**CChhaapptteerr 99 CChhaapptteerr 99 Chapter 9**

**GGaass TT GGaass TT Gas Turbine Power Plant urbine Power Plant urbine Power Plant urbine Power Plant urbine Power Plant**

9.1 INTRODUCTION

Газовая турбина получает свою мощность, используя энергию сгоревших газов и воздуха, которая находится при высокой температуре и давлении, расширяясь через несколько колец неподвижных и движущихся лопастей. Таким образом, он напоминает паровую турбину. Для получения высокого давления (порядка от 4 до 10 бар) рабочего тела, необходимого для расширения компрессора, требуется. Требуемое количество рабочей жидкости и скорость больше, поэтому обычно используется центробежный или осевой компрессор. Турбина приводит в движение компрессор, и поэтому он соединен с валом турбины. Если после сжатия рабочая жидкость должна была быть расширена в турбине, то при условии, что ни в одном из компонентов не было потерь, мощность, развиваемая турбиной, была бы равна мощности, потребляемой компрессором, и проделанная работа была бы нулевой. Но увеличение объема рабочей жидкости при постоянном давлении или, альтернативно, увеличение давления при постоянном объеме может увеличить мощность, развиваемую турбиной. Добавление тепла, так что температура рабочей жидкости увеличивается после сжатия, может сделать любое из них. Для получения более высокой температуры рабочей жидкости требуется камера сгорания, в которой происходит сгорание воздуха и топлива, что приводит к повышению температуры рабочей жидкости. Таким образом, простой цикл газовой турбины состоит из (1) компрессора, (2) камеры сгорания и (3) турбины. Поскольку компрессор соединен с валом турбины, он поглощает часть мощности, производимой турбиной, и, следовательно, снижает КПД. Следовательно, сеть представляет собой разницу между работой турбины и работой, необходимой компрессору для ее привода. Газовые турбины были сконструированы для работы на следующих объектах: нефть, природный газ, угольный газ, генераторный газ, доменная печь и пылевидный уголь.

9.2 CLASSIFICATION OF GAS TURBINE POWER PLANT

Газотурбинные электростанции, которые используются в электроэнергетике, подразделяются на две группы по циклу эксплуатации. (а) Газовая турбина открытого цикла. (б) Газовая турбина с замкнутым циклом.

268 POWER PLANT ENGINEERING

9.2.1 OPEN CYCLE GAS TURBINE POWER PLANT

Простая газовая турбина открытого цикла состоит из компрессора, камеры сгорания и турбины, как показано на рис. 9.1. Компрессор забирает окружающий воздух и повышает его давление. Тепло добавляется к воздуху в камере сгорания при сжигании топлива и повышает его температуру.

Поставка топлива

Камера сгорания

компрессор

Воздух из атмосферы

Выхлоп в атмосферу

турбина

Генератору

Fig. 9.1. Газовая турбина открытого цикла. Нагретые газы, выходящие из камеры сгорания, затем направляются в турбину, где она расширяется, выполняя механическую работу. Часть вырабатываемой турбиной мощности используется для привода компрессора и других принадлежностей, а остальная часть используется для выработки электроэнергии. Поскольку окружающий воздух поступает в компрессор и газы, выходящие из турбины, выбрасываются в атмосферу, рабочую среду необходимо постоянно заменять. Этот тип цикла известен как газотурбинная установка с открытым циклом и в основном используется на большинстве газотурбинных электростанций, поскольку имеет много присущих ему преимуществ. (A) Преимущества 1. Время разогрева. Как только турбина будет доведена до номинальной скорости с помощью пускового двигателя, и топливо будет воспламенено, газовая турбина будет ускоряться от холодного пуска до полной нагрузки без времени прогрева. 2. Небольшой вес и размер. Вес в кг на кВт выработанного меньше. 3. Топливо. В камере сгорания может быть использовано практически любое углеводородное топливо от высокооктанового бензина до тяжелого дизельного топлива. 4. Заводы открытого цикла занимают сравнительно мало места. 5. Условие быстрого запуска и приема нагрузки часто являются точками в пользу установки с открытым циклом, когда установка используется в качестве установки с пиковой нагрузкой. 6. Усовершенствования компонентов или вспомогательных компонентов обычно можно варьировать для повышения термического КПД и обеспечения наиболее экономичных общих затрат для коэффициентов нагрузки установки и других предусмотренных условий эксплуатации. 7. Газотурбинная электростанция открытого цикла, кроме тех, которые имеют интеркулер, не требует охлаждающей воды. Следовательно, установка не зависит от охлаждающей среды и становится автономной.

GAS TURBINE POWER PLANT 269

(B) Недостатки 1. КПД при частичной нагрузке установки с открытым циклом быстро снижается, поскольку значительный процент вырабатываемой турбиной мощности используется для привода компрессора. 2. Система чувствительна к эффективности компонентов; особенно это компрессора. Установка с открытым циклом чувствительна к изменениям температуры, давления и влажности воздуха. 3. Газотурбинная установка с открытым циклом имеет более высокую скорость подачи воздуха по сравнению с другими циклами, поэтому она приводит к увеличению потерь тепла в выхлопных газах, и необходима установка воздуховодов большого диаметра. 4. Важно предотвратить попадание пыли в компрессор, чтобы минимизировать эрозию и осаждение на лопатках и каналах компрессора и турбины и, таким образом, ухудшить их профиль и эффективность. Осаждение углерода и золы на лопатках турбины совсем не желательно, поскольку это также снижает эффективность турбины.

9.2.2 CLOSED CYCLE GAS TURBINE POWER PLANT

Газотурбинная установка с замкнутым циклом возникла и развивалась в Швейцарии. В 1935 году Дж. Акерет и К. Келлер впервые предложили этот тип машины, и первая установка была завершена в Цюрихе в 1944 году. Он использовал воздух в качестве рабочей среды и имел полезную мощность 2 мВт. С тех пор во всем мире было построено несколько газотурбинных установок с замкнутым циклом, и наибольшая мощность 17 МВт находится в Гельзенкирхене, Германия, и успешно работает с 1967 года. В газотурбинной установке с замкнутым циклом рабочая жидкость (воздух или любой другой подходящий газ), выходящий из компрессора, нагревается в нагревателе внешним источником при постоянном давлении. Воздух высокой температуры и высокого давления, выходящий из внешнего нагревателя, пропускается через газовую турбину. Жидкость, выходящая из турбины, охлаждается до ее первоначальной температуры в охладителе с использованием внешнего источника охлаждения, прежде чем попасть в компрессор. Рабочая жидкость постоянно используется в системе без изменения фазы, и требуемое тепло отдается рабочей жидкости в теплообменнике. Расположение компонентов газотурбинной установки замкнутого цикла показано на рис. 9.2. (A) Преимущества 1. Недостатком газовой турбины открытого цикла является атмосферное противодавление на выходе из турбины. В газотурбинных установках с замкнутым циклом противодавление может быть увеличено. Из-за контроля противодавления номинальная мощность агрегата может быть увеличена примерно пропорционально противодавлению. Следовательно, машина может быть меньше и дешевле, чем машина, используемая для выработки той же мощности с использованием установки с открытым циклом. 2. Замкнутый цикл предотвращает эрозию лопаток турбины из-за загрязненных газов и загрязнение лопаток компрессора из-за пыли. Следовательно, он практически свободен от ухудшения эффективности обслуживания. Отсутствие коррозии и истирания внутренних частей компрессора и турбины продлевает срок службы установки и поддерживает постоянную эффективность установки в течение всего срока ее службы, поскольку они не содержат продуктов сгорания. 3. Потребность в фильтрации входящего воздуха, которая является серьезной проблемой в установке с открытым циклом, полностью устранена. 4. Изменение нагрузки обычно достигается путем изменения абсолютного давления и массового расхода циркулирующей среды, в то время как соотношение давления, температуры и скорости воздуха остаются практически постоянными. Это приводит к тому, что соотношение скоростей в компрессоре и турбине не зависит от нагрузки, а тепловой КПД при полной нагрузке поддерживается во всем диапазоне рабочих нагрузок.

270 ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ ИНЖЕНЕРНАЯ

Поставка топлива

Подача воздуха

Газы сгорания в отходы

Камера сгорания и теплообменник

компрессор

предварительный охладитель

COOLENT

Вода в воде из

Генератору

турбина

Подача воздуха

Рис. 9.2. Газотурбинный завод закрытого цикла. 5. Плотность рабочего тела можно поддерживать высокой за счет увеличения диапазона внутреннего давления, поэтому компрессор и турбина имеют меньшую номинальную мощность. Высокая плотность рабочей жидкости дополнительно увеличивает теплообменные свойства в теплообменнике. 6. Поскольку в установке с замкнутым циклом используется косвенный нагрев, в печи можно использовать низкое масло или твердое топливо, и эти виды топлива можно использовать более экономично, поскольку они доступны в изобилии. 7. Наконец, замкнутый цикл открывает новое поле для использования рабочей среды (кроме воздуха, такой как аргон, CO2, гелий), имеющей более желательные свойства. Соотношение γ рабочей жидкости играет важную роль в определении производительности газотурбинной установки. Увеличение γ с 1,4 до 1,67 (для аргона) может привести к значительному увеличению выхода на кг циркулирующей жидкости и теплового КПД установки. Теоретическая тепловая эффективность одноатомных газов будет самой высокой для газовой турбины с замкнутым циклом. Кроме того, при использовании относительно плотных инертных газов, таких как аргон, криптон и ксенон, преимущество меньшего изэнтропического теплового падения и меньших площадей поперечного сечения потока: вопрос о том, следует ли использовать CO2 или гелий в качестве рабочего тела в качестве рабочей среды, вызывает споры. в настоящий момент. Материал лезвия создает проблему при использовании гелия в качестве рабочей жидкости. В случае CO2, новый тип компрессора должен быть разработан для сжатия жидкости. Основным преимуществом CO2 является то, что он обеспечивает эффективность 40% при 700 ° C, тогда как для достижения той же эффективности гелию потребуется 850 ° C или более. Гелиевая турбина также должна была бы работать быстрее, создавая большие напряжения на роторе. 8. Расходы на техническое обслуживание низкие, а надежность высокая из-за более длительного срока службы.

GAS TURBINE POWER PLANT 271

9. Тепловая эффективность увеличивается с уменьшением отношения давлений (Rp). Следовательно, заметно более высокие тепловые коэффициенты полезного действия достигаются при замкнутом цикле для тех же максимальных и минимальных пределов температуры, что и в установке с разомкнутым циклом. 10. Запуск самолета упрощается за счет снижения давления до атмосферного или даже ниже атмосферного, так что мощность, необходимая для запуска, значительно снижается. (B) Недостатки 1. Система зависит от внешних средств, так как в предварительном охладителе требуется большое количество охлаждающей воды. 2. Более высокое внутреннее давление связано со сложной конструкцией всех компонентов, и требуется высококачественный материал, который увеличивает стоимость установки. 3. Реакция на изменения нагрузки является слабой по сравнению с установкой с открытым циклом. 4. Для нее требуются очень большие теплообменники, поскольку нагрев рабочей жидкости осуществляется косвенно. Пространство, необходимое для теплообменника, значительно больше. Полный нагрев топлива также не используется на этом заводе. Замкнутый цикл предпочтительнее только открытого цикла, когда следует использовать низкокачественный тип топлива или твердое топливо, и достаточное количество охлаждающей воды имеется на предлагаемом участке установки. Однако газотурбинные установки с замкнутым циклом еще не использовались для производства электроэнергии. Это главным образом является следствием ограничений, налагаемых размером блока теплообменника. Использование большого количества параллельных теплообменников практически исключило бы экономические преимущества, связанные с увеличением размеров установки. Недостатком открытого цикла является атмосферное противодавление, которое ограничивает номинальную мощность устройства. Этот недостаток можно устранить в установке с замкнутым циклом, увеличив противодавление цикла. В обычных газотурбинных установках с замкнутым циклом это может быть использовано только в ограниченной степени, поскольку воздухонагреватель ограничивает номинальную мощность устройства. Этот недостаток не распространяется на установку с замкнутым циклом с ядерным реактором в качестве источника тепла. Производители газотурбинных установок с замкнутым циклом считают, что с такими установками может быть достигнута номинальная мощность до 500 мВт.

Regenerator

4

1

5

2

9

6

3

4

8

7

Starting Motor

Reactor

L.P. Turbine

H.P. Turbine

H.P. Compressor

L.P. Compressor

Precooler

Inter-Cooler

Electrical Generator

0 18 20 22 24 26 28

100

200

300

400

500

600

700

Temperature °C

Entropy

86

9

1

5

4

3

2

7

Fig. 9.3. Direct Turbine for Helium Cooled Fast Reactor. Fig. 9.4. The Processes are Presented on T-s Diagram.

272 POWER PLANT ENGINEERING

При использовании ядерного реактора в качестве источника тепла для газа теплообменники могут быть исключены из установки с замкнутым циклом, и вышеупомянутое ограничение (количество теплообменников) не существует. Плотность мощности в активной зоне охлаждаемого гелием быстрого реактора в несколько тысяч раз выше, чем в обычном газовом теплообменнике. Таким образом, блоки в несколько тысяч мегаватт, рассчитанные на высокое давление газа, могут быть размещены в одном предварительно напряженном бетонном сосуде. Типичная газотурбинная установка с замкнутым циклом, использующая гелий в качестве рабочей среды и реактор на быстрых нейтронах с гелиевым охлаждением, показана на рисунке 9.3, а соответствующая диаграмма T-s показана на рисунке 9.4. Газотурбинная установка с замкнутым циклом, использующая гелий в качестве рабочего тела, намного меньше, чем обычная воздушно-турбинная установка с той же производительностью. Это связано с лучшими термодинамическими свойствами гелия по отношению к воздуху, и в системе быстрых реакторов с гелиевым охлаждением можно использовать гораздо более высокие давления. Гелиевая турбина, используемая в установке с замкнутым циклом мощностью 335 мВт в Швейцарии, имеет диаметр 3,7 метра и длину 14 метров. Соответствующие размеры воздушных турбин мощностью 17 мВт на заводе в Гельзенкирохене имеют диаметр 2,6 метра и длину 9 метров. Ожидается, что в будущем комбинация реакторов на быстрых нейтронах и газовых турбин станет очень перспективным решением для будущего производства электроэнергии. Это связано с высокими характеристиками размножения быстрых реакторов с гелиевым охлаждением, которые обеспечивают непрерывность низких затрат на топливо, в то время как ожидается, что использование газотурбинной установки с замкнутым циклом сократит капитальные вложения установки. Стоимость также примерно пропорциональна весу. Можно ожидать гораздо дешевле турбооборудования, чем паровая установка.

9.3 ELEMENTS OF GAS TURBINE POWER PLANT

Инженеры и проектировщики всегда должны знать о конструкции и эксплуатации компонентов газотурбинных установок.

9.3.1. COMPRESSORS

Высокие скорости потока турбин и относительно умеренные отношения давления требуют использования роторных компрессоров. Типы компрессоров, которые обычно используются, бывают двух типов: центробежные и осевые. Центробежный компрессор состоит из рабочего колеса (вращающийся компонент) и диффузора (стационарный компонент). Рабочее колесо передает высокую кинетическую энергию воздуху, а диффузор преобразует кинетическую энергию в энергию давления. Отношение давления от 2 до 3 возможно для одноступенчатого компрессора, и оно может быть увеличено до 20 для трехступенчатого компрессора. Компрессоры могут иметь одинарный или двойной впуск. Компрессоры с одним впускным отверстием предназначены для обработки воздуха в диапазоне от 15 до 300 м3 / мин, а предпочтительнее, если объем двойного впуска превышает 300 м3 / мин. Центробежный компрессор с одним впускным отверстием показан на рис. 9.5. КПД центробежного компрессора составляет от 80 до 90%. КПД многоступенчатого компрессора ниже, чем у одноступенчатой ​​из-за потерь. Осевой компрессор потока состоит из серии ступеней ротора и статора с уменьшающимися диаметрами вдоль потока воздуха. Выход воздуха Seroll Воздух в рабочем колесе Рис. 9.5. Одноступенчатый одноступенчатый центробежный компрессор.

GAS TURBINE POWER PLANT 273

Лопасти закреплены на роторе, а роторы закреплены на валу. Лопатки статора закреплены на корпусе статора. Лопатки статора направляют поток воздуха к следующей ступени ротора, идущей от предыдущей ступени ротора. Воздух течет вдоль оси ротора. Кинетическая энергия передается воздуху, когда он проходит через ротор, и часть его преобразуется в давление. Осевой компрессор потока показан на рис. 9.6. Количество ступеней, необходимое для отношения давления 5, достигает шестнадцати и более. Удовлетворительный воздушный фильтр абсолютно необходим для очистки воздуха перед его поступлением в компрессор, поскольку важно поддерживать заданный профиль лопастей аэродинамического профиля. Осаждение частиц пыли на поверхности лезвия быстро снижает эффективность. Преимущества компрессора с осевым потоком перед центробежным компрессором - высокая изоэнтропическая эффективность (90-95%), высокая скорость потока и небольшой вес при одинаковом количестве потока. Компрессоры с осевым потоком очень чувствительны к изменениям воздушного потока и скорости, что приводит к быстрому снижению эффективности. В обоих типах компрессоров было обнаружено, что снижение температуры воздуха на входе на 15-20 ° C дает почти 25% большую производительность при увеличении эффективности на 5%.

9.3.2. INTERCOOLERS AND HEAT EXCHANGERS

Промежуточный охладитель обычно используется в газотурбинной установке, когда используемый коэффициент давления является достаточно большим, и сжатие завершается двумя или более ступенями. Охлаждение сжатого воздуха обычно осуществляется с использованием охлаждающей воды. Для эффективного теплообмена предпочтительным является промежуточный охладитель с поперечным потоком. Регенераторы, которые обычно используются на газотурбинной установке, бывают двух типов: рекуператор и регенератор. В рекуперативном типе теплообменника воздух и горячие газы направляются в противоположном направлении, так как эффект противотока дает большую среднюю разницу температур, вызывающую более высокий тепловой поток. Несколько перегородок на пути воздушного потока используются для того, чтобы воздух дольше контактировал с поверхностью теплопередачи. Теплообменник регенераторного типа состоит из теплопроводящего элемента, который попеременно подвергается воздействию горячих выхлопных газов и более холодного сжатого воздуха. Он поглощает тепло от горячих газов и отдает его при воздействии воздуха. Нагревательный элемент изготовлен из металлической сетки или матрицы, которая медленно вращается (40-60 об / мин) и постоянно подвергается воздействию горячего и холодного воздуха.

Входные направляющие лопатки

Рис. 9.6. Осевой воздушный компрессор.

 Рис. 9.7. Ритц регенеративный теплообменник.

Выхлоп в атмосферу

Теплообменник вращающегося типа с неподвижным кожухом для камеры сгорания

Воздух от компрессора

Выхлоп из газовой турбины

274 POWER PLANT ENGINEERING

Профессор Ритц предложил первое применение регенеративного теплообменника для газотурбинных установок Германии, и этот теплообменник был назван под его именем. Расположение теплообменника Ritz показано на рис. 9.7. Теплообменный элемент A медленно вращается приводом от газовой турбины через вал S. В результате вращения теплообменный элемент A помещается в канал для выхлопных газов на половину времени, необходимого для одной об. / Мин. и в проходе подачи воздуха для оставшейся половины. Нагревательный элемент поглощает тепло от горячих газов при воздействии горячих газов и выделяет такое же тепло холодному воздуху, когда нагреваемая часть перемещается в воздушной области. Благодаря подходящей конструкции скорости вращения передающего элемента и его массы относительно передаваемого тепла можно обеспечить высокую эффективность, заявленные значения составляют 90%. Основными преимуществами этого теплообменника по сравнению с рекуперативным типом являются легкость, меньшая масса и небольшой размер для обеспечения заданной эффективности и низкого перепада давления. Основным недостатком этого теплообменника является то, что всегда будет тенденция к утечке воздуха в выхлопные газы, поскольку сжатый воздух находится под гораздо более высоким давлением, чем выхлопные газы. Эта тенденция утечки уменьшает повышение эффективности за счет теплообменника. Поэтому главная проблема в конструкции этого типа теплообменника состоит в том, чтобы предотвратить или минимизировать потерю воздуха из-за утечки. В последнее время для предотвращения утечки воздуха предусмотрены специальные уплотнения. Это уплотнение выдерживает очень высокую температуру и давление и обеспечивает свободу движений. Производительность теплообменника определяется фактором, известным как эффективность. Эффективность теплообменника определяется как

ε =

фактическая теплопередача воздуху максимальная теплопередача теоретически возможна

Эффективность определяется

ε =

52

42

C (T T)

C (T T) - - pa pg g m m

где ma и mg - массы воздуха и выхлопных газов, а CPa и CPg - соответствующие удельные теплоты. Если массой топлива по сравнению с массой воздуха пренебрегают и предполагается, что CPa = CPg, то эффективность определяется выражением

ε = 52 42 TT TT ′ − −

9.3.3 COMBUSTION CHAMBERS

Газовая турбина представляет собой систему с непрерывным потоком; следовательно, сгорание в газовой турбине отличается от сгорания в дизельных двигателях. Высокая скорость потока массы приводит к высоким скоростям в разных точках цикла (300 м / с). Одной из жизненно важных проблем, связанных с разработкой системы сгорания газовой турбины, является обеспечение стабильного и стабильного пламени внутри камеры сгорания. Система сгорания газовой турбины должна функционировать в определенных различных рабочих условиях, которые обычно не встречаются в системах сгорания дизельных двигателей. Некоторые из них перечислены ниже: 1. Сжигание в газовой турбине происходит в системе с непрерывным потоком, и поэтому теряется преимущество высокого давления и ограниченного объема, доступного в дизельном двигателе. Химическая реакция протекает относительно медленно, поэтому для достижения полного сгорания требуется большое время пребывания в камере сгорания.

GAS TURBINE POWER PLANT 275

2. Газовая турбина требует примерно 100: 1 воздушно-топливного отношения по весу по причинам, упомянутым ранее. Но воздушно-топливное отношение, необходимое для сгорания в дизельном двигателе, составляет приблизительно 15: 1. Следовательно, невозможно воспламенить и поддерживать непрерывное сгорание с такой слабой смесью. Необходимо обеспечить обогащенную смесь для воспламенения и непрерывного сгорания, и, следовательно, необходимо разрешить необходимый воздух в зоне сгорания, а оставшийся воздух необходимо добавить после полного сгорания, чтобы снизить температуру газа перед его прохождением в турбину.

3. Пилотная или рециркуляционная зона должна быть создана в основном потоке для создания стабильного пламени, которое помогает непрерывно зажигать горючую смесь.

4. Стабильное непрерывное пламя может поддерживаться внутри камеры сгорания, когда скорость потока и скорость горения топлива равны. К сожалению, большинство видов топлива имеют низкие скорости горения, порядка нескольких метров в секунду, поэтому стабилизация пламени невозможна, если не использовать какой-либо метод для закрепления пламени в камере сгорания.

Рис. 9.8. Камера сгорания с впрыском вверх по потоку с держателем пламени обтекателя.

Топливная первичная зона

Воздух от компрессора

Держатель пламени вихревого типа

Вторичная зона

Третичная зона

К турбине

Рис. 9.9. Камера сгорания с впрыском вниз и вихревым держателем. Обычными методами стабилизации пламени, используемыми на практике, являются метод обтекания тела и метод вихревого потока. Два типа камер сгорания, в которых для стабилизации пламени используются обтекатель и вихрь, показаны на рис. 9.8 и рис. 9.9. Основное различие между ними заключается в использовании различных методов для создания пилотной зоны для стабилизации пламени.

Около 15-20% всего воздуха проходит вокруг струи топлива, обеспечивая богатую смесь в первичной зоне. Эта смесь непрерывно горит в первичной (пилотной) зоне и производит высокотемпературные газы. Около 30% всего воздуха подается во вторичную зону через однолетние растения вокруг жаровой трубы для завершения сгорания. Вторичный воздух должен поступать в правильные точки в камере сгорания, в противном случае холодный нагнетаемый воздух может локально охладить пламя, тем самым снижая скорость

276 POWER PLANT ENGINEERING

реакция. Вторичный воздух помогает завершить сгорание, а также помогает охлаждать жаровую трубу. Оставшиеся 50% воздуха смешиваются со сгоревшими газами в «третичной зоне» для охлаждения газов до температуры, подходящей для материалов лопаток турбины.

Путем вставки обтекателя в основной поток создается зона низкого давления ниже по потоку, что вызывает изменение направления потока вдоль оси камеры сгорания для стабилизации пламени.

В случае вихревой стабилизации первичный воздух пропускается через завихритель, который создает вихревое движение, создавая зону низкого давления вдоль оси камеры, вызывая реверсирование потока. Во всех трех зонах сгорания должна быть создана достаточная турбулентность и равномерное перемешивание горячих и холодных оснований, чтобы обеспечить равномерный температурный поток газа на выходе из камеры сгорания.

9.3.4. GAS TURBINES

Общие типы турбин, которые используются, являются осевым типом потока. Основные требования к турбинам: легкий вес, высокая эффективность; надежность в эксплуатации и длительный срок службы. Большая производительность работы может быть получена за этап с высокими скоростями движения лезвий, если лезвия рассчитаны на более высокие нагрузки. В газотурбинной электростанции всегда предпочтительнее использовать больше ступеней турбины, поскольку это помогает уменьшить напряжения в лопатках и увеличивает общий срок службы турбины. Для стационарных силовых установок предпочтительны дополнительные ступени, потому что вес не является основным фактором при проектировании, что существенно для авиационной турбины.

Охлаждение лопаток газовой турбины необходимо для продолжительного срока службы, так как она постоянно подвергается воздействию высокотемпературных газов. Существуют разные способы охлаждения лопастей. Распространенным методом является воздушное охлаждение. Воздух пропускается через отверстия, проходящие через лезвие.

9.4 REGENERATION AND REHEATING

Как правило, тепловой КПД простого открытого цикла составляет всего около 16-23%, так как много тепловой энергии уходит в отходящие газы. Кроме того, эффективность цикла напрямую зависит от температуры газов на входе в турбину. А так как металлургические ограничения не позволяют использовать температуры выше, чем приблизительно 1000 ° С, нельзя ожидать значительного увеличения эффективности за счет повышения температуры газов. Конечно, этот недостаток эффективности может быть преодолен путем включения термических улучшений в простой открытый цикл, например. регенерация, разогрев. Но установка станет сложной в отличие от простой установки с открытым циклом, которая компактна, занимает очень мало места, не нуждается в воде и может быть быстро взорвана от холода. Тепловые рафинирования могут повысить эффективность установки более чем на 30% и тем самым исключить преимущество эффективности использования топлива, которой обладают дизельные или конденсационные паровые электростанции. Эти уточнения обсуждаются ниже:

9.4.1 REGENERATION

При регенерации тепловая энергия отработавших газов передается сжатому воздуху до его попадания в камеру сгорания. Следовательно, благодаря этому процессу будет достигнута экономия топлива, используемого в камере сгорания, если будет достигнута та же самая конечная температура газов сгорания, а также будет происходить снижение отработанного тепла. Рис. 9.10. показывает регенеративный цикл.

ГАЗОТУРБИННАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ 277

A.C.

Выхлопное топливо

Генератор

Магистр естественных наук

Газовая турбина

Воздух в 1

2 3 6

5

4

Пусковой мотор

Регенератор

2а 2

36

5

5a

4

Температура Уменьшено из-за передачи тепла в H.E.

ЧАС

Цикл регенерации

Рис. 9.10 Рис. 9.11 Для проведения регенерации Т5 должно быть больше Т2. В теплообменнике температура воздуха повышается с Т2 до Т3, а температура выхлопных газов снижается с Т5 до Т6. Если регенерация идеальна, воздух нагревается до температуры выхлопных газов, поступающих в H.E. Эффективность регенерации определяется как: ε = эффективность

знак равно

Повышение температуры воздуха Макс. возможный рост

 = 32 52 TT TT - -

Для идеальной регенерации T3 = T5 и T6 = T2 Общие значения эффективности должны составлять от 70 до 85%. Поверхность нагрева генератора, а также размеры и цена газовой турбины увеличиваются с увеличением доли регенерации. Но чтобы экономически оправдать регенерацию, эффективность должна быть не менее 50%. Регенеративный цикл имеет более высокую эффективность, чем простой цикл только при низком давлении. Если коэффициент давления поднимается выше определенного предела, регенератор будет охлаждать сжатый воздух, поступающий в камеру сгорания, а не нагревать его, и эффективность регенеративного цикла падает. Это видно из рис. 9.12.

Из рисунка 9.11 видно, что работа турбины компрессора не зависит от регенерации. Однако тепло, которое должно подаваться в камеру сгорания, уменьшается, а также оно добавляется при более высокой температуре по сравнению с циклом без регенерации. Таким образом, тепловой КПД цикла увеличивается. Это будет равно,

ηt =

4 5 2 1

43

C (T T) C (T T)

C (T T)

стр

п

- - - -

 Для идеальной регенерации T3 = T5

ηt = 1 - 21 45 (T T) (T T)  -  - 

0

0

10

20

30

40

5 10 15 20 Коэффициент давления

Тепловая эффективность %

регенеративный

просто

Рис. 9.12

278 ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ

Это уравнение будет уменьшено до,

ηt = 1 - (1) / 1 4 T1. . () T () kk p ac при r -     ηη   

... (1)

Для идеального открытого цикла ηac = ηat = 1

ηt = 1 - (1) / 1 4 T. () T kk pr -      

... (2)

Регенератор должен быть спроектирован правильно, чтобы избежать каких-либо существенных. Потеря давления в нем, что может свести на нет любое повышение тепловой эффективности. Из-за некоторой потери давления в регенераторе выходная мощность турбины и выходная мощность будут немного меньше, чем для простого цикла.

9.4.2 REHEATING

В цикле разогрева газообразные продукты сгорания расширяются не только в одной турбине, но и в двух. Выхлоп турбины высокого давления подогревается в подогревателе, а затем расширяется в турбине низкого давления. При повторном нагреве выходная мощность турбины увеличивается, но стоимость дополнительного топлива может быть высокой, если также не используется теплообменник. Цикл разогрева показан на рис. 9.13. Учитывая адиабатические расширения, общая работа, проделанная в двух турбинах, будет равна: (I3 - I4a) + (I5 - I6a).

Магистр естественных наук

Генератор

L.P.T.

Выхлоп5 6

4

промежуточный пароперегреватель

топливо

H.P.T.

3Fuel C.C.

2

A.C.

Воздух в

Пусковой мотор

Рис. 9.13

2а

2

3

4

7а

4а

5

6

6а

ЧАС

φ цикл повторного нагрева

0

0 5 10 15

10

20

30

40

20

Тепловая эффективность %

Коэффициент давления

подогревать

просто

Рис. 9.14 Рис. 9.15 Если бы газообразные продукты сгорания расширялись только в одной турбине до точки 7а для того же отношения давления, то выходная мощность была бы: (I3 - I7a). Теперь линии постоянного давления на диаграмме H-Φ расходятся от начала координат и сходятся к началу координат. Поэтому линия 5–6a будет больше, чем 4a – 7a. Следовательно, разогрев увеличивает

ГАЗОТУРБИННАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ 279

выходная мощность. При повторном нагревании средняя температура добавления тепла повышается, что приводит к повышению производительности и эффективности цикла. Если необходимо принять цикл подогрева, то отношение давления должно быть высоким, как при низких отношениях давления, термический КПД снижается при повторном нагреве. Рис. 9.14. Повторное нагревание уменьшает поток воздуха в цикле, что приводит к снижению входной мощности в компрессор. Для идеального разогрева; температура рабочей жидкости после повторного нагрева равна максимально допустимой температуре на входе в турбину. То есть T5 = T3. Эффективность цикла будет выражаться как

ηt = 3 4 5 6 2 1 3 2 5 4 (T T ) (T T ) (T T ) (T T ) (T T ) −+−−− −+−

9.5 COGENERATION

Децентрализованное комбинированное производство тепла и энергии - когенерация - очень гибкий и эффективный способ использования топлива. Когенерация на основе биомассы является экологически чистой, и можно использовать все виды ресурсов биомассы. Роль комбинированного производства тепла и энергии в энергоснабжении Дании вытекает из принятого в 1978 году решения о создании национальной сети природного газа. В настоящее время система природного газа является одним из факторов, блокирующих использование биомассы и природного газа в децентрализованных когенерационных установках, поскольку значительная часть рынка тепла теряется из-за децентрализованной когенерации из-за индивидуального газоснабжения. В июне 1986 года было принято решение о создании децентрализованной теплоэлектростанции мощностью 450 мВт. Они очень эффективны и экологически совместимы, если они основаны на природном газе или биомассе. Интерес к биомассе в качестве основы для комбинированного производства тепла и энергии вызван частично экологическими соображениями и частично стремлением в сельском и лесном хозяйстве избавиться от растущего избытка остаточных продуктов, обычно соломы и щепы. Но помимо проблемы, связанной с недостаточным рынком тепла, энергетическая политика привела к тому, что до сих пор не было достаточно целенаправленных и амбициозных целей в области когенерационных технологий, что, в первую очередь, должно привести к более широкому использованию биомассы для производства тепла и электроэнергии.

9.5.1 COGENERATION — WHY

Существует большой политический интерес к изменению местного теплоснабжения для комбинированного производства тепла и электроэнергии - это означает когенерацию тепла и энергии. Основным физическим условием является то, что не вся скрытая энергия топлива может быть преобразована в тяговую мощность, например, управлять машиной. Основная часть энергии обязательно преобразуется в отходящее тепло, которое в примере с автомобилем исчезает при охлаждении двигателя и при выхлопе. Когенерационные установки могут использоваться во всех ситуациях, когда существуют определенные потребности в тепле. Все это включает в себя чрезвычайно большое количество теплоцентралей, учреждений, кооперативных строительных обществ, отраслей промышленности и т. Д. Для технологий когенерации основной интерес обусловлен тем, что используется очень большой процент энергии, содержащейся в топливе, обычно 85-95%. Это следует сравнить с относительно низкой энергоэффективностью централизованных тепловых электростанций, среднегодовая эффективность составляет около 55% в районе ELSAM (Ютланд, Фюн). Другой важной причиной интереса к децентрализованной когенерации является возможность использования возобновляемой биотоплива из соломы, древесины, навоза и т. Д. Кроме того, есть несколько обстоятельств, которые не так заметны в политических дебатах.

280 ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ЗАВОД

Прежде всего большое количество когенерационных установок повышает безопасность энергоснабжения. Не принято, что крупные энергоблоки выходят из строя, но это случается. Очевидно, что последствия пропуска большого блока гораздо более значительны, чем если бы это была одна из гораздо меньших когенерационных установок.

Во-вторых, происходит значительная потеря энергии от электросети. В зоне ELSAM это в среднем 7%. Но эта цифра охватывает очень большие колебания в течение дня и, кроме того, очень сильно зависит от уровня напряжения. Таким образом, потери энергии от низковольтной сети намного больше, чем от высоковольтной сети. Все это означает, что, например, в зимний день в 5 часов вечера происходит большая потеря энергии от низковольтной сети.

Именно потому, что многие когенерационные установки подключены к низковольтной сети, они также снижают потери в сети, что влияет на общую эффективность использования энергии.

9.5.2 COGENERATION TECHNOLOGIES

(а) Газовые двигатели. Наиболее распространенный тип комбинированного производства тепла и энергии в Дании связан с газовыми двигателями внутреннего сгорания, что является широко известной технологией. Их можно найти на рынке в размерах от 7 кВт до 4 мВт, а КПД составляет 20% для небольших двигателей и более 40% для самых больших. Поскольку производство электроэнергии рассматривается в качестве основной цели, важно, чтобы КПД постоянно повышался.

Нижним пределом для прибыльной когенерационной установки является потребность в тепле в 15 000 м природного газа в год и энергопотребление в 50 000 кВт-ч в год при существующих двигателях на рынке.

Топливо для газовых двигателей - это, в основном, природный газ, и оно будет оставаться таким еще несколько лет. Некоторые заводы основаны на биогазе, который получит более широкое использование, в то время как различные типы биогазовых установок разрабатываются и создаются.

Предполагается, что газ от термической газификации соломы и древесины также будет распространяться в качестве топлива для стационарных когенерационных установок в ближайшие годы.

Существуют некоторые различия между когенерационными установками в соответствии со стратегией эксплуатации. Более крупные установки, как правило, подключенные к теплоцентрали или промышленной компании, в основном работают в дневное время в будние дни. Это потому, что оплата за электроэнергию наиболее выгодна в то время, что опять же связано с тем, что мощность оплачивается в периоды с высоким потреблением. В этих случаях когенерационная установка вырабатывает тепло как для покрытия фактического потребления, так и для хранения в больших хранилищах воды. Затем хранилища опорожняются для отопления ночью и в выходные дни. Это политический запрос о том, что 90% годового потребления тепла должно подаваться от двигателя; газовый котел обеспечивает остальное.

Эта стратегия работы является реалистичной только при использовании природного газа в качестве топлива, так как его достаточно в определенное время. В отличие от непрерывной добычи газа из биогазовой или газификационной установки. С другой стороны, спрос на переменную выработку электроэнергии увеличится, когда будут созданы когенерационные установки с переменным производством.

Небольшие растения, как правило, представляют собой установки с базовой нагрузкой, которые работают днем ​​и ночью. Они снабжают электроэнергией собственные установки и покрывают энергопотребление. В этом случае завод имеет 2 счетчика электроэнергии; один, который регистрирует покупку у энергетического предприятия, когда потребление превышает производство, и другой, который регистрирует продажу, когда собственное потребление меньше фактического производства.

GAS TURBINE POWER PLANT 281

Этот тип когенерационных установок имеет серьезные экологические и ресурсные преимущества. Природный газ является наименее загрязняющим ископаемым топливом. Частично это происходит из-за относительно высокого содержания водорода, который становится водой в процессе сгорания. Поэтому выброс CO2 от природного газа меньше, чем от нефти и угля. Загрязнение NOx от двигателей снижается в соответствии с требованиями властей путем установки трехходового катализатора или чаще с использованием двигателей с низким уровнем выбросов NOx (обедненное горение). Самые маленькие двигатели исключены из этих требований. Согласно ресурсам, преимущество, как уже упоминалось, заключается в более высокой энергоэффективности, чем на централизованных тепловых электростанциях. (б) газовые турбины. Некоторые крупные теплоцентрали основывают производство тепла и электроэнергии на газовых турбинах. Они могут регулироваться меньше, чем газовые двигатели, и, поскольку они в силу своего размера предполагают большую потребность в тепле, в будущем не будет места для многих новых. Просто городов с достаточно большим спросом на тепло просто не много. По-видимому, нет никаких разработок для повышения энергоэффективности, как в случае с газовыми двигателями. Комбинированное производство тепла и энергии на основе пара. Датские усилия по увеличению использования биомассы, главным образом соломы и древесины, в качестве топлива при комбинированном производстве тепла и энергии, все больше привлекают внимание к паровым двигателям и паровым турбинам. Паровой двигатель является широко известной технологией, но по разным причинам он не разрабатывался в течение нескольких лет. Одной из проблем был контакт между смазочным маслом и паром. Эта проблема была решена с помощью новой конструкции парогенератора, который производится в Дании и только готов для рынка. Преимущество этой технологии когенерации заключается в том, что биомасса может сжигаться непосредственно в паровом котле и получать требуемое давление пара 20-30 бар. Недостатком является то, что энергоэффективность вряд ли превысит 15%. Поэтому вопрос в том, способен ли паровой двигатель конкурировать с когенерацией на основе газифицированной биомассы в более долгосрочной перспективе. Похоже, что у паровых турбин есть лучшие возможности с сочетанием прямого сжигания биомассы в котле и перегрева пара природным газом. Датская теплоцентраль готовит испытательную установку на основе этой технологии. Его преимуществом является значительно более высокая энергоэффективность, чем у парового двигателя. (c) Двигатель Стирлинга. Двигатель Стирлинга - это двигатель горячего воздуха, названный в честь шотландского священника Стирлинга, который изобрел его в 1817 году. С тех пор он был разработан и изготовлен в огромном количестве конструкций. Несмотря на интенсивные и дорогостоящие исследования, это почти не имеет значения, поскольку исследование было направлено на разработку автомобильного двигателя, для которого он не подходит. С другой стороны, есть большие перспективы в том, чтобы рассматривать его как стационарную теплоэлектростанцию. Растет понимание этого, что привело к новым исследованиям и производству, направленным на это. Около 150 штук было произведено в серийном производстве в Индии. Это простая конструкция низкого давления с КПД около 10%. Двигатель Стирлинга имеет много преимуществ. В принципе, это очень простая технология - также в усовершенствованной версии с гелием вместо воздуха и высоким средним давлением. Кроме того, можно использовать большое разнообразие видов топлива, в том числе концентрированное солнечное тепло и чистый выхлоп, например. газовый двигатель. С материалами, используемыми сегодня, требуется около 700 ° C в качестве оптимальной рабочей температуры. И горячий воздух должен быть таким

282 POWER PLANT ENGINEERING

чистый, что покрытие не появляется на поверхности нагрева. Наконец, он практически бесшумный и, вероятно, очень стабильный в работе. Описание двигателя Стирлинга в значительной степени основано на исследованиях, проведенных в Техническом университете Дании. Модель мощностью 10 кВт со средним гелием и средним давлением 50 бар была испытана летом 1992 года. Результаты очень многообещающие, и особенно интересно, что КПД этого двигателя составляет около 30%. Перспектива производства тепла и энергии на основе двигателя Стирлинга заключается в том, что в ближайшем будущем он, вероятно, может быть получен в диапазоне мощностей от 1 кВт до 150 кВт; в долгосрочной перспективе может быть с еще более высоким выходом. Такие небольшие когенерационные установки могут дать двигателю Стирлинга огромное распространение и оказать революционное влияние на наше энергоснабжение.

9.6 AUXILIARY SYSTEMS

Вспомогательные системы являются основой газотурбинной установки. Без вспомогательной системы само существование газовой турбины невозможно. Это позволяет безопасную работу газовой турбины. Вспомогательная система включает в себя запуск, зажигание, смазку и топливную систему и контроль.

9.6.1 STARTING SYSTEMS

Для обеспечения удовлетворительного запуска газотурбинного двигателя требуются две отдельные системы: запуск и зажигание. Во время запуска двигателя обе системы должны работать одновременно.

9.6.1.1 Types of Starter

Ниже приведены различные типы газотурбинных стартеров. (a) Электрические (i) электродвигатели переменного тока и (ii) электродвигатели коленчатого вала постоянного тока, как правило, имеют трехфазные индукционные типы, рассчитанные на работу при доступном напряжении и частоте. Двигатель стартера постоянного тока берет источник электрической энергии из батареи аккумуляторов достаточной емкости, чтобы выдерживать пусковую нагрузку. Используется включающая или выключающая муфта. (б) Пневматический или воздушный стартер. Воздушный пуск используется в основном потому, что он легкий, простой и экономичный в эксплуатации. Поскольку воздушный стартер имеет ротор турбины, который передает мощность через редуктор и сцепление на выходной вал стартера, который соединен с двигателем. Стартовая турбина вращается под давлением воздуха, получаемого от внешнего источника питания, от вспомогательного силового агрегата, установленного на самолете, или от работающего двигателя. Электрический блок управления контролирует подачу воздуха на стартер, открывая редукционный клапан. Когда стартер двигателя выбран и автоматически закрывается с заданной скоростью стартера, сцепление также автоматически отключается при ускорении двигателя. Наиболее подходит для газотурбинного привода природного газа. (c) Стартер горения. Это во всех отношениях маленькая газовая турбина. Это полностью интегрированная система, которая включает в себя планетарный редуктор с обгонной муфтой. Агрегат запускается с помощью электрического стартера. Стартовая турбина напрямую соединена с валом газовой турбины через редуктор.

ГАЗОТУРБИННАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ 283

(d) Гидравлический пусковой двигатель. Он состоит из гидравлического стартера для основного двигателя, аккумулятора, двигателя гидронасоса для вспомогательного силового агрегата (A.P.U.). Разрядка гидроаккумулятора для питания двигателя гидронасоса запускает ВСУ. Двигатель гидравлического насоса приводится в действие с помощью ВСУ (рис. 9.16), чтобы запустить основной двигатель и зарядить аккумулятор. Это лучше подходит для авиационных двигателей.

Гидравлический стартер

аккумуляторный

Мотор гидравлического насоса

Главный двигатель

A.P.U.

Искровой разрядник

Разрядная щель

Н.Т. подключение к розетке зажигания Предохранительный регистр

Резервная мощность Вторичная

первичный

супрессоров

Запасной резистор

Л.Т. подключение к сети переменного тока

Трансформатор

Рис. 9.16. Гидравлический стартер. Рис. 9.17. Система зажигания.

9.6.2 IGNITION SYSTEMS

Система зажигания используется для запуска искры во время запуска. Как только он начинается, сгорание продолжается и работа системы зажигания автоматически отключается. Ниже приведены типы системы зажигания. 1. Конденсаторная разрядная система. (а) Система высокого напряжения и (б) Система низкого напряжения. 2. Индукционная система. 3. А. В. Цепи питания. Здесь обсуждается система зажигания цепи питания А.С. На рис. 9.17 показано расположение цепи питания переменного тока. Он получает переменный ток, который проходит через трансформатор и выпрямитель для зарядки конденсатора. Когда напряжение в конденсаторе равно величине пробоя герметичного разрядного промежутка, конденсатор разряжает энергию через поверхность свечи зажигания. В цепи установлены предохранительные и разрядные резисторы.

9.6.3 LUBRICATION SYSTEM

9.6.3.1 Элементы системы смазки

Ниже приведены элементы системы смазки газовой турбины 1. Масляный бак, 2. Масляный насос,

284 ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ

3. Фильтр и сетчатый фильтр, 4. Предохранительный клапан, 5. Масляный радиатор, 6. Нефтепровод и трубопровод, 7. Магнитная сливная пробка, 8. Перепускной клапан, клапан и 9. Сигнализаторы.

9.6.3.2. Working Principle of a Lubrication System

Рис. 9.18. показана система смазки, используемая на газотурбинной установке. Достаточное количество масла хранится во внешнем баке, чтобы заменить его, которое может быть потеряно во время нормальной работы. Масло извлекается из бака с помощью шестеренчатого или роторного смазочного насоса. Предохранительный клапан установлен для возврата избыточного масла на вход насоса, чем требуется для смазки. Масло течет через бумажный или металлический сетчатый фильтр с пропускной способностью от 10 до 40 микрон. В случае засоренного фильтра перепад давления масла на фильтре увеличивается, что приводит к открытию перепускного клапана и попаданию нефильтрованного масла в подшипники. Это нежелательно. Для таких неисправностей, различных; Предупреждения, устройства безопасности и индикации, такие как индикаторная лампа температуры масла, реле перегрева масла, реле низкого давления масла и т. д., установлены на линии отфильтрованного масла.

Сливная пробка

масло

Предохранительный клапан с регулируемым давлением

Фильтр по клапану насоса

Порт датчика давления масла

Лампа масляного насоса

Датчик сброса давления масла

Порт датчика давления масла

Низкое давление масла

Выход воздуха

Масляный радиатор

Коробка передач

Поклонник

Двойной продувочный насос

Возврат масла в бак

Фильтр

Масляный насос

Фильтр

Возврат масла

Возврат масла

Отвод масла в выхлопную трубу

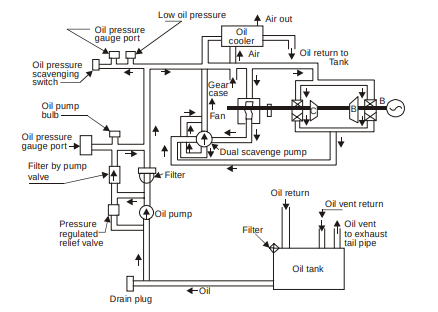
Масляный бак

В

C B

Воздух

Рис. 9.18. Система смазки для газовой турбины. Отфильтрованное масло поступает в подшипники и корпус редуктора турбины, и после смазки и охлаждения промытых маслом компонентов оно возвращается в масляный бак через охладитель с помощью откачивающего насоса. Промывочные насосы имеют больший рабочий объем, чем количество масла, поступающего в полость, из которой они прокачиваются. Это создает отрицательное давление, которое втягивает воздух в поддон через любые пути утечки, предотвращая утечку масла. Воздушно-масляная смесь, возвращаемая через охладитель в резервуар, должна быть отделена, и для этого она рециркулирует в сепараторе, и воздуху позволяют выходить. Сепаратор вентиляционный обычно



Газотурбинная электростанция

Соединяется с выхлопной трубой, так что горячие газы, вытекающие из выхлопных газов, сжигают любые оставшиеся пары масла Этот клапан должен регулярно проверяться на предмет обструкции; в противном случае воздух может создать высокое давление в резервуаре и привести к его выходу из строя. Сепаратор - это не что иное, как простая перегородка, которая заставляет смесь воздуха и масла следовать по коварному пути, масло устает к поворотам и найдет выход через вентиляционное отверстие в бак, а воздух найдет выход через вентиляционное отверстие в выхлопную систему. В масляной магистрали перед масляным насосом установлена ​​сливная пробка магнитного типа, которая может собирать любые металлические частицы, циркулирующие в масляной системе. Сквозное исследование сделано из мусора, собранного пробкой, чтобы решить, является ли это металлическая стружка или еще.

Топливная система

На рис. 9.19 показана топливная система, используемая в газовой турбине. В основном есть две подсистемы - низкое давление и высокое давление. Система низкого давления состоит из топливного бака, подкачивающего насоса, фильтра, двойного фильтра тонкой очистки масла, индикатора ∆p и обычных клапанов. На стороне низкого давления системы имеется двухступенчатый процесс фильтрации. Цель фильтра 7,5 микрон состоит в том, чтобы собирать крупные частицы примесей. Бустерный насос (центробежный насос) используется для повышения давления, чтобы он мог преодолеть падение давления на двух ступенях фильтрации. В фильтре тонкой очистки собираются все мелкие твердые частицы, а также вода, которая могла пройти через водоотделитель, расположенный в системе подачи топлива пользователя. Компоновка с двумя фильтрами позволяет переключаться на альтернативный элемент без отключения для замены. Это индикатор ∆p, который предупреждает оператора о состоянии фильтра, указывая на красный свет для переключения. Красный свет загорается, как только падение давления масла через фильтр тонкой очистки пересекает заранее установленное значение.

Индикатор ∆P

Сетчатый фильтр низкого давления

Здесь специально для авиационной турбины могут быть предусмотрены охлаждаемый масляный радиатор и подогреватель топлива. Топливный бак.

Главный топливный насос

Контроль топлива

Соленоидный клапан

Делитель потока

Топливо Топливо

C T

Стяжка

(Закрыть кран)

CC

Электростанции

Система высокого давления состоит из основного топливного насоса, предохранительный клапан, сетчатый фильтр, контроль топлива, запорный клапан, распределителем потока и сопел. Главный топливный насос создает давление масла, достаточное для впрыска в камеру сгорания. Предохранительный клапан, установленный вокруг основного топливного насоса, предназначен для защиты топливной системы от чрезмерно высокого давления, создаваемого запорным клапаном или засорением канала в топливной системе, путем передачи избыточного топлива во впускное отверстие насоса. Функция отсечного клапана очень просто, чтобы прервать подачу топлива в камеру сгорания и воздействовать на выключение турбины автоматически или вручную. Он также используется для прерывания потока других жидкостей, таких как давление подачи газа к пневматическому пускателю, поток к насосам с пневматическим приводом и подача к вспомогательным топливопроводам, таким как пусковая топливная форсунка. Как правило, запорный клапан имеет электромагнитный тип. Газовая турбина требует, чтобы топливо было хорошо распределено в различных топливных инжекторах. Делитель потока выполняет работу. 1t - чувствительный к давлению клапан, который позиционирует отверстие клапана, определяемое давлением на входе в делитель потока.

Топливо

Воздух

Воздух

Топливный спрей

Всплеск пластины и теплозащитный экран

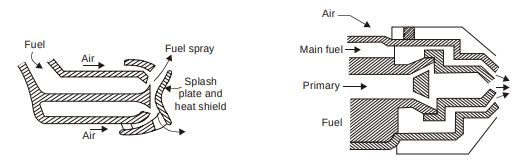
Воздух

Основное топливо

первичный

топливо

Рис. 9.20. Всплеск пластины типа инжектор. Рис. 9.21. Дуплекс сопла.



Инжектор

В настоящее время используются различные типы инжекторов. На рис. 9.20 показан инжектор типа брызговика. В этом случае топливо под давлением около 40 бар отклоняется в конус с помощью разбрызгивающей пластины без вращения. Коническая топливная пленка истончается с увеличением радиуса, а поверхностное натяжение разбивает пленку на капли диаметром примерно от 50 до 100 мкм. Включенный угол конуса распыления обычно составляет от 80 ° до 100 °. На рис. 9.21 показана дуплексная насадка с одинарной подачей. Он успешно распыляет топливо в диапазоне от 50 до 1.

9.7 Контроль газовых турбин

Цель управления газовой турбиной состоит в том, чтобы удовлетворить специфические требования пользователей к контролю и безопасной эксплуатации турбины. Есть в основном два типа элементов управления. Они следующие: (A) Первичный контроль и (B) Контроль защиты

9.7.1 Основной контроль

Целью первичного контроля является обеспечение правильного приложения мощности турбины к нагрузке. Пользователи газовых турбин предъявляют особые требования к контролю в зависимости от использования газовых турбин. Требования могут быть для контроля:

ГАЗОТУРБИННАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ

(1) Частота генератор, (2) скорость лодки или корабля, (3) скорость самолета, (4) мощность или напор насоса или компрессора, (5) скорость движения транспортного средства.

Скорость турбины

97% 100%

100%

0

Расход топлива

Основной контроль топлива

Другие входы

Подача топлива

Чистое топливо

Топливный клапан

Усиленный сигнал ошибки связи

Реле

губернатор

H.P. масло

Сигнал ошибки

Датчик скорости

нагрузка

выхлоп

Впускной воздух

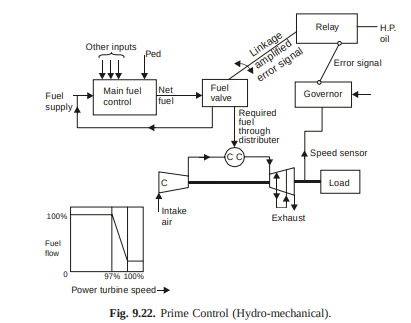
С

C C

Требуемое топливо через распределитель

Ped

Рис. 9.22. Основной контроль (Гидромеханический). На газовой турбине Генераторная установка главной целью контроля состоит в том, чтобы поддерживать постоянную электрическую частоту независимо от нагрузки. Это достигается путем выбора основного контроллера в качестве регулятора скорости (устройства, чувствительного к скорости), который поддерживает постоянные электрические нагрузки. На трубопроводном компрессоре, приводимом в движение газовой турбиной, основной целью управления является поддержание постоянного давления в трубопроводе после приводного компрессора. В этом случае измеряется давление в трубопроводе, и мощность турбины изменяется, чтобы поддерживать постоянное давление в трубопроводе для различных условий потока. Существует относительно постоянная связь между мощностью турбины и расходом топлива, поэтому при первичном управлении положение топливного клапана контролируется. В гидромеханической системе регулирования скорости (первичное управление) контур управления аналогичен тому, который обсуждался в случае паровой турбины. Система использует центробежный регулятор (механический) для определения скорости турбины, и задание задается для номинальной скорости турбины (рис. 9.22). Регулятор измеряет скорость через приводной вал вспомогательного оборудования и грузоподъемность. Внутренне регулятор гидравлически усиливает сигнал ошибки и обеспечивает выходное положение привода, которое может быть связано с топливным клапаном. Топливный клапан либо дросселирует, либо пропускает дозированное топливо из основного регулятора топлива. Датчик скорости может быть электрическим или гидравлическим.



Защитный контроль

Целью защитного контроля является обеспечение адекватной защиты турбины в предотвращении ее работы в неблагоприятных условиях. Всякий раз, когда приближаются небезопасные условия работы, первичный контроль заменяется защитным управлением для защиты турбины или приводимого оборудования.

ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ

В основном, защитное управление бывает двух типов: 1. Управление отключением и 2. Модулирующее управление.

Внешние входы

Ped

отверстие

Основной контроль топлива

Подача топлива

Обход

Топливный клапан

С

C C

T

Датчик температуры

выхлоп

Ссылка

Усиленный сигнал ошибки

Альтернативный контроль температуры

вентиляционный

Пневматический клапан

Рис. 9.23. Турбинный контроль над температурой.

1. Управление выключением. Управление выключением обнаруживает состояние, которое может вызвать серьезную неисправность, и приводит в действие запорный клапан, чтобы остановить турбину. Ниже приведены различные типы управления выключением. (а) Турбина перегрелась, (б) турбина перегорела, (в) низкое давление смазочного масла, (г) высокая температура смазочного масла и (д) избыточная вибрация. (а) Турбина Перегрев. На рис. 9.23 показан регулятор перегрева турбины. Температура турбины может быть хорошо измерена на входе турбины, но чувствительное устройство, установленное на входе турбины, работает неправильно, и, следовательно, она измеряется на выходе турбины, что также является показателем температуры на входе турбины. Датчик температуры может представлять собой термопару, биметалл или пары ртути. Как только температура на входе / выходе турбины увеличивается до заданного значения, система реле воздействует на запорный клапан и отключает турбину, полностью прекращая подачу топлива в камеру сгорания. (б) превышение скорости турбины. Регулирование скорости вращения турбины аналогично регулированию первичной скорости, как показано на рис. 9.22. В этом случае эталонная скорость - это максимально допустимая скорость вместо номинальной скорости. Датчик скорости может представлять собой центробежный регулятор, генератор тахометра или магнитный датчик. Если скорость увеличивается до определенного фиксированного значения, скорость воздействует на систему реле, чтобы отключить топливный клапан. (c) Низкое давление смазочного масла. Важно защитить турбину от низкого давления смазочного масла, чтобы обеспечить надлежащее смазывание и охлаждение подшипников турбины. Это достигается за счет использования реле давления в линии подачи смазочного масла. Переключатель подает аварийный сигнал или отключает топливный клапан, если давление масла падает безопасным клапаном.

ГАЗОТУРБИННАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ

(d) Высокая температура смазочного масла. Высокая температура смазочного масла в системе смазки является опасным сигналом, поскольку она указывает на низкую подачу смазочного масла или отказ в подшипниках, зубчатых передачах и т. Д. Эта защита обычно достигается с помощью термочувствительного устройства, погруженного в смазочное масло. , Чувствительное устройство может представлять собой тепловой выключатель, который запускает сигнализацию или отключает турбину.

(e) Чрезмерная вибрация. Небольшое увеличение вибрации является причиной предупреждения. Защита от вибрации достигается путем остановки или перемещения вибропогружателей. Выходной сигнал подается на устройство контроля, которое может отключить турбину, если вибрация увеличит определенное значение.

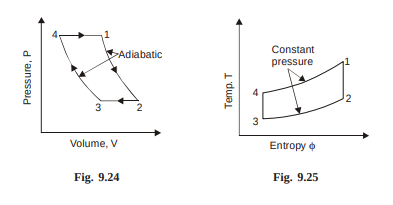
(2) Модулирующие органы управления

Целью модулирующего управления является обнаружение надвигающейся неисправности или состояния, которое может отрицательно повлиять на срок службы турбины, и внести некоторые изменения в рабочее состояние турбины, чтобы смягчить нежелательные условия. Примером такого управления могут быть максимальная температура на входе в турбину и максимальная скорость. Модулирующее управление является более сложным и более дорогостоящим, чем управление отключением. Но это дает преимущество и преимущество, позволяя турбине или турбинной установке продолжать работу, когда обычно происходит останов. Существуют некоторые условия, такие как сильные вибрации и низкое давление смазочного масла, которые не могут быть устранены корректирующими мерами, так как в этом случае остановка турбины является существенной.

Модулирующие регуляторы для максимальной температуры на входе в турбину и максимальной скорости являются небольшими модификациями для регуляторов перегрева и превышения.

9.8 Эффективность газовой турбины

Газовые турбины могут работать как в замкнутом, так и в разомкнутом цикле. Большинство используемых в настоящее время газовых турбин работают в открытом цикле, в котором рабочее тело после завершения цикла выбрасывается в атмосферу. Воздушно-топливное отношение, используемое в этих газовых турбинах, составляет приблизительно 60: 1. Идеальным циклом для газовой турбины является цикл Брайтона или цикл Джоуля. Этот цикл закрытого типа с использованием идеального газа с постоянным удельным нагревом в качестве рабочей жидкости. Этот цикл является циклом постоянного давления и показан на рис. 9.24. На диаграмме P-V и на рис. 9.25 на диаграмме T-φ. Этот цикл состоит из следующих процессов: холодный воздух на 3 подается на вход компрессора, где он сжимается по 3-4, а затем подается в камеру сгорания, где он нагревается при постоянном давлении по 4-1. Горячий воздух поступает в турбину на 1 и адиабатически расширяется по 1-2, а затем охлаждается при постоянном давлении по 2-3.

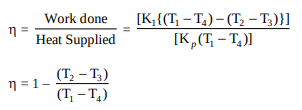


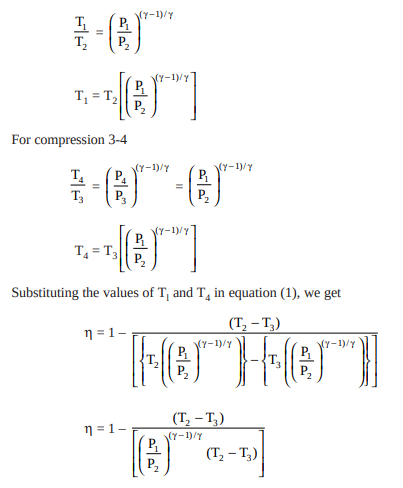
Тепло, подаваемое в систему = KP (Tl - T4)

Тепло, отводимое из системы = Kp (T2 - T3), где Kp = Удельная теплоемкость при постоянном давлении,

Выполненная работа = Тепло, подаваемое - Отвод тепла = KP (Tl - T4) - Kp (T2 - T3)

Тепловая эффективность (η) цикла Брайтона



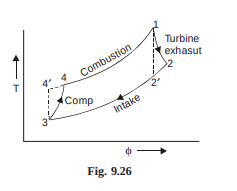


9.8.1 Эффект лезвий трения

В газовой турбине всегда происходит некоторая потеря полезного тепловыделения из-за сопротивления трения, создаваемого соплами и лопатками газовой турбины, что приводит к падению скорости. Потеря энергии при трении преобразуется в тепло, и поэтому газы до некоторой степени разогреваются. Следовательно, фактическое падение тепла меньше, чем адиабатическое падение тепла, как показано на рис. 9.26, где 1-2 представляет адиабатическое расширение, а 1-2 представляет фактическое расширение. Фактическое падение тепла = Kp (T1 - T2) Адиабатическое падение тепла = Kp (T1 - T2 ′)

Адиабатический КПД турбины

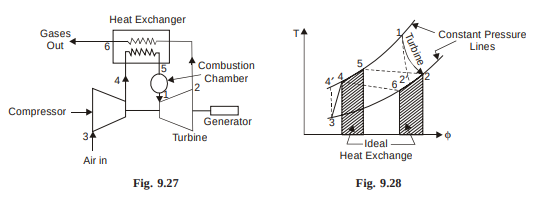


В компрессоре также происходит повторный нагрев, что приводит к тому, что фактическое увеличение тепла будет больше, чем увеличение адиабатического тепла. Процесс 3-4 представляет фактическое сжатие, в то время как 3-4 'представляет адиабатическое сжатие. Адиабатическое падение тепла = Kp (T'4 - T3) Фактическое падение тепла = Kp (T4 - T3) Адиабатический КПД компрессора



9.8.2 Повышение открытого цикла

Открытый цикл для газовой турбины показан на рис. 9.26. Свежая атмосфера забирается в точке 3, а выхлопные газы после расширения в турбине происходят в точке 2. Улучшение производительности открытого цикла может быть достигнуто за счет добавления теплообменника, который повышает температуру сжатого воздуха. вход в турбину путем снижения температуры выхлопных газов, что в противном случае является отходом. В настоящее время в камере сгорания требуется меньше топлива для достижения заданной температуры на входе в турбину. Это называется регенеративным циклом (рис. 9.27). Этот восстановительный цикл показан на диаграмме T-φ на рис. 9.28. Где φ = энтропия



Подводимое тепло = Kp (Tl - T3) = Kp (T1 - T2)

Отводимое тепло = Kp (T5 - T3) = Kp (T4 - T3) (η)

Тепловая эффективность теоретического восстановительного цикла



Для изоэнтропического сжатия и изоэнтропического расширения тепловой КПД определяется как



9.9 ОПЕРАЦИИ И ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ

9.9.1 РАБОТА

Последовательность запуска любой газовой турбины от покоя до ее номинальной скорости требует определенного порядка событий, выполняемых вручную или автоматически. Основными последовательными шагами являются запуск, зажигание, ускорение и управление. Ниже приведена типичная последовательность запуска газовой турбины

1. Применение управляющей мощности освещает все индикаторы неисправностей.

2. Нажмите кнопку «Reset switch» (Сброс), чтобы сбросить цепи неисправностей. При этом индикаторы неисправности погаснут, и все контрольные устройства примут условие запуска.

3. Нажмите переключатель «Пуск», чтобы начать последовательность запуска. При этом запускаются насос смазочного масла и вентилятор охлаждения. Если для них есть отдельный переключатель, используйте их.

4. Когда смазочное масло достигает заданного давления, на стартер подается питание и начинается запуск двигателя.

5. При запуске стартера двигатель и выхлопные трубы очищаются от любых горючих газов, которые могут присутствовать.

6. Во время цикла проворачивания топливный насос используется для увеличения давления топлива.

ГАЗОТУРБИННАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ

7. Как только давление топлива достигнет заданного минимального значения, реле топлива и зажигания включаются, если достигнута заданная скорость турбины.

8. Турбина ускоряется за счет сгорания топлива и помощи коленчатого двигателя. При заданном значении, скажем, порядка 70% от номинальной скорости, стартер и зажигание отключаются автоматически.

9. Турбина становится самоподдерживающейся и разгоняется самостоятельно до своей регулируемой скорости, пока управляющая система не возьмет на себя управление. (б) Завершение работы. Для остановки газовой турбины подача топлива должна быть отключена. Это достигается закрытием топливного клапана вручную или обесточиванием клапана с электроприводом. В тех случаях, когда используются подшипники скольжения, циркуляция смазочного масла в подшипниках после отключения необходима для охлаждения.

9.9.2 ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ

Тип обслуживания, который выполняется на газовой турбине, такой же, как и у паровых турбин. Опыт большинства производителей газотурбинного оборудования часто приводит к вынужденным сбоям, по крайней мере частично, из-за недостаточного технического обслуживания. Основными целями программы профилактического обслуживания являются снижение вынужденных отключений. Ниже приведены основные подсистемы газовой турбины, для которых производители представляют инструкции по техническому обслуживанию:

1. Турбинная передача

2. Пуск

3. Муфты и муфты

4. Топливная система

5. Пневматическая система

6. Система противопожарной защиты

7. Контрольное оборудование

8. Генератор-возбудитель

9. Электрические органы управления

10. Вспомогательная шестерня и главная передача

11. Газовая турбина

12. Система смазочного масла

13. Защита от превышения скорости

14. Системы контроля и управления температурой

15. Система кондиционирования воздуха

16. Аварийное питание

17. Двигатели

18. Связанные Станционное оборудование. Техническое обслуживание проводится ежедневно ежемесячно, ежеквартально, раз в полгода и ежегодно. Таким образом, для последовательности капитального ремонта это похоже на паровые турбины с некоторыми исключениями.

9.10 ПОИСК И УСТРАНЕНИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ

Современные газовые турбины обычно оснащены очень сложной системой защиты с использованием микропроцессора и компьютеров, которая выдает визуальную и звуковую сигнализацию при нарушении любого заранее установленного безопасного состояния. При всех типах тревоги нет необходимости выключать газовую турбину. Если аварийное состояние имеет достаточную продолжительность и величину, устройство автоматически отключается и отключается. Ниже перечислены основные симптомы неисправностей газовых турбин и наиболее распространенные причины этих неисправностей:

(a) Падение давления нагнетания компрессора и последующее падение нагрузки:

1. Грязные впускные экраны

2. Грязные лопатки компрессора

3. Потеря лопаток компрессора

4. Поврежденные лабиринтные уплотнения

(b) Дым или темная труба:

1. Загрязненные или изношенные сопла горелки Скопления дыма указывают на то, что углерод накапливается вокруг топливного сопла и затем проходит через турбину, вызывая быстрый износ лопастей, лопастей и кожухов.

2. Неравномерное распределение топлива в камерах сгорания.

3. Камеры сгорания повреждены или не на своем месте.

(c) Распространение температуры нагнетания турбины:

1. Неисправные термопары

2. Неравномерное топливо в горелки или грязные форсунки

3. Камеры сгорания повреждены или не в своем положении

4. Горелки не горят

5. Повреждены форсунки горелок

(d) Высокие температуры в пространстве колеса:

1. Охлаждающие авиалинии подключены

2. Охлаждающий воздух теплообменник загрязнен, протекает вода или происходит потеря охлаждающей воды.

3. Неисправные термопары.

4. Уплотнения колесных пространств, изношенные из-за трений осевым движением или ротором (изношенный упорный подшипник), изогнутым валом или корпусом, закругленными, чтобы открыть зазоры уплотнения.

5. Подача охлаждающего воздуха не работает должным образом.

(e) Высокие температуры выхлопных газов турбины:

1. Потеря лопаток турбины или поврежденные впускные лопатки

2. Неисправные термопары

3. Неисправность регулятора температуры выхлопных газов

4. Увеличенные зазоры кончиков лопаток из-за радиальных ребер

5. Грязный воздушный компрессор.

(f) Высокое давление выхлопных газов турбины:

1. Поврежденные или отсутствующие лопатки в выпускном канале турбины.

2. Поврежден выпускной глушитель.

ГАЗОТУРБИННАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ

(g) Вибрация:

1. Указательный прибор не отрегулирован.

2. Ослаблены соединительные муфты вала

3. Согнутый вал турбины

4. Сломаны или отсутствуют лопасти турбины

5. Повреждены подшипники

6. Неправильное совмещение вала

(h) Потеря давления топлива:

1. Топливо Неисправность регулирующего клапана

2. Загрязнены топливные фильтры

3. Поврежден топливный насос или компрессор.

(i) Неисправность освещения:

1. Неисправная свеча зажигания.

3. Неисправность электрического управления

4. Неправильная пропорция топлива

5. Неправильный расход воздуха для распыления топлива

6. Загрязнены или изношены форсунки горелки

7. Повреждена камера сгорания

(j) «Охота» машины:

1. Изношены регулятор и детали управления

2. Колеблющиеся контроллеры топлива

3. Колеблющиеся регуляторы температуры выхлопных газов

4. Утечка гидравлических регулирующих клапанов или грязные фильтры.

(k) Потеря давления масла:

1. Фильтры

2. Отказ насоса

3. Утечка в насосе.

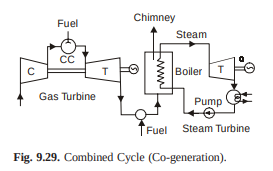
9.11 ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ КОМБИНИРОВАННОГО ЦИКЛА

Было обнаружено, что значительное количество тепловой энергии идет в виде отходов с выхлопными газами газовой турбины. Эта энергия должна быть использована. Полное использование энергии, доступной для системы, называется подходом полной энергии. Цель этого подхода состоит в том, чтобы использовать всю тепловую энергию в энергосистеме при разных уровнях температуры, при которых она становится доступной для производства работы, или пара, или нагрева воздуха или воды, тем самым отбрасывая минимум энергетических потерь. Наилучшим подходом является использование комбинированных циклов.

Могут быть различные комбинации комбинированных циклов в зависимости от места или страны. Даже атомная электростанция может использоваться в комбинированных циклах.

ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ

На рис. 9.29 показана комбинация газовой турбины открытого цикла и паровой турбины. Выхлоп газовой турбины с высоким содержанием кислорода используется в качестве газа на входе в парогенератор, где происходит сгорание дополнительного топлива. Эта комбинация обеспечивает более близкое равенство между выходными мощностями двух блоков, чем это достигается с помощью простого рекуперативного теплообменника. Для заданной общей выходной мощности подводимая энергия уменьшается (т.е. экономия топлива), и установленная стоимость газовой турбины на единицу выходной мощности составляет примерно одну четвертую стоимости паровой турбины. Другими словами, комбинированные циклы демонстрируют более высокую эффективность. К большим недостаткам относятся сложность установки, различные требования к топливу и возможная потеря гибкости и надежности. Самая последняя технология в области когенерации, разработанная в США, использует газообразное топливо в камерах сгорания, получаемых газификацией угля низкого качества. Система эффективна, а стоимость выработки электроэнергии на кВт меньше.



9.12 ПРИМЕНЕНИЕ ГАЗОВОЙ ТУРБИНЫ

1. Газотурбинные установки используются в качестве резервных установок для гидроэлектростанций.

2. Газотурбинные электростанции могут использоваться в качестве пиковых нагрузок и резервных установок для небольших энергоблоков.

3. Газовые турбины используются в реактивных самолетах и кораблях. Установки, работающие на пылевидном топливе, используются в локомотивах.

9.13 ПРЕИМУЩЕСТВА ГАЗОТУРБИННОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Экономика производства электроэнергии с помощью газовых турбин оказывается более привлекательной из-за низких капитальных затрат, а также высокой надежности и гибкости в эксплуатации. Быстрый запуск и возможность использования широкого спектра видов топлива от природного газа до остаточного масла или порошкообразного угля являются другими выдающимися характеристиками газотурбинных электростанций. Достигнут существенный прогресс в трех направлениях: увеличение удельных мощностей газотурбинных установок (50–100 мВт), повышение их эффективности и снижение капитальных затрат (около 700 рупий за кВт). Основное применение газотурбинной установки заключается в подаче пиковой нагрузки. Однако в настоящее время газотурбинные установки повсеместно используются в качестве пиковой нагрузки, основного свинца, а также резервных установок.

1. Он меньше по размеру и весу по сравнению с аналогичной паровой электростанцией. Для небольших мощностей размер газотурбинной электростанции заметно больше, чем для высокоскоростных дизельных двигателей, но для больших мощностей он меньше по размерам, чем для сопоставимых дизельных двигателей. Если размер и вес являются основными соображениями, такими как на судах, авиационных двигателях и локомотивах, газовые турбины являются более подходящими.

2. Первоначальная стоимость и эксплуатационные расходы на установку ниже, чем у эквивалентной паровой электростанции. Тепловая электростанция мощностью 250 мВт стоит около рупий. 250 крор. В настоящее время газотурбинная установка того же размера стоит почти 70 крор.

3. Завод требует меньше воды по сравнению с конденсационной паровой электростанцией.

4. Завод может быть запущен быстро и может быть загружен за очень короткое время.

5. В газотурбинной электростанции отсутствуют резервные потери, в то время как в паровой электростанции эти потери происходят из-за того, что котел работает, даже когда турбина не подает никакой нагрузки.

6. Обслуживание установки проще, а затраты на обслуживание низкие.

7. Смазывать растение легко. На этом заводе смазка необходима главным образом в компрессоре, главном подшипнике турбины и подшипниках вспомогательного оборудования.

8. Завод не требует тяжелых фундаментов и строительства.

9. Существует большое упрощение установки по сравнению с паровой установкой из-за отсутствия котлов с их испарителем питательной воды и системой конденсации.

