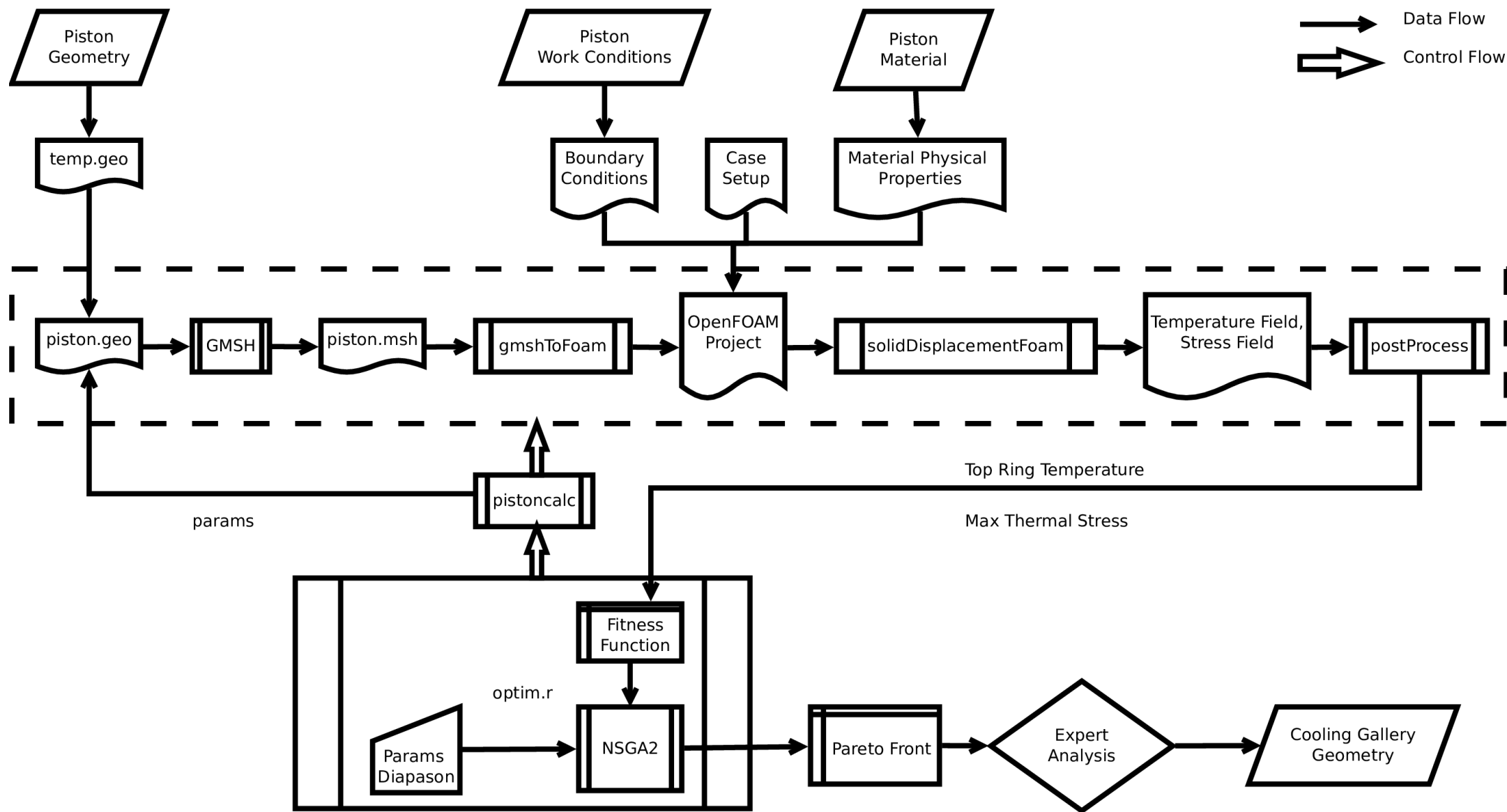
Equivalent Stress, Pa



Temperature, K



СТРУКТУРНАЯ СХЕМА РЕАЛИЗАЦИИ РАСЧЕТНОЙ МЕТОДИКИ



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- Проведена верификация SDF, показывающая приемлемость использования данного решателя для задач ТНДС;
- Предложен подход к анализу конфликтующих факторов в поршне дизельного двигателя на основе проведения многокритериальной оптимизации;
- Предложенная методика может быть применена и для других объектов исследования.