РУКОВОДЯЩИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ

УСТРОЙСТВА ПУСКОВЫЕ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ПРИВОДА НАГНЕТАТЕЛЕЙ ПРИРОДНОГО ГАЗА

РТМ 24.020.23—74

Издание официальное

МИНИСТЕРСТВО ТЯЖЕЛОГО, ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО И ТРАНСПОРТНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

Москва

gost.e-ecolog.ru

РАЗРАБОТАН И ВНЕСЕН Центральным научно-исследовательским и проектно-конструкторским котлотурбинным институтом им. И. И. Ползунова

Директор	**Н. М. МАРКОВ**
Заведующий базовым отраслевым отделом стандартизации	**К. А. СУПРЯДКИН**
Заведующий отделом газотурбинных установок	**Ю. Г. КОРСОВ**
Руководители темы:	**В. В. ВОЛОДЬКО, И. С. ЛАГУСКЕР**
Исполнитель	**Н. А. ПЛЕСНОВА**

ПОДГОТОВЛЕН К УТВЕРЖДЕНИЮ Главным управлением турбинной промышленности Министерства тяжелого, энергетического и транспортного машиностроения

Главный инженер	**В. П. ГОЛОВИЗНИН**

УТВЕРЖДЕН Министерством тяжелого, энергетического и транспортного машиностроения

Заместитель министра	**П. О. СИРЫЙ**

УДК 621.438—57(083.75)

Группа Е23

РУКОВОДЯЩИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ

УСТРОЙСТВА ПУСКОВЫЕ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ПРИВОДА НАГНЕТАТЕЛЕЙ ПРИРОДНОГО ГАЗА

РТМ 24.020.23—74

Указанием Министерства тяжелого, энергетического и транспортного машиностроения от 25 июля 1974 г. № ПС-002/9440 введен как рекомендуемый

Настоящий руководящий технический материал определяет методику приближенного выбора мощности пусковых устройств и распространяется на приводные газотурбинные установки (ГТУ) с независимым вращением газовой турбины полезной мощности (ГТУ с «разрезным валом»).

В РТМ приводится построение приближенной универсальной характеристики компрессора в пусковом диапазоне частот вращения и нанесение на нее линий «холодных режимов» (без подогрева воздуха в камере сгорания) для определения графоаналитическим способом мощности пускового устройства.

1. ПОСТРОЕНИЕ ПРИБЛИЖЕННОЙ УНИВЕРСАЛЬНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПРЕССОРА

1.1. Исходными материалами для построения характеристики компрессора в диапазоне частот вращения от нуля до устойчивого холостого хода являются:

— расчетная характеристика компрессора;

— данные теплового расчета равновесных режимов;

— программа пуска.

1.2. Построению характеристики компрессора в пусковом диапазоне предшествует построение линий «холодных режимов» по заданной расчетной характеристике компрессора, линий постоянных коэффициентов полезного действия и изодром по методу графической экстраполяции данных величин.

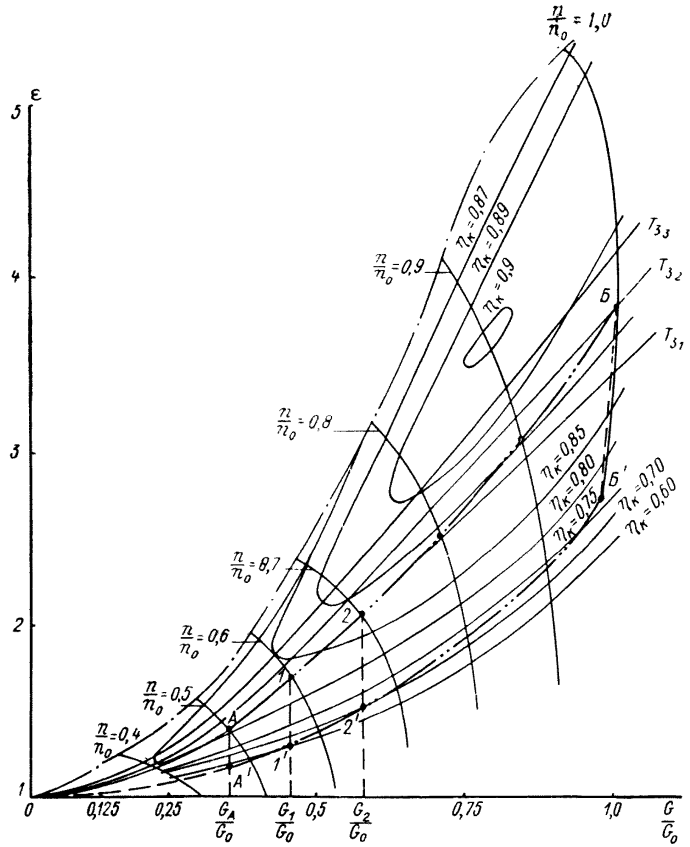
При этих построениях принимаются следующие допущения:

— пропускная способность газовой турбины не зависит от частоты вращения при постоянном перепаде давлений;

— потери давления в газовоздушном тракте отсутствуют;

— расход газа через газовую турбину равен производительности компрессора;

— на всех рассматриваемых режимах сохраняется геометрическое подобие потока в ступенях.



Черт. 1

1.3. Линия «холодных режимов» $A' — Б'$ (черт. 1) находится путем пересчета точек линии равновесных режимов $A — Б$ по формуле Флюгеля, приведенной к виду:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{T_з}{T_{з_0}}\left(\frac{G}{G_0}\right)^2(\varepsilon_0^2 - 1) + 1}, \qquad (1)$$

где $\varepsilon = \frac{p_3}{p_1}$ — степень повышения давления в компрессоре;

p_1 — давление воздуха перед компрессором, кгс/см^2;

p_3 — давление воздуха за компрессором и перед газовой турбиной, кгс/см^2;

T_1 — температура воздуха перед компрессором, К;

T_2 — температура воздуха за компрессором, К;

T_3 — температура воздуха (газа) перед газовой турбиной, К;

G — расход воздуха (газа), кг/с;

n — частота вращения, об/мин.

Индексом 0 отмечены параметры расчетных режимов.

1.4. При пересчете для каждой выбранной точки, определяемой кривой $A' — Б'$, в качестве расчетной принимается точка на линии равновесных режимов $A — Б$, соответствующая тому же расходу.

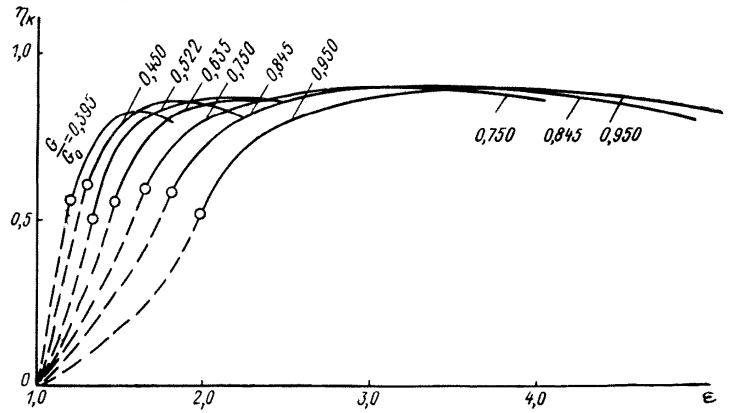
1.5. Степень повышения давления ε находится путем двух последовательных приближений:

в первом приближении — ε′ по формуле (1) при $T_3 = T_2 = T_1$ и $\frac{G}{G_0} = 1$;

во втором приближении — ε по формуле (1) при

$$T_2 = T_1 \left[\frac{\varepsilon'^{\frac{k-1}{k}} - 1}{\eta_к} + 1 \right], \qquad (2)$$

где $\eta_к$ — коэффициент полезного действия компрессора, определяемый для ε′ и $\frac{G}{G_0}$ по вспомогательному графику (черт. 2), представляющему семейство кривых $\eta_к = f\left(\frac{G}{G_0}; \varepsilon\right)$, экстраполируемых в начало координат.

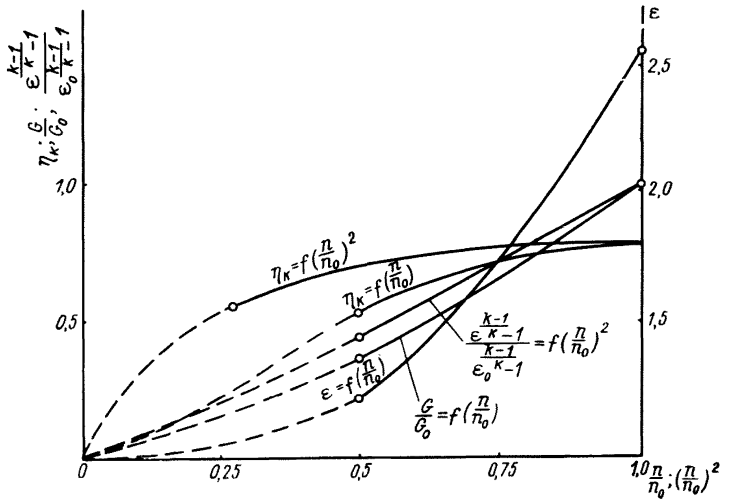


Черт. 2

1.6. Для получения зависимости $\varepsilon = f\left(\frac{n}{n_0}\right)$ в пусковом диапазоне частот вращения необходимо построить на графике (черт. 3) зависимость для линии «холодных режимов» в диапазоне частот вращения от устойчивого холостого хода до полной нагрузки:

$$\frac{\varepsilon^{\frac{k-1}{k}} - 1}{\varepsilon_0^{\frac{k-1}{k}} - 1} = f\left(\frac{n}{n_0}\right)^2 \approx \left(\frac{n}{n_0}\right)^2. \qquad (3)$$

Полученная кривая близка к прямой линии и экстраполируется в начало координат.



Черт. 3

1.7. Далее по характеристике компрессора (см. черт. 3) строится зависимость $\frac{G}{G_0} = f\left(\frac{n}{n_0}\right)$ для линии «холодных» режимов $A' — Б'$ в пусковом диапазоне.

Эта кривая также близка к прямой линии, экстраполируется в начало координат и выражается следующей зависимостью:

$$\frac{G}{G_{A'}} \approx \frac{n}{n_{A'}}, \qquad (4)$$

где $G_{A'}$, $n_{A'}$ — расход и частота вращения в точке A' линии «холодных режимов».

1.8. Для получения зависимости $\eta_к = f\left(\frac{n}{n_0}\right)$ необходимо воспользоваться кривой $\varepsilon = f\left(\frac{n}{n_0}\right)$ (см. черт. 3) и данными черт. 2.

Кривая $\eta_к = f\left(\frac{n}{n_0}\right)^2$ пускового периода экстраполируется в начало координат, после чего строится зависимость $\eta_к = f\left(\frac{n}{n_0}\right)$ для всего диапазона частот вращения «холодных» режимов).

1.9. Задаваясь несколькими значениями температур от T_2 до T_{max}, определяем с помощью формулы (1) линии режимов работы ГТУ для соответствующих изотерм в диапазоне пусковых режимов.

Формула (1) для этого случая примет вид:

$$\varepsilon_г = \sqrt{\frac{T_{3г}}{T_{3х}}\left(\varepsilon_х^2 - 1\right) + 1}, \qquad (5)$$

где $\varepsilon_х$ и $T_{3х}$ — степень повышения давления и температура воздуха на линии «холодных» режимов;

$\varepsilon_г$ и $T_{3г}$ — степень повышения давления для изотермы и соответствующая ей температура.

По изотермам T_3 и вспомогательным кривым (см. черт. 2 и 3) на универсальную характеристику компрессора (см. черт. 1) наносятся линии постоянных частот вращения и коэффициентов полезного действия в пусковом диапазоне, а по заданной программе пуска — линия совместной работы турбины и компрессора.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ ПУСКОВОГО УСТРОЙСТВА

2.1. Мощность компрессора и газовой турбины на пусковых режимах в киловаттах определяется из выражений:

$$N_к = 4{,}19\, c_p T_1 G \frac{\varepsilon_г^{\frac{k-1}{k}} - 1}{\eta_к}; \qquad (6)$$

$$N_т = 4{,}19\, c_p' T_3 G \eta_т \left(1 - \frac{1}{\varepsilon_т^{\frac{k-1}{k}}}\right), \qquad (7)$$

где c_p, c_p' — теплоемкости воздуха и газа, ккал/кг · °С;

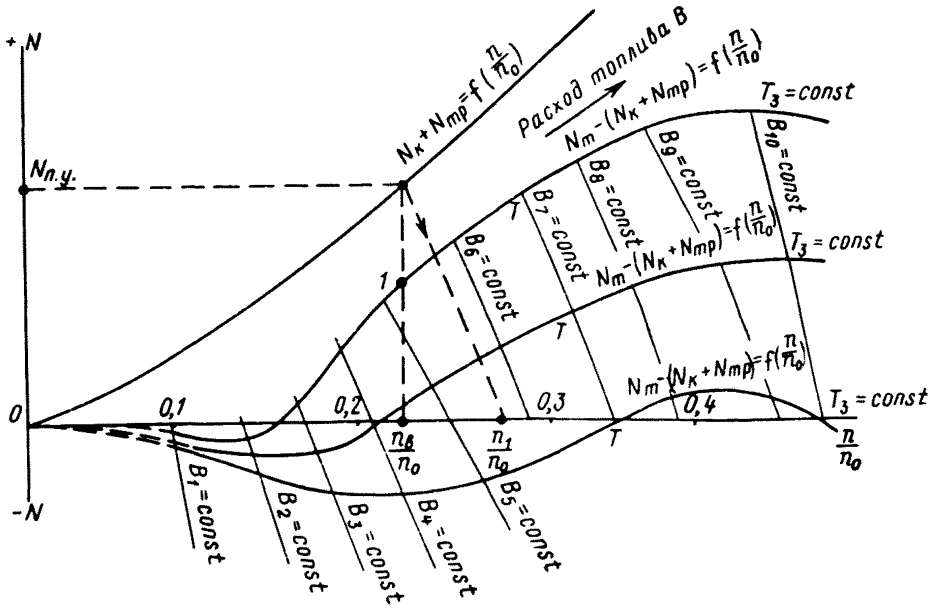
$\eta_т$ — коэффициент полезного действия газовой турбины;

$\varepsilon_т$ — степень расширения газа в газовой турбине.

Входящие в эти выражения параметры соответствуют точкам пересечения изодром $\frac{n}{n_0} = \text{const}$ с изотермами $T_3 = \text{const}$ на характеристике компрессора.

2.2. Полученные данные позволяют построить график зависимости (черт. 4):

$$N_т - (N_к + N_{тр}) = f\left(\frac{n}{n_0}\right)_{T_з = \text{const}}.$$



Черт. 4

Мощность $N_{тр}$, затрачиваемая на преодоление трения и механических потерь, может быть оценена по приближенной зависимости

$$N_{тр} = N_{тр}^{ном}\left(\frac{n}{n_{ном}}\right)^{1,5}, \qquad (8)$$

где $N_{тр}^{ном}$ — мощность трения и механических потерь на номинальном режиме;

$n_{ном}$ — частота вращения на номинальном режиме.

2.3. Величины $\varepsilon_т$ для частот вращения пускового периода определяются методом графической экстраполяции зависимости $\varepsilon_т = f(\varepsilon_г)$, построенной по данным теплового расчета равновесных режимов (в области от режима с минимальной рабочей частотой вращения силового вала до полной нагрузки). Коэффициент $\eta_т$ находится аналогичным путем.

2.4. По точкам линии «холодных» режимов на черт. 4 следует построить кривую изменения мощности $(N_к + N_{тр})$ в зависимости от частоты вращения при отсутствии подогрева воздуха в камере сгорания и кривые постоянных расходов топлива $(B = \text{const})$.

2.5. Частота вращения вала турбокомпрессора $n_в$, при которой подается топливо в камеру сгорания и производится его зажигание, определяется по минимальной производительности форсунок и температуре газа в период пуска $T_з$ (см. черт. 4).

2.6. Минимальную мощность, необходимую для вращения ротора турбокомпрессора с частотой вращения $n_в$, можно определить при совместном рассмотрении кривой $N_к+N_{тр}=f\left(\frac{n}{n_0}\right)$ и кривых $(N_т-N_к-N_{тр})=f\left(\frac{n}{n_0}\right)$ с учетом заданной программы пуска (без учета углового ускорения).

2.7. Полная мощность пускового устройства зависит от момента инерции вращающихся масс ротора турбокомпрессора, продолжительности пуска и характеристики пускового устройства.

2.7.1. Для различных моментов пускового периода мощность может быть найдена из уравнения моментов при помощи ранее приведенных кривых и уравнений.

Для всех режимов работы турбокомпрессорного вала остается справедливым следующее уравнение моментов:

$$M_т + M_{п.\,у} - M_I - M_к - M_{тр} = 0, \qquad (9)$$

здесь

$M_т$ и $M_{п.\,у}$ — полные моменты газовой турбины и пускового устройства, кгс·м;

$M_{тр}$ — момент для преодоления трения и других механических потерь, кгс·м;

$M_I = I\frac{d\omega}{dt}$ — момент, затрачиваемый на сообщение углового ускорения вращающимся массам, кгс·м;

$M_к$ — момент, затрачиваемый на преодоление аэродинамического сопротивления компрессора, кгс·м:

$$M_к = M_{к_1}\left(\frac{n}{n_1}\right)^{1,7}, \qquad (10)$$

где

$M_{к_1}$ и n_1 — момент и частота вращения компрессора в точке, где известен коэффициент полезного действия.

2.7.2. Общая продолжительность пускового периода складывается из времени, необходимого для раскручивания пусковым устройством ротора турбокомпрессора до частоты вращения, при которой производится подача и зажигание топлива (период «холодного» разгона), времени увеличения частоты вращения с момента подачи топлива до отключения пускового устройства (период сопровождения) и времени перехода на частоту вращения холостого хода без помощи пускового устройства.

Продолжительность отдельных периодов пуска в секунду может быть определена графическим интегрированием уравнения

$$\tau = \frac{\pi I}{30} \int_0^{n_A} \frac{dn}{M_т - M_{п.у} - M_к - M_{тр}}. \qquad (11)$$

Ответственный за выпуск *В. С. Розанова*

Редактор *Н. М. Чернецова*

Техн. ред. *Н. П. Белянина.* Корректор *В. Н. Шонурова.*

Сдано в набор 22.05.75. Подписано к печ. 28.08.75. Формат бум. 60×90¹/₁₆.
Тираж 500. Заказ 420. Цена 10 коп.

gost.e-ecolog.ru

Редакционно-издательский отдел ЦКТИ им. И. И. Ползунова.
194021, Ленинград, Политехническая ул., д. 24.