

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА»

И. Б. ДМИТРИЕВА, В. Н. МАТВЕЕВ, И. И. МОРОЗОВ

**ПРОЕКТНЫЙ РАСЧЁТ
МНОГОСТУПЕНЧАТЫХ ОСЕВЫХ
КОМПРЕССОРОВ И ТУРБИН АВИАЦИОННЫХ ГТД
С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ
KOMPRESSOR И TURBINA**

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия*

САМАРА
Издательство СГАУ
2006

УДК 621.431.75 (075)

ББК 39.55

Д534



**Инновационная образовательная программа
"Развитие центра компетенции и подготовка
специалистов мирового уровня в области аэро-
космических и геоинформационных технологий"**

Рецензенты: канд. техн. наук, доц. М. Е. П р о д а н о в,
канд. техн. наук В. А. К а м ы н и н

Дмитриева И.Б.

Д534 **Проектный расчёт многоступенчатых осевых компрессоров и турбин авиационных ГТД с помощью программных комплексов *KOMPRESSOR* и *TURBINA*: учеб. пособие / И.Б. Дмитриева, В.Н. Матвеев, И.И. Морозов. — Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2006. — 64 с. : ил.**

ISBN 5-7883-0408-3

В учебном пособии дана характеристика программных комплексов *KOMPRESSOR* и *TURBINA*. Программный комплекс *KOMPRESSOR* предназначен для проектного газодинамического расчёта многоступенчатых осевых компрессоров, а также для расчёта основных геометрических параметров решёток профилей; программный комплекс *TURBINA* — для газодинамического проектирования осевых турбин авиационных ГТД. В пособии описан интерфейс программных комплексов, указан порядок работы программ, приведены рекомендации по подготовке исходных данных и проведению анализа результатов расчёта.

Учебное пособие предназначено для студентов специальности 160301 «Авиационные двигатели и энергетические установки», выполняющих курсовое и дипломное проектирование авиационных газотурбинных двигателей и энергетических установок, а также выполняющих лабораторные работы по учебной дисциплине «Теория и расчёт лопаточных машин АД и ЭУ».

УДК 621.431.75 (075)

ББК 39.55

ISBN 5-7883-0408-3

© Дмитриева И.Б., Матвеев В.Н., Морозов И.И., 2006
© Самарский государственный
аэрокосмический университет, 2006

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
1. Описание программного комплекса KOMPRESSOR	5
1.1. Назначение программного комплекса	5
1.2. Порядок выполнения расчётов	6
1.2.1. Структура информации задачи К-1	6
1.2.2. Структура информации задачи К-2	7
1.2.3. Структура информации задачи К-3	10
1.2.4. Структура информации задачи К-4	13
2. Описание программного комплекса TURBINA	15
2.1. Назначение программного комплекса	15
2.2. Порядок выполнения расчётов	16
2.2.1. Структура информации задачи Т-1	16
2.2.2. Структура информации задачи Т-2	18
2.2.3. Структура информации задачи Т-3	25
2.2.4. Структура информации задачи Т-4	28
3. Описание интерфейса программных комплексов	31
3.1. Запуск программы	31
3.2. Описание главного окна программы	32
3.3. Завершение программы	35
4. Описание работы программы	37
4.1. Ввод исходных данных и выполнение расчёта	37
4.2. Просмотр результатов расчёта	37
5. Учебные задания	38
Список литературы	41
Глоссарий	42
Приложение 1	44
Приложение 2	49

ВВЕДЕНИЕ

Программные комплексы КОМПРЕССОР и TURBINA разработаны на базе учебных методик проектного термогазодинамического расчета многоступенчатых авиационных компрессоров и турбин, изложенных в методических пособиях [1], [3] и объединенных в работе [4].

Исходными данными при использовании этих программных комплексов являются результаты термодинамического расчета проектируемого двигателя и схема его проточной части в меридиональной плоскости, выполненная в соответствии с методиками разделов 1 и 2 работы [4]. В результате расчета по программам получаются:

- распределения параметров потока по радиусу на входе и выходе лопаточных венцов;

- основные геометрические параметры решеток профилей в различных по радиусу ступени сечениях, по которым возможно построение трехмерных лопаточных венцов компрессоров и турбин.

Полученные данные в дальнейшем используются для проведения прочностных расчетов элементов лопаточных машин и конструирования узлов компрессора и турбины.

Предлагаемые программы проектного термогазодинамического расчета осевых лопаточных машин авиационных ГТД предусматривают разнообразие их типов и схем. Для облегчения анализа промежуточных результатов в программах предусмотрена возможность их графического представления.

Терминология и обозначения в программных комплексах КОМПРЕССОР и TURBINA соответствуют ГОСТ 23851 – 79 («Двигатели газотурбинные авиационные») и учебному пособию [4]. Все расчеты проводятся в международной системе единиц СИ.

1. ОПИСАНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА KOMPRESSOR

1.1. Назначение программного комплекса

Программный комплекс газодинамического проектирования осевого компрессора KOMPRESSOR предназначен для проведения расчётов осевых компрессоров авиационных ГТД при курсовом и дипломном проектировании, а также для выполнения лабораторных работ. Он позволяет решать следующие задачи.

Задача К-1. Расчёт параметров потока между ступенями компрессора

В процессе решения этой задачи определяются степени повышения давления каждой ступени, а также полные давления и температура на входе в каждую ступень.

Задача К-2. Расчёт кинематических параметров компрессора на среднем радиусе

В процессе решения этой задачи определяются величины и направления скорости потока в ступенях на среднем диаметре и проходные сечения проточной части компрессора.

Задача К-3. Расчёт кинематических параметров ступени компрессора на различных радиусах

В процессе решения этой задачи определяются значения скорости и направления потока, обеспечивающие получение заданных значений затраченной работы и степени повышения давления, при выбранном законе распределения закрутки потока по высоте лопатки.

Задача К-4. Расчёт геометрических параметров лопаточного венца компрессора

В процессе решения этой задачи определяются в трёх сечениях геометрические параметры лопатки рабочего колеса (конструктивные углы, хорды профиля, координаты профиля и т.п.).

В основу данного программного комплекса заложены алгоритмы, изложенные в учебных пособиях [1], [2] и [4]. Следовательно, для работы с данным программным обеспечением необходимо предварительно изучить соответствующие разделы этих пособий.

1.2. Порядок выполнения расчётов

Выполнение конкретного расчёта по любой из программ, входящих в комплекс, требует задания определённой совокупности исходных данных.

Результатом работы программы является текстовый выходной документ, в котором помещены исходные данные и рассчитанные величины искомым параметров.

Перечни параметров, составляющих исходные данные и результаты расчёта, их условные обозначения, размерности исходных и выходных данных приводятся в пп. 1.2.1 – 1.2.4.

1.2.1. Структура информации задачи К-1

Таблица 1

Исходные данные к задаче К-1

№ п/п	Наименование параметра	Обозначение параметра	Размерность
1	Число ступеней	z	-
2	Давление на входе в компрессор	$P_{ВХ}^*$	кПа
3	Температура на входе в компрессор	$T_{ВХ}^*$	К
4	Степень повышения полного давления в компрессоре	π_K^*	-
5	Коэффициент восстановления полного давления в направляющих аппаратах	$\sigma_{НА}$	-
6	Затраченный напор в каждой ступени ($i = 1, z$)	H_i^*	кДж/кг
7	Начальные значения КПД ступеней	$\eta_{СТi}$	-

Таблица 2

Выходные данные задачи К-1

№ п/п	Наименование параметра	Обозначение параметра	Размерность
1	Полная энтальпия на входе в ступень	i^*_{1i}	кДж/кг
2	Полная температура на входе в ступень	T^*_{1i}	К
3	Степень повышения давления в ступени	$\pi^*_{стi}$	-
4	Изоэнтروпический напор ступени	H^*_{Si}	кДж/кг
5	Полное давление на входе в ступень	p^*_{1i}	кПа
6	Полное давление на выходе из ступени	p^*_{2i}	кПа
7	Уточнённое значение КПД ступени	$\eta_{стi}$	-

1.2.2. Структура информации задачи К-2

Таблица 3

Исходные данные к задаче К-2

№ п/п	Наименование параметра	Обозначение параметра	Размерность
1	Число ступеней	z	-
2	Частота вращения	n	c^{-1}
3	Коэффициент, учитывающий влияние неравномерности поля осевых скоростей и пограничного слоя на стенках проточной части	K_G	-
4	Расход воздуха через компрессор	G_B	кг / с

Таблица 3 (окончание)

№ п/п	Наименование параметра	Обозначение параметра	Размерность
5	Коэффициент затраченной мощности в каждой ступени ($i = 1, z$)	K_{Hi}	-
6	Затраченный напор в каждой ступени ($i = 1, z$)	H^*_{zi}	кДж/кг
7	Средний диаметр на входе в ступень ($i = 1, z$)	D_{1CFi}	м
8	Средний диаметр на выходе из рабочего колеса ($i = 1, z$)	D_{2CFi}	м
9	Степень реактивности ступени ($i = 1, z$)	ρ_{CTi}	-
10	Осевые составляющие скоростей потока на входе в ступени ($i = 1, z$)	C_{1ai}	м / с
11	Температура на выходе из РК ($i = 1, z$)	T^*_{2i}	К
12	Температура на входе в ступень ($i = 1, z$)	T^*_{1i}	К
13	Осевая составляющая скорости потока на выходе из ступени ($i = 1, z$)	C_{3ai}	м / с
14	Давление перед каждым РК ($i = 1, z$)	p^*_{1i}	кПа

Выходные данные задачи К-2

№ п/п	Наименование параметра	Обозначение параметра	Размерность
1	Окружная скорость на входе РК	U_1	м / с
2	Окружная составляющая абсолютной скорости потока на входе в РК	C_{1U}	м / с
3	Абсолютная скорость потока на входе РК	C_1	м / с
4	Окружная составляющая относительной скорости потока на входе в РК	W_{1U}	м / с
5	Относительная скорость потока на входе в РК	W_1	м / с
6	Коэффициент теоретического напора ступени	$\overline{H_T}$	-
7	Осевая площадь проточной части на входе в РК	F_1	м ²
8	Приведенная скорость потока в абсолютном движении на входе в РК	λ_1	-
9	Приведенная скорость потока в относительном движении на входе в РК	λ_{w1}	-
10	Полная температура на входе в РК в относительном движении	T^*_{w1}	К
11	Угол входа потока в РК в абсолютном движении	α_1	град
12	Угол входа потока в РК в относительном движении	β_1	град

Таблица 4 (окончание)

№ п/п	Наименование параметра	Обозначение параметра	Размерность
13	Окружная скорость на выходе из РК	U_2	м / с
14	Окружная составляющая абсолютной скорости потока на выходе из РК	C_{2U}	м / с
15	Осевая составляющая абсолютной скорости потока на выходе из РК	C_{2a}	м / с
16	Окружная составляющая относительной скорости потока на выходе из РК	W_{2U}	м / с
17	Приведенная скорость потока в абсолютном движении на выходе из РК	λ_2	-
18	Угол выхода потока из РК в абсолютном движении	α_2	град
19	Угол выхода потока из РК в относительном движении	β_2	град
20	Угол поворота потока в НА в абсолютном движении	$\Delta\alpha$	град
21	Угол поворота потока в РК в относительном движении	$\Delta\beta$	град

1.2.3. Структура информации задачи К-3

Таблица 5

Исходные данные к задаче К-3

№ п/п	Наименование параметра	Обозначение параметра	Размерность
1	Признак принятого закона 1, если $C_{1U} \cdot r = const$ 2, если $C_{1U} / r = const$ 3, если $\rho = const$	-	-

Таблица 5 (окончание)

№ п/п	Наименование параметра	Обозначение параметра	Размерность
2	Коэффициент теоретического напора на среднем радиусе	$\overline{H_T}$	-
3	Степень реактивности на среднем радиусе	ρ_{CP}	-
4	Температура на входе в ступень на среднем радиусе	T^*_1	К
5	Температура на выходе из РК на среднем радиусе	T^*_2	К
6	Осевая составляющая скорости потока на входе в РК на среднем радиусе	$C_{1a\ CP}$	м / с
7	Осевая составляющая скорости потока на выходе из РК на среднем радиусе	$C_{2a\ CP}$	м / с
8	Окружная скорость потока на входе в РК на среднем радиусе	U_{1CP}	м / с
9	Окружная скорость потока на выходе из РК на среднем радиусе	U_{2CP}	м / с
10	Окружная составляющая скорости потока на входе в ступень на среднем радиусе	C_{1UCP}	м / с
11	Периферийные диаметры соответственно на входе и выходе РК	$D_{1ПЕР} D_{2ПЕР}$	м
12	Средние диаметры соответственно на входе и выходе РК	$D_{1CP} D_{2CP}$	м
13	Втулочные диаметры соответственно на входе и выходе РК	$D_{1ВТ} D_{2ВТ}$	м

Таблица 6

Выходные данные задачи К-3

№ п/п	Наименование параметра	Обозначение параметра	Размерность
1	Радиусы расчётных значений на входе и выходе из РК	r_1, r_2	м
2	Осевые составляющие абсолютной скорости потока на входе и выходе из РК	C_{1a}, C_{2a}	м / с
3	Окружные составляющие абсолютной скорости потока на входе и выходе из РК	C_{1u}, C_{2u}	м / с
4	Абсолютные скорости потока на входе и выходе из РК	C_1, C_2	м / с
5	Окружные скорости потока на входе и выходе из РК	U_1, U_2	м / с
6	Окружные составляющие относительной скорости потока на входе и выходе из РК	W_{1u}, W_{2u}	м / с
7	Относительные скорости потока на входе и выходе из РК	W_1, W_2	м / с
8	Углы входа и выхода потока из РК в абсолютном движении	α_1, α_2	град
9	Углы входа и выхода потока из РК в относительном движении	β_1, β_2	град
10	Приведенные скорости потока в абсолютном движения на входе и выходе из РК	λ_1, λ_2	-
11	Полная температура потока на входе в РК в относительном движении	T_{w1}^*	К
12	Приведенная скорость потока на входе в РК в относительном движении	λ_{w1}	-
13	Угол поворота потока в решётке РК в относительном движении	$\Delta\beta$	град

1.2.4. Структура информации задачи К-4

Таблица 7

Исходные данные к задаче К-4

№ п/п	Наименование параметра	Обозначение параметра	Размерность
1	Угол поворота потока в решётке соответственно для втулочного, среднего и периферийного сечений	$\Delta\beta_i$ ($i=1..3$)	град
2	Угол потока на выходе из решётки в относительном движении соответственно для втулочного, среднего и периферийного сечений	β_{2i} ($i=1..3$)	град
3	Угол атаки соответственно для втулочного, среднего и периферийного сечений	i_i ($i=1..3$)	град
4	Густота решётки соответственно для втулочного, среднего и периферийного сечений	$(b / t)_i$ ($i=1..3$)	-
5	Меридиональная проекция (ширина) венца соответственно для втулочного, среднего и периферийного сечений	b_{mi} ($i=1..3$)	м
6	Относительная максимальная толщина профиля соответственно для втулочного, среднего и периферийного сечений	c_{mi} ($i=1..3$)	-
7	Признак заданного исходного симметричного профиля <i>1 – для дозвукового потока</i> <i>2 – для трансзвукового потока</i>		
8	Признак заданной формы средней линии <i>1 – для дозвукового потока</i> <i>2 – для трансзвукового потока</i>		

Таблица 8

Выходные данные задачи К-4

№ п/п	Наименование параметра	Обозначение параметра	Размерность
1	Угол изгиба профиля	θ	град
2	Угол отставания потока в лопаточном венце	δ	град
3	Конструктивный угол входа в решётку	$\beta_{1л}$	град
4	Конструктивный угол выхода из решётки	$\beta_{2л}$	град
5	Хорда профиля	b	мм
6	Абсцисса профиля	x	мм
7	Ордината выпуклой части (спинки) профиля	$y_{в}$	мм
8	Ордината вогнутой части (корытца) профиля	$y_{н}$	мм

2. ОПИСАНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА TURBINA

2.1. Назначение программного комплекса TURBINA

Программный комплекс газодинамического проектирования осевых турбин TURBINA предназначен для проведения расчётов осевых турбин авиационных ГТД в процессе выполнения курсового и дипломного проектирования, а также лабораторных работ. Он позволяет решить следующие задачи.

Задача Т-1. Расчёт параметров потока между ступенями турбины

В процессе решения данной задачи определяются параметры потока между ступенями, соответствующие выбранному распределению теплоперепада по ступеням, оценивается степень реактивности ступени турбины.

Задача Т-2. Расчёт ступеней турбины по среднему диаметру

В процессе решения данной задачи определяются термодинамические и кинематические параметры потока в межвенцовых зазорах, число лопаток в сопловом и рабочем лопаточных венцах, уточняются значения КПД ступеней.

Задача Т-3. Расчёт параметров газового потока на различных радиусах проточной части турбины

В процессе решения данной задачи определяются кинематические параметры потока газа на различных радиусах, обеспечивающие заданное изменение термодинамических параметров при двух вариантах закона распределения закрутки потока по высоте лопатки ($L_{TU} = const$ и $\alpha = const$).

Задача Т-4. Расчёт значений геометрических параметров профилей рабочей лопатки

В процессе решения данной задачи определяются конструктивно-геометрические параметры профилей пера лопатки в контрольных сечениях по радиусу, обеспечивающие заданный поворот потока газа в решётке профилей с возможно малыми потерями.

Программные модули комплекса, решающие перечисленные выше задачи, построены на основе алгоритмов, изложенных в учебных пособиях [3] и [4]. Поэтому для работы с настоящим по-

собием необходимо предварительно изучить соответствующие разделы этих пособий.

2.2. Порядок выполнения расчётов

Выполнение конкретного расчёта по любой из программ, входящих в комплекс, требует задания определённой совокупности исходных данных.

Результатом работы программы является текстовый выходной документ, в котором помещены исходные данные и рассчитанные величины искомых параметров.

Перечни параметров, составляющих исходные данные, и результаты расчёта, их условные обозначения, размерности исходных данных приводятся в пп. 2.2.1 – 2.2.4.

2.2.1. Структура информации задачи Т-1

Исходные данные к задаче Т-1 приведены в таблице 9, выходные данные этой задачи – в таблице 10. В этих таблицах перечислены наименования параметров и используемых в программе обозначений, указана размерность параметров.

Таблица 9

Исходные данные к задаче Т-1

№	Наименование параметра	Обозначение параметра	Размерность
1	Число ступеней	z	-
2	Расход газа на входе в турбину	G_T	кг/с
3	Полная температура на входе в турбину	T_T^*	К
4	Полное давление на входе в турбину	P_T^*	кПа
5	Коэффициент избытка воздуха	α	-
6	КПД ступени	$\eta_{ст}^*$	-
7	Окружная скорость РК на среднем радиусе на выходе из последней ступени	U_{2CF}	м/с

Таблица 9 (окончание)

№	Наименование параметра	Обозначение параметра	Размерность
8	Среднее значение коэффициента вторичных потерь в ступенях	δ_{PK}	-
9	Среднее значение коэффициента скорости СА	φ	-
10	Средние диаметры на входе в каждую ступень ($i=1, z$)	$D_{CP\ i}$	м
11	Высота сопловых лопаток на входе в каждую ступень ($i=1, z$)	$h_{CA\ i}$	м
12	Коэффициент изменения массового расхода в сечениях на входе в каждую ступень ($i=1, z$)	$G(OT)\ i$	-
13	Работы (эффективные теплоперепады) в каждой ступени ($i=1, z$)	$L^*_{CT\ i}$	кДж/кг

Таблица 10

Выходные данные задачи Т-1

№	Наименование параметра	Обозначение параметра	Размерность
1	Абсолютная скорость на входе в СА ступени	C_0	м/с
2	Окружная скорость на среднем диаметре на выходе из ступени турбины	U_{2CP}	м/с
3	Параметр нагруженности ступени	Y^*_{CT}	-
4	Отношение осевой составляющей скорости потока к окружной скорости РК на среднем диаметре на выходе из ступени	C_{2a}	-

Таблица 10 (окончание)

№	Наименование параметра	Обозначение параметра	Размерность
5	Степень реактивности ступени на среднем диаметре	ρ_{CF}	ть -
6	Параметр высоты рабочих лопаток	$D_{CF}/h_{Л}$	-
7	Степень реактивности ступени у втулочного сечения	ρ_{BT}	-
8	Полная энтальпия газа на входе в СА	i_0^*	кДж/кг
9	Полное давление на входе в СА	p_0^*	кПа
10	Статическое давление на входе в СА	p_0	кПа
11	Полная температура на входе в СА	T_0^*	К
12	Угол входа потока в СА в абсолютном движении	α_0	град
13	Осевая площадь проточной части на выходе из ступени	F_{2A}	м ²
14	Приведённая скорость потока в абсолютном движении на входе в СА	λ_0	-

Полученные результаты расчёта параметров потока между ступенями позволяют оценить приемлемость таких величин, как Y_{CT}^* ; ρ_{CF} ; ρ_{BT} ; λ_0 . В ряде случаев может оказаться необходимым скорректировать указанные величины. С этой целью, в соответствии с рекомендациями [3] и [4], следует перераспределить теплоперепад между ступенями и повторить расчёт задачи Т-1.

2.2.2. Структура информации задачи Т-2

В этой задаче набор исходных данных, вводимых в ЭВМ, определяется алгоритмом расчёта ступени турбины по среднему диаметру, который изложен в разделе 2 пособия [3] или разделе 4 работы [4].

Исходные данные к задаче Т-2

№	Наименование параметра	Обозначение параметра	Размерность
1	Полное давление на входе в ступень	P_0^*	кПа
2	Статическое давление на входе в ступень	P_0	кПа
3	Полная температура на входе в ступень	T_0^*	К
4	Полное давление на выходе из ступени	P_2^*	кПа
5	Полная температура на выходе из ступени	T_2^*	К
6	Статическое давление на выходе из ступени	P_2	кПа
7	Работа (эффективный теплоперепад) ступени	$L^*_{СТ}$	кДж/кг
8	Степень реактивности ступени	$\rho_{СТ}$	-
9	КПД ступени	$\eta^*_{СТ}$	-
10	Коэффициент скорости СА	φ	-
11	Расход газа на входе в РК	$G_{Г1}$	кг/с
12	Осевая площадь проточной части ступени между СА и РК	$F_{1\text{ ос}}$	м ²
13	Ширина лопатки СА на среднем радиусе	$S_{СА\text{ ср}}$	мм
14	Угол потока на входе в СА	α_0	град
15	Средний диаметр на входе в РК	$D_{1\text{ ср}}$	м
16	Окружная скорость на среднем радиусе на входе в РК	$U_{1\text{ ср}}$	м/с
17	Индекс конструктивной формы РК 1, если есть бандаж на РК 0, если бандаж отсутствует	$BAND$	

Таблица 11 (окончание)

№	Наименование параметра	Обозначение параметра	Размерность
18	Периферийный диаметр на входе в РК	D_{1T}	м
19	Периферийный диаметр на выходе из РК	D_{2T}	м
20	Высота рабочей лопатки на входе в РК	$h_{Л}$	м
21	Число гребешков в уплотнении	Z_y	-
22	Коэффициент расхода лабиринтного уплотнения	$\mu_{\text{ЗАЗ}}$	-
23	Коэффициент скорости РК	ψ	-
24	Осевая площадь на выходе из РК	$F_{2 \text{ ос}}$	м ²
25	Ширина лопатки РК на среднем радиусе	$S_{\text{РКср}}$	мм
26	Средний диаметр на выходе из РК	$D_{2\text{ср}}$	м
27	Окружная скорость на среднем радиусе на выходе из РК	$U_{2\text{ср}}$	м/с

Выходная информация к задаче Т-2, которая приведена в таблице 12, позволяет оценить приемлемость полученных в расчёте основных кинематических (λ_{ci} и λ_{wi}) и конструктивно-геометрических ($\alpha_{Лi}$, $\beta_{Лi}$, $z_{Лi}$ и т.д.) параметров лопаточных венцов СА и РК, а также уровня потерь энергии в ступени турбины, которые соответствуют заданному ранее изменению термодинамических параметров потока по ступеням.

Выходные данные задачи T-2

№ п/п	Наименование параметра	Обозначение параметра	Размерность
1	Угол выхода потока из СА в абсолютном движении	α_1	град
2	Приведенное значение изоинторопической скорости истечения газа из СА	λ_{C1S}	-
3	Коэффициент скорости СА	φ	-
4	Коэффициент восстановления полного давления в СА	σ_{CA}	-
5	Угол отклонения потока в косом срезе СА	$\delta_{\alpha 1}$	град
6	Эффективный угол на выходе из СА	$\alpha_{1\text{эф}}$	град
7	Угол установки профиля в решётке СА	γ_{CA}	град
8	Хорда профиля лопатки СА на среднем радиусе	b_{CA}	мм
9	Оптимальное число лопаток в венце СА	Z_{CAopt}	-
10	Оптимальный шаг решетки СА на среднем радиусе	t_{CAopt}	мм
11	Ширина межлопаточного канала СА в "горле"	a_{rCA}	мм
12	Статическое давление в межвенцовом зазоре	p_1	кПа
13	Скорость потока на выходе из СА в абсолютном движении	C_1	м/с
14	Значение статической энтальпии в межвенцовом зазоре	i_1	кДж/кг

Таблица 12 (продолжение)

№ п/п	Наименование параметра	Обозначение параметра	Размерность
15	Статическая температура в межвенцовом зазоре	T_1	К
16	Плотность газа на выходе из СА	ρ_1	кг/м ³
17	Осевая составляющая скорости на выходе из СА в абсолютном движении	C_{1a}	м/с
18	Окружная составляющая скорости на входе в СА в абсолютном движении	C_{1U}	м/с
19	Окружная составляющая скорости в относительном движении на входе в РК	W_{1U}	м/с
20	Угол входа потока в РК в относительном движении	β_1	град
21	Скорость на входе в РК в относительном движении	W_1	м/с
22	Приведенная скорость на входе в РК в относительном движении	λ_{w1}	-
23	Полное давление на входе в РК в относительном движении	P^*_{w1}	кПа
24	Окружная составляющая скорости на выходе из РК в абсолютном движении	C_{2U}	м/с
25	Скорость потока на выходе из РК в абсолютном движении	C_2	м/с
26	Приведенная скорость на выходе из РК в относительном движении	λ_{w2}	-
27	Изоэнтропическая скорость потока на выходе из РК в относительном движении	W_{2S}	м/с

Таблица 12 (продолжение)

№ п/п	Наименование параметра	Обозначение параметра	Размерность
28	Приведенное значение изоэнтропической скорости потока на выходе из РК в относительном движении	λ_{W2S}	-
29	Расход газа на выходе из РК	$G_{Г2}$	кг/с
30	Коэффициент восстановления полного давления в РК	$\sigma_{РК}$	-
31	Угол выхода потока из РК в относительном движении	β_2	град
32	Угол отклонения потока в косом срезе РК в относительном движении	$\delta\beta_2$	град
33	Эффективный угол на выходе из РК	$\beta_{2\text{эф}}$	град
34	Угол установки профиля в решётке РК	$\gamma_{РК}$	град
35	Хорда профиля лопатки РК на среднем радиусе	$b_{РК}$	мм
36	Оптимальное число лопаток в венце РК	$Z_{РКopt}$	-
37	Оптимальный шаг решётки РК на среднем радиусе	$t_{РКopt}$	мм
38	Средний диаметр щели лабиринта	D_y	м
39	Абсолютная величина радиального зазора в уплотнении	Δ_y	м
40	Площадь зазора в уплотнении	$F_{ЗАЗ}$	м ²
41	Утечка (расход) через радиальный зазор в уплотнении	$G_{ЗАЗ}$	кг/с
42	Статическое давление на периферии на входе в РК	$P_{1п}$	кПа
43	Отношение давлений ($P_{1п}/P_2$) на уплотнении	P_y	-

Таблица 12 (окончание)

44	Приведенная изоэнтропическая скорость истечения газа из СА на периферии	λ_{C1CP}	-
45	Ширина межлопаточного канала РК в “горле”	$a_{ГРК}$	мм
46	Скорость потока на выходе из РК в относительном движении	\bar{W}_2	м/с
47	Значение энтальпии потока на выходе из РК	i_2	кДж/кг
48	Плотность газа на выходе из РК	ρ_2	кг/м ³
49	Осевая составляющая скорости потока на выходе из РК в относительном движении	\bar{W}_{2a}	м/с
50	Окружная составляющая скорости потока на выходе из РК в относительном движении	\bar{W}_{2U}	м/с
51	Угол выхода потока из РК в абсолютном движении	α_2	град
52	Полная энтальпия потока за рабочими лопатками	i_2^*	кДж/кг

При анализе выходной информации следует обращать особое внимание на величину углов α_{1i} и β_{2i} , определяющих приемлемое уширение меридиональной формы проточной части ступени. Кроме того, необходимо помнить, что от уровня величин λ_{Ci} и λ_{Wi} зависят уровни потерь энергии в лопаточных венцах СА и РК.

С целью обеспечения приемлемых уширений в проточной части каждой ступени и уровней потерь энергии в венцах, при необходимости следует осуществить коррекцию значений ρ_2 и ρ_{CT} в соответствии с рекомендациями раздела 2 пособия [3] (или раздела 4 работы [4]) и повторить расчёт задачи Т-2.

2.2.3. Структура информации задачи Т-3

Исходными данными для расчёта параметров потока по радиусу являются данные детального термогазодинамического расчёта по среднему диаметру (выходная информация задачи Т-2). При выполнении курсовой работы параметры потока определяются на пяти диаметрах: D_{Π} , D_{CP} и D_{BT} , и ещё в двух дополнительных сечениях: $D_i' = 1/2(D_{CP} + D_{BT})$ и $D_i'' = 1/2(D_{\Pi} + D_{CP})$.

Таблица 13

Исходные данные к задаче Т-3

№ п/п	Наименование параметра	Обозначение параметра	Размерность
1		$D_{1\Pi}$	м
2		D_1''	м
3	Расчётные диаметры на входе в РК	D_{1CP}	м
4		D_1'	м
5		D_{1BT}	м
6	Угол потока на входе в РК в абсолютном движении на среднем радиусе	α_{1CP}	град
7	Коэффициент скорости СА на среднем радиусе	φ_{CP}	–
8	Полная температура на входе в ступень	T_0^*	К
9	Полное давление на входе в ступень	p_0^*	кПа
10	Окружная скорость на среднем радиусе на входе в РК	U_{1CP}	м/с
11	Индекс закона закрутки потока 1, если $\alpha_2 = \text{const}$ 0, если $L_{TU} = \text{const}$	W_4	–

Таблица 13 (окончание)

№ п/п	Наименование параметра	Обозначение параметра	Размерность
12		$D_{2П}$	м
13		D_2''	м
14	Расчётные диаметры на выходе из РК	$D_{2СР}$	м
15		D_2'	м
16		$D_{2ВТ}$	м
17	Окружная скорость на среднем радиусе на выходе из РК	$U_{2СР}$	м/с
18	Работа ступени на окружности РК*	$L_{ТУ}$	кДж/кг
19	Статическое давление на выходе из РК на среднем радиусе	$p_{2СР}$	кПа
20	Плотность потока на выходе из РК на среднем радиусе	$\rho_{2СР}$	кг/м ³
21	Коэффициент скорости РК на среднем радиусе	$\psi_{СР}$	–
22	Скорость потока на входе в РК в абсолютном движении на среднем радиусе	$C_{1СР}$	м/с
23	Угол выхода потока из РК на среднем радиусе	α_2	град

* При законе закрутки $\alpha_2 = \text{const}$ величина $L_{ТУ}$ задаётся равной нулю.

Выходные данные задачи Т-3

№ п/п	Наименование параметра	Обозначение параметра	Размерность
1	Абсолютная скорость за сопловым венцом	C_1	м/с
2	Осевая составляющая абсолютной скорости за сопловым венцом	C_{1a}	м/с
3	Окружная составляющая абсолютной скорости за сопловым венцом	C_{1U}	м/с
4	Приведенное значение изоэнтропической скорости за сопловым венцом в абсолютном движении	λ_{C1S}	–
5	Статическое давление за сопловым венцом	P_1	кПа
6	Плотность газа за СА	ρ_1	кг/м ³
7	Окружная скорость на входе в РК	u_1	м/с
8	Окружная составляющая скорости на входе в РК в относительном движении	W_{1U}	м/с
9	Угол входа потока в РК в относительном движении	β_1	град
10	Относительная скорость потока на входе в РК	\bar{W}_1	м/с
11	Приведенное значение относительной скорости потока на входе в РК	λ_{W1}	–
12	Окружная скорость на выходе из РК	u_2	м/с
13	Статическое давление на выходе из РК	P_2	кПа
14	Приведенное значение изоэнтропической скорости за РК в относительном движении	λ_{W2S}	–
15	Относительная скорость за РК	\bar{W}_2	м/с
16	Плотность газа за РК	ρ_2	кг/м ³

Таблица 14 (окончание)

№ п/п	Наименование параметра	Обозначение параметра	Размерность
17	Угол выхода потока из РК в относительном движении	β_2	град
18	Осевая составляющая относительной скорости за РК	W_{2a}	м/с
19	Абсолютная скорость на выходе из РК	C_2	м/с
20	Угол потока в абсолютном движении за РК	α_2	град
21	Приведенное значение абсолютной скорости за РК	λ_{c2}	–
22	Окружная составляющая абсолютной скорости за РК	C_{2v}	м/с
23	Окружная составляющая относительной скорости за РК	W_{2v}	м/с

Анализ результатов расчёта задачи Т-3 обязательно должен включать сравнение осевых составляющих скоростей $W_{2авт}$ и $C_{1авт}$.

В случае, когда $W_{2авт} \gg C_{1авт}$ (на 20 % и выше), следует использовать другой закон закрутки или провести коррекцию значений угла α_{2i} в соответствии с рекомендациями раздела 3 пособия [3] или раздела 5 пособия [4].

2.2.4. Структура информации задачи Т– 4

Исходная информация к задаче расчёта геометрических параметров профилей решетки на различных радиусах проточной части определяется по результатам решения задачи Т-3. Последовательность определения компонентов исходной информации подробно изложена в разделе 4 пособия [3] или раздела 6 пособия [4].

ВНИМАНИЕ! Для удобства построения профилей и контроля их в процессе производства лопаток за контрольные сечения принимаются развёртки на плоскость сечений лопаточного венца цилиндрическими поверхностями, соосными с осью РК. Положение этих сечений определяется расчётными диаметрами D_{li} на входе в венец.

Таблица 15

Исходные данные к задаче Т-4

№ п/п	Наименование параметра	Обозначение параметра	Размерность
1	Максимальная толщина профиля в периферийном сечении	$C_{тП}$	мм
2	Допустимая величина напряжений в пере лопатки	$[\sigma_x]$	МПа
3	Плотность материала лопатки	$\rho_{л}$	кг/м ³
4	Окружная скорость на среднем диаметре	$U_{ср}$	м/с
5	Втулочный диаметр на входе в РК	$D_{ВТ}$	м
6	Предварительное значение хорды профиля в периферийном сечении	$b_{П}$	мм
7	Значения диаметров в контрольных сечениях по радиусу проточной части ($i = ВТ... П$) на входе в РК	$D_{ВТ}$ D $D_{ср}$ D $D_{П}$	м
8	Угол потока на входе в РК в относительном движении в контрольных сечениях ($i = ВТ... П$)	β_{1i}	град
9	Угол выхода потока из РК в относительном движении в контрольных сечениях ($i = ВТ... П$)	β_{2i}	град
10	Шаг решётки профилей в контрольных сечениях ($i = ВТ... П$)	t_i	мм
11	Угол отгиба выходной кромки профиля в контрольных сечениях ($i = ВТ... П$)	δ_{Pi}	град

Таблица 16

Выходные данные задачи Т-4

№ п/п	Наименование параметра	Обозначение параметра	Размерность
1	Величина хорды профиля в каждом контрольном сечении ($i = BT... П$)	b_i	мм
2	Максимальная толщина профиля в каждом контрольном сечении ($i = BT... П$)	c_{mi}	мм
3	Величина «горла» канала в каждом контрольном сечении ($i = e_m... n$)	a_{ri}	мм
4	Ширина решётки профилей в каждом контрольном сечении ($i = BT... П$)	s_i	мм
5	Относительная величина удаления максимальной толщины профиля от входной кромки	x_{ci}	-
6	Радиус скругления входной кромки профиля в каждом контрольном сечении ($i = BT... П$)	r_{1i}	мм
7	Радиус скругления выходной кромки профиля в каждом контрольном сечении ($i = BT... П$)	r_{2i}	мм
8	Угол заострения входной кромки профиля в каждом контрольном сечении ($i = BT... П$)	ω_{1i}	рад
9	Угол заострения выходной кромки профиля в каждом контрольном сечении ($i = BT... П$)	ω_{2i}	рад

После определения вышеуказанных конструктивно – геометрических параметров осуществляется построение профилей лопаток в соответствии с рекомендациями раздела 4 пособия [3] или раздела 6 работы [4].

3. ОПИСАНИЕ ИНТЕРФЕЙСА ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ KOMPRESSOR И TURBINA

Описываемые программные комплексы, хотя работают независимо друг от друга, имеют аналогичные, выполненные по одной схеме, интерфейсы. Это позволило объединить описание способа общения с программами в одном общем разделе.

3.1. Запуск программы

Запуск описанных здесь программ происходит через обращение к файлам соответственно KOMPRESSOR.exe или TURBINA.exe любым способом, используемым в операционных системах Windows. Обычно на рабочем столе присутствуют ярлыки программ. В этом случае необходимо дважды щёлкнуть по ярлыку.

На экране появляется окно регистрации пользователя (рис. 1). Если это первое обращение к программе, то нужно войти в меню «Новый пользователь», чтобы осуществить регистрацию. Если расчёт возобновляется, то необходимо выбрать из списка свою фамилию, затем щёлкнуть по клавише «Вход». На рисунке 1 показан вход

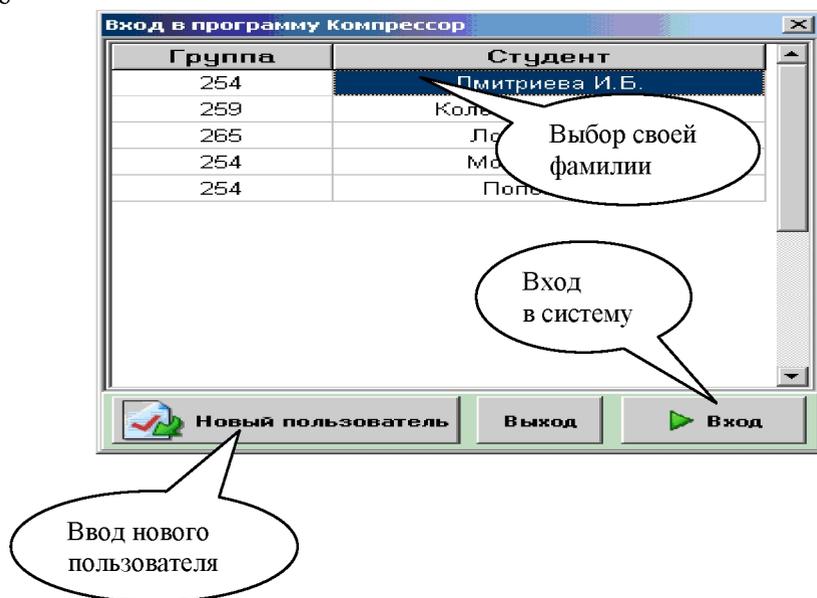


Рисунок 1 – Регистрация пользователя

3.2. Описание главного окна программы

Главное окно программы содержит (рис. 2, 3) главное меню, панель инструментов, панель для ввода данных, панель для просмотра результатов. На рисунке 2 приведено главное окно программы KOMPRESSPOR, на рисунке 3 – главное окно программы TURBINA

Главное меню содержит разделы: «Файл», «Режим расчёта», «Ввод исходных данных», «Расчёт», «Результаты расчёта», «Помощь».

Раздел главного меню «Файл» позволяет сохранять данные, настраивать печать и печатать результаты, выйти из программы.

Раздел главного меню «Режим работы» позволяет выбрать один из двух возможных режимов: курсовая работа, дипломный проект.

Раздел главного меню «Ввод исходных данных» позволяет вводить данные для выбранной задачи: К-1, К-2, К-3, К-4 для компрессора или Т-1, Т-2, Т-3, Т-4 для турбины.

Раздел главного меню «Расчёт» позволяет производить расчёт для выбранной задачи: К-1, К-2, К-3, К-4 или Т-1, Т-2, Т-3, Т-4.

Раздел главного меню «Результаты расчёта» позволяет просмотреть полученные в результате расчётов данные для каждой из задач К-1, К-2, К-3, К-4 или Т-1, Т-2, Т-3, Т-4, а также просмотреть графики некоторых зависимостей, рассчитанных в различных задачах.

Панель инструментов обеспечивает доступ к функциям, аналогичным содержащимся в главном меню: ввод исходных данных, расчёт и просмотр результатов по каждой задаче, включая просмотр графиков. В правой части панели инструментов находится окно подсказки, в котором высвечивается комментарий к пиктограмме, на которую указывает курсор.

Панель для ввода данных появляется при обращении к функции ввода данных по выбранной задаче (К-1, К-2, К-3, К-4 или

T-1, T-2, T-3, T-4). На этой же панели находится кнопка «Расчёт», с помощью которой осуществляется вызов расчёта данной задачи. Для различных задач эта кнопка находится в различных местах панели ввода данных. На панели ввода данных для K-1 эта кнопка находится сверху.

The screenshot shows the main window of the KOMPRESSOR program. It features a menu bar at the top with options like 'Файл', 'Режим работы', 'Ввод исходных данных', 'Расчет', 'Результаты расчета', and 'Помощь'. Below the menu is a toolbar with various icons. The main area is divided into two panels: 'K1 Ввод исходных данных' (Input of initial data) on the left and 'Результаты расчета K1' (Calculation results K1) on the right. The left panel contains input fields for parameters like $\rho_{вх}^*$, $T_{вх}^*$, z , κ_k , and σ , along with a 'Расчет' button and a table for 'Начальные значения КПД' (Initial efficiency values). The right panel displays a table of calculation results.

z	i_1^*	T_1^*	$\kappa_{ст}$	$H_{ст}^*$	$\eta_{ст}$	ρ_1^*	ρ_2^*
1	288.5376	288.0000	1.3697	26.8894	0.8963	101.3300	140.1862
2	318.5376	318.2356	1.3533	29.0049	0.9064	138.7943	189.7249
3	350.5376	349.9028	1.3403	30.8240	0.9066	187.8276	254.2920
4	384.5376	383.4248	1.3081	30.8430	0.9071	251.7491	332.6284
5	418.5376	416.8061	1.2816	30.8617	0.9077	329.3021	426.2815
6	452.5376	450.0354	1.2482	29.6494	0.8985	422.0187	532.0966
	485.5376	482.1326				526.7756	

Рисунок 2 – Главное окно программы KOMPRESSOR

Термогазодинамическое проектирование осевых многоступенчатых компрессорных машин (Турбина)

Файл Редактирование Ввод исходных данных Расчет Результаты расчета Помощь

Т1 Ввод исходных данных

Расчет

ρ_r^* 2000 r_r^* 1400 z 2
 G_r 63.5 $\delta_{рк}$ 0.96 η_1^* 0.91
 α 4 U_{cp} 270 ϕ 0.99

D_{0cp} 0.6 H_{003} 0.05 G_{0T} 0.95 L^* 110
 0.5 0.05 0.99 100
 0.5 0.07

Результаты расчета Т1

z	$C_{z\text{ст}}^*$	$U_{cp\text{ст}}$	$Y_{ст}^*$	$C_{z\alpha}^*$	ρ_{cp}	$D/H_{л}$	$\rho_{вт}$
1	491,6229	270,0000	0,5492	0,5760	0,3449	10,0000	0,2296
2	468,7440	270,0000	0,5760	0,6107	0,4060	8,5714	0,2918

z	I_o^*	P_o^*	P_o	T_o^*	α_o	$F_{оос}$	λ_o
1	1551,1774	2000,0000	1953,3689	1400,000	90,0116	0,0942	0,2030
2	1441,1774	1464,6644	1414,742	1311,027	75,0001	0,1131	0,2460
3	1341,1774	1082,8751	1038,8369	1229,362	75,0001	0,1319	0,2690

Рисунок 3 – Главное окно программы TURBINA

Панель для просмотра результатов содержит данные, полученные в результате расчёта данной задачи. Если сама панель отсутствовала в главном окне, то она появляется вместе с данными, как только осуществится расчёт. Эта панель содержит только текстовые данные.

Некоторые результаты расчёта могут быть представлены в виде графиков.

Для просмотра графиков необходимо выполнить команду

Главное меню ⇒ Результаты расчёта ⇒ Графики

или вызвать просмотр графиков на панели инструментов. В появившемся окне (рис. 4) находится список всех зависимостей, которые могут быть представлены графически в данном программном комплексе – КОМПРЕССОР или ТУРБИНА. Для каждой зависимости указано, по результатам какой задачи она строится. Выбрать для просмотра можно график только той задачи, расчёт для которой уже произведён. Показанный график можно вывести на печать с помощью соответствующей кнопки.

3.3. ЗАВЕРШЕНИЕ ПРОГРАММЫ

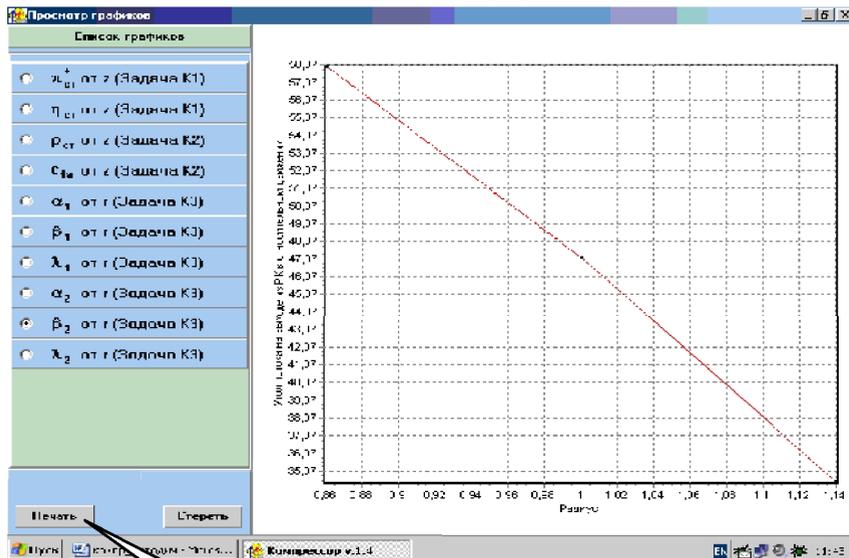
Для завершения программы необходимо выполнить команду

Главное меню ⇒ Файл ⇒ Выход

или нажать кнопку «Выход» на панели инструментов. Можно также закрыть программу, закрыв главное окно программы (нажав на крестик в правом верхнем углу главного окна).

Необязательно, однажды начав выполнять программу, сразу выполнять все четыре задачи. Если, например, известны не все исходные данные для некоторой задачи, можно ввести известные данные по задаче и завершить сеанс работы. Все введённые исходные данные хранятся в базе данных неограниченное время. Возобновляя работу с системой, надо ввести недостающие данные и осуществить расчёт.

Данные, полученные в результате расчёта любой из задач, сохраняются только на время сеанса работы с программой и пропадают при выходе из неё. Для их восстановления при повторном входе в программу надо запустить расчёт соответствующей задачи.



Печать
графиков

Рисунок 4 – Пример вывода графика

4. ОПИСАНИЕ РАБОТЫ ПРОГРАММЫ

4.1. Ввод исходных данных и выполнение расчёта

После регистрации (см. п. 3.1) пользователю становится доступным ввод данных по задаче К-1 или Т-1. Исходные данные вводятся в соответствии с пунктами 1.2.1 или 2.2.1 настоящего пособия в панели ввода исходных данных (см. рис. 2). Для задач К-1, К-2, Т-1, задавая некоторые параметры, необходимо вводить не одно число, а массив чисел, по количеству ступеней лопаточной машины. Это, например, «Затраченный напор» и «Начальные значения КПД» для задачи К-1. В этом случае необходимо сначала задать количество ступеней, чтобы на панели образовалось необходимое количество окон для ввода этого параметра, соответствующее введённому числу ступеней.

Для осуществления расчёта необходимо нажать клавишу «Расчёт».

Ввод данных для других задач осуществляется аналогичным образом.

Для некоторых задач, как, например, для задачи К-2, надо вводить очень большое количество параметров, которое невозможно разместить на одной панели. Тогда панель для ввода исходных данных для этой задачи будет содержать несколько закладок с именами «Лист 1», «Лист 2» и т.д. И в этом случае сначала надо ввести число ступеней. Количество окон на закладках для ввода данных изменится и станет равным введённому числу z .

После ввода всех параметров на всех листах для выполнения расчёта по задаче нажать клавишу «Расчёт».

4.2. Просмотр результатов расчёта

По завершении расчёта панель «Результаты расчёта» заполняется табличными данными. Для получения твёрдой копии табличных результатов необходимо выполнить команду

Главное меню ⇒ Файл ⇒ Печать.

Просмотр графиков происходит по команде

Главное меню ⇒ Результаты расчёта ⇒ Графики.

Затем необходимо указать, какой именно график надо просмотреть. Во время просмотра графика его можно распечатать, нажав на панели просмотра графиков кнопку «Печать».

Просмотр результатов по всем задачам осуществляется аналогично. Если в задаче имеется значительное количество выходных данных, они располагаются на нескольких закладках.

Контрольные примеры расчёта для четырёх задач по компрессору приведены в приложении 1, по турбине – в приложении 2.

5. УЧЕБНЫЕ ЗАДАНИЯ

Контрольные вопросы по проектированию компрессора

1. Объясните распределение КПД по ступеням КВД.
2. Объясните распределение удельной работы по степеням КВД.
3. Объясните распределение осевой составляющей скорости потока по ступеням КВД.
4. Объясните изменение высоты лопаток вдоль проточной части КВД.
5. Объясните изменение лопаточного угла $\beta_{1л}$ по высоте рабочей лопатки компрессора.
6. Объясните изменение скорости λ_{w1} по высоте рабочей лопатки компрессора.
7. Объясните изменение угла $\Delta\beta = \beta_2 - \beta_1$ по высоте рабочей лопатки компрессора.
8. Объясните изменение p_1 по высоте рабочей лопатки компрессора.

9. Объясните изменение T_1 по высоте рабочей лопатки компрессора.
10. Объясните изменение p_2 по высоте рабочей лопатки компрессора.
11. Объясните изменение T_2 по высоте рабочей лопатки компрессора.
12. Объясните изменение степени реактивности по радиусу ступени компрессора.

Контрольные вопросы по проектированию турбины

1. Объясните распределение удельной работы по ступеням турбины.
2. Объясните распределение осевой составляющей скорости потока по ступеням турбины.
3. Объясните распределение КПД по ступеням турбины.
4. Объясните распределение степени реактивности по ступеням турбины.
5. Объясните изменение высоты лопаток вдоль проточной части ТВД и ТНД.
6. Объясните изменение лопаточного угла $\beta_{1л}$ по высоте рабочей лопатки турбины.
7. Объясните изменение скорости λ_{w1} по высоте рабочей лопатки турбины.
8. Объясните изменение угла $\Delta\beta = 180^\circ - (\beta_1 + \beta_2)$ по высоте рабочей лопатки турбины.
9. Объясните изменение p_1 по высоте рабочей лопатки турбины.
10. Объясните изменение p_2 по высоте рабочей лопатки турбины.
11. Объясните изменение степени реактивности по радиусу ступени турбины.

12. За счёт каких параметров при проектировании ступени турбины возможно обеспечить уменьшение угла потока на выходе из соплового аппарата.

Задания на проектирование

1. Выполните расчёт компрессорной ступени с закруткой по закону постоянной циркуляции и проведите анализ изменения параметров потока по высоте рабочей лопатки.
2. Выполните расчёт компрессорной ступени с закруткой по закону твёрдого тела и проведите анализ изменения параметров потока по высоте рабочей лопатки.
3. Выполните расчёт компрессорной ступени с закруткой по закону постоянной степени реактивности и проведите анализ изменения параметров потока по высоте рабочей лопатки.
4. Выполните расчёт турбинной ступени с закруткой по закону $\alpha_1 = \text{const}$ и $\alpha_2 = \text{const}$. Проведите анализ изменения параметров потока по высоте рабочей лопатки.
5. Выполните расчёт турбинной ступени с закруткой по закону $L_{TU} = \text{const}$. Проведите анализ изменения параметров потока по высоте рабочей лопатки.
6. За счёт перераспределения удельной работы по ступеням обеспечьте выход потока из последней ступени в осевом направлении на среднем диаметре ($\alpha_{2CP} \approx 90^\circ$).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Стенькин Е.С., Юрин А.В.* Выбор основных параметров и газодинамический расчёт осевого многоступенчатого компрессора авиационных газотурбинных двигателей: Учебное пособие.- Куйбышев: КуАИ, 1984. – 88 с.
2. *Тихонов Н.Т., Мусаткин Н.Ф., Кузьмичёв В.С.* Газодинамическое проектирование компрессоров ТРДД с элементом газодинамического расчёта двигателя: Учебное пособие. – Самара: СГАУ, 1997. – 52 с.
3. *Мамаев В.И., Мусаткин Н.Ф., Аронов Б.М.* Газодинамическое проектирование осевых турбин авиационных ГТД. - Куйбышев: КуАИ, 1984. – 70 с.
4. *Белоусов А.Н., Мусаткин Н.Ф., Радько В.М., Кузьмичёв В.С.* Проектный термогазодинамический расчёт основных параметров авиационных лопаточных машин: Учебное пособие. – Самара: СГАУ, 2006. – 316 с.

ГЛОССАРИЙ

Лопаточная машина – устройство, в проточной части которого осуществляется подвод (или отвод) механической энергии к потоку рабочего тела, проходящего через машину. Это взаимодействие с потоком рабочего тела осуществляется системой вращающихся и неподвижных лопаток специальной формы.

Лопатка – основной элемент лопаточной машины, взаимодействующий с потоком рабочего тела.

Лопаточный венец – совокупность лопаток, расположенных в неподвижном корпусе или на вращающемся диске.

Лопаточный компрессор (компрессор) – лопаточная машина, в проточной части которой осуществляется подвод механической энергии к потоку рабочего тела.

Турбина – лопаточная машина, в проточной части которой осуществляется отвод механической энергии от потока рабочего тела (потоком рабочего тела совершается механическая работа).

Рабочее колесо – вращающийся лопаточный венец.

Направляющий аппарат – неподвижный лопаточный венец в компрессоре.

Сопловой аппарат – неподвижный лопаточный венец в турбине.

Ступень компрессора – совокупность рабочего колеса и расположенного за ним направляющего аппарата.

Ступень турбины – совокупность соплового аппарата и расположенного за ним рабочего колеса.

Ротор лопаточной машины – совокупность всех рабочих колёс в проточной части лопаточной машины.

Статор компрессора – совокупность всех направляющих аппаратов в проточной части компрессора.

Статор турбины – совокупность всех сопловых аппаратов в проточной части турбины.

Каскад лопаточной машины – совокупность ступеней лопаточной машины, рабочие колёса которых установлены на одном роторе.

Профиль лопатки – контур, получающийся при пересечении пера лопатки секущей поверхностью.

Средняя линия профиля – геометрическое место центров окружностей, вписанных в профиль.

Спинка – выпуклая часть профиля лопатки.

Корытце – вогнутая часть профиля лопатки.

Входная кромка – входная часть профиля, выполненная дугой окружности.

Выходная кромка – выходная часть профиля, выполненная дугой окружности.

Хорда профиля – расстояние между крайними точками средней линии профиля.

Угол изгиба средней линии профиля – угол между касательными к средней линии профиля, проведёнными в точках её пересечения с профилем лопатки.

Максимальная толщина профиля – максимальный диаметр окружности, вписанной в профиль лопатки.

Максимальный прогиб средней линии профиля – наибольшее расстояние между средней линией профиля и линией, касательной входной и выходной кромок профиля.

Удельная механическая работа компрессора – работа, совершаемая в компрессоре над каждой единицей массы рабочего тела.

Удельная механическая работа турбины – работа, совершаемая в турбине каждой единицей массы рабочего тела.

Приложение 1

ПРИМЕР РАСЧЁТА ДЛЯ КОМПРЕССОРА

Термогазодинамическое проектирование осевых многоступенчатых лопаточных машин

Кафедра теории двигателей летательных аппаратов

Морозов И.И.

Гр. 254

11.10.2005 10:02:03

Расчет параметров потока между ступенями (К1)

Исходные данные

$p_{вх}^* = 101,33$

$T_{вх}^* = 288$

$\pi_k^* = 5,2$

$\sigma = 0,99$

$z = 6$

Затраченный напор по ступеням

z	1	2	3	4	5	6
H	30	32	34	34	34	33

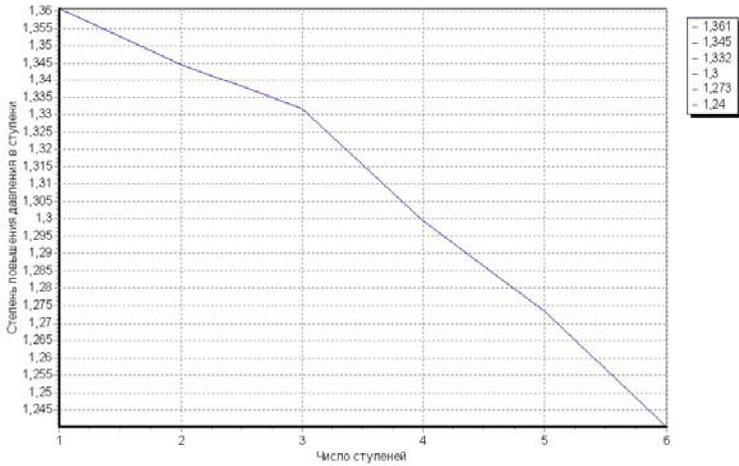
Начальные значения КПД

0,89	0,9	0,9	0,9	0,9	0,89
------	-----	-----	-----	-----	------

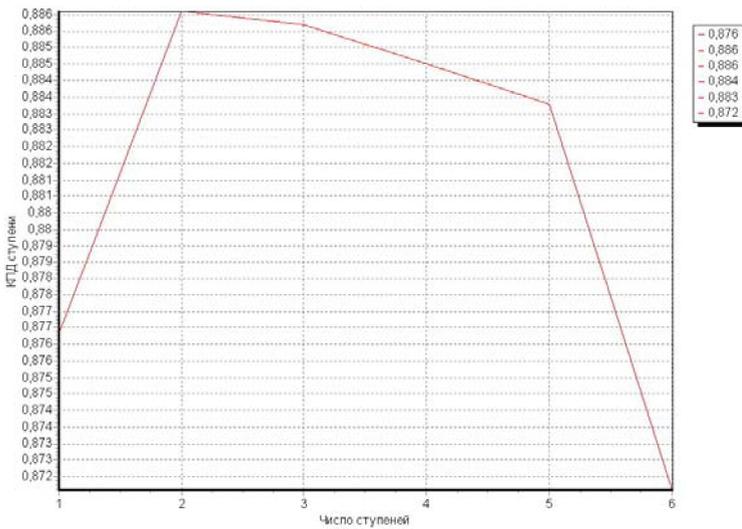
Результаты расчета

z	i_1^*	T_1^*	$\pi_{ст}^*$	H_s^*	$\eta_{ст}$	p_1^*	p_2^*
1	288,5376	288,0000	1,3697	26,8894	0,8963	101,3300	140,1962
2	318,5376	318,2356	1,3533	29,0049	0,9064	138,7943	189,7249
3	350,5376	349,9028	1,3403	30,8240	0,9066	187,8276	254,2920
4	384,5376	383,4248	1,3081	30,8430	0,9071	251,7491	332,6284
5	418,5376	416,8061	1,2816	30,8617	0,9077	329,3021	426,2815
6	452,5376	450,0354	1,2482	29,6494	0,8985	422,0187	532,0966
	485,5376	482,1326				526,7756	

Графики построенные по результатам расчета задачи К1



а)



б)

Рисунок ПП.1 – Распределение по ступеням компрессора:

а) – степени повышения давления;

б) – КПД

Термогазодинамическое проектирование осевых многоступенчатых лопаточных машин
Кафедра теории двигателей летательных аппаратов

Морозов И.И.

Гр. 254

11.10.2005 10:04:55

Расчет параметров потока на среднем диаметре ступеней компрессора (K2)

На входе

z	u_1	c_{1u}	c_1	w_{1u}	w_1	\bar{H}_T	f_1	λ_1	λ_{1w}	T_{1w}^*	α_1	β_1
1	376,2386	111,0258	228,7504	265,2128	332,1714	0,2098	0,3138	0,7366	1,0197	316,8612	60,9641	37,0204
2	376,2386	127,2064	237,0263	249,0322	319,4011	0,2238	0,2613	0,7261	0,9452	341,0038	57,5423	38,7683
3	376,2386	143,3871	238,0333	232,8516	300,5326	0,2378	0,2108	0,6954	0,8577	366,6463	52,9593	39,2134
4	376,2386	143,3871	230,1301	232,8516	294,3125	0,2378	0,1762	0,6422	0,8040	400,1463	51,4594	37,7049
5	376,2386	143,3871	222,3957	232,8516	288,3051	0,2378	0,1510	0,5953	0,7566	433,5463	49,8539	36,1324
6	376,2386	144,7027	215,7287	231,5359	281,4407	0,2308	0,1325	0,5557	0,7122	466,2537	47,8741	34,6459
							0,1138					

На выходе

z	u_2	c_{2u}	c_{2a}	w_{2u}	λ_2	α_2	β_2	$\Delta\alpha$	$\Delta\beta$
1	376,2386	191,5462	200,0000	184,6925	0,8483	46,2369	47,2787	11,3054	10,2583
2	376,2386	213,0948	195,0000	163,1438	0,8488	42,4612	50,0830	10,4981	11,3147
3	376,2386	234,6434	185,0000	141,5962	0,8339	38,2533	52,5703	13,2060	13,3569
4	376,2386	234,6434	175,0000	141,5962	0,7835	36,7160	51,0231	13,1379	13,3182
5	376,2386	234,6434	165,0000	141,5962	0,7389	35,1147	49,3854	12,7594	13,2330
6	376,2386	233,2751	155,0000	142,9636	0,6970	33,8021	47,3132	56,3979	12,6673

Термодинамическое проектирование осевых многоступенчатых лопаточных машин
Кафедра теории двигателей летательных аппаратов

Морозов И.И.

Гр. 254

11.10.2006 10:09:00

Расчет параметров потока по высоте лопатки (КЗ)

Исходные данные

$$\bar{H}_T = 0,214$$

$$\rho_{ст} = 0,6$$

Закон закрутки: $Ro = const$ *Вход в РК*

$$T_1^* = 288 \quad u_{1cp} = 376,2 \quad c_{1усп} = 111 \quad c_{1acp} = 200 \quad d_{1пер} = 0,924 \quad d_{1cp} = 0,8 \quad d_{1кр} = 0,676$$

Выход из РК

$$T_2^* = 318,2 \quad u_{2cp} = 376,2 \quad c_{2acp} = 200 \quad d_{2пер} = 0,912 \quad d_{2cp} = 0,8 \quad d_{2кр} = 0,688$$

Результаты расчета

	<i>Вход</i>			<i>Выход</i>			
	<i>Диаметр</i>			<i>Диаметр</i>			
	<i>Периферийный</i>	<i>Средний</i>	<i>Втулочный</i>	<i>Периферийный</i>	<i>Средний</i>	<i>Втулочный</i>	
\bar{r}_1	1,1550	1,0000	0,8450	\bar{r}_2	1,1400	1,0000	0,8600
c_{1a}	168,4161	200,0000	221,0672	c_{2a}	162,6020	200,0000	235,4728
c_{1u}	138,9530	110,2266	79,5184	c_{2u}	206,8572	190,7334	176,2191
c_1	218,3390	228,3635	234,9338	c_2	256,9956	276,3679	294,1099
u_1	484,5110	376,2000	317,8890	u_2	428,8680	376,2000	323,5320
w_{1u}	295,5580	265,9734	238,3706	w_{2u}	222,0108	185,4666	147,3129
w_1	340,1743	332,7790	325,1019	w_2	269,3430	272,7597	277,7563
α_1	50,4754	61,1394	70,2162	α_2	36,3989	46,3586	53,1902
β_1	29,6755	36,9415	42,8431	β_2	34,4857	47,1592	57,9687
λ_{1w}	1,0361	1,0211	1,0039	λ_{2w}	0,7873	0,8486	0,9010
T_{1w}^*	321,8540	317,1502	313,1231	$\Delta\beta$	4,8101	10,2177	15,1266

Термогазодинамическое проектирование осевых многоступенчатых лопаточных машин
Кафедра теории двигателей летательных аппаратов

Морозов И.И.

Гр. 254

11.10.2005 10:11:11

Исходные данные и результаты расчета задачи К4

Исходные данные

PR = 1	PF = 1				
<i>Втулочное сечение</i>					
$\beta = 15,12$	$\beta_2 = 58$	$i = 1$	$h/t = 1$	$b_m = 0,041$	$\bar{C}_m = 0,04$
<i>Среднее сечение</i>					
$\Delta \beta = 10,2$	$\beta_2 = 47,2$	$i = 0,5$	$h/t = 0,87$	$b_m = 0,036$	$\bar{C}_m = 0,035$
<i>Периферийное сечение</i>					
$\Delta \beta = 4,8$	$\beta_2 = 34,5$	$i = 0$	$h/t = 0,73$	$b_m = 0,028$	$\bar{C}_m = 0,03$

Результаты расчета

<i>Диаметр</i>	θ	δ	$\beta_{1л}$	$\beta_{2л}$	b			
<i>Втулочный</i>	20,0000	53,8800	43,8800	63,8800	0,0508			
<i>Средний</i>	14,6605	44,8303	37,5000	52,1605	0,0511			
<i>Периферийный</i>	7,9882	33,6941	29,7000	37,6882	0,0505			
<i>Хст</i>	<i>Ус ст</i>	<i>Ун ст</i>	<i>Хср</i>	<i>Ус ср</i>	<i>Ун ср</i>	<i>Хпер</i>	<i>Ус пер</i>	<i>Ун пер</i>
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0010	0,0005	-0,0002	0,0010	0,0005	-0,0002	0,0010	0,0003	-0,0002
0,0025	0,0010	-0,0001	0,0026	0,0008	-0,0002	0,0025	0,0006	-0,0002
0,0051	0,0015	0,0001	0,0051	0,0012	0,0000	0,0050	0,0008	-0,0002
0,0076	0,0020	0,0003	0,0077	0,0016	0,0001	0,0076	0,0011	-0,0002
0,0102	0,0023	0,0005	0,0102	0,0018	0,0003	0,0101	0,0012	-0,0001
0,0152	0,0029	0,0009	0,0153	0,0022	0,0005	0,0151	0,0015	0,0000
0,0208	0,0032	0,0011	0,0204	0,0025	0,0007	0,0202	0,0016	0,0001
0,0254	0,0032	0,0013	0,0255	0,0025	0,0008	0,0252	0,0016	0,0001
0,0305	0,0031	0,0012	0,0306	0,0024	0,0008	0,0303	0,0015	0,0002
0,0355	0,0027	0,0011	0,0357	0,0021	0,0007	0,0353	0,0013	0,0001
0,0406	0,0020	0,0008	0,0409	0,0016	0,0005	0,0404	0,0010	0,0001
0,0431	0,0016	0,0006	0,0434	0,0013	0,0004	0,0429	0,0008	0,0001
0,0457	0,0012	0,0004	0,0460	0,0009	0,0003	0,0454	0,0006	0,0000
0,0482	0,0007	0,0002	0,0485	0,0005	0,0001	0,0479	0,0004	0,0000
0,0508	0,0001	-0,0001	0,0511	0,0001	-0,0001	0,0505	0,0001	-0,0001

ПРИМЕР РАСЧЁТА ДЛЯ ТУРБИНЫ

Курсовое проектирование по дисциплине "Теория и расчет лопаточных машин"

Кафедра "Теория двигателей летательных аппаратов"

Группа 254 студент Морозов И.И.

Дата: 11 ноября 2006

Время: 13:09:17

Термогазодинамическое проектирование
осевых многоступенчатых
лопаточных машин

Расчет параметров потока между ступенями турбины
(Задача Т1)

Исходные данные

$Z = 2$	$G_T = 63,50$	$T_{T^*} = 1400,00$
$P_{T^*} = 2000$	$\alpha = 4,00$	$\eta_{T^*} = 0,9100$
$U_{cp} = 270$	$\delta_{pk} = 0,98$	$\varphi = 0,9900$

№ ст.	$D_{o\text{ ср}}$	$H_{o\text{ са}}$	G(OT)	L^*
1	0,6000	0,0500	0,9500	110,0000
2	0,6000	0,0600	0,9800	100,0000
3	0,6000	0,0700		

Результаты расчета

№ ст.	$C_{\text{ст}}^*$	$U_{\text{сп ст}}$	$Y_{\text{ст}}^*$	C_{2a}	$\rho_{\text{сп}}$	$D/H_{\text{п}}$	$\rho_{\text{вт}}$
1	491,6229	270,0000	0,5492	0,5768	0,3449	10,0000	0,2296
2	468,7440	270,0000	0,5760	0,6107	0,4060	8,5714	0,2918

№ ст.	I_o^*	P_o^*	P_o	T_o^*	α_o	$F_{o \text{ ос}}$	λ_o
1	1551,1774	2000,0000	1953,3689	1400,000	90,0116	0,0942	0,2030
2	1441,1774	1464,6844	1414,7424	1311,027	75,0001	0,1131	0,2460
3	1341,1774	1082,8751	1038,8369	1229,362	75,0001	0,1319	0,2690

**Курсовое проектирование по дисциплине
"Теория и расчет лопаточных машин"**

Кафедра "Теория двигателей летательных аппаратов"

Группа 254 студент Морозов И.И.

Дата: 11 ноября 2006

Время: 13:09:17

**Термогазодинамическое проектирование
осевых многоступенчатых
лопаточных машин**

*Расчет ступеней турбины по среднему диаметру
(Задача Т2)*

Исходные данные

$P_o^* = 833,2300$	$L_{ст} = 166,3000$	$F_{1ос} = 0,2380$	$\square = 0,9600$
$P_o = 800,0000$	$\rho_{сп}^* = 0,3200$	$\alpha_0 = 90,0000$	$F_{2ос} = 0,2680$
$T_o^* = 1205,0000$	$\eta_{ст} = 0,8950$	$D_{1сп} = 0,8850$	$S_{рк\ сп} = 40,000$
$P_2^* = 470,3000$	$\varphi = 0,9700$	$U_{1сп} = 374,000$	$D_{2сп} = 0,8920$
$T_2^* = 1066,5000$	$G_1 = 75,5650$	Бандажа нет	$U_{2сп} = 380,00$
$P_2 = 443,2000$	$S_{са\ сп} = 54,000$		

Количество гребешков = 3

$D_{1т} = 0,9850$ $D_{2т} = 0,9880$ $h_n = 0,0900$ $\square_{зав} = 0,7000$

Результаты расчета

СА

$\alpha_1 = 23,4105$	$\sigma_{са} = 0,9818$	$\gamma_{са} = 40,9294$	$t_1 = 68,3490$
$\lambda_{с1s} = 0,8078$	$\delta_{a1} = 0,5610$	$b_{са} = 82,4266$	$a_1 = 26,3324$
$\varphi = 0,9774$	$\alpha_{1зф} = 22,8495$	$z = 41$	
$P_1 = 556,8238$	$t_1 = 1102,9550$	$C_{1u} = 455,2385$	$W_1 = 213,184$
$C_1 = 496,07$	$\rho_1 = 1,7505$	$W_{1u} = 81,2385$	$\lambda_{w1} = 0,3516$
$i_1 = 283,6882$	$C_{1a} = 197,0987$	$\beta_1 = 67,5999$	$P_{w1}^* = 598,1745$

PK

$W_{2s} = 399,2233$	$\sigma_{PK} = 0,9845$	$\beta_2 = 34,0521$	$\beta_{2\text{эф}} = 31,0154$
$\lambda_{w2s} = 0,6584$	$\lambda_{w2} = 0,6386$	$\gamma_{PK} = 54,4329$	$z_{PK} = 78$
$G_2 = 75,5650$	$\delta_{\beta 2} = 3,0367$	$\beta_{PK} = 49,1742$	$t_2 = 68,3490$
$\psi = 0,9703$			
$W_2 = 387,3806$	$a_2 = 35,2181$	$C_{2u} = -59,0440$	$\alpha_2 = 105,2275$
$i_2 = 1136,7049$	$W_{2a} = 216,9123$	$C_2 = 224,8047$	$i_2^* = 1161,9735$
$\rho_2 = 1,4507$	$W_{2u} = 320,9560$		

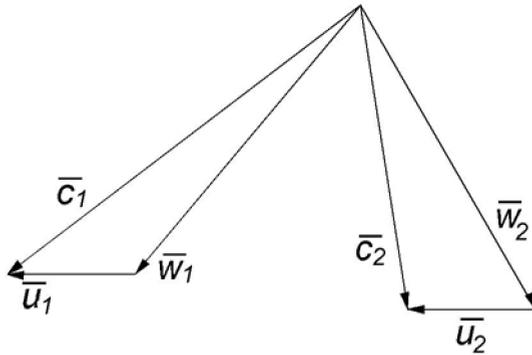


Рисунок П2.1 – План скоростей на среднем диаметре

**Курсовое проектирование по дисциплине
"Теория и расчет лопаточных машин"**

Кафедра "Теория двигателей летательных аппаратов"

Группа 254 студент Морозов И.И.

Дата: 11 ноября 2006

Время: 13:09:17

**Термогазодинамическое проектирование
осевых многоступенчатых
лопаточных машин**

*Расчет параметров газового потока по различным радиусам
проточной части турбины
(Задача ТЗ)*

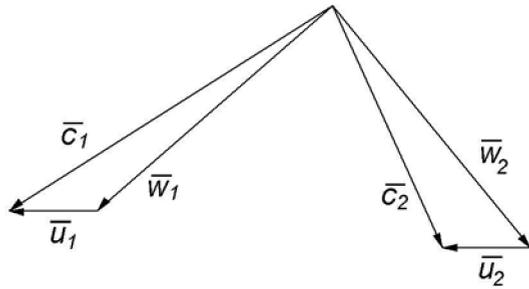
Исходные данные

$D_{\text{нпер}} = 0,6560$	$\alpha_{\text{ср}} = 15,3400$	$D_{2\text{нпер}} = 0,6600$	$U_{2\text{ср}} = 270,0000$
$D''_1 = 0,6280$	$\varphi = 0,9900$	$D''_2 = 0,6300$	$L_{\text{TU}} = 110,0000$
$D_{\text{кр}} = 0,6000$	$T_o^* = 1410,0000$	$D_{2\text{ср}} = 0,6000$	$P_{2\text{ср}} = 1445,0000$
$D'_1 = 0,5720$	$P_o^* = 2000,0000$	$D'_2 = 0,5700$	$\rho_{2\text{ср}} = 3,8000$
$D_{\text{ввт}} = 0,5440$	$U_{\text{кр}} = 270,0000$	$D_{2\text{вт}} = 0,5400$	$\psi = 0,9700$
$C_{\text{кр}} = 382,5000$	$\alpha_2 = 95,0000$		

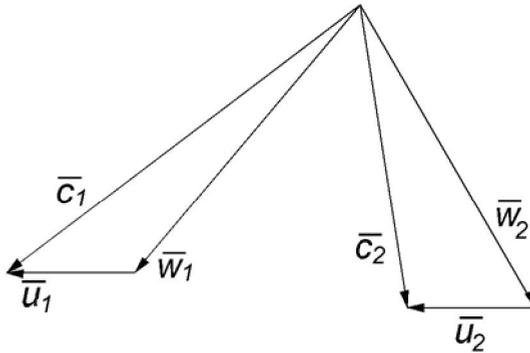
Закон закрутки $\alpha_2 = \text{const}$ ($W4 = 1$)

Результаты расчета

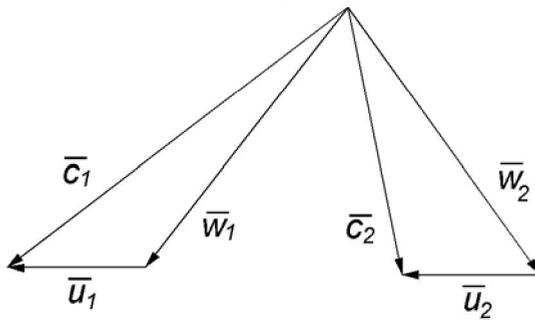
$D'_1 = 65,6000$				
$C_1 = 352,6210$	$U_1 = 295,2000$	$P_2 = 1445,0000$	$C_2 = 124,8304$	
$C_{1a} = 93,2846$	$W_{1U} = 44,8581$	$\lambda_{w2s} = 0,4811$	$\alpha_2 = 95,0000$	
$C_{1u} = 340,0581$	$\beta_1 = 64,3183$	$W_2 = 311,9760$	$\lambda_{e2} = 0,1890$	
$\lambda_{c1s} = 0,5241$	$W_1 = 103,5098$	$\rho_2 = 3,7948$	$C_{2u} = -10,8798$	
$p_1 = 1705,0186$	$\lambda_{wl} = 0,1548$	$\beta_2 = 23,4910$	$W_{2u} = 286,1202$	
$\rho_1 = 4,3622$	$U_2 = 297,0000$	$W_{2a} = 124,3554$		
$D'_1 = 62,8000$				
$C_1 = 366,9238$	$U_1 = 282,6000$	$P_2 = 1445,0000$	$C_2 = 130,7643$	
$C_{1a} = 97,0684$	$W_{1U} = 71,2514$	$\lambda_{w2s} = 0,4657$	$\alpha_2 = 95,0000$	
$C_{1u} = 353,8514$	$\beta_1 = 53,7201$	$W_2 = 301,6778$	$\lambda_{e2} = 0,1980$	
$\lambda_{c1s} = 0,5453$	$W_1 = 120,4120$	$\rho_2 = 3,7950$	$C_{2u} = -11,3969$	
$p_1 = 1682,2199$	$\lambda_{wl} = 0,1803$	$\beta_2 = 25,5823$	$W_{2u} = 272,1031$	
$\rho_1 = 4,3170$	$U_2 = 283,5000$	$W_{2a} = 130,2667$		
$D'_1 = 60,0000$				
$C_1 = 382,5000$	$U_1 = 270,0000$	$P_2 = 1445,0000$	$C_2 = 135,9793$	
$C_{1a} = 101,1890$	$W_{1U} = 98,8726$	$\lambda_{w2s} = 0,4504$	$\alpha_2 = 95,0000$	
$C_{1u} = 368,8726$	$\beta_1 = 45,6633$	$W_2 = 291,5314$	$\lambda_{e2} = 0,2058$	
$\lambda_{c1s} = 0,5685$	$W_1 = 141,4744$	$\rho_2 = 3,7951$	$C_{2u} = -11,8515$	
$p_1 = 1656,6445$	$\lambda_{wl} = 0,2120$	$\beta_2 = 27,6880$	$W_{2u} = 258,1485$	
$\rho_1 = 4,2662$	$U_2 = 270,0000$	$W_{2a} = 135,4618$		
$D'_1 = 57,2000$				
$C_1 = 399,5305$	$U_1 = 257,4000$	$P_2 = 1445,0000$	$C_2 = 140,5791$	
$C_{1a} = 105,6944$	$W_{1U} = 127,8964$	$\lambda_{w2s} = 0,4354$	$\alpha_2 = 95,0000$	
$C_{1u} = 385,2964$	$\beta_1 = 39,5705$	$W_2 = 281,5480$	$\lambda_{e2} = 0,2128$	
$\lambda_{c1s} = 0,5938$	$W_1 = 165,9181$	$\rho_2 = 3,7952$	$C_{2u} = -12,2524$	
$p_1 = 1627,8302$	$\lambda_{wl} = 0,2489$	$\beta_2 = 29,8286$	$W_{2u} = 244,2476$	
$\rho_1 = 4,2088$	$U_2 = 256,5000$	$W_{2a} = 140,0441$		
$D'_1 = 54,4000$				
$C_1 = 418,2329$	$U_1 = 244,8000$	$P_2 = 1445,0000$	$C_2 = 144,6330$	
$C_{1a} = 110,6420$	$W_{1U} = 158,5325$	$\lambda_{w2s} = 0,4205$	$\alpha_2 = 95,0000$	
$C_{1u} = 403,3325$	$\beta_1 = 34,9117$	$W_2 = 271,7376$	$\lambda_{e2} = 0,2189$	
$\lambda_{c1s} = 0,6216$	$W_1 = 193,3242$	$\rho_2 = 3,7953$	$C_{2u} = -12,6057$	
$p_1 = 1595,2174$	$\lambda_{wl} = 0,2902$	$\beta_2 = 32,0208$	$W_{2u} = 230,3943$	
$\rho_1 = 4,1436$	$U_2 = 243,0000$	$W_{2a} = 144,0826$		



a)



б)



в)

Рисунок П2.2 – Планы скоростей на:
 а) втулочном диаметре;
 б) среднем диаметре;
 в) периферийном диаметре

**Курсовое проектирование по дисциплине
"Теория и расчет лопаточных машин"**

Кафедра "Теория двигателей летательных аппаратов"

Группа 254 студент Морозов И.И.

Дата: 11 ноября 2006

Время: 13:09:17

**Термогазодинамическое проектирование
осевых многоступенчатых
лопаточных машин**

*Расчет значений геометрических параметров
профилей рабочей лопатки
(Задача Т4)*

Исходные данные

$$\begin{array}{lll}
 C_{\text{пер}} = 2,500 & [\sigma_p] = 80,000 & \rho_l = 8000,000 \\
 U_{\text{ср}} = 250,0000 & D_{\text{пер}} = 0,6560 & D_{\text{ср}} = 0,6000 \\
 D_{\text{вг}} = 0,5440 & b_{\text{пер}} = 35,000 &
 \end{array}$$

$N\sigma$	D	$\beta_{1л}$	$\beta_{2л}$	t	δ_l
1	0,6560	64,30	32,500	26,400	10,00
2	0,6280	53,70	34,300	25,300	11,00
3	0,6000	45,70	36,200	24,200	12,00
4	0,5720	39,60	38,200	23,000	13,00
5	0,5440	34,90	40,200	21,900	15,00

Результаты расчетов

<i>№</i>	<i>b</i>	<i>Cm</i>	<i>az</i>	<i>S</i>	<i>xc</i>
1	35,3509	2,4752	14,1847	30,3734	0,2851
2	36,4111	2,6434	14,2572	32,9407	0,2800
3	36,8998	2,8455	14,2927	34,5442	0,2779
4	37,7750	3,0113	14,2234	36,1992	0,2781
5	39,3275	3,1149	14,1355	38,2920	0,2799

<i>№</i>	<i>r₁</i>	<i>r₂</i>	<i>ω1</i>	<i>ω2</i>
1	0,4950	0,2932	0,1967	0,0554
2	0,5287	0,3154	0,2006	0,0546
3	0,5691	0,3346	0,2076	0,0556
4	0,6023	0,3593	0,2086	0,0554
5	0,6230	0,3933	0,2019	0,0534

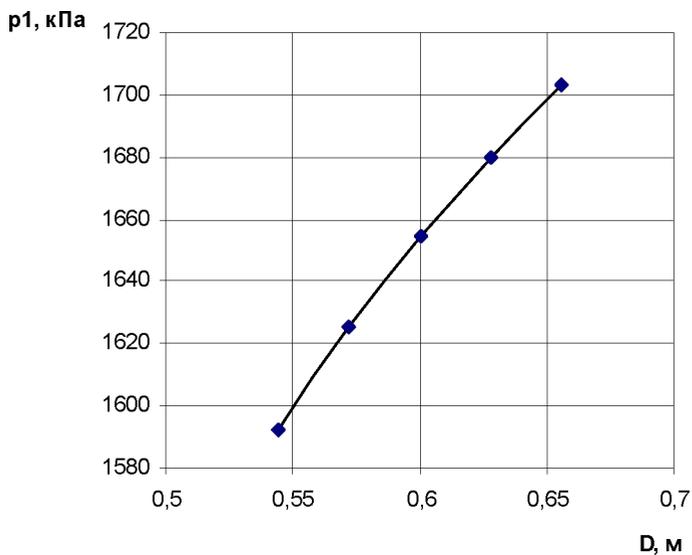


Рисунок П2.3 – Изменение статического давления по диаметру на входе в РК

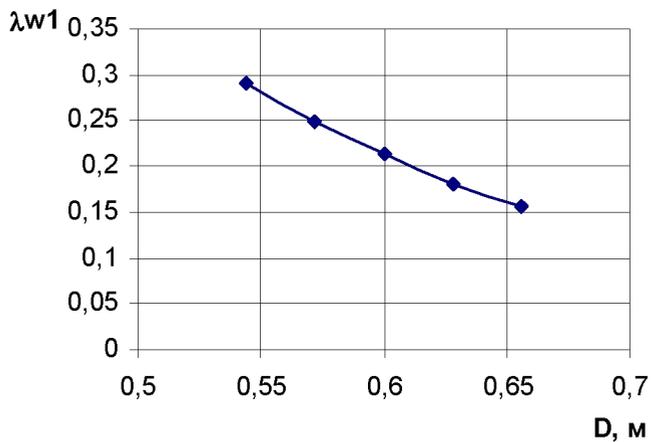


Рисунок П2.4 – Изменение приведённой скорости потока в относительном движении по диаметру на входе в РК

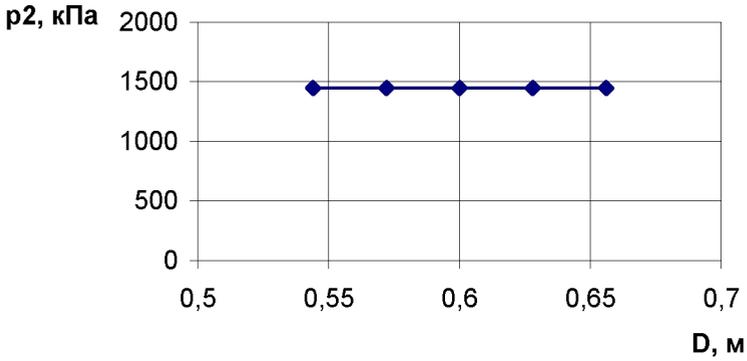


Рисунок П2.5 – Изменение статического давления по диаметру на выходе в РК

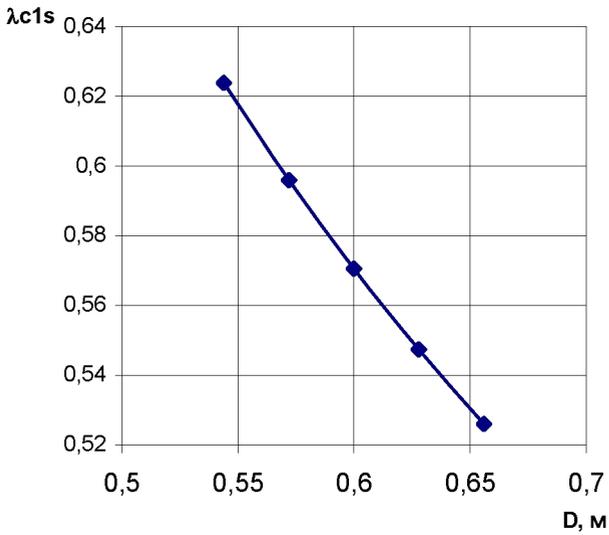


Рисунок П2.6 – Изменение приведённой изоэнтропической скорости потока по диаметру на выходе из СА

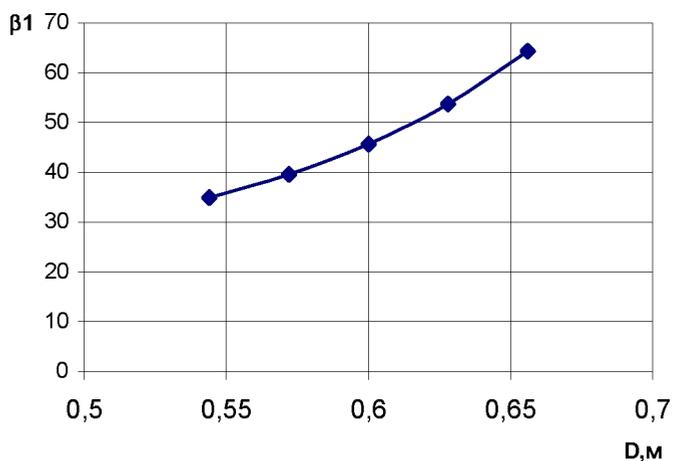


Рисунок П2.7 – Изменение угла потока в относительном движении по диаметру на входе в РК

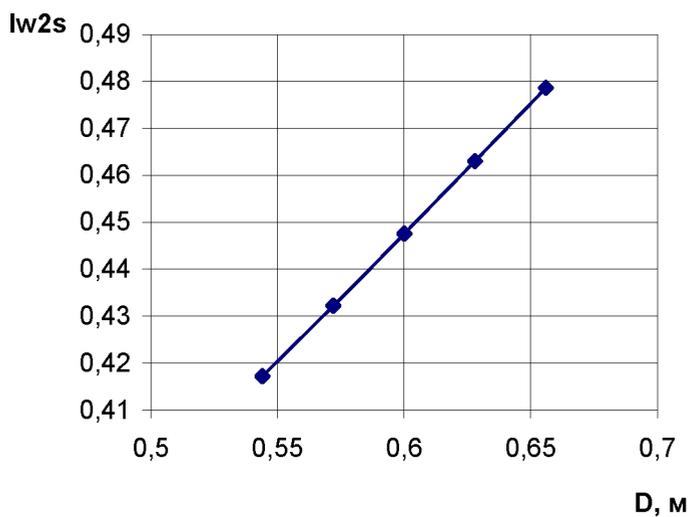


Рисунок П2.8 – Изменение приведённой изоэнтропической скорости потока в относительном движении по диаметру на выходе из РК

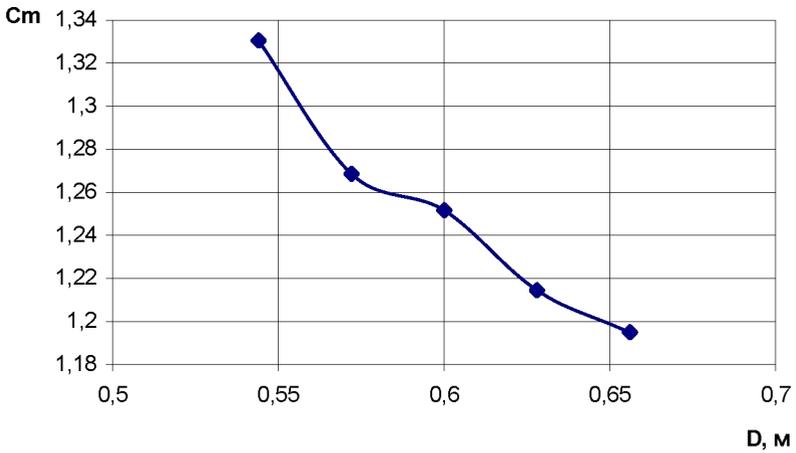


Рисунок П2.9 – Изменение максимальной толщины профиля рабочей лопатки по диаметру

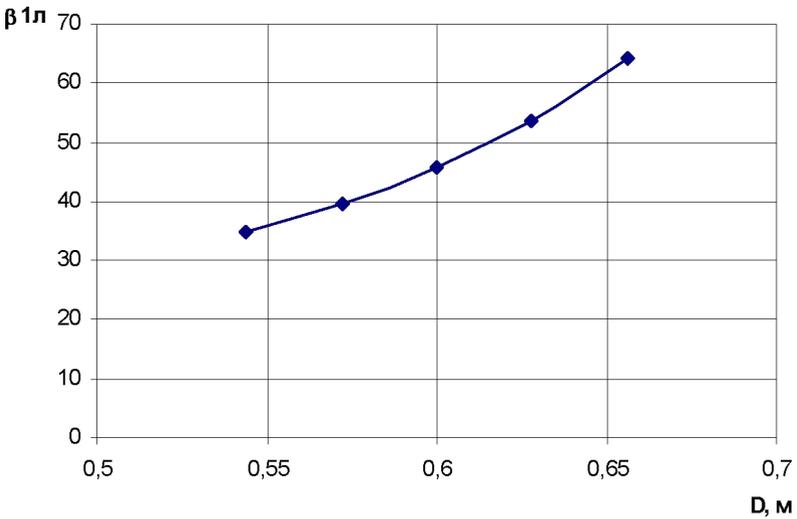


Рисунок П2.10 – Изменение лопаточного угла по диаметру на входе в рабочий лопаточный венец

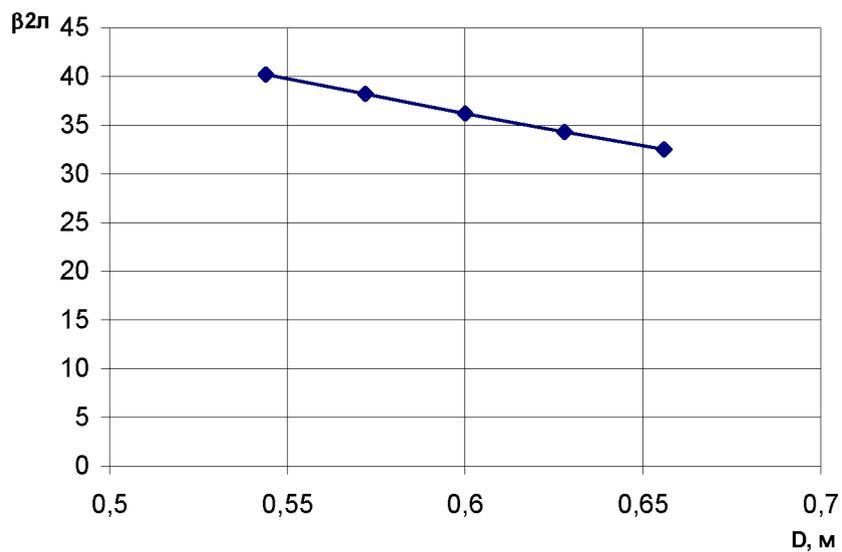


Рисунок П2.11 – Изменение лопаточного угла по диаметру на выходе из рабочего лопаточного венца

Учебное издание

Дмитриева Ирина Борисовна
Матвеев Валерий Николаевич
Морозов Илья Игоревич

**ПРОЕКТНЫЙ РАСЧЁТ
МНОГОСТУПЕНЧАТЫХ ОСЕВЫХ
КОМПРЕССОРОВ И ТУРБИН АВИАЦИОННЫХ ГТД
С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ
KOMPRESSOR И TURBINA**

Учебное пособие

Редакторская обработка Н. С. К у п р и я н о в а
Компьютерная верстка Т. К. К р е т и н и н а
Доверстка А. В. Я р о с л а в ц е в а

Подписано в печать 24.12.06. Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 3,7. Усл. кр.-отг. 3,8. Печ. л. 4.
Тираж 50 экз. Заказ . ИП-46 /2006

Самарский государственный
аэрокосмический университет.
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

Изд-во Самарского государственного
аэрокосмического университета.
443086 Самара, Московское шоссе, 34.