

Рисунок 2. Зависимость ЭПИ от ширины полоскового проводника d при фиксированных значениях интервалах усреднения импеданса T .
(1 – $T=0.1\lambda$, 2 – $T=0.2\lambda$, 3 – $T=0.249\lambda$, 4 – $T=0.3\lambda$, 5 – $T=0.4\lambda$, 6 – $T=0.499\lambda$) а) действительная часть, б) мнимая часть.
величинах интервала усреднения импеданса T .

Из графиков видно, что при $(d/T \leq 0.2)$ значения ширины полоскового проводника d активная часть ЭПИ практически равна волновому сопротивлению свободного пространства W_0 , т.е. полосковый проводник из-за своей малой ширины фактически не оказывает никакого влияния на значение ЭПИ. При дальнейшем увеличении ширины d до значений, близких к интервалу усреднения импеданса T , значения как активной, так и реактивной составляющей импеданса начинают стремиться к нулю.

Таким образом, полученные результаты численного исследования бесконечной решетки щелевых импедансных нагрузок, выполненных на основе щели в экране, показали, что

с помощью данной конструкции можно реализовать комплексные значения ЭПИ, причем в рассматриваемом случае Н-поляризации значения ЭПИ для данной конструкции носят резистивно-емкостной характер;

величину ЭПИ можно регулировать путем изменения ширины полоскового проводника в раскрыве щели.

Список литературы:

Кошкидько В.Г., Петров Б.М., Юханов Ю.В. Эквивалентный поверхностный импеданс пассивных импедансных нагрузок, выполненных на основе отверстия в экране, нагруженного двумерной полостью // Радиотехника и электроника, 1997, т.42, № 6, с. 652-661.

Кошкидько В.Г., Ганжела Н.В. Эквивалентный поверхностный импеданс щелевых импедансных нагрузок, выполненных на основе связанных прямоугольных областей // Радиотехника и электроника, 1999, Т 44. № 8. С.947-954.

Кошкидько В.Г., Алпатова О.В. Эквивалентный поверхностный импеданс щелевой импедансной нагрузки

на основе полуцилиндрической полости // Радиотехника и электроника. 1999. Т.44. № 1. С.25-28.

Кошкидько В.Г., Алпатова О.В. Эквивалентный поверхностный импеданс щелевой импедансной нагрузки, выполненной на основе отверстия в экране. Случай Е-поляризации // Радиотехника и электроника. 2003. Т.48. №1. С.57-63.

Петров Б.М., Кошкидько В.Г. Метод анализа электромагнитных полей, рассеянных щелью в цилиндрическом резонаторе с фланцем // Радиотехника и электроника. 1988, т.33, № 10, с.2060-2064.

Short J.R., Chen K.M. Backscattering from an Impedance loaded slotted cylinder// IEEE Trans., 1969, vol.AP-17, №3.

Петров Б.М., Шарварко В.Г. Синтез поверхностного импеданса кругового цилиндра по заданной диаграмме рассеяния// Сб. науч. метод. статей по прикладной электродинамике. М., 1979. Вып. 3. С.62-78.

Кошкидько В.Г., Алпатова О.В., Сердюк Э.С. Численное исследование характеристик щелевой импедансной нагрузки на основе отверстия в бесконечном идеально проводящем экране // Известия ЮФУ. Технические науки. 2014. № 11, с. 58-67.

Цалиев Т.А., Черенков В.С. Возбуждение одиночной канавки и эквивалентный поверхностный импеданс ребристых структур // Радиотехника и электроника. 1985. т. 30. №9. с. 1689.

РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРНОГО СОСТОЯНИЯ СОПЛОВОГО АППАРАТА ПЕРВОЙ СТУПЕНИ ТУРБИНЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ.

Крисанов Артем Евгеньевич

заместитель начальника ОМГуТТ ООО «ГАЗМАШПРОЕКТ», г. Москва

Пигарев Владимир Михайлович

начальник ООРПД ООО «ГАЗМАШПРОЕКТ», г. Москва

Меринов Сергей Владиславович

главный специалист ООРПД ООО «ГАЗМАШПРОЕКТ», г. Москва

Жариков Василий Васильевич

ведущий инженер ОМГуТТ ООО «ГАЗМАШПРОЕКТ»

АННОТАЦИЯ

Проведено исследование температурного состояния соплового аппарата первой ступени турбины высокого давления, охлаждаемого паром.

ABSTRACT

It was investigated the temperature state of the steam cooled nozzle unit of the high-pressure turbine first stage.

Ключевые слова: энергетическая установка, расчет температурного состояния, сопловой аппарат, турбина высокого давления, паровое охлаждение.

Keywords: power plant, the calculation of the temperature state, the nozzle apparatus, a high-pressure turbine, steam cooling.

Рассмотрена энергетическая установка мощностью 550 МВт, работающая по усовершенствованному циклу с применением промежуточного охлаждения и промежуточного подогрева с температурой на входе в

турбину высокого давления (ТВД) и турбину низкого давления (ТНД) 1673К и суммарной степенью повышения давления в цикле 90. В установке реализовано паровое охлаждение статора и ротора по замкнутой схеме.

Таблица 1.

Параметры рабочей среды из расчета цикла и ТВД

Величина	Обозначение	Размерность	Значение
Температура на входе в ТВД	$T^*_{г}$	К	1673
Давление на входе в ТВД (по заторможенным параметрам)	$P^*_{г}$	МПа	8.668
Статическое давление на выходе из СА первой ступени	P_{c_1}	МПа	4.838
Расход рабочего тела через СА первой ступени	$G_{г}$	кг/с	633.764

Таблица 2.

Геометрические параметры СА первой ступени

Величина	Обозначение	Размерность	Значение
Длина сопловой лопатки	l_c	мм	71.684
Хорда сопловой лопатки	b_c	мм	126.721
Ширина сопловой лопатки	b_{ac}	мм	89.61
Диаметр входной кромки	$d_{вх}$	мм	10.753
Толщина выходной кромки	$d_{вых}$	мм	4.493
Угол входа потока в СА	α_0	град	90
Угол выхода потока из СА	α_1	град	16
Толщина стенки лопатки СА	δ	мм	2
Средний диаметр ступени	D_{cp}	мм	1281.8
Число лопаток СА	z	шт	48

Была выбрана конвективная система охлаждения сопловой лопатки с петлевой схемой течения охлаждающей среды (пара).

Из аналитического расчета системы охлаждения СА первой ступени ТВД было получено значение необходимого расхода охлаждающего пара через лопатку СА, его

температура и давление ($G_{охл}=0.85$ кг/с, $T_{охл}=580$ К, $P_{охл}=8$ МПа) для поддержания температуры стенки лопатки в допустимых пределах, а именно не более 1173 К. Эта температура обуславливается свойствами материала лопатки – сплав ЖС6-К.

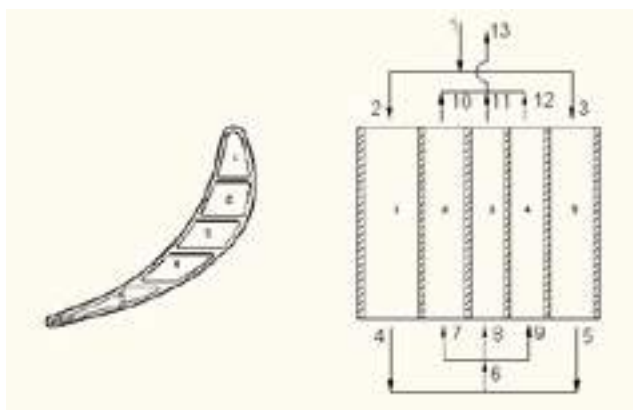


Рисунок 1. Схема охлаждения лопатки СА

Далее был проведен проверочный расчет в пакете ANSYS WORK BENCH.

Расчет проводился в два этапа:

- Расчет обтекания профиля сопловой лопатки
- Расчет температурного состояния сопловой лопатки
- При расчете обтекания профиля сопловой лопатки в качестве расчетной области для выбиралась периодическая часть, содержащая одну лопатку. Для построения сетки вокруг лопатки в проточной части первой ступени ТВД использовалась программа CFX TurboGrid.
- Для построения сетки применялся шаблон Generic Multi-Block Grid в CFX TurboGrid, который предполагает построение многоблочной O-сетки около поверхности лопатки и многоблочной H-сетки в межлопаточном канале, областях вверх и вниз по течению. Расчетная сетка содержит 22392 ячеек.
- Для создания расчетной области использовалась импортированная из CFX TurboGrid расчетная сетка. Граничные условия определялись на всех поверхностях и включали условия на твердых

стенках, условия на входе и на выходе ступени:

- Граничные условия на твердых стенках (поверхности лопатки, втулки, корпуса) были определены как условия неприлипания на гладкой адиабатической стенке.
- Граничные условия на входе в СА задавались с фиксацией полного давления (8.668 МПа), полной температуры (1673 K), параметров турбулентности (степень турбулентности 0,05).
- Граничные условия на выходе из СА задавались с фиксацией среднего по площади выхода статического давления (4.838 МПа).
- На периодических границах областей определялись условия периодического интерфейса между боковыми сторонами расчетной области.
- В качестве модели турбулентности была принята модель переноса касательных напряжений SST k- ω . Данная модель эффективно сочетает устойчивость и точность стандартной k- ω модели в пристеночных областях и k- ϵ модели на удалении от стенок.

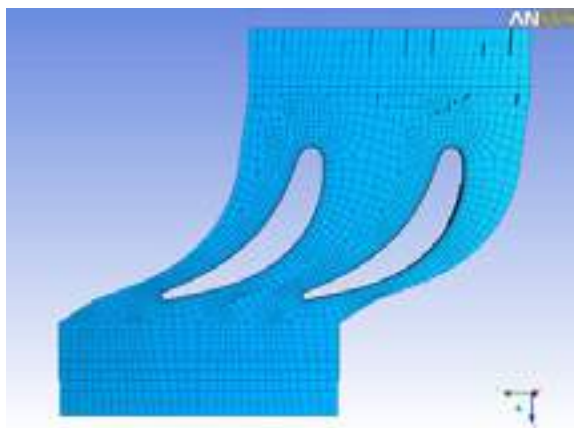


Рисунок 2. Расчетная сетка лопатки

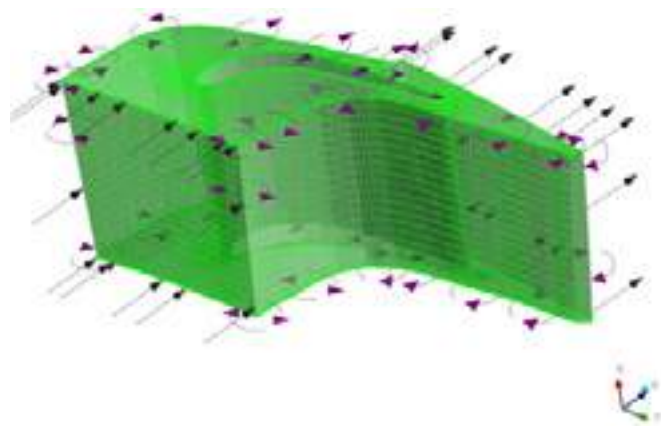


Рисунок 3. Задание граничных условий

В результате расчета были получены распределения температур, давлений и скоростей по потоку и по высоте лопатки, а также распределение коэффициентов теплоотдачи по обводу профиля лопатки.

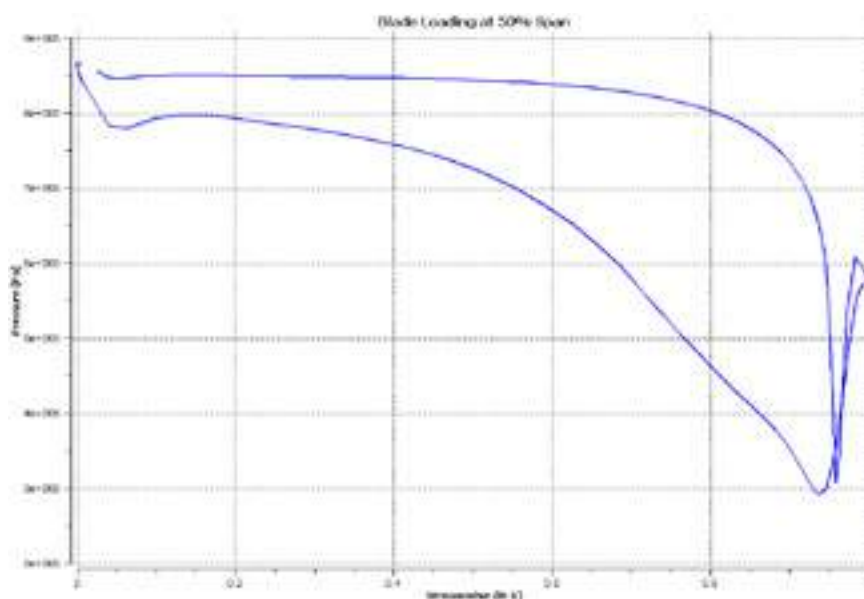


Рисунок 4. Распределение давления по обводу профиля на среднем диаметре

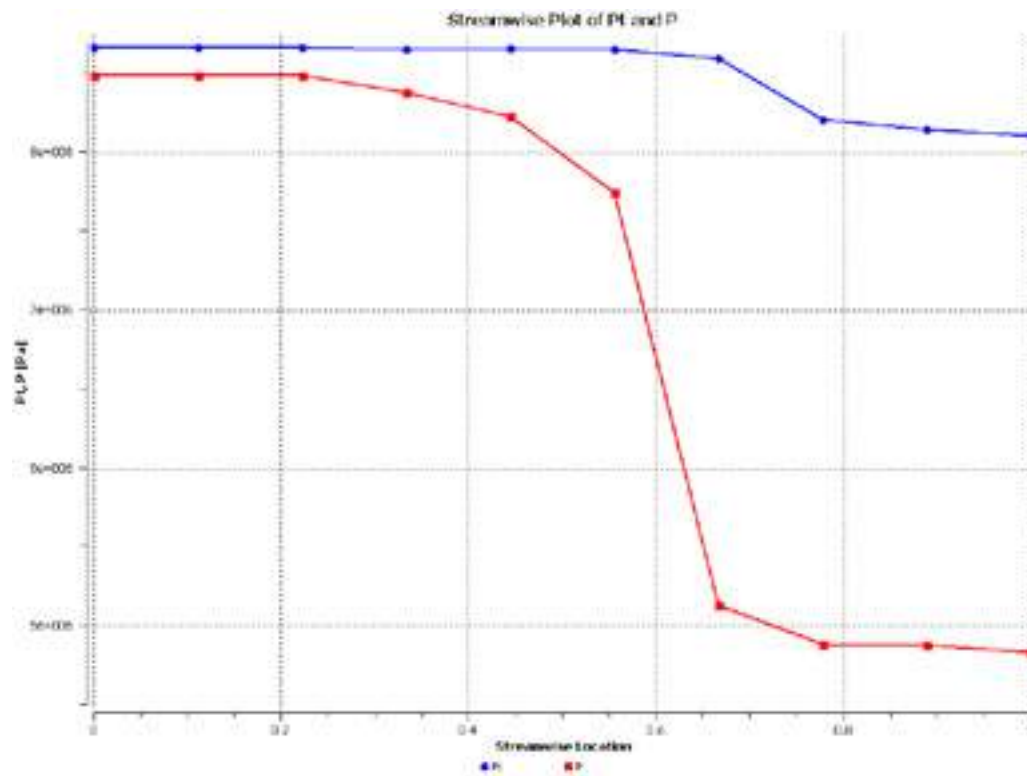


Рисунок 5. Распределение полного и статического давления по потоку

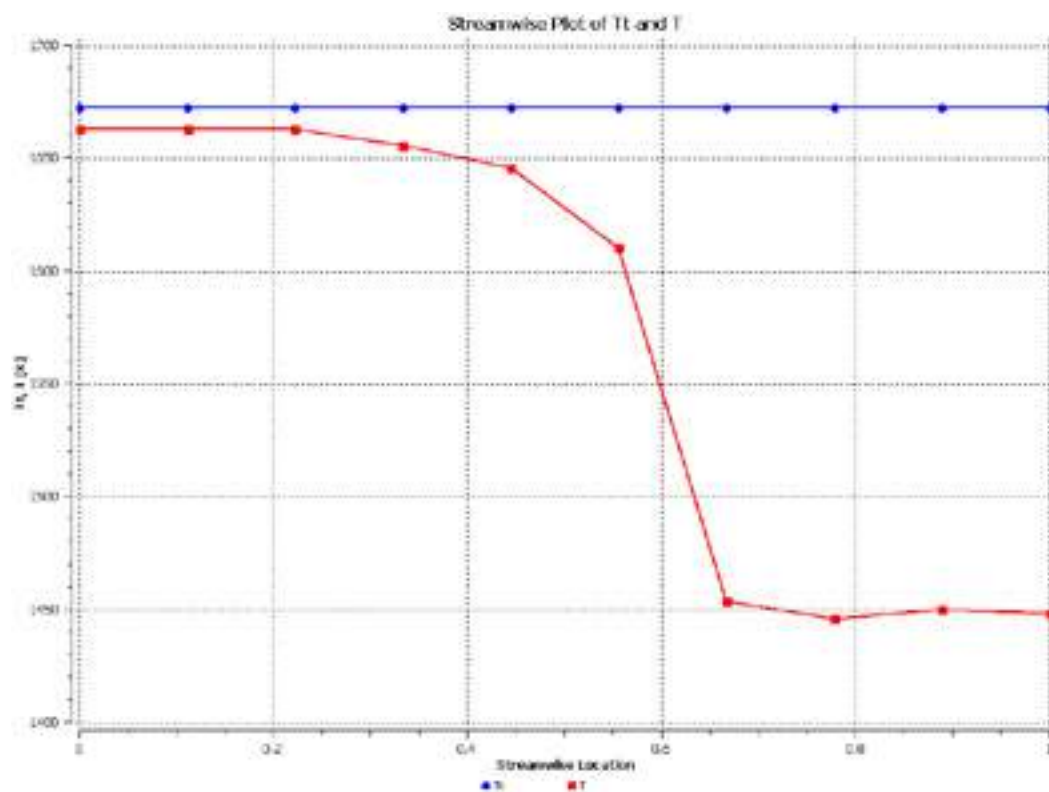


Рисунок 6. Распределение полной и статической температуры по потоку

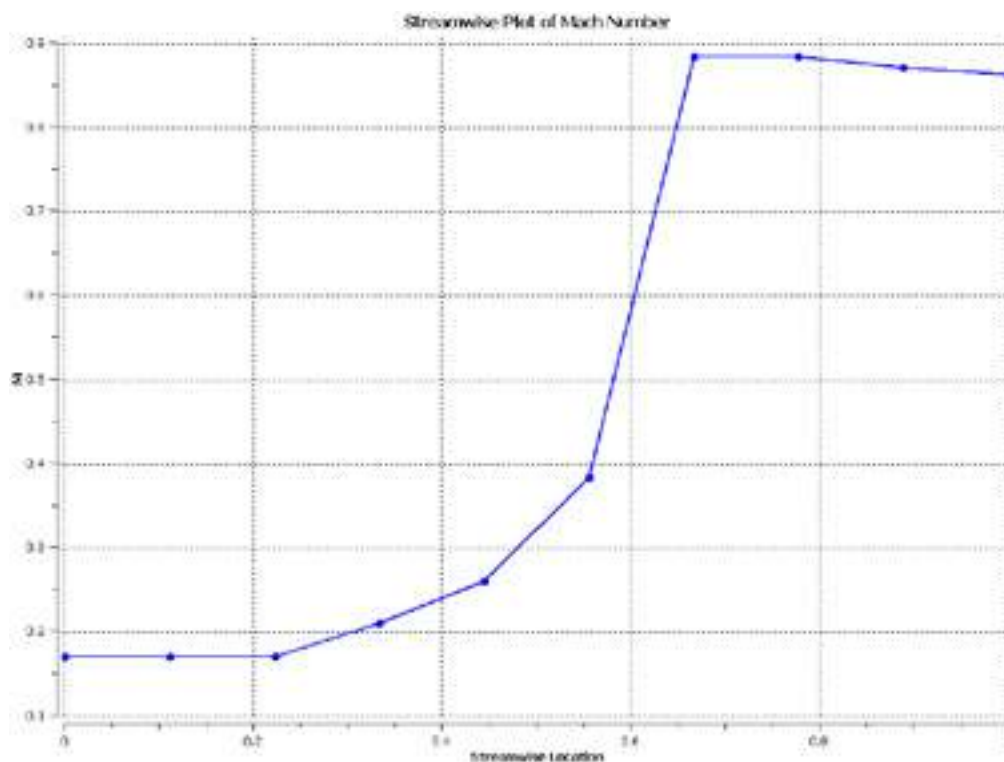


Рисунок 7. Распределение числа Маха по потоку

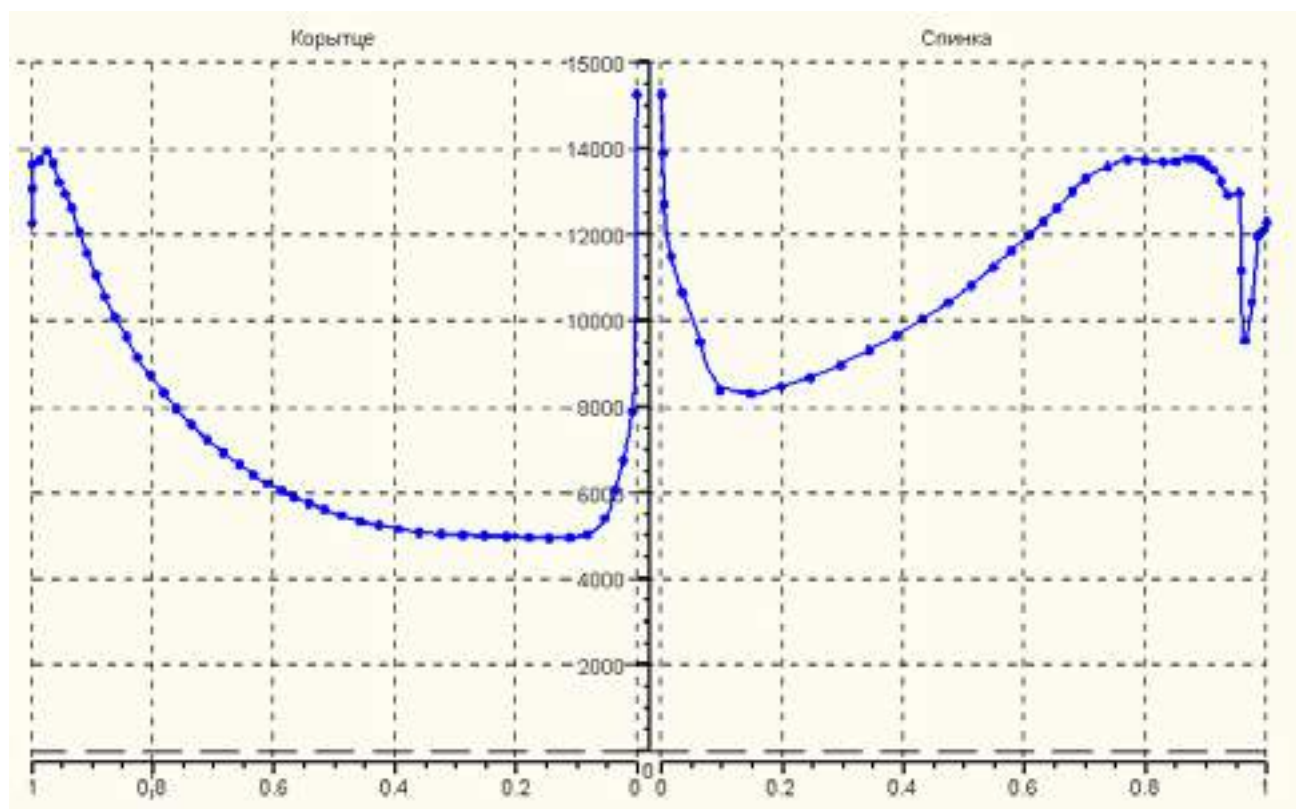


Рисунок 8. Распределение коэффициента теплоотдачи по обводу профиля

Для расчета температурного поля сопловой лопатки были созданы 3-D модели сопловой лопатки и рабочей среды. Далее, в программе Ansys ICEM CFD были созданы расчетные сетки для лопатки и для охлаждающей среды отдельно. В дальнейшем эти сетки были соединены при помощи GGI-интерфейса.

Граничные условия:

- На поверхности лопатки – распределение коэффициента теплоотдачи и полная температура T^* .
- На входе в систему охлаждения – полное давление

пара и его температура ($P_{\text{охл}} = 8 \text{ МПа}$, $T_{\text{охл}} = 580 \text{ К}$), на выходе – расход охлаждающей среды ($G_{\text{охл}} = 0.85 \text{ кг/с}$)

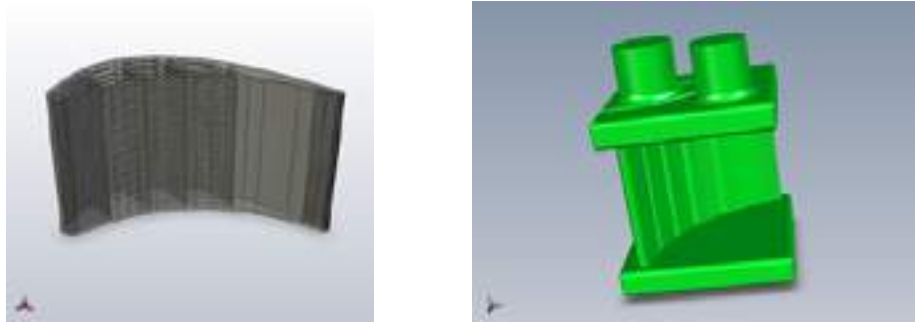


Рисунок 9. 3-D модели лопатки и охлаждающей среды

В результате расчета было получено трехмерное распределение температуры стенки лопатки

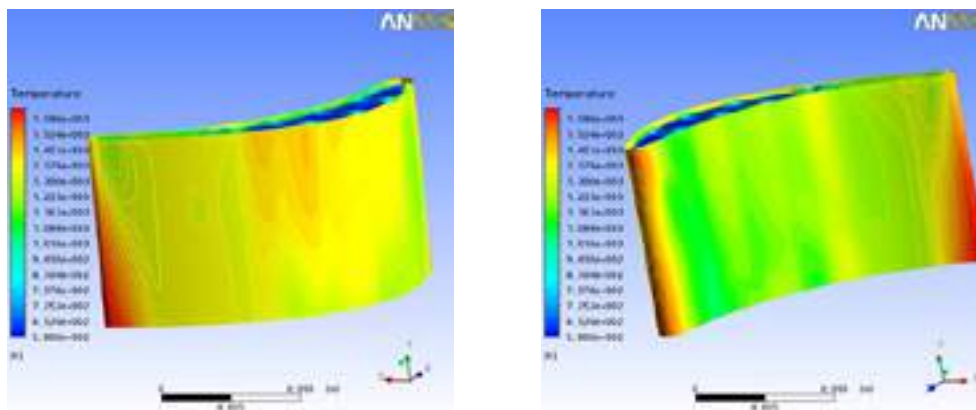


Рисунок 10. Распределение температуры стенки сопловой лопатки

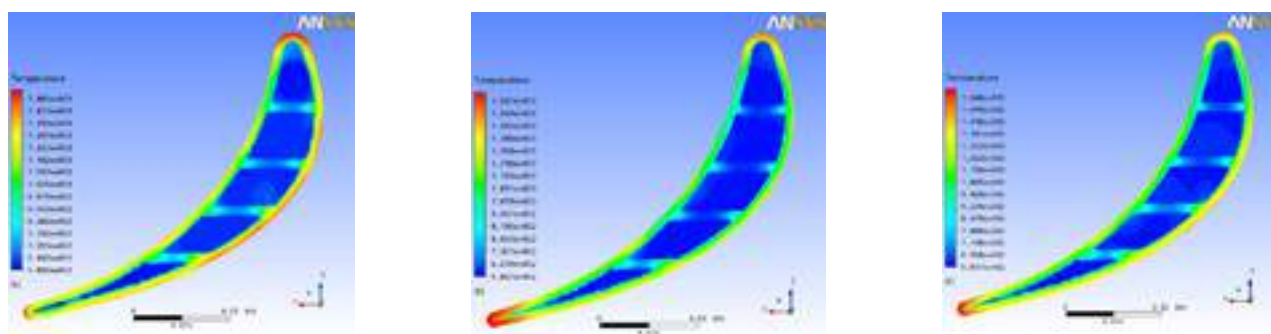


Рисунок 11. Распределение температуры стенки сопловой лопатки по сечениям

Полученные результаты, а именно превышение допустимой температуры у выходной кромки ближе к втулочному сечению и у входной кромки объясняется характером течения охлаждающей среды внутри системы охлаждения лопатки.

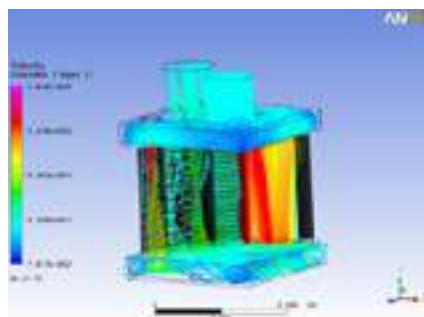


Рисунок 12. Линии тока в системе охлаждения сопловой лопатки

Список литературы:

1. Теплообменные аппараты и системы охлаждения газотурбинных и комбинированных установок: / В.Л. Иванов, А.И. Леонтьев, Э.А. Манушин, М.И. Осипов; Под

ред. А.И. Леонтьева. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004.–592 с.