



ЦИАМ

Центральный институт авиационного
моторостроения имени П.И. Баранова

Учет реальных размеров и параметризация расчетных цепочек для модернизированного двигателя АИ-222-25

Сальников Антон Владелинович

Начальник отдела «Цифровое
сопровождение жизненного цикла ГТД»



Разработка элементов цифрового двойника модернизированного АИ-222/25

Этап №1:

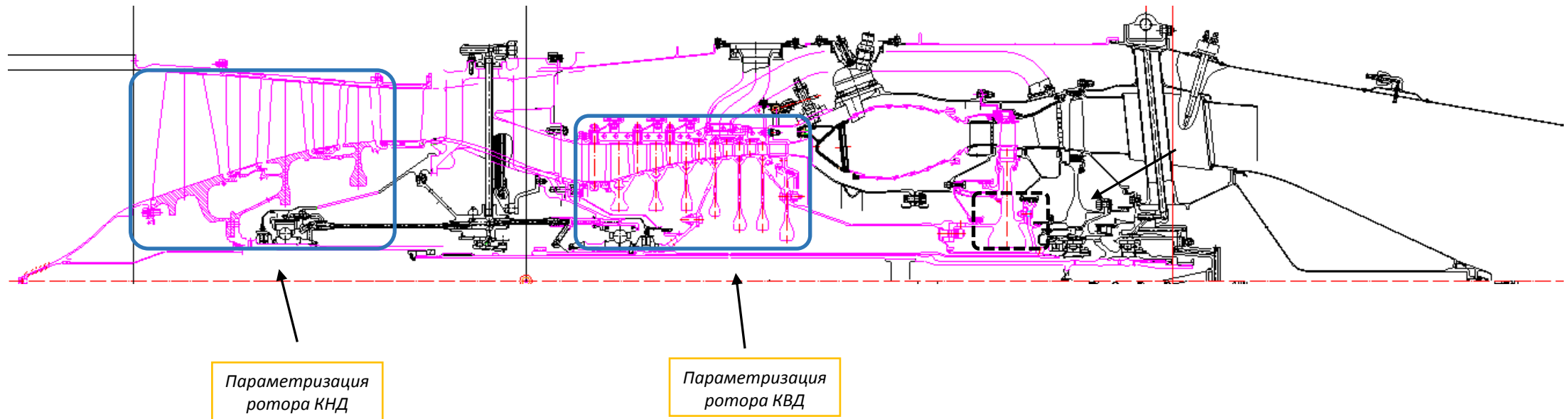
- Газодинамические модели КНД, КВД, КС, ТВД и ТНД (разработка, автоматизация, верификация и валидация)
- *Параметризация прочностных моделей рабочих колес КНД, КВД, ТВД*

Этап №2:

- Создание термомеханической модели
- Интеграция в единую расчетную цепочку
- Прочностная оптимизация рабочих колес КНД, КВД, ТВД

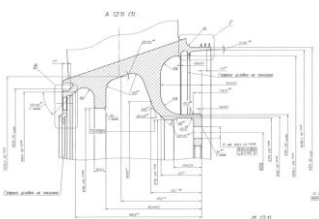
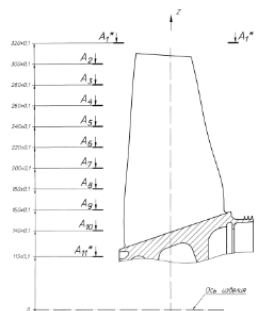
Цели:

- Учет реальных размеров
- Упрощение исследований (конструктор без прочниста, прочнист без конструктора)
- Оптимизация



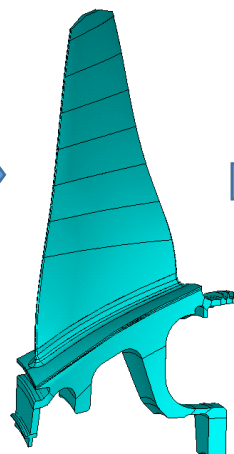
Параметризация и автоматизация расчета рабочего колеса

0_cad

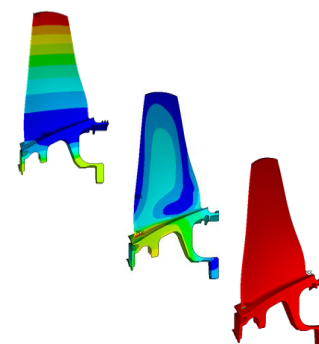
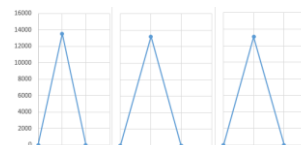
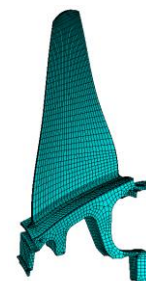


№ Координаты сечения записаны
 31.256365 -28.558121
 31.215866 -28.693029
 31.197046 -28.832621
 31.200369 -28.973438
 31.225756 -29.111990
 31.272575 -29.244835
 31.339666 -29.368687
 31.425365 -29.480469
 31.527552 -29.577417
 31.643686 -29.657124
 31.770891 -29.717611
 31.906015 -29.757383
 32.045708 -29.775450
 32.184500 -29.774044

lrc1_x38;толщина фланца со сторо
 lrc1_y38;диаметр нижней горизон
 lrc1_y13;диаметр нижней поверхн
 lrc1_y14;диаметр верхней поверхн
 p25;расстояние от края фланца с
 Rlrc1_r13;радиус сопряжения вто

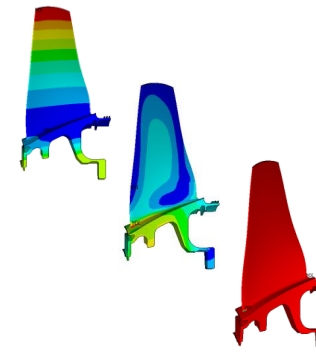
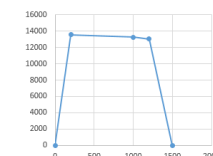
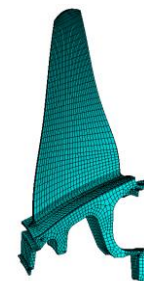


1_stress_n



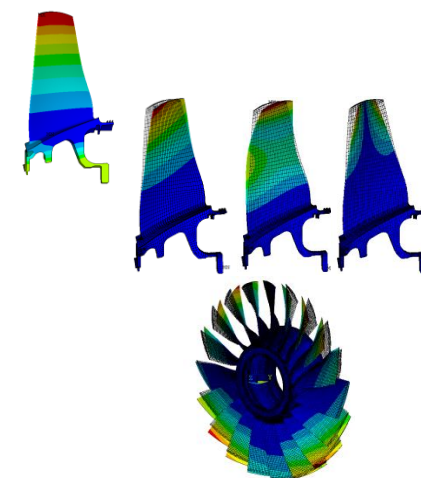
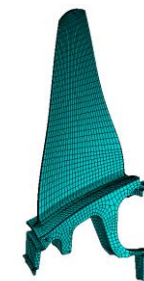
Диск: Kb1, Kb2, Km
 Лопатка: Kb, Km

1_stress_tfc



Диск: Kb1, Kb2, Km
 Лопатка: Kb, Km

2_modal_sd



Модальный анализ
 по режимам

Согласование чертежа и эскиза

Параметризация CAD модели

Импорт сектора РК

Расчет по режимам

Расчет по ТПЦ

Модальный анализ
 по режимам

Вывод результатов

Автоматическая подготовка материалов для отчетов

1_stress_n, 1_stress_tfc

Расчет по режимам, Расчет по ТПЦ

res_lcf.csv

LCF_z01_blad_min_n1,циклическая долговечность,циклы, 50000.0
LCF_z02_b_rf_min_n1,циклическая долговечность,циклы, 24365.3
LCF_z03_d_st_min_n1,циклическая долговечность,циклы, 50000.0
LCF_z04_dfin_min_n1,циклическая долговечность,циклы, 35784.8

res_mass.csv

massa_blade,масса одной лопатки,кг, 0.32
massa_disk,масса сектора диска с одной лопаткой,кг, 0.49
massa_wheel_sec,масса сектора РК с одной лопаткой,кг, 0.81

n_blade,количество лопаток,шт, 19.0
massa_blade_full,масса всех лопаток,кг, 6.16
massa_disk_full,масса диска,кг, 9.27
massa_wheel_full,масса РК,кг, 15.44
F_blade_n 1.0, центробежная сила от одной лопатки на режиме N 1.0,Н, 133298.0
F_blade_n 2.0, центробежная сила от одной лопатки на режиме N 2.0,Н, 127270.7
F_blade_n 3.0, центробежная сила от одной лопатки на режиме N 3.0,Н, 123872.9
F_blade_full_n 1.0, центробежная сила от всех лопаток на режиме N 1.0,Н, 2532661.1
F_blade_full_n 2.0, центробежная сила от всех лопаток на режиме N 2.0,Н, 2418142.9
F_blade_full_n 3.0, центробежная сила от всех лопаток на режиме N 3.0,Н, 2353584.6

res_kb_blade_n1.dat

R	S_sred	temp	par LH	S_d1	S_d1_mod	K_m
157.50353	183.44391	76.27091	7544.97106	853.81044	0.00000	4.65434
173.33647	181.30809	80.26667	7631.28780	851.07023	0.00000	4.69406
189.16941	177.49325	84.78718	7728.94015	847.97015	0.00000	4.77748
205.00235	171.33367	89.92613	7839.95213	844.44596	0.00000	4.92866
220.83529	161.61394	95.72484	7965.21607	840.46933	0.00000	5.20048
236.66823	146.32870	102.20854	8105.27747	836.02294	0.00000	5.71332
252.50118	124.39782	109.38502	8260.30423	831.10145	0.00000	6.68100
268.33412	95.85264	117.22641	8429.69433	825.72399	0.00000	8.61451
284.16706	61.36839	125.69382	8612.60789	819.91721	0.00000	13.36058
300.00000	22.08746	134.75190	8808.28099	813.70537	0.00000	36.84015

res_stat.dat

z01_blad	node_num	1371.0			
n	time	seqv	s1	eploeqv	eppleqv
1	1.0	388.83	400.88	0.0033897	0.0000000
2	2.0	372.75	384.52	0.0032885	0.0000000
3	3.0	364.56	376.33	0.0031691	0.0000000

z02_b_rf	node_num	9500.0			
n	time	seqv	s1	eploeqv	eppleqv
1	1.0	580.91	647.25	0.0050975	0.0000000
2	2.0	554.04	618.12	0.0049172	0.0000000
3	3.0	540.43	603.24	0.0047173	0.0000000

z03_d_st	node_num	12113.0			
n	time	seqv	s1	eploeqv	eppleqv
1	1.0	426.71	433.51	0.0037796	0.0000000
2	2.0	407.58	414.96	0.0036534	0.0000000
3	3.0	396.83	403.89	0.0035012	0.0000000

z04_dfin	node_num	11759.0			
n	time	seqv	s1	eploeqv	eppleqv
1	1.0	557.39	527.83	0.0049672	0.0000000
2	2.0	532.49	504.16	0.0047981	0.0000000
3	3.0	518.22	490.33	0.0046009	0.0000000

res_kb_full.dat

kb1	time	rpm
1.610	1.0	13555.0
1.622	2.0	13245.0
1.660	3.0	13067.0

kb2	n#	1.0	time=	1.0	rpm=	13555.0			
	r,mm	h,mm	temp	larson	sigma	kb2			
	120.56	84.50	81.5	7657.4	850.24	3.906			
	117.54	75.35	83.7	7705.2	848.73	3.650			
	114.51	73.29	86.8	7772.0	846.60	3.548			
	111.48	58.08	91.0	7862.2	843.74	3.185			
	108.45	57.32	94.9	7946.8	841.05	3.128			
	105.42	57.82	99.9	8055.9	837.59	3.097			
	102.40	58.94	105.6	8178.8	833.69	3.079			
	99.37	60.67	111.3	8302.4	829.77	3.072			
	96.34	12.31	113.7	8353.5	828.14	1.960			
	93.31	16.18	113.8	8354.7	828.10	2.060			

2_modal_sd

Модальный анализ по режимам

res_modal.dat

Режим без нагрузки

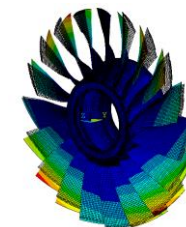
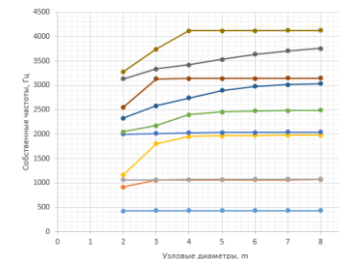
freq, Hz					
1	251.6				
2	897.9				
3	1029.8				
4	1914.3				
5	2033.3				
6	2191.7				
7	2373.3				
8	3147.3				
9	3211.0				
10	4179.0				

rpm=	13555.0				
freq,Hz		Harmonic N	Harmonic,Hz	delta,Hz	delta,%
1	446.4	2	451.8	5.4	2.4
2	1072.0	5	1129.6	57.6	25.5
3	1096.9	5	1129.6	32.7	14.5
4	1935.4	9	2033.2	97.9	43.3
5	2024.8	9	2033.2	8.5	3.8
6	2197.5	10	2259.2	61.7	27.3
7	2537.9	11	2485.1	52.9	23.4
8	3149.6	14	3162.8	13.2	5.8
9	3253.3	14	3162.8	90.5	40.1
10	4098.9	10	4066.5	32.4	14.4

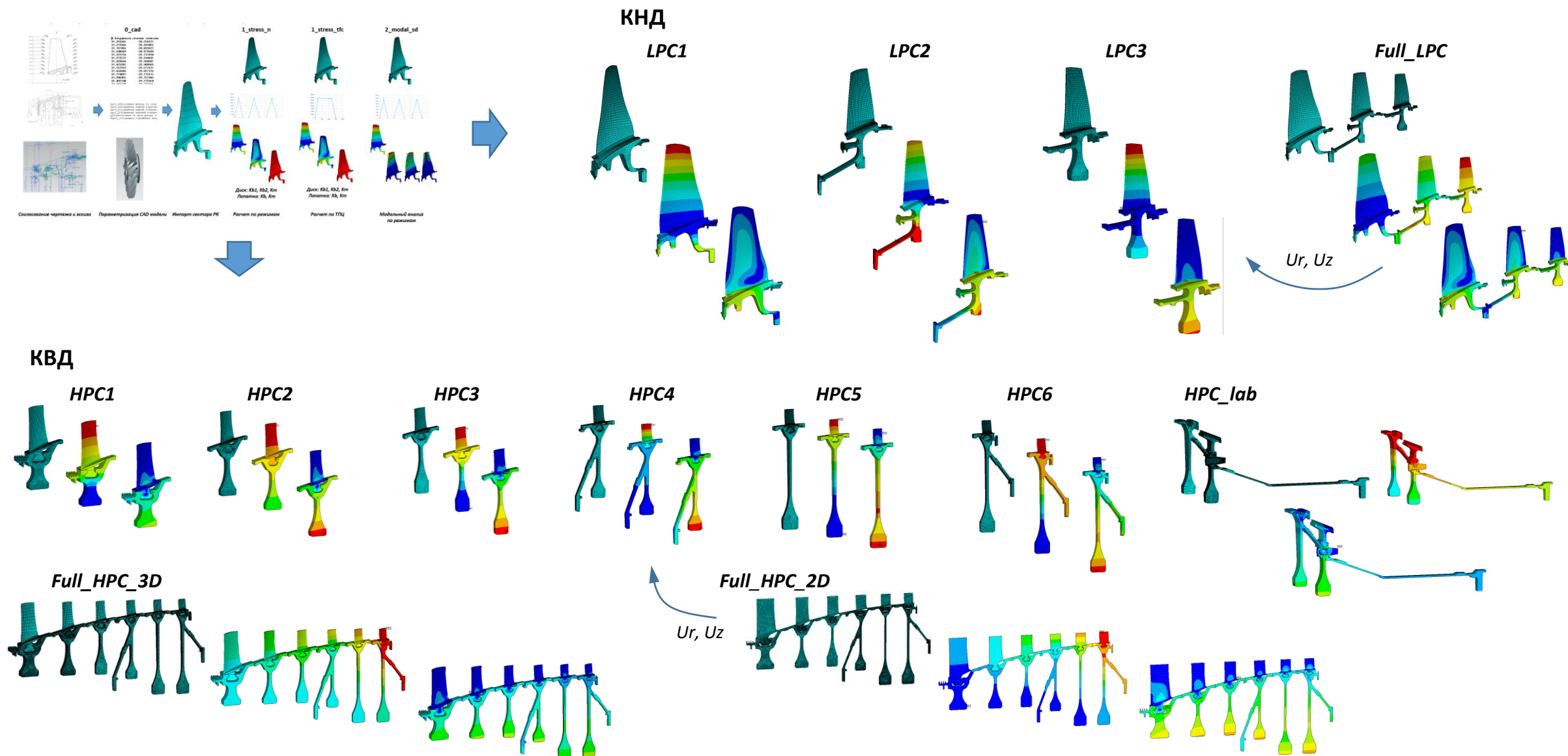
min delta% = 2.4 (freq N 1.0 , harmonic N2 = 451.8 ,Hz)

res_modal_all.dat

0.0	13555.0	13245.0	13067.0
251.6	446.4	438.8	436.0
897.9	1072.0	1063.7	1069.2
1029.8	1096.9	1084.2	1085.0
1914.3	1935.4	1922.9	1935.6
2033.3	2024.8	2011.8	2025.8
2191.7	2197.5	2183.6	2197.9
2373.3	2537.9	2516.4	2527.7
3147.3	3149.6	3129.3	3150.7
3211.0	3253.3	3231.2	3251.7
4179.0	4098.9	4074.8	4105.9

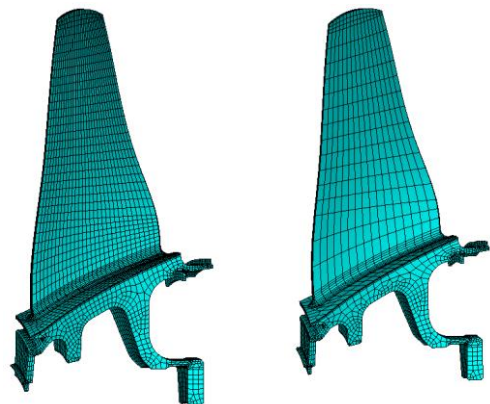


Параметризация и автоматизация моделей роторов

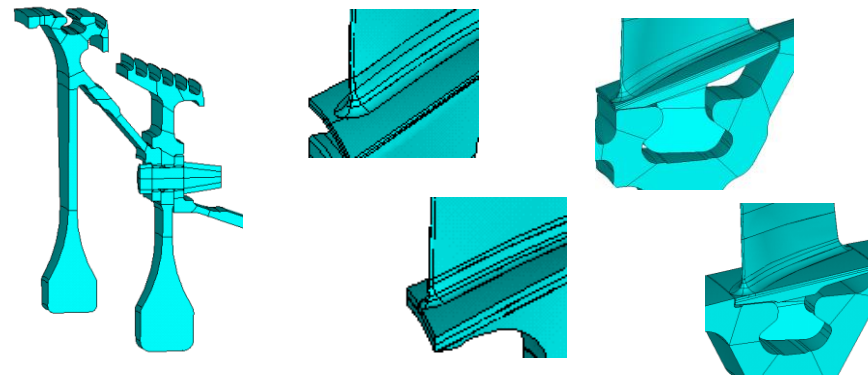


Возможности моделей и сборок

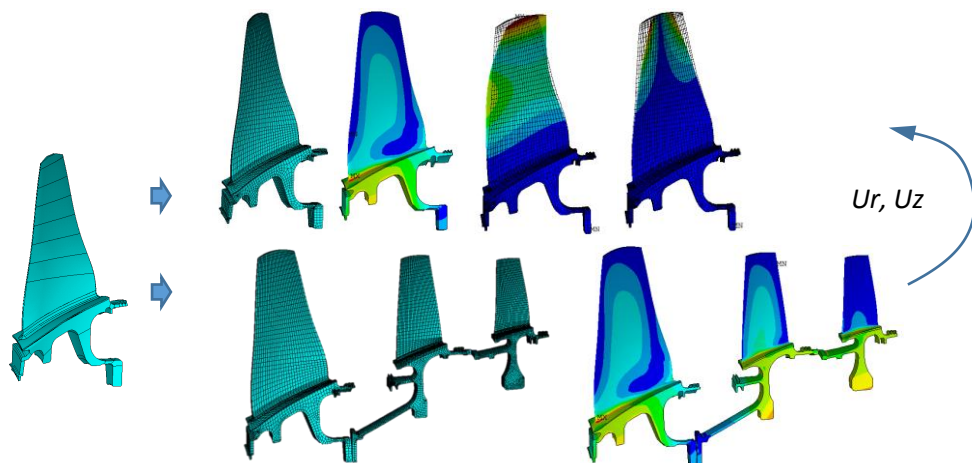
Настройка сеток, ГУ и нагрузок в специальном файле



Устойчивость к вырожденным конструкциям



Согласованность моделей между собой



Формализация и автоматизация входных данных:

- Настройки расчета
- Нагрузки
- Тепловое состояние
- Свойства материала



Возможность для проведения исследований в автоматическом режиме

Возможные направления применения моделей



Lpc1_x38	10
Lpc1_y38	88
Lpc1_y13	65.5
Lpc1_y14	92.5
Lpc1_r13	16
Lpc1_r15	16
Lpc1_r11	10
Lpc1_x43	82.4
Lpc1_y44	98
Lpc1_x44	10
Lpc1_r12	10
Lpc1_r14	9

Учет производственных отклонений

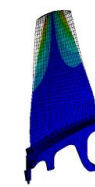
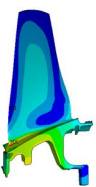
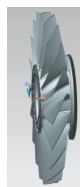


```
Lpcl_x38; ;mm;10
Lpcl_y38; ;mm;88
Lpcl_y13; ;mm;65.5
Lpcl_y14; ;mm;52.5
Lpcl_r13; ;mm;16
Lpcl_r15; ;mm;16
Lpcl_r11; ;mm;10
Lpcl_x43; ;mm;82.4
Lpcl_y44; ;mm;98.0
Lpcl_x44; ;mm;10
Lpcl_r12; ;mm;10
Lpcl_r14; ;mm;9
lpcl_ang11; ;gr;20
Lpcl_x52; ;mm;2.2
Lpcl_x48; ;mm;4.2
```

Размеры






Исполняющий
файл



Скрипты в NX и ANSYS

- ⚠ m_solve_n1.db
- ⚠ m_solve_n2.db
- ⚠ m_solve_n3.db

-  m_solve_n1.rst
-  m_solve_n2.rst
-  m_solve_n3.rst

Файлы
моделей

```

0.0 13555.0 13295.0 13067.0
251.6 1446.4 1408.2 1436.0
897.9 1872.8 1865.7 1868.2
1629.0 1896.9 1880.2 1885.0
1914.3 1935.4 1922.9 1925.6
2032.3 2024.8 2011.8 2025.0
2191.7 2197.5 2183.6 2197.9
2272.3 2537.9 2516.4 2527.7
21467.3 21449.6 21329.9 21358.7
3211.0 3253.3 3231.2 3251.7
4779.8 4898.9 4874.8 4885.9

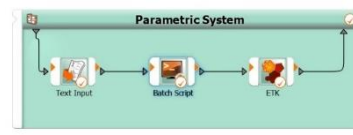
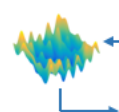
```

Сводные Результаты

«Ручное» изменение CAD:

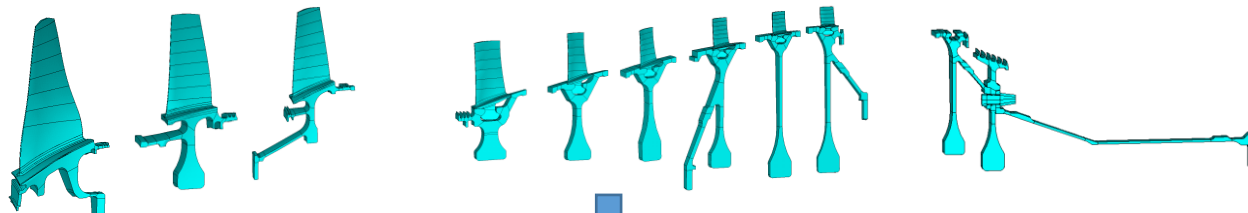
- **Конструктор без прочниста**
- **Прочнист без конструктора**

Оптимизация

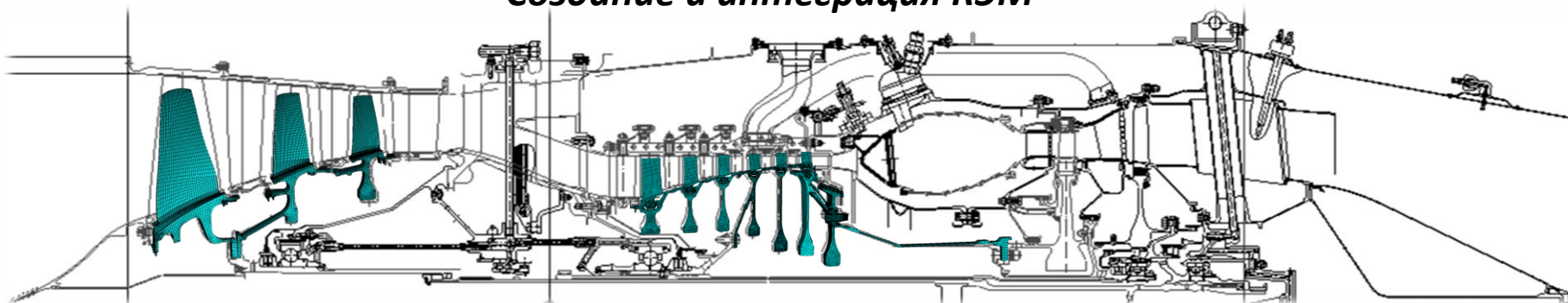


Интеграция параметризованных моделей роторов в термомеханическую модель

Изменение CAD (реальные размеры, оптимизация, изменение конструкции и т.д.)



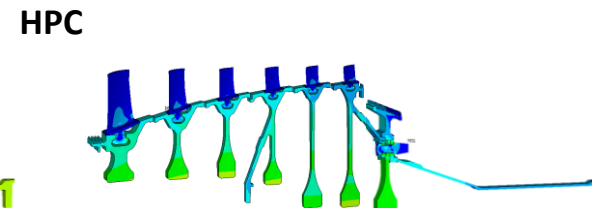
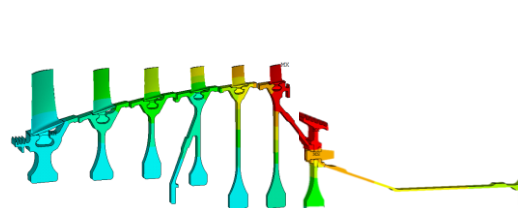
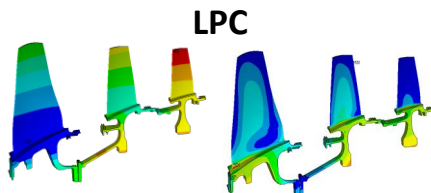
Создание и интеграция КЭМ



Анализ по ТПЦ



Интерполяция «реального» теплового состояния в нужные моменты времени



Выводы

1. Разработаны параметризованные расчетные цепочки роторов КНД и КВД модернизированного АИ-222-25:

- *Согласованы размеры чертежей и эскизов*
- *Устойчивы к появлению вырожденных конструкций*
- *Реализуют типовые расчеты характеристик прочности и модальный анализа для сектора РК с одной лопаткой*
- *Выводят результаты в виде заготовок для отчетов (таблицы, графики, картинки, модели и т.д.)*

2. Данные расчетные цепочки могут быть использованы:

- *Для учета реальных размеров*
- *Проведение исследовательских расчетов «конструктор без прочниста» или «прочнист без конструктора»*
- *Для оптимизации*
- *В качестве части интегральных моделей (например, термомеханической)*
- *Получение ГУ для более подробных расчетов или CAD/CAE моделей*

