

РАБОТА СУДОВОГО ГАЗОТУРБОГЕНЕРАТОРА С ТУРБОКОМПРЕССОРНЫМ УТИЛИЗАТОРОМ ПРИ ПЕРЕМЕННОМ РЕЖИМЕ

*В.Т. Матвеевко, д-р техн. наук, С.Н. Боровков, Севастопольский национальный технический университет,
Ю.М. Воробьев, Севастопольский военно-морской институт, г. Севастополь, Украина*

Введение. Морские суда, имеющие в своем составе энергоемкие технологические комплексы, располагают мощной электростанцией и котельными установками для обеспечения тепловой энергией технологических и общесудовых потребителей. Для электростанций подобных судов характерны переменные режимы нагружения. Так, например, при выполнении работ на морских буровых платформах (МБП) энергоустановка воспринимает нагрузки, которые отличаются по характеру и величине в зависимости от режимов бурения. По величине необходимая электрическая мощность изменяется от 50 до 100% и даже от 25 до 100% при спуско-подъемных операциях. Для достижения высокой тепловой эффективности энергоустановки подобных объектов должны быть когенерационного типа, которые одновременно вырабатывают электрическую и тепловую энергию. К установкам такого типа относятся газотурбинные двигатели (ГТД) с турбокомпрессорным утилизатором (ТКУ), обладающие высокой тепловой эффективностью [1], и с блокированной силовой турбиной – хорошей приемистостью.

На рис. 1 приведены схемы ГТД с блокированной силовой турбиной и ТКУ, которые выполняются со свободным ТКУ (СТКУ), где турбина (Т) с турбиной перерасширения (ТП) связаны газодинамически (рис. 1, а), и блокированным ТКУ (БТКУ), где Т с ТП связаны механически (рис. 1, б). В ГТД с ТКУ охладитель газа (ОГ) выполняет роль водяного котла-утилизатора.

Постановка задачи и методика исследования. Для судовых когенерационных ГТУ, обеспечивающих технологические комплексы, характерна работа на частичных нагрузках, поэтому выбор оптимальной схемы установки для работы ее при переменном режиме является важным конструктивным и эксплуатационным фактором.

Определение характеристик ГТД с ТКУ при переменном режиме производится по методике, предложен-

ной в работе [2] с учетом наличия блокированной силовой турбины. Методика расчета ГТД с ТКУ на частичных нагрузках потребовала учета применения перерасширения газа, влияния совместной работы силовой турбины и дожимающего компрессора (ДК), а также охлаждения деталей и узлов в высокотемпературных ГТД.

Для сравнительного анализа схем ГТД с блокированной силовой турбиной и ТКУ приводятся результаты расчетов, выполненных со следующими исходными данными параметров элементов и рабочего тела на номинальном режиме:

$$\begin{aligned} T_3 &= 1273 \text{ К}; & T_1 &= 288 \text{ К}; & T_6 &= 323 \text{ К}; \\ \pi_k &= 12; & \pi_{\text{дк}} &= 2,2; & \epsilon_n &= 0,88; \\ \eta_{\text{тп}} &= 0,92; & \eta_{\text{дк}} &= 0,87; & \eta_n &= 0,99. \end{aligned}$$

Относительный расход воздуха на охлаждение деталей и узлов турбин составил $\bar{G}_{\text{во}} = 0,09$. Исходные параметры ГТД выбраны, ориентируясь на характеристики ГТД 3200 (ДО41), проект которого был разработан НПП "Машпроект" (г. Николаев) для привода электрогенераторов.

Здесь и далее приняты условные обозначения:

- η - КПД турбомашин;
 - T – температура;
 - π - степень повышения давления в компрессоре или расширения газа в турбине;
 - ϵ - коэффициент, учитывающий аэродинамические потери в проточной части двигателя;
 - N – мощность.
- Индексы:
- к – компрессор;
 - дк – дожимающий компрессор;
 - т – турбина компрессора;
 - тп – турбина перерасширения;

м – механический;

1...n – индексы параметров в соответствующих сечениях по проточной части двигателя.

Силовая турбина, воспринимающая генераторную нагрузку, во всех схемах блокирована с валом турбокомпрессора, поэтому $n_{тк} = \text{const}$, а в схеме с БТКУ – $n_{дк} = n_{тк}$. В схеме ГТД со СТКУ обороты ДК ($n_{дк}$) с падением мощности уменьшаются, соответственно, уменьшается степень повышения давления в ДК ($\pi_{дк}$).

Результаты исследований. На рис. 2 показаны зависимости характеристик ГТД с ТКУ (схемы 1Б + СТКУ и 1Б + БТКУ) от относительной эффективной мощности \bar{N}_e . На рис. 2 приведены также для сравнения характеристики на частичных нагрузках ГТД простого цикла с блокированной силовой турбиной (схема 1Б).

Общее положительное свойство ГТД с ТКУ то, что на частичных нагрузках в диапазоне относительной мощности $\bar{N}_e = 0,2 \dots 1,0$ эффективный КПД (η_e) более высокий, чем в ГТД простого цикла (схема 1Б). ГТД с БТКУ на переменном режиме имеет эффективный КПД более высокий, чем ГТД со СТКУ. Это объясняется тем, что на всех режимах нагружения в БТКУ степень повышения давления в ДК ($\pi_{дк}$) постоянна (см. рис. 2).

На рис. 2 приведены зависимости расхода эквивалентной теплоты топлива Q_t [кДж/с] от относительной мощности \bar{N}_e для различных схем ГТД с равными мощностями на номинальной нагрузке. Для ГТД (схема 1Б + БТКУ) даже на холостом ходу экономия топлива составляет не менее 10% и является предпочтительной для сети с переменной электрической нагрузкой. Если сравнивать мощности, развиваемые ГТД различных схем, при одинаковом расходе топлива в диапазоне $\bar{N}_e = 0,3 \dots 1,0$ ГТД простого цикла, то отношение $\bar{N}_в$ составит от 1,2 до 2,5 для схемы 1Б + БТКУ по отношению к ГТД по схеме 1Б.

На номинальной генераторной нагрузке теплотехнические (общие) КПД ($\eta_{гт}$) для всех рассматриваемых схем примерно равны, однако на частичных нагрузках каждая схема в зависимости от относительной мощности \bar{N}_e имеет свои закономерности изменения теплотехнических характеристик (см. рис. 3). Если в обычной ГТУ (схема 1Б) с уменьшением мощности двигателя теплотехнический КПД

падает и особенно на малых нагрузках, то в ГТУ со СТКУ $\eta_{гт}$ на режимах $\bar{N}_e = 0,3 \dots 1,0$ остается практически постоянным на высоком уровне ($\eta_{гт} = 0,75 \dots 0,8$). Кроме того, в этой установке относительная теплофикационная мощность $\bar{N}_{гт}$ уменьшается в меньшем темпе, чем в обычной схеме 1Б. Это объясняется тем, что температура газа за турбиной перерасширения T_5 изменяется мало на основных режимах работы установки.

При рассмотрении эксплуатационной надежности рассматриваемых схем ГТУ, следует обратить внимание на незначительное повышение начальной температуры газа T_3 в схеме со СТКУ на частичных нагрузках, что обеспечивает одинаковые ресурсные характеристики схем.

Выводы

1. Энергетические ГТД с блокированной силовой турбиной и ТКУ на всех режимах имеют эффективный КПД выше, чем в ГТД простого цикла и предпочтительны для применения в составе судовой энергетической установки.
2. ГТД со СТКУ обладает более высокими теплотехническими характеристиками, причем теплотехнический КПД остается практически постоянным на всех режимах нагружения установки.

Литература

1. Матвеев В.Т. Судовые когенерационные газотурбинные установки для технических средств освоения морского шельфа // *Авиационно-космическая техника и технология: Сб. науч. тр.* – Харьков: ХАИ, 2002. – Вып. 31. Двигатели и энергоустановки. – С. 11-13.
2. Матвеев В.Т., Слободянюк Л.И., Очеретяный В.А. Методика расчета энергетического ГТД с турбиной перерасширения на переменных режимах // *Изв. вузов. Энергетика.* – 1999. – № 6. – С. 51-56.

Поступила в редакцию 01.06.03

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. Н.Н. Салов, СевНТУ, г. Севастополь; канд. техн. наук, директор Крымского регионального центра энергосбережений и энергоменеджмента В.Ф. Худяков, г. Севастополь.

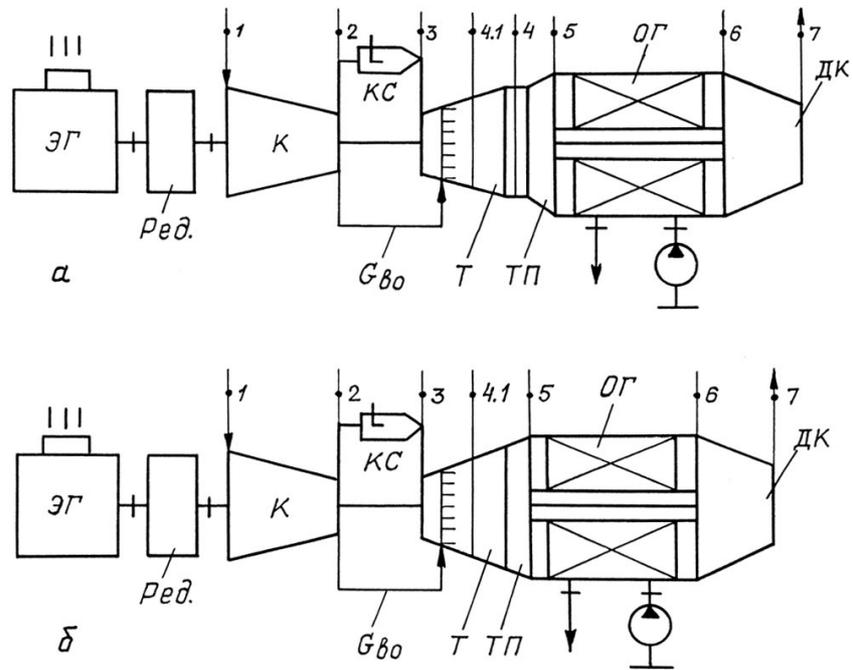


Рис. 1. Схема ГТД с блокированной силовой турбиной и ТКУ:

а – ГТУ со свободным ТКУ;
 б – ГТУ с блокированным ТКУ

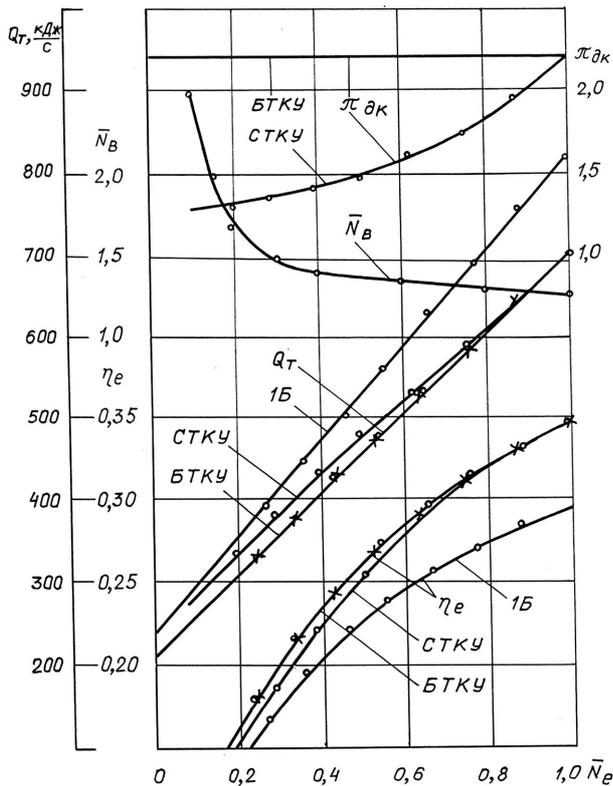


Рис. 2. Характеристики ГТД (схема 1Б) с ТКУ на частичных нагрузках при $T_{03} = 1273$ К, $\pi_{ок} = 12$ и $\pi_{одк} = 2,2$ (нагрузка генераторная):

БТКУ – схема 1Б с блокированным ТКУ;
 СТКУ – схема 1Б со свободным ТКУ

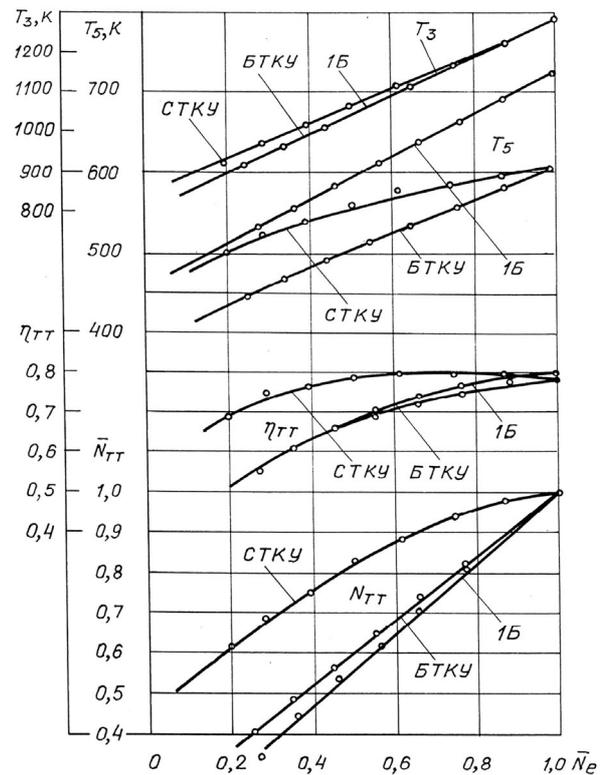


Рис. 3. Теплотехнические характеристики ГТУ (схема 1Б) с ТКУ на частичных нагрузках при $T_{03} = 1273$ К, $\pi_{ок} = 12$ и $\pi_{одк} = 2,2$ (нагрузка генераторная):

БТКУ – схема 1Б с блокированным ТКУ;
 СТКУ – схема 1Б со свободным ТКУ