

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ТЕПЛОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

6.2. Газотурбинные и парогазовые установки

Введение

Березинец П.А., Ольховский Г.Г.; ОАО «ВТИ»

Прогресс в теплоэнергетике связан сегодня с ГТУ и ПГУ. Хотя первый патент на ГТУ получен Дж. Барбером в Англии еще в 1791 г., т.е. идея ГТУ известна уже более 200 лет, возможности промышленности позволили реализовать ее только примерно 50 лет назад. Первая газовая турбина была изготовлена швейцарской фирмой ББЦ (затем АББ и ныне «Альстом»).

Простейшая ГТУ состоит из компрессора, в котором сжимается атмосферный воздух, камеры сгорания, в которую подаются топливо и сжатый в компрессоре воздух, и газовой турбины, в которой расширяются продукты сгорания топлива. Мощность, развиваемая газовой турбиной, существенно выше, чем мощность, потребляемая компрессором на сжатие воздуха. Разность между этими мощностями представляет собой полезную мощность на валу ГТУ. Простой термодинамический цикл ГТУ со сжиганием топлива при постоянном давлении показан на рис. 6.4.

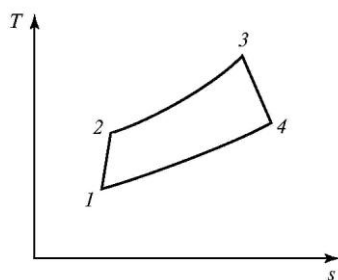


Рис. 6.4. Простой цикл ГТУ со сжиганием топлива при постоянном давлении:

1—2 — сжатие воздуха в компрессоре; 2—3 — нагрев продуктов сгорания топлива в камере сгорания; 3—4 — расширение продуктов сгорания в газовой турбине (работа); 4—1 — охлаждение продуктов сгорания топлива (выхлоп)

Совершенство ГТУ, как любого теплового двигателя, характеризуется КПД — отношением полезной мощности к количеству теплоты, подведенной к ГТУ при сжигании топлива.

КПД зависит от параметров термодинамического цикла: отношения абсолютных температур газов на входе и выходе и степени сжатия — отношения абсолютных давлений на входе и выходе из газовой турбины, а также от потерь энергии в компрессоре, в турбине, в подводящих и отводящих патрубках, в камере сгорания, в охлаждаемых элементах ГТУ.

Начальная температура газов перед газовой турбиной определяется прогрессом в материаловедении и системах охлаждения лопаток и других деталей турбин.

Степень сжатия зависит от конструкции компрессора, возможностей его изготовления.

Созданные в последние годы энергетические ГТУ выполнены по простому термодинамическому циклу. Единичные мощности наиболее крупных из них составляют 280 МВт, расходы воздуха — более 600 кг/с.

Газотурбинные установки, которые строятся на базе

авиационных газотурбинных двигателей (ГТД), выполняются с выделенной силовой турбиной. Газ для силовой турбины генерируется ГТД.

Компрессор и турбина ГТУ простого цикла располагаются в общем осесимметричном корпусе и образуют единый турбоблок. Камеры сгорания мощных энергетических ГТУ либо разделяются на 10...18 расположенных вокруг вала ГТУ пламенных труб диаметром 350...450 мм, либо выполняются крупногабаритными, выносными, располагаемыми вертикально рядом с ГТУ или над ней.

Небольшие размеры ГТУ позволяют собирать и налаживать турбоблок в заводских условиях, а затем транспортировать его в собранном виде к месту монтажа.

Теплота топлива, которая в ГТУ не преобразуется в работу, может быть утилизирована для теплофикации, для производства промышленного пара или использоваться в комбинированных (парогазовых) циклах для получения дополнительной работы. Термодинамический цикл бинарной парогазовой установки показан на рис. 6.5.

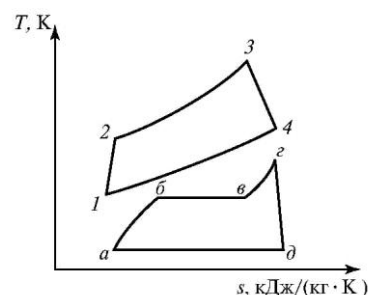


Рис. 6.5. Цикл бинарной парогазовой установки:

1—2—3—4—1 — см. рис. 6.4; a—б — нагрев конденсата (питательной воды) в котле-утилизаторе; б—в — испарение воды в котле-утилизаторе; в—г — перегрев пара в котле-утилизаторе; г—д — расширение пара в паровой турбине (работа); д—a — конденсация пара

Бинарные ПГУ выполняют с конденсационной или теплофикационной паротурбинной частью. Электрический КПД таких ПГУ в конденсационном исполнении составляет 50...58 %, в теплофикационном исполнении коэффициент использования теплоты топлива составляет 85...87 %, а отношение количества отпускаемой электроэнергии к отпускаемой теплоте — более 1500 кВт·ч/Гкал. Для сравнения: максимальное отношение количества отпускаемой электроэнергии к отпускаемой теплоте на теплофикационных блоках с паротурбинными установками Т-250/300-240 составляет 750 кВт·ч/Гкал.

Показатели ПГУ и эффективность использования газовых турбин в комбинированных циклах существенно зависят от параметров и показателей ГТУ. Повышение КПД ГТУ увеличивает долю газотурбинной мощности в ПГУ, что повышает КПД ПГУ и снижает удельную стоимость всей ПГУ.

Поскольку ГТУ работает на чистых, практически беззольных топливах, то в их отработанных газах содержание золы, монооксида углерода, несгоревших углеводо-

родов значительно ниже природоохранных требований. Наиболее серьезные экологические трудности создает образование в камерах сгорания ГТУ оксидов азота. Самым простым средством снижения их концентрации в продуктах сгорания ГТУ является ввод в камеру сгорания воды и водяного пара, снижающих температуру горения. Впрыск воды в количестве 0,6...1,0 кг или пара в количестве 0,9...1,5 кг на 1 кг топлива обеспечивает концентрацию оксидов азота в продуктах сгорания на уровне природоохранных требований. Мощность ГТУ при этом увеличивается.

Наиболее радикальным и эффективным способом снижения эмиссии оксидов азота является создание «сухих» камер сгорания ГТУ. В зависимости от нагрузки ГТУ для обеспечения экономичности горения и экологических требований в таких камерах сгорания распределение расходов воздуха по пламенным трубам регулируется путем изменения проходных сечений смесителя и байпасов или изменяется количество работающих горелок. За рубежом в «сухих» камерах сгорания достигнуто снижение эмиссии оксидов азота ниже 50 мг/м³ при содержании в продуктах сгорания 15 % кислорода.

Газотурбинные установки являются мощными источниками шума: аэродинамического, магнитного, механического. Наибольший шум генерируется компрессором в воздухозаборном канале. Интенсивность этого шума достигает 155 дБ (А), частота — 1...4 кГц. Глушение его достигается с помощью встроенных во входной канал поглотителей и шумопоглощающей изоляции стенок ка-

нала. Интенсивность шума на выходе газов из турбины составляет 140...145 дБ (А). Глушение его сложнее из-за низких частот (30...125 Гц) и высокой скорости звука при высокой температуре газов (450...550 °С), которая вносит дополнительные трудности при конструировании шумоглушения.

Интенсивность шума, создаваемого турбогруппой ГТУ через стенки корпуса, составляет 100...110 дБ (А) на всех октавах. Для его уменьшения корпус ГТУ закрывается защитным кожухом. В целом снижение шума ГТУ до санитарных требований не вызывает технических трудностей.

В отличие от других тепловых двигателей, применяемых в энергетике, возможности совершенствования которых невелики, развитие ГТУ продолжается. Оно заключается в повышении начальной температуры газов и экономичности турбомашин, увеличении расходов воздуха и единичной мощности.

Совершенствование ГТУ обеспечивает повышение экономичности ПГУ, их экологической чистоты.

Широкое применение ПГУ при новом строительстве и техническом перевооружении электростанций позволяет экономить до 20 % топлива по сравнению с традиционными паротурбинными блоками при сокращении удельных капиталовложений и удельной численности персонала.

В табл. 6.2 представлены характеристики ГТУ, выпускаемых в России и Украине.

Таблица 6.2. Характеристики газотурбинных установок, выпускаемых или разрабатываемых в России и Украине

Изготовитель	Тип, модель	Мощность, МВт	КПД, %	Степень сжатия	Начальная температура газов, °С	Температура газов на выходе, °С	Расход воздуха, кг/с	Расход топлива, кг/с
ЛМЗ, г. Санкт-Петербург	ГТЭ-160	157	34,4	12,1	1060	537	509	9,26
ТМЗ, г. Екатеринбург	ГТЭ-6	6,12	23,5	6,2	760	415	45	—
	ГТЭ-16	16,46	30,4	11,5	920	420	85	—
	ГТЭ-6У	6,35	31,0	12,0	920	406	33	—
	ГТЭ-25У	32	32,5	13,5	1060	466	125	—
НКТ «Двигатели НК», г. Самара	НК-37	25	36,4	23,1	1147	425	—	—
	НК-37-1	30,2	37,3	25,6	1219	455	—	—
ОАО «Сатурн», (г. Москва — г. Рыбинск)	АЛ-31СТЭ	20	36,5	18,1	1252	518	61,7	—
	ГТЭ-110	110	35,1	14,7	1210	524	360	—
«Авиадвигатель» — «Пермские моторы»	ГТУ-12ПЭ	12	35	16,9	1049	426	—	51
	ГТУ-16ПЭ	16	37,5	19,6	1143	466	—	57
НПО «Мотор», г. Уфа	ГТЭ-10/95	10	30,1	8,41	906	478	—	62,4
ЦИАМ — «Союз», г. Москва	55СТ-20	20	31,7	—	957	457	—	98,0
НПО «Турбоатом», г. Харьков (Украина)	ГТЭ-45-3	54,8	28	7,8	900	475	270	—
НПО «Машпроект», г. Николаев (Украина)	ГТГ-6	6	30,5	14,0	1000	410	—	30
	ГТГ-15 (ДЖ-59)	15,8	31,0	12,7	870	360	—	98,5
	ГТГ-16 (ДА-90)	17,0	35,5	19,5	—	427	—	71,0
	ГТЭ-110	110	35,1	14,7	1210	524	360	—