

Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана

В.Е. Михальцев, В.Д. Моляков

Расчет параметров цикла при проектировании газотурбинных двигателей и комбинированных установок

Под редакцией И.Г. Суровцева

*Рекомендовано Научно-методическим советом
МГТУ им. Н.Э. Баумана в качестве учебного пособия
по курсам «Теория газотурбинных и комбинированных
установок», «Проектирование стационарных
газотурбинных и комбинированных установок»,
«Проектирование авиационных газотурбинных
двигателей», «Дипломное проектирование», «Курсовое
проектирование. Лопаточные машины. Часть 2»*

Москва
Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана
2014

УДК 621.438(075.8)

ББК 31.363

М69

Рецензенты: *В.И. Гуров, Н.Д. Чайнов*

Михальцев В. Е.

М69 Расчет параметров цикла при проектировании газотурбинных двигателей и комбинированных установок : учеб. пособие / В. Е. Михальцев, В. Д. Моляков ; под ред. И. Г. Суровцева. — М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. — 58, [2] с. : ил.

ISBN 978-5-7038-3814-3

Рассмотрено определение основных параметров газотурбинных двигателей (ГТД) и газотурбинных установок (ГТУ) энергетического, транспортного и авиационного назначения и их узлов на основе приближенного расчета для проведения дальнейших детальных термодинамических расчетов элементов и уточнения параметров ГТД и ГТУ.

Для студентов старших курсов, выполняющих курсовой и дипломный проекты. Пособие может быть полезно для преподавателей, слушателей института повышения квалификации и специалистов, работающих в области создания ГТД, ГТУ и комбинированных установок.

УДК 621.438(075.8)

ББК 31.363

Учебное издание

Михальцев Всеволод Евгеньевич

Моляков Валерий Дмитриевич

**Расчет параметров цикла при проектировании
газотурбинных двигателей и комбинированных установок**

Редактор *С.А. Серебрякова*

Корректор *Н.А. Фетисова*

Компьютерная верстка *В.И. Товстоног*

Подписано в печать 21.02.2014. Формат 60×84/16.

Усл. печ. л. 3,49. Тираж 100 экз. Изд. № 81.

Заказ

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Типография МГТУ им. Н.Э. Баумана.

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.

ISBN 978-5-7038-3814-3

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014

ПРЕДИСЛОВИЕ

Приближенный расчет авиационных газотурбинных двигателей (ГТД) и газотурбинных установок (ГТУ) необходим при определении основных параметров двигателя и его узлов, когда по заданным типу, схеме установки, мощности N_e (или силе тяги R), температуре T_g^* газа перед турбинами требуется приблизительно определить расход G рабочего тела (или по заданному значению расхода G найти мощность N_e), частоту вращения n , основные размеры узлов, экономичность установки и выбрать степень повышения давления π_k^* . На основе полученных данных можно провести детальные термогазодинамические расчеты элементов и уточнить параметры ГТД и ГТУ.

В учебном пособии описана методика расчета параметров простейшей схемы одновальной ГТУ и указаны особенности расчета усложненных многовальных ГТУ и ГТД. Расчет усложненных схем многовальных установок более полно представлен в работах [1—8].

В приложениях 1—5 приведены графические зависимости для определения показателя изэнтропы и удельной теплоемкости, в приложении 6 — аналитические зависимости для тех же параметров, в приложении 7 — формулы для вычисления параметров замкнутой ГТУ.

ПРИНЯТЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

В	— винт
ВВл	— винтовентилятор
Вл	— вентилятор
ВРД	— воздушно-реактивный двигатель
Г	— камера сгорания
ТВД	— турбовинтовой двигатель, турбина высокого давления
ТВВД	— турбовинтовентиляторный двигатель
ТРД	— турбореактивный двигатель
ТРДД	— двухконтурный ТРД с отдельными реактивными соплами
ТРДДсм	— двухконтурный ТРД с общим реактивным соплом
ТРДДФ	— двухконтурный ТРД с форсажной камерой сгорания
ТРДФ	— турбореактивный двигатель с форсажной камерой сгорания
К	— компрессор
КВД	— компрессор высокого давления
КНД	— компрессор низкого давления
Н	— нагрузка
Р	— регенератор (рекуператор)
С	— реактивное сопло
Т	— турбина
ТВ	— турбина вентилятора
ТВлД	— турбовентиляторный двигатель
ТНД	— турбина низкого давления
Х	— охладитель (холодильник)

- p_a, T_a — давление, температура окружающей среды
- p_b, T_b — давление, температура рабочего тела при входе в компрессор
- p_r, T_r — то же за камерой сгорания
- p_k, T_k — то же за компрессором
- p_p, T_p — то же за регенератором на воздушной стороне
- p_t, T_t — то же за турбиной
- p_y, T_y — то же за регенератором на газовой стороне (параметры уходящего газа)

1. ВЫБОР ИСХОДНЫХ ЗНАЧЕНИЙ КПД И КОЭФФИЦИЕНТОВ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ ПОТЕРИ ПО ТРАКТУ УСТАНОВКИ

На основе задания на проект ГТД (ГТУ) определяем схему установки. Для этого выбираем:

- 1) число валов;
- 2) тип компрессора (осевой, центробежный);
- 3) тип турбины (осевая, радиальная);
- 4) температуру газа T_g^* (звездочкой обозначены температура и давление торможения в отличие от их статических значений);
- 5) степень регенерации σ (при наличии регенератора);
- 6) частоту вращения (при заданной частоте вращения вала нагрузки для роторов ГТУ, соединенных с нагрузкой без редуктора или мультипликатора).

После этого задаем значения КПД узлов и коэффициентов, характеризующих потери по тракту установки.

1. Коэффициент полного давления при входе

$$\sigma_{\text{вх}} = 0,98 \dots 0,99$$

зависит от сложности подводящего трубопровода, наличия фильтров или дополнительных входных потерь в воздухозаборниках. В условиях полета самолетов с числом Маха $M_v > 1$

$$\sigma_{\text{вх}} = \sigma_{\text{д.д}} \sigma_{\text{ск}},$$

где $\sigma_{\text{д.д}}$ — коэффициент давления дозвуковой части диффузора,

$$\sigma_{\text{д.д}} = 0,99;$$

$\sigma_{\text{ск}}$ — коэффициент давления в z скачках уплотнений,

$$\sigma_{\text{ск}} = f(M_v, z).$$

2. КПД компрессоров:

$\eta_{\text{к}}^* = 0,75 \dots 0,83$ (для центробежного компрессора);

$\eta_{\text{к}}^* = 0,82 \dots 0,90$ (для осевого компрессора).

При мощности $N_e < 800$ кВт или высоких значениях степени повышения давления в компрессорах $\pi_{\text{к}}$ значение $\eta_{\text{к}}^*$ может быть снижено.

3. Коэффициент полноты горения

$\eta_{\text{г}} = 0,97 \dots 0,99$.

4. Коэффициент полного давления в камере сгорания

$\sigma_{\text{г}} = 0,96 \dots 0,97$.

5. КПД турбины (по параметрам торможения)

$\eta_{\text{т}}^* = 0,87 \dots 0,93$,

или лопаточный КПД турбины

$\eta_{\text{л}} = 0,88 \dots 0,95$.

При мощности $N_e < 800$ кВт, большом располагаемом теплоперепаде, высокой температуре $T_{\text{г}}^*$ и существенном отклонении u/c_1 от оптимального отношения $(u/c_1)_{\text{опт}}$ значения $\eta_{\text{т}}^*$ и $\eta_{\text{л}}$ могут быть снижены.

6. В механическом КПД учтены затраты мощности турбины на трение и привод вспомогательных агрегатов ГТУ (насосы, регуляторы), не включенные в КПД компрессора и турбины. При отнесении потерь к мощности турбины $N_{\text{т}}$

$\eta_{\text{м}} = 0,990 \dots 0,995$;

при отнесении потерь к полезной мощности N_e ГТУ

$\eta_{\text{м}} = 0,98 \dots 0,99$.

7. КПД редуктора

$\eta_{\text{р}} = 0,98 \dots 0,99$,

на каждой ступени передачи при высоком качестве обработки шестерен

$1 - \eta_{\text{р}} = 0,010 \dots 0,007$.

8. Коэффициент давления на выходе

$\sigma_{\text{вых}} = 0,99 \dots 1,00$.

В зависимости от наличия длинного газоотводящего трубопровода, шумоглушителей, фильтрующих устройств значение $\sigma_{\text{вых}}$ может быть ниже указанного и требует специального расчета.

9. Коэффициенты, учитывающие гидравлические потери в регенераторе,

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Принятые обозначения и сокращения	4
1. Выбор исходных значений КПД и коэффициентов, характеризующих потери по тракту установки	6
2. Параметры газа по тракту газотурбинной установки	9
2.1. Параметры на входе в компрессор	10
2.2. Параметры компрессора	11
2.3. Параметры турбины	14
3. Экономичность, удельная мощность газотурбинных установок и удельная сила тяги воздушно-реактивных двигателей	19
3.1. Относительный расход топлива	19
3.2. Удельные энергетические параметры газотурбинных установок и воздушно-реактивных двигателей	22
3.3. Экономичность	42
4. Определение расхода воздуха и топлива в газотурбинной установке	45
5. Выбор оптимальной степени повышения давления в компрессоре газотурбинной установки	45
6. Выбор частоты вращения и диаметра турбины	47
6.1. Выбор частоты вращения по площади за турбиной	47
6.2. Выбор частоты вращения по относительной длине лопаток	50
Приложения	52
Литература	59