

УДК 621.444

Белоглазов Р.Э., Титов Д.Е., Хавроничев С.В.

СРАВНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Камышинский технологический институт

г. Камышин ул. Ленина ба, 403874

UDC 621.444

Beloglazov R.E., Titov D.E., Havronichev S.V.

COMPARISON OF CHARACTERISTICS OF GAS-TURBINE UNITS OF LOW POWER

Kamyshin institute of technology,

Kamyshin, Lenina ba, 403874

В данном докладе сравниваются характеристики газотурбинных установок малой мощности отечественного и зарубежного производства. Выделяются достоинства и недостатки применения рассмотренных установок.

Ключевые слова: газотурбинные установки, установленная мощность, экономическая эффективность, номинальная мощность, когенерация.

In this report characteristics of gas-turbine units of low power of domestic and foreign production are compared. Merits and demerits of use of the considered units are allocated.

Key words: gas-turbine units, rated capacity, economic efficiency, rated power, cogeneration.

В новых экономических условиях перехода к социально-ориентированным рыночным отношениям, невозможности использования централизованных средств для восполнения отработавших свой ресурс и требующих замены

генерирующих мощностей, ориентация на традиционное централизованное теплоэнергоснабжение от крупных источников становится проблематичной. В настоящее время наметилась тенденция на строительство децентрализованных комбинированных источников электро- и теплоснабжения, устанавливаемых как в существующих отопительных котельных, так и на вновь строящихся источниках тепла.

В качестве локальных систем производства электрической и тепловой энергии могут выступать газотурбинные энергетические установки (ГТУ), работающие на природном газе. Газотурбинные установки получили в настоящее время признание в энергетике, как полностью освоенное, надежное оборудование.

Эксплуатационные показатели ГТУ на электростанциях находятся на том же уровне, что и традиционное энергетическое оборудование. Для них характерна готовность к работе в течение 90% календарного времени, 2 – 3 летний ремонтный цикл, безотказность пусков 95 – 97%.

Целью статьи является выявление лучших образцов ГТУ российских и зарубежных производителей. Для этого проводится анализ основных технических и стоимостных характеристик ГТУ. Исследования проводились для агрегатов в диапазоне мощностей от 2 до 20 МВт. В таблицах 1-5 представлены характеристики ГТУ, полученные в результате поиска данных, с разбивкой на мощности: 2-3,5; 3,5-7,5; 7,5-10; 10-15; 15-20.

Используемые в настоящее время ГТУ разделяются на 3 основных типа:

- созданные на базе авиационных реактивных газотурбинных двигателей;
- созданные на базе газотурбинных двигателей для морского использования.
- созданные специально для энергетического использования (т.н. heavy-duty ГТУ).

ГТУ, относящиеся к первой и второй категории (т.н. aeroderivative ГТУ) - более форсированные и легкие установки, отличающиеся простотой обслуживания, меньшими требованиями к инфраструктуре, но также и меньшим ресурсом.

Таблица 1.

Характеристики ГТУ мощностью 2 – 3,5 МВт

№п/п	Параметр	Размерность	ГТЭС 2,5	ГТЭС «Урал – 2500»	ГТЭ-2,5	ПАЭС-2500	ЭГ-2500	UGT2500C	OPRA DTG-1,8/2
1.	Электрическая мощность установки	МВт	2,5	2,55	2,50	2,50	2,5	2,5	2
2.	Тепловая мощность установки	МВт	4,5	5,82	5,266	-	5,57	5,73	-
3.	КПД установки при выработке электроэнергии	%	26,5	21,12	24	24	26,5	27,5	27,8
4.	Коэффициент использования топлива	%	74	76,9	73,3	-	82	91,2	-
5.	Полный назначенный ресурс установки	тыс. час	120	100	100	100	75	100	-
6.	Комплектность поставки		Комплектуется котлом-утилизатором по желанию заказчика	Комплектуется котлом-утилизатором по желанию заказчика	Комплектуется котлом-утилизатором по желанию заказчика	Поставляется без системы утилизации тепла	Котел-утилизатор	Котел-утилизатор	-
7.	Стоимость установки в комплектности	тыс.\$	1 264,6	1 250	1 012	750 - 850	1 300	1 650	-
8.	Удельные капитальные вложения (по электрической мощности)	\$/кВт	506	490	404	300 - 340	520	660	-

9.	Предприятие - изготовитель		ОАО «Рыбинские моторы» НПО «Сатурн»	ОАО «Пермский моторный завод» ОАО НПО «Искра»	ФГУП «Завод им. В. Я. Климова (г. Санкт-Петербург)	ОАО «Мотор Сич» (Украина, г. Запорожье)	ОАО «Турбо газ» (Украина, г. Харьков)	НГ НПКГШ «Зоря-Машпроект» (г. Николаев Украина)	OPRA Turbines, Нидерланды
----	----------------------------	--	-------------------------------------	---	--	---	---------------------------------------	---	---------------------------

Таблица 2.

Характеристики ГТУ мощностью 3,5 – 7,5 МВт

№п/п	Параметр	Размерность	ГТЭС «Урал – 4000»	ГТЭС «Урал – 6000»	ГТА-6PM	ЭГ6000	UGT6000C
1.	Электрическая мощность установки	МВт	4,13	6,14	6	6,080	6,0
2.	Тепловая мощность установки	МВт	8,3	11,59	16,4	11,0	11,4
3.	КПД установки при выработке электроэнергии	%	24	26,12	22,7	29	30,1
4.	Коэффициент использования топлива	%	80,2	83,4	85	-	84,5
5.	Полный назначенный ресурс установки	тыс. час	100	100	120	100	100
6.	Комплектность поставки		Комплектуется котлом-утилизатором по желанию заказчика	Комплектуется котлом-утилизатором по желанию заказчика	Комплектуется котлом-утилизатором по желанию заказчика	Поставляются без системы утилизации тепла	Котел-утилизатор
7.	Стоимость установки в	тыс.\$	1 450	1 700	1 560,1	1 850	2 750

	комплектности						
8.	Удельные капитальные вложения (по электрической мощности)	\$/кВт	362,5	283	260	308	458
9.	Предприятие - изготовитель		ОАО «Пермский моторный завод» ОАО НПО «Искра», ОАО «Авиадвигатель»	ОАО «Пермский моторный завод» ОАО НПО «Искра»	ОАО «Рыбинские моторы» НПО «Сатурн»	ОАО «Мотор Сич» (Украина, г. Запорожье)	НГ НПКГШ «Зоря-Машпроект» (г. Николаев Украина)

Таблица 3.

Характеристики ГТУ мощностью 7,5 - 10МВт

№п/п	Параметр	Размерность	ГТА-8PM	ГТЭ-10/95БМ	ГТА-10PM	UGT10000C	PGT10
1.	Электрическая мощность установки	МВт	8	8	10	10,0	9.93
2.	Тепловая мощность установки	МВт	22	20,7	22	15,04	-
3.	КПД установки при выработке электроэнергии	%	23,2	24	27,4	34,2	31.2
4.	Коэффициент использования топлива	%	87	80	88	88,4	-
5.	Полный назначенный ресурс установки	тыс. час	100	125	100	100	-
6.	Комплектность поставки		Комплектуется котлом-утилизатором по желанию заказчика	Котел-утилизатор, станция компрессорная дожимная	Комплектуется котлом-утилизатором по желанию заказчика	Котел-утилизатор	-
7.	Стоимость установки в комплектности	тыс.\$	1 835,0	3 433	2 203	4 150	-
8.	Удельные капитальные вложения (по	\$/кВт	229	429	220	415	510

	электрической мощности)						
9.	Предприятие - изготовитель		ОАО «Рыбинские моторы» НПО «Сатурн»	ФГУП «НПП Мотор» (г. Уфа, Башкортостан)	ОАО «Рыбинские моторы» НПО «Сатурн»	НГ НПКГШ «Зоря- Машпроект» (г. Николаев Украина)	Nuovo Pignone - Turbotechnica

Таблица 4.

Характеристики ГТУ мощностью 10 - 15МВт

№п/п	Параметр	Размерность	ГТЭС-12П	ГТУ 12С	LM1600РА	PGT16
1.	Электрическая мощность установки	МВт	12,3	12	13.425	13.45
2.	Тепловая мощность установки	МВт	16,6	16,1	-	-
3.	КПД установки при выработке электроэнергии	%	32,6	31,5	35.7	35,1
4.	Коэффициент использования топлива	%	83,7	78,5	-	-
5.	Полный назначенный ресурс установки	тыс. час	100	100	-	-
6.	Комплектность поставки		Комплектуется котлом-утилизатором по желанию заказчика	Котел-утилизатор, компрессор дожимной поставляются в комплекте	Котел-утилизатор, компрессор дожимной поставляются в комплекте	Котел-утилизатор, компрессор дожимной поставляются в комплекте
7.	Стоимость установки в комплектности	тыс.\$	4 600	3 760 Цена без котла-утилизатора и компрессора дожимного	6480	2421
8.	Удельные капитальные вложения (по электрической мощности)	\$/кВт	374	343	483	180

9.	Предприятие - изготовитель		ОАО «Пермский моторный завод» ОАО НПО «Искра», ОАО «Авиадвигатель»	ФГУП ММПП «Салют» (Москва)	General Electric Marine & Industrial	Nuovo Pignone - Turbotechnica
----	----------------------------	--	---	----------------------------	--------------------------------------	-------------------------------

Таблица 5.

Характеристики ГТУ мощностью 15 - 20МВт

№п/п	Параметр	Размерность	UGT15000C	ГТЭС-16П	UGT16000C	ГТУ 20С	GT35	LM1600PB STIG
1.	Электрическая мощность установки	МВт	15,0	16,4	16,0	20	16,9	16,9
2.	Тепловая мощность установки	МВт	27,04	20,2	23,89	29,0	-	-
3.	КПД установки при выработке электроэнергии	%	27,9	34,8	32,5	33	32	39,6
4.	Коэффициент использования топлива	%	79,9	84,6	81,0	83 - 85	-	-
5.	Полный назначенный ресурс установки	тыс. час	100	100	100	120	-	-
6.	Комплектность поставки		Котел-утилизатор	Комплектуется котлом-утилизатором по желанию заказчика	Котел-утилизатор	Котел-утилизатор, компрессор дожимной поставляются в комплекте	-	-
7.	Стоимость установки в комплектности	тыс.\$	4 750	5 400	5 700	5 636 Без котла-утилизатора и компрессора дожимного	6168	7605
8.	Удельные капитальные	\$/кВт	317	330	356	282	365	450

	вложения (по электрической мощности)							
9.	Предприятие - изготовитель		ГТУ НГ НПКГШ «Зоря- Машпроект» (г. Николаев Украина)	ОАО «Пермский моторный завод» ОАО НПО «Искра», ОАО «Авиадвигатель»	НГ НПКГШ «Зоря- Машпроект» (г. Николаев Украина)	ФГУП ММП «Салют» (Москва)	ABB Stal	General Electric Marine & Industrial

В диапазоне мощностей от нескольких МВт до 15-20 МВт среди установленных ГТУ и на рынке преобладают aeroderivative ГТУ, поэтому для анализа были отобраны именно aeroderivative ГТУ.

Ведущие позиции в изготовлении газотурбинных энергетических установок занимают фирмы, разрабатывающие и изготавливающие авиационные газотурбинные двигатели и газотурбинные установки, созданные специально для энергетического использования, обладающие достаточной производственной и научно-исследовательской базой для освоения этого рынка.

Таковыми предприятиями России являются: НПП им. В.Я. Климova (г. Санкт-Петербург), ФГУП ММПП «Салют» (г. Москва), АО «Люлька-Сатурн» (г. Москва), входящее в НПО «Сатурн», ОАО «Рыбинские Моторы» (г. Рыбинск), входящее в НПО «Сатурн», НПП «Мотор» (г. Уфа), Самарский НТК им. Н.Д. Кузнецова и ОАО «Моторостроитель» (г. Самара), ОАО «Авиадвигатель» ОАО НПО «Искра» и ОАО Пермский Моторный завод (г. Пермь), ОМП им. П.И. Баранова (г. Москва), ФГУП Тушинское машиностроительное конструкторское бюро «Союз» (г. Москва), Турбомоторный Завод (УТМЗ) (г. Екатеринбург), АООТ Невский машиностроительный завод (г. Санкт-Петербург), Ленинградский металлический завод (ЛМЗ) (г. Санкт-Петербург).

В таблицах представлены ГТУ большинства выше перечисленных производителей. Характеристики этих ГТУ сравнивались с иностранными производителями, такими как OPRA Turbines, Нидерланды, НГ НПКГШ «Зоря-Машпроект» (г. Николаев Украина), ОАО «Турбогаз» (Украина, г. Харьков), ОАО «Мотор Сич» (Украина, г. Запорожье), Nuovo Pignone – Turbotecnica, General Electric Marine & Industrial, ABB Stal и т.д.

В ходе анализа выявлено, что удельная стоимость ГТУ снижается с ростом установленной мощности, а значит, из соображений экономической эффективности необходимую мощность электростанции надо набирать меньшим количеством ГТУ большей мощности. Такое

инженерное решение позволит повысить шаг набора нагрузки без потери синхронизма, и электростанция в автономном режиме сможет быстрее подстраиваться под растущую нагрузку потребителей. Нельзя забывать, что большие номинальные мощности ГТУ приводят к снижению кпд, а то и невозможности работы, при работе во время минимума нагрузки. Еще одним минусом укрупнения единичной мощности ГТУ является снижение надежности электроснабжения питаемой нагрузки. Все описанные выше факторы должны учитываться при выборе единичной мощности устанавливаемых ГТУ, поэтому иногда приходится пользоваться большим количеством установок меньшей мощности.

Также установлено, что удельная стоимость установок российского производства и производства стран СНГ коррелируется. Это связано с общим прошлым и общими проблемами. Зарубежные ГТУ дороже российских и украинских в среднем на 20-40 процентов.

Важнейшим техническим параметром любой газотурбинной установки является ее кпд. Надо отметить, что ГТУ являются когенерационными установками, что позволяет максимально использовать энергию первичного топлива. Коэффициент полезного действия возрастает с мощностью установки, поэтому ГТУ малой мощности не находят такого применения как ГТУ большей мощности. КПД зарубежных ГТУ в среднем немного выше российских аналогов (кпд LM1600PB STIG – 40%). Полный назначенный ресурс установки колеблется от 100 до 120 тысяч часов.

Рассмотрев и проанализировав характеристики газотурбинных энергетических установок можно рекомендовать к рассмотрению при создании новых энергетических мощностей энергетические установки производства НГ НПКГШ «Зоря-Машпроект» (г. Николаев, Украина), ОАО «Пермский моторный завод», ОАО «Искра», ОАО «Авиадвигатель» (г. Пермь), ФГУП «Завод им. В. Я. Климова» (г. Санкт-Петербург), ФГУП ММПШ «Салют» (г. Москва), ОАО «Рыбинские моторы» НПО «Сатурн»

(г. Рыбинск), АО «СНТК им. Н. Д. Кузнецова» (г. Самара), ФГУП «НПП Мотор» (г. Уфа), АООТ «Невский завод» (г. Санкт-Петербург).

Литература:

1. <http://www.alfar.ru/smart/2/714/>
2. <http://www.avid.ru/>