

УДК 621.515.003

**И.И. ПЕТУХОВ<sup>1</sup>, А.В. МИНЯЧИХИН<sup>1</sup>, Р.Л. ЗЕЛЕНСКИЙ<sup>1</sup>, П.Д. ЖЕМАНЮК<sup>2</sup>,  
Ф.Г. СОРОГИН<sup>2</sup>, А.И. ТАРАН<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина*

<sup>2</sup>*ОАО «Мотор Сич», Украина*

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГАЗОТУРБИННОГО ПРИВОДА С ОХЛАЖДЕНИЕМ ЦИКЛОВОГО ВОЗДУХА**

Приводятся расчётные данные о влиянии предварительного и промежуточного испарительного охлаждения на климатическую характеристику газотурбинного привода.

**газотурбинный привод, испарительное охлаждение, климатическая характеристика**

### **Введение**

В настоящее время к наземной газотурбинной технике предъявляются жесткие требования поддержания требуемых технических параметров, экономичности и надёжности вне зависимости от климатических условий работы и сезона. Особенно актуальна эта проблематика для газотурбинных установок газоперекачивающих компрессорных станций. Высокая температура входного воздуха в летний период снижает выходную мощность ГТУ и ограничивает расход перекачиваемого природного или нефтяного газа в единичном агрегате.

Одним из способов, расширяющих диапазон работы газотурбинного привода (ГТП), является охлаждение циклового воздуха. Охлаждение можно классифицировать по месту охлаждения (предварительное, промежуточное) и способу (рекуперативное, контактное [1]). Каждый из методов имеет свои преимущества. В качестве примера успешной реализации предварительного рекуперативного охлаждения можно привести систему трёхступенчатого парокомпрессионного охлаждения входного воздуха газотурбинной электростанции на основе стационарной ГТУ 501D5 Westinghouse в г. Далласе, штат Техас [2]. Представителем промежуточно-контактного охлаждения является ГТУ компании General Electric LM6000, в которой между компрессорами низкого и высокого давлений впрыскивается вода.

На ГТУ H-25 компании Hitachi Thermal Power Systems устанавливается так называемая WAC-система (WAC – water atomization cooling), представляющей собой форкамеру с распыливающими водяными форсунками для предварительного охлаждения входного воздуха [3]. Последняя система реализует предварительно-контактный способ охлаждения. Необходимо отметить, что все вышперечисленные ГТУ являются машинами энергетического класса. Все эти способы охлаждения повышают выходную мощность на 5 – 15%.

### **1. Условия эксперимента**

В данной работе рассмотрено влияние предварительного и промежуточного испарительного охлаждения входного воздуха на характеристики газотурбинного привода (ГТП) Д-336 мощностью 6,3 МВт. Он представляет собой двухвальный газогенератор со свободной турбиной.

Промежуточное охлаждение обеспечивалось за счет испарения воды, впрыскиваемой в вихревой испарительный кондиционер (ВИК) [1, 4], расположенный между компрессорами низкого и высокого давлений. Давление впрыскиваемой воды составляло 2 МПа, температура 480,6 К. При подаче воды перед КНД давление впрыскиваемой воды составляло 0,8 МПа, температура равнялась температуре окружающего воздуха.

При анализе сохранялись постоянными обороты свободной турбины – 7200 об/мин и температура газа 1280 К перед рабочими лопатками турбины высокого давления (ТВД). Температура окружающей среды изменялась от 288,15К до 318,15К, давление воздуха на входе принималось 0,101 МПа. Климатическая характеристика исходного привода представлена в табл. 1.

Таблица 1

Климатическая характеристика ГТП Д-336-6,3

T, К	288	293	298	303	308	313	318
$\pi_{\Sigma}$	15,8	15,2	14,6	14	13,5	12,5	12,2
$\eta_{эф}, \%$	30,04	29,25	28,5	27,46	27,0	25,6	25,0
N, МВт	6,21	5,76	5,37	4,99	4,65	4,04	3,87
$c_{уд}, \frac{кг \cdot т}{ч \cdot л.с.}$	0,1762	0,1809	0,1857	0,1907	0,1960	0,2068	0,2115

“Провал” мощности при входных температурах 313К...318К вызван срабатыванием клапанов перепуска воздуха в КНД.

Исследовались характеристики ГТП при различ-

ном массовом содержании воды в смеси. Гидравлические потери задавались с помощью коэффициента восстановления полного давления  $\sigma = p_{вых}^* / p_{вх}^*$ , который составлял 0,97 для промежуточного охлаждения. При подаче воды на вход КНД через форсунки коэффициент восстановления полного давления составлял 0,985.

## 2. Основные результаты

Результаты расчетов приведены на рис. 1, 2. Впрыск воды увеличивает выходную мощность ГТП на 15 ... 40%, в зависимости от массы подаваемой воды и места её ввода. Подача воды перед КНД увеличивает не только мощность, но и эффективный КПД. Причём более существенно при повышенных температурах входного воздуха.

Промежуточное испарительное охлаждение даёт более заметный прирост мощности, влияя на КПД слабее. При большой доле впрыскиваемой воды и низких входных температурах эффективный КПД двигателя даже несколько уменьшается (рис. 2).

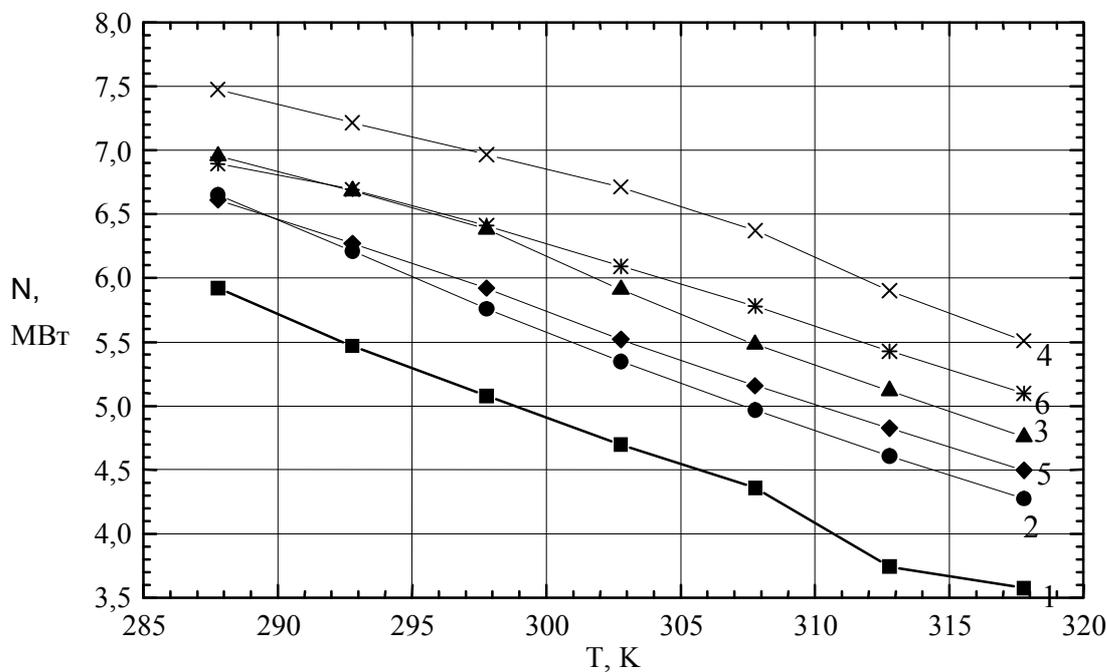


Рис. 1. Зависимость мощности ГТУ от температуры входного воздуха:

1 – исходный привод; 2 – массовая доля воды в цикловом воздухе перед КВД 1,0%; 3 – массовая доля воды в цикловом воздухе перед КВД 1,8%; 4 – массовая доля воды в цикловом воздухе перед КВД 2,5%; 5 – масса впрыскиваемой воды перед КНД 0,05 кг; 6 – масса впрыскиваемой воды перед КНД 0,10 кг

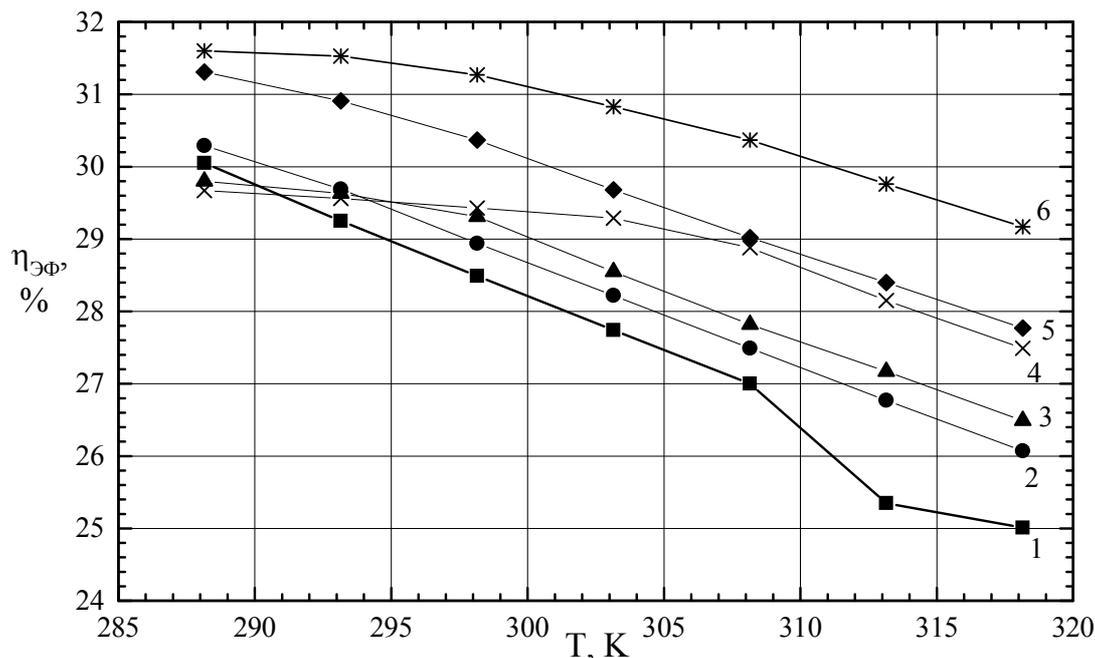


Рис. 2. Зависимость эффективного КПД ГТУ от температуры входного воздуха: 1 – исходный привод; 2 – массовая доля воды в цикловом воздухе перед КВД 1,0%; 3 – массовая доля воды в цикловом воздухе перед КВД 1,8%; 4 – массовая доля воды в цикловом воздухе перед КВД 2,5%; 5 – масса впрыскиваемой воды перед КНД 0,05 кг; 6 – масса впрыскиваемой воды перед КНД 0,10 кг

### Заключение

Для поддержания мощности ГТП на приемлемом уровне 6-6,5 МВт можно рекомендовать следующие значения массовых долей впрыскиваемой воды: для температур от 18 до 24 °С – менее 1,5%; от 24 до 30 °С – 1,5%, от 30 до 40 °С – до 2,4%.

В дальнейшем исследования могут быть продолжены в определении совместного влияния предварительного и промежуточного испарительного охлаждения, а также доли впрыскиваемой воды на характеристики ГТУ.

### Литература

1. Анализ рабочего процесса и разработка отдельных элементов демонстрационной и промышленной и промышленной ПГТУ-СВРВ на основе

авиационных газотурбинных двигателей. Отчёт о НИР (итоговый) / Харьк. авиац. ин-т (ХАИ); руководитель С.Д. Фролов, Г205-6/96, инв. N0298U00625, ГР0197U004728. – Х., 1997. – 115 с.

2. <http://www.kaceenergy.com/paper3.htm>.

3. [http://www.hitachi.co.jp/Div/hitachi\\_tps/combin edcycle/wac.html](http://www.hitachi.co.jp/Div/hitachi_tps/combin edcycle/wac.html).

4. Фролов С.Д., Синявин А.В., Шахов Ю.В. Пути улучшения энергетических и массо-габаритных показателей обслуживающих систем турбоустановок сложных циклов // Авиационно-космическая техника и технология. – Х. : Госуд. аэрокосм ун-т "ХАИ". – 2000. – Вып. 19. – С. 51–53.

Поступила в редакцию 04.06.2004

Рецензент: д-р техн. наук, проф., Г.А. Горбенко, Национальный аэрокосмический университет "ХАИ" им. Н.Е. Жуковского, Харьков.