|  |  |
| --- | --- |
| *voenmeh* | МИНОБРНАУКИ РОССИИ  федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  высшего образования  **«Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»**  **(БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»)** |
| БГТУ.СМК-Ф-4.2-К5-01 |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Факультет |  | А |  | Ракетно-космической техники |
|  |  | шифр |  | наименование |
| Кафедра |  | А8 |  | Двигатели и энергоустановки летательных аппаратов |
|  |  | шифр |  | наименование |
| Дисциплина |  | Математическое моделирование лопаточных машин | | |

ОТЧЕТ

на тему

|  |
| --- |
| Проектирование центробежного компрессора |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Выполнил студент группы | | | |  | А8М31 |
| Тетерин Р.О. | | | | | |
| Фамилия И.О. | | | | | |
| **РУКОВОДИТЕЛЬ** | | | | | |
|  | |  |  | | |
| Фамилия И.О. Подпись | | | | | |
| Оценка |  | | | |  |
| «\_\_\_\_\_» |  | | | | 201\_г. |

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

2018 г.

Содержание

[ВВЕДЕНИЕ 3](#_Toc533758196)

[1. Предварительное проектирование 5](#_Toc533758197)

[2. Проектировочный расчет 7](#_Toc533758198)

[3. Проверочный расчет 9](#_Toc533758199)

[ЗАКЛЮЧЕНИЕ 12](#_Toc533758200)

[Список использованных источников 13](#_Toc533758201)

# ВВЕДЕНИЕ

Объектом моделирования является осецентробежный компрессор газотурбинного двигателя. Цель работы - численное моделирование и анализ течения рабочего тела в межлопаточном канале компрессора авиадвигателя.

Компрессор – устройство, предназначенное для сжатия рабочего тела до требуемого уровня степени повышения давления π∗к за счет подвода механической энергии Lk к потоку рабочего тела. В центробежных компрессорах течение рабочего тела осуществляется от центра к периферии. При этом линии тока на выходе располагаются в плоскостях, перпендикулярных оси лопаточной машины. Запуск и работа компрессора осуществляется с помощью привода, чаще всего приводом являются электродвигатели и турбины. В компрессоре подведенная механическая работа преобразуется в потенциальную энергию сжатого газа. В результате параметры полного p и статического давления p∗ и температуры рабочего тела T, а также его плотность ρ, увеличиваются.

Для проектирования центробежного компрессора необходимо задаться рядом параметров, которые могут быть уточнены в ходе расчета. Первоначальные параметры приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные для проектирования

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Наименование | Обозначение | Значение | Ед.изм. |
| Степень повышения давления | π∗к | 4 | - |
| Массовый расход | m | 0,275 | кг/с |
| Диаметр внутренний на входе в РК | dmin | 25 | мм |
| Рабочее тело | - | Идеальный газ | - |

В ходе работы использовались следующие программные продукты:

* + - 1. AxStream – программный продукт для концептуального проектирования, анализа и оптимизации лопаточных машин. При проектировании производится поиск варианта конструкции с максимальным КПД в пределах варьирования исходных параметров и ограничений, задаваемых пользователем.

1. Модуль Compal программы Concepts NREC – предназначен для газодинамического проектирования центробежных компрессоров; обеспечивает единый непрерывный цикл проектирования турбомашин (компрессоров, насосов, вентиляторов, и др.), охватывая все стадии проектирования от одномерного, проектного расчета до процесса изготовления и экспериментального исследования прототипа, также решает комплексные оптимизационные задачи.
2. Numeca Fine/Turbo – программный комплекс для анализа течений и потоков в различных типах турбомашин (CFD пакет для специальных задач турбомашиностроения). Numeca Fine Turbo позволяет: провести параметризацию лопастной системы турбомашины с целью её дальнейшей модификации(AutoBlade); наиболее быстрым способом построить сетку лопастной системы любой турбомашины (AutoGrid); задавать широкий набор НУ для проведения различного рода расчетов (Fine Turbo); за предельно короткое время рассчитать отдельный режим работы турбомашины (Euranius Solver).

# Предварительное проектирование

Предварительное проектирование проводилось в программе AxSTEAM. В качестве входных параметров задавались значения, приведенные в таблице 2.

Таблица 2 – Исходные данные для AxSTREAM

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Наименование параметра | Диапазон значений | | Ед.изм. |
| от | до |
| Полное давление на входе | 101325 | 101325 | Па |
| Полная температура на входе | 280 | 300 | К |
| Полное давление на выходе | 400000 | 500000 | Па |
| Расход | 0,2 | 0,3 | Кг/с |
| Угол входа потока в абс движении | 90 | 90 | Град |
| Скорость вращения | 20000 | 100000 | Об/мин |

Область задания входных параметров представлена на рисунке 1. В среднем столбце «Значение» представлены результаты предварительного проетирования.

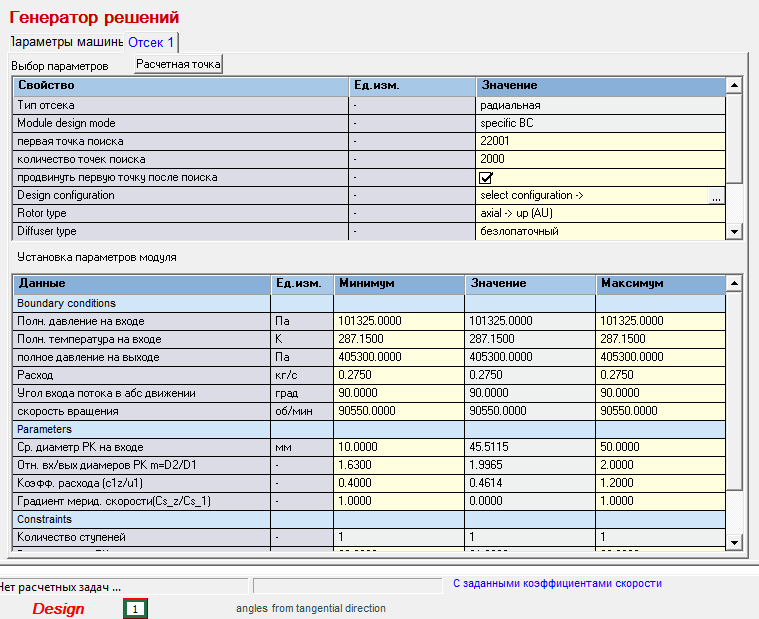


Рисунок 1 – Область задания входных параметров

По итогам расчета был проведен анализ графика зависимости внутреннего КПД машины от максимальной мощности компрессора (рисунок 2).

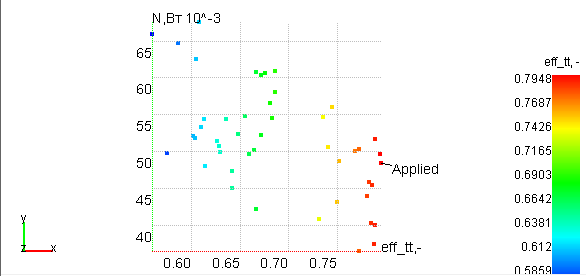


Рисунок 2 – Облако точек в осях мощности компрессора и внутренним КПД

В результате была принята расчетная точка, соответствующая параметрам, приведенным в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты расчета в AxSTREAM

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Наименование | Обозначение | Значение | Ед.изм. |
| Мощность | N | 49215 | Вт |
| Внутр. КПД по полным параметрам | Eff\_tt | 0,7847 | - |
| Политропический КПД | Eff\_pt | 0,8155 | - |
| Расход на входе | Gin | 0,275 | Кг/с |
| Максимальная окружная скорость | maxU | 215,78 | м/с |
| Усредненный коэф. расхода (C2s/U2) | Phi\_ | 0,1118 | - |
| Минимальный диаметр ротора | minDRotor | 27,91 | Мм |
| Максимальный диаметр ротора | maхDRotor | 90,51 | мм |

# Проектировочный расчет

Проектировочный расчет производится в специализированной среде – Concept NREC, а именно – в модуле Compal. Исходными данными для расчета послужили результаты предварительного проектирования. Дополнительно задавались следующие параметры: толщина лопатки; зазор; угол потока на входе; угол атаки на входе; угол атаки на выходе.

В результате проектировочного расчета были получены значения, приведенные в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты расчета в модуле Compal

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Наименование | Обозначение | Значение | Ед.изм. |
| Stage Efficiency | Внутр. КПД по полным параметрам | 0,76 | - |
| BETA1MB | Конструкционный угол входа | 37,461 | Град |
| Mass\_in | Массовый расход | 0,275 | Кг/с |
| I | Степень повышения давления | 3,92 | - |
| BETA2B | Выходной лопаточный угол | 58,322 | град |
| Power | Мощность | 49,125 | кВт |

На рисунке 3 изображена схема с размерами и внешний вид центробежного колеса компрессора. На рисунке 4 - треугольник скоростей на выходе из РК ЦБК.

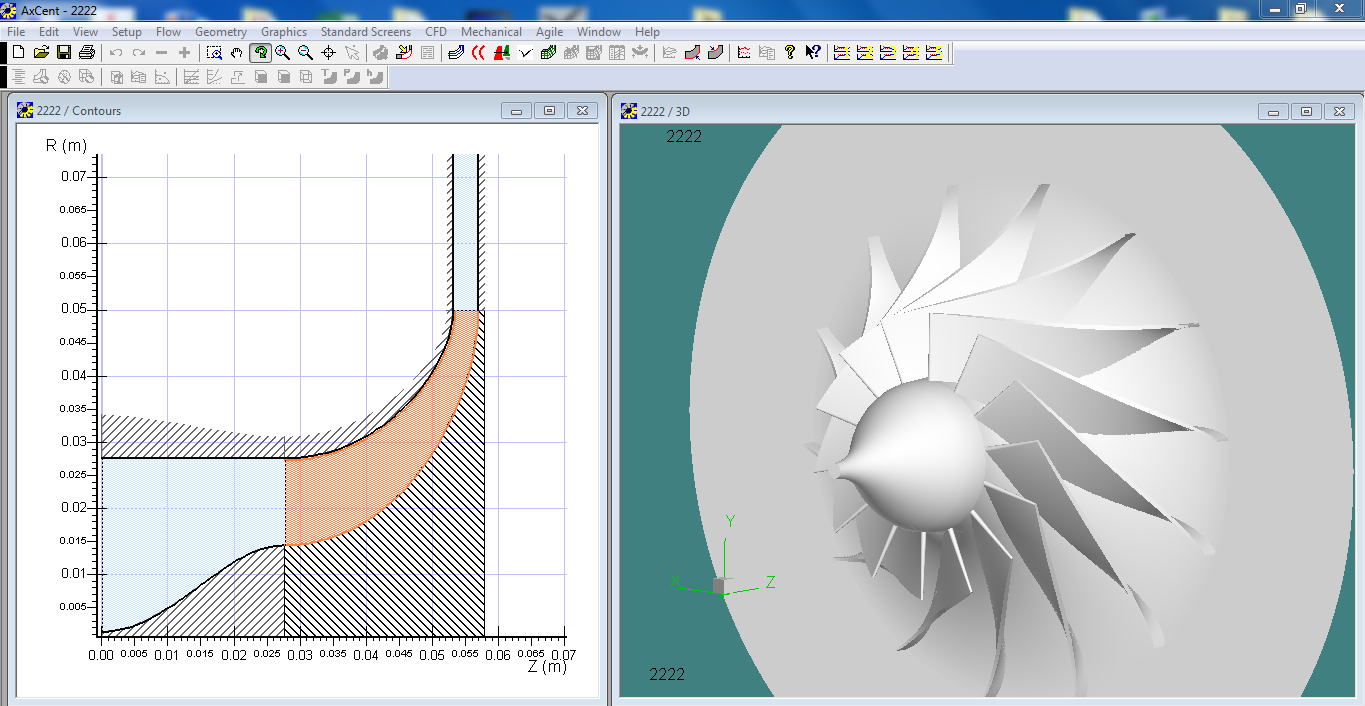


Рисунок 3 – Внешний вид колеса центробежного компрессора

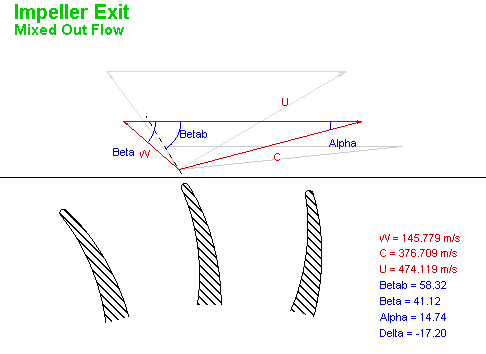


Рисунок 4 – Изображение выходного угла с треугольником скоростей

На рисунке 5 изображена схема рабочего колеса и окно для задания параметров для последующего расчета. В данном случае выбрана оптимизация выходного угла по высоте лопатки на выходе из колеса, перифирийный зазор, количество лопастей и выходной радиус.

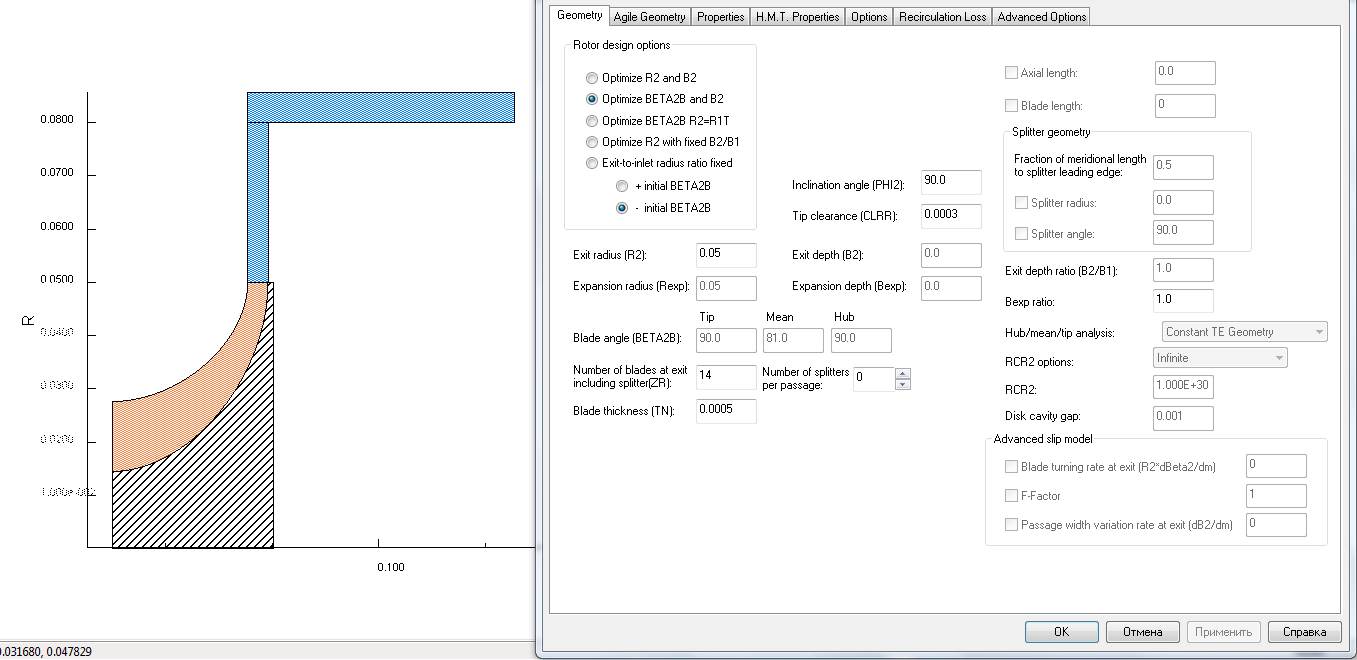


Рисунок 5 – Схема РК с окном ввода параметров для расчета

# Проверочный расчет

Поверочный расчет проводился в программе Numeca Fine Turbo. Данные для проведения расчета импортировались из файла со специальным расширением .geomTurbo, созданного в модуле Compal.

В результате поверочного расчета были получены значения параметров колеса компрессора, значения которых представлены в таблице 5. Анализ результатов расчета в Fine Turbo показывает, что эффективность рабочего колеса центробежного компрессора оказалась ниже значения, полученного в предварительных расчетах.

Таблица 5 – Результаты поверочного расчета

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Наименование | Обозначение | Значение | Ед.изм. |
| Внутр. КПД по полным параметрам | efficiency | 0.69 | - |
| Мощность | power | 53000 | Вт |
| Степнеь повышения давления | pi | 3,68 | - |
| Массовый расход | G | 0,275 | Кг/с |

На рисунках 6 – 9 изображены распределения параметров на поверхности blade to blade (средняя плоскость) относительно высоты проточной части компрессора.

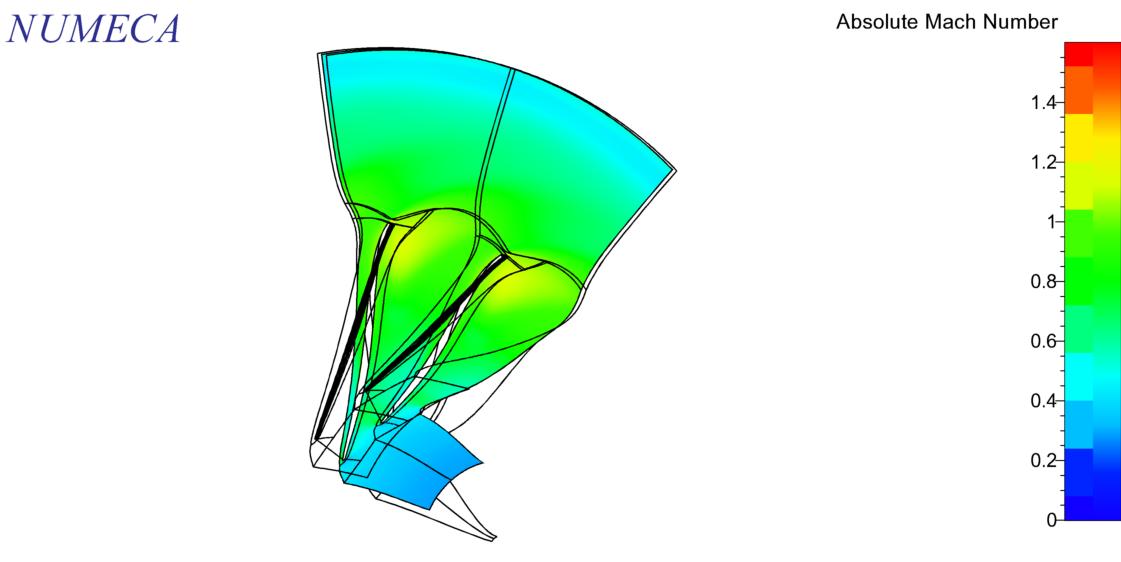


Рисунок 6 – Распределение чисел Маха

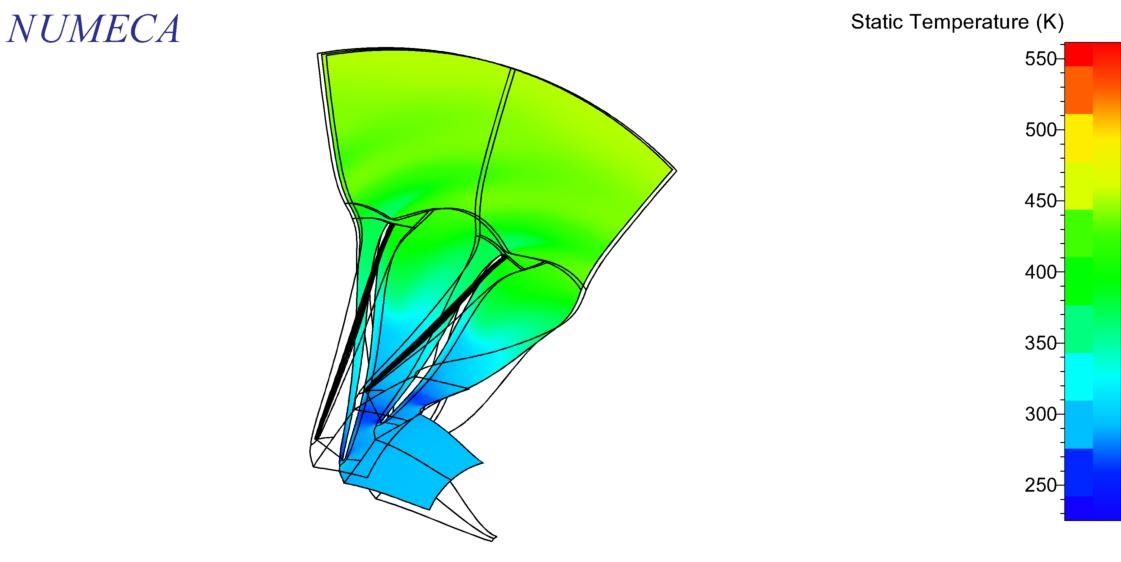


Рисунок 7 – Распределение статической температуры

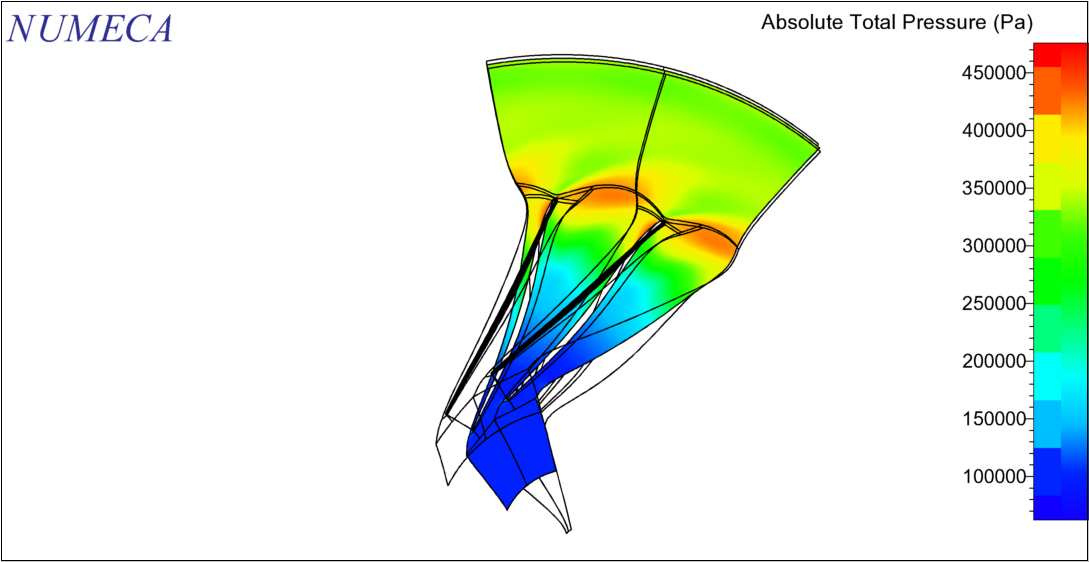


Рисунок 8 – Распределение полного давления

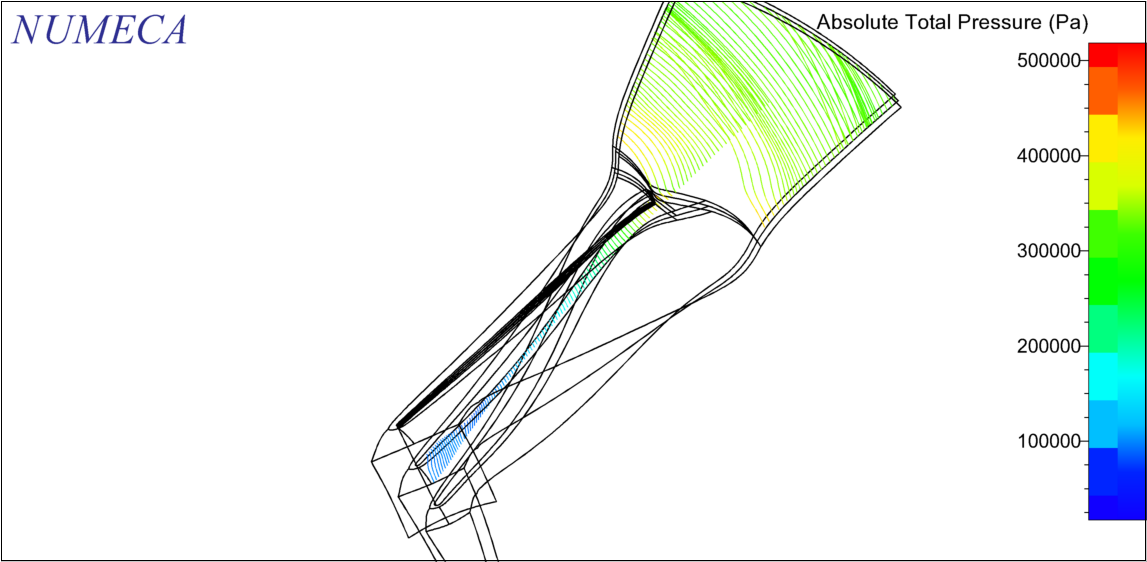


Рисунок 9 – Линии тока

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы по полученным исходным данным был проведен предварительный и проектный расчет колеса центробежного компрессора. Для полученного колеса был проведен поверочный расчет, позволяющий сравнить значения, предполагаемые при проектировании с полученными в его результате. Сравнение параметров представлено в таблице 6.

Таблица 6 – Сравнение результатов расчетов

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Наименование | Ед. изм. | Проектировочный расчет | Поверочный расчет |
| Внутр. КПД по полным параметрам | - | 0.69 | 0,76 |
| Мощность | Вт | 53000 | 49125 |
| Степень повышения давления | - | 3,68 | 3,92 |

На основе анализа можно сказать, что использованные в данной работе комплексы проектирования лопаточных машин имеют небольшую степень отклонения результатов расчета. С достаточной для практики степенью точности можно считать, что результаты расчета могут считаться идентичными, поскольку было сделано множество допущений.

Полученное в ходе проектирования колесо компрессора по геометрическим и термодинамическим характеристикам имеет допустимую точность схожести с ранее рассчитанным компрессором по методике [1].

# Список использованных источников

1. Холщевников К.В. "Теория и расчет авиационных лопаточных машин" 1986г., М.: Машиностроение, 606 с.
2. А.М. Ладошин, В.М. Яковлев Методическое пособие «Расчёт и проектирование центробежного компрессора ГТД», Калуга, 2001 г.
3. Описание модуля AxSTREAM [Электронный ресурс] URL: http://www.softinway.com/en/ (Дата обращения 20.12.2018)
4. ЕИСП лопаточных машин Concepts NREC. Обзор основных возможностей. [Электронный ресурс] URL: <http://numeca-ru.com/fine-turbo/> (Дата обращения 20.12.2018)
5. Теория лопаточных машин авиационных газотурбинных двигателей / Н.Т. Тихонов, Н.Ф. Мусаткин, В.Н. Матвеев // Самар. гос. аэрокосм. ун-т., Самара, 2001 – 155с.