

УДК 621.438 (075)

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК

Лесничий В.С., Лазовский В.О.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Качан С.А.

С целью снижения затрат на техническое обслуживание и ремонт энергетических газотурбинных установок (ГТУ) при одновременном обеспечении максимально возможной эксплуатационной готовности и надежности их работы должна быть разработана хорошо продуманная программа технического обслуживания и осмотров газотурбинного оборудования. Правильная реализация этой программы обеспечит сокращение вынужденных простоев и повышение пусковой надежности оборудования, снизит количество незапланированных ремонтов.

Существует большое количество факторов, которые могут оказывать влияние на срок службы оборудования и должны быть учтены при планировании технического обслуживания (рисунок 1) [1].



Рисунок 1 – Факторы, влияющие на планирование технического обслуживания ГТУ

Программы технического обслуживания ГТУ и вспомогательных систем представляют собой установленный порядок проведения необходимого комплекса работ на оборудовании в зависимости от времени эксплуатации.

На рисунках 2, 3 представлены примерные планы технического обслуживания ГТУ компании Siemens, включающий визуальный осмотр, в том числе с помощью бороскопа, и неразрушающий контроль различных узлов и элементов ГТУ: газовой турбины, компрессора, камеры сгорания и пр. [2, 3]. В таблице 1 приведен пример проводимых работ на разных уровнях планового обслуживания ГТУ [2].

Кроме мероприятий по полному обследованию агрегата и определению его технического состояния (Lifetime Assessment – LTA) план техобслуживания также включает мероприятия по продлению ресурса агрегата сверх расчетного (Lifetime Extension – LTE) [2, 3].

Интервалы времени, через которые необходимо проводить соответствующее обслуживание, определяются не только количеством часов наработки ГТУ, но и эксплуатационными факторами: нагрузка, количество пусков, тип и качество используемого топлива. Для этого используется комплексный показатель – эквивалентное время наработки или эквивалентные часы наработки (ЭЧН).

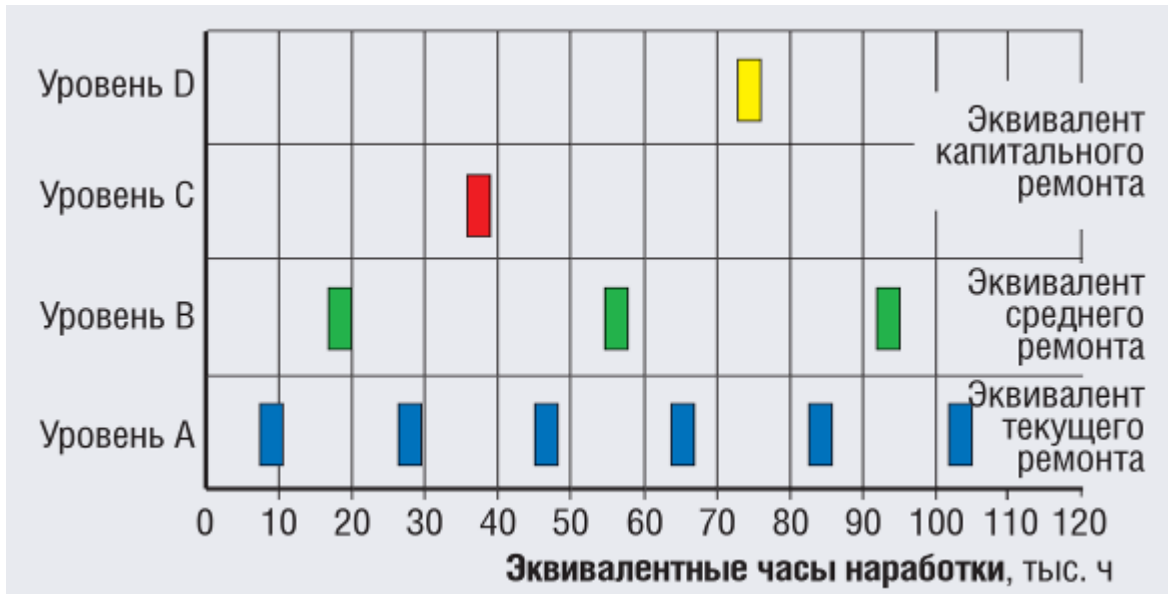


Рисунок 2 – Пример уровней планового техобслуживания SGT-800 Siemens

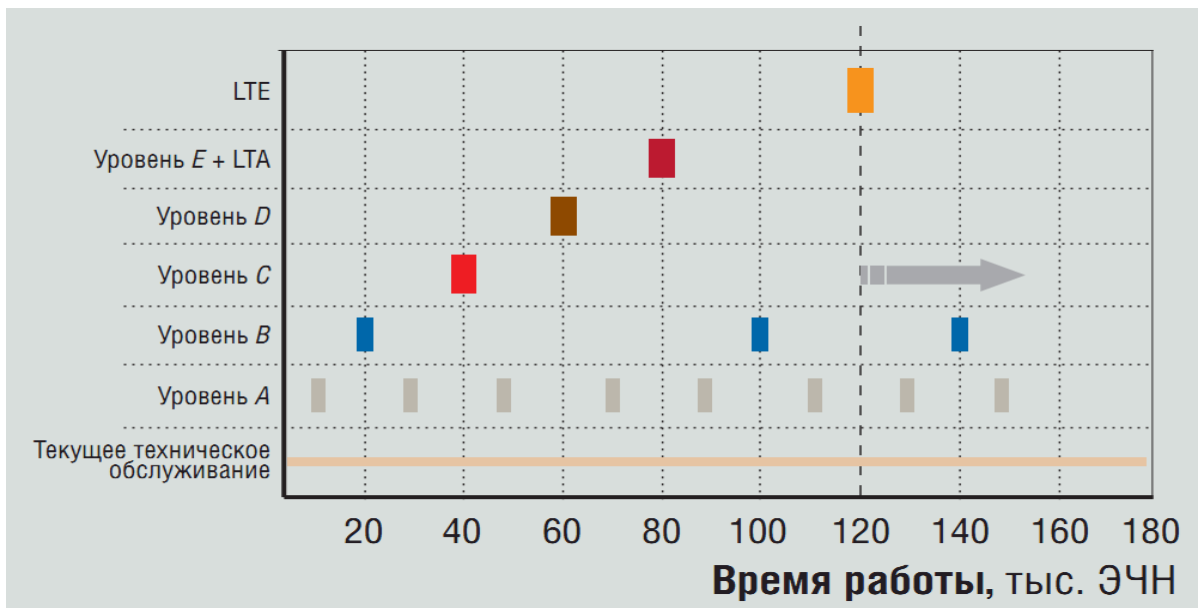


Рисунок 3 – Примерный план технического обслуживания ГТУ типа SGT-600 Siemens

Таблица 1 – Пример проводимых работ на уровнях планового обслуживания SGT-500 Siemens

Уровни	А	В	С	Д
Время ремонта	3 рабочих дня	5 рабочих дней	26 рабочих дней	26 рабочих дней
Осмотры	Лопатки турбины Камера сгорания Муфты и редуктор Вспомогательные системы Генератор	Лопатки турбины Топливные форсунки Камера сгорания Газовый коллектор Муфты и редуктор Вспомогательные системы Генератор	Неразрушающие испытания лопаток и дисков турбины Камера сгорания Газовый коллектор Муфты и редуктор Вспомогательные системы Подшипники Генератор	Неразрушающие испытания лопаток и дисков турбины Камера сгорания Газовый коллектор Муфты и редуктор Вспомогательные системы Подшипники Генератор (с выемкой ротора)
Замена или ремонт (по необходимости)			Замена Курсовые подшипники Входное кольцо ТВД	Замена Газовый коллектор Жаровые трубы 1-я ступень ТНД Курсовые подшипники Диск ТВД Входное кольцо ТВД
Проверки	САУ и КИП	САУ и КИП	САУ и КИП	САУ и КИП

В [2] пример расчета эквивалентных часов наработки представлен формулой:

$$H_0 = \Sigma (C_x \cdot C_f \cdot H + 5 N_0) = \Sigma (C_x \cdot C_f \cdot H + 5 \Sigma (C_n N)),$$

где H_0 – эквивалентные часы наработки; C_x – коэффициент нагрузки; C_f – коэффициент топлива; H – часы наработки; N_0 – эквивалентные циклы наработки; N – количество старт/стоп циклов; C_n – коэффициент пусков/останов.

Вид сжигаемого в ГТУ топлива оказывает влияние на интервалы и объем технического обслуживания. При этом газообразное топливо рассматривается как оптимальное при определении интервалов технического обслуживания ($C_f = 1$). При использовании чистого дистиллятного (дизельного) топлива рекомендуемый интервал технического обслуживания может сокращаться в 1,5 раза ($C_f = 1,5$), а при использовании сырой нефти или топочного мазута – в 2...4 раза ($C_f = 2...4$) [1].

Продолжительная работа ГТУ при *пиковой нагрузке*, связанная с *повышенными рабочими температурами*, требует более частого технического обслуживания и замены компонентов тракта горячих газов. Ориентировочно, каждый час работы при начальной температуре выше номинальной на 50°C по воздействию на срок службы рабочих лопаток турбины эквивалентен 5...6 часам работы при базовой нагрузке ($C_x = 5...6$), а увеличение температуры на 100...120°C, повысит коэффициент технического обслуживания примерно до 30...40 ($C_x = 30...40$) [1]. В то же время работа при пониженной рабочей температуре увеличивает срок службы компонентов тракта горячих газов. Так, работу в течение 1 часа при повышенной на 50°C температуре можно компенсировать примерно 6 часами работы при пониженной на 150°C относительно базовых условий температуре. Однако снижение нагрузки не всегда означает снижение рабочей температуры. Так, в ГТУ, работающих с утилизацией теплоты отработавших газов, применяется количественное регулирование нагрузки до 60...80% номинальной за счет прикрытия направляющего аппарата компрессора и сохранения номинальной рабочей температуры; в ГТУ с системами сжигания топлива типа DLN используется регулирование положения направляющего аппарата компрессора с целью расширения диапазона работы с низкими выбросами окислов азота на частичной нагрузке [1].

При учете количества пусков и остановов следует учитывать условия их осуществления, так как любые отклонения, вызывающие значительное увеличение механических напряжений и/или максимальной температуры металла по сравнению с условиями нормального цикла, снижают усталостную долговечность и увеличивают значение коэффициента технического обслуживания.

Так, отключения при частичной нагрузке оказывают меньшее влияние на ЭЧН вследствие меньшей температуры металла: в то время как отключение с режима холостого хода сокращает интервал технического обслуживания в 2 раза ($C_n = 2$), при отключении при нагрузке 80.. 100% номинальной – в 8 раз ($C_n = 8$), а при отключении на пиковой нагрузке (при форсировании камеры сгорания) – в 10 раз ($C_n = 10$) [1].

Аналогично экстренные пуски и быстрый наброс нагрузки существенно сокращают интервал технического обслуживания. Ориентировочно, экстренные пуски, при которых ГТУ переходят из неподвижного состояния в режим полной нагрузки в течение менее 5 минут оказывают влияние на срок службы компонентов, эквивалентное влиянию 20 дополнительных циклов, а нормальный пуск с быстрым набором нагрузки – только 2 [1]. В то же время, пуск ГТУ с выходом на частичную нагрузку позволяет интервалы технического обслуживания увеличить. Например, два рабочих цикла с выходом на уровень нагрузки менее 60% номинальной будут эквивалентны одному пуску с выходом на уровень нагрузки более 60% номинальной [1].

Для массивных роторов мощных ГТУ важным является изменение теплового состояния при пусках и остановах, что может приводить к высоким термическим (тепловым) напряжениям. Соответственно, коэффициент технического обслуживания для пуска зависит от продолжительности простоя, определяющего исходное *тепловое состояние ротора на момент пуска*. По мере увеличения продолжительности простоя температура металла ротора приближается к температуре окружающей среды, и влияние температурной усталости во время последующего пуска возрастает. Вследствие этого при пусках из холодного состояния устанавливается коэффициент технического обслуживания ротора, равный двум, а при пусках из горячего состояния – менее единицы [1].

Для большинства применений газовых турбин типичными являются три основных режима эксплуатации: *пиковый, полупиковый и базовый*. Для этих режимов характерны различные комбинации пусков из горячего, прогретого и холодного состояния и, соответственно, различные интервалы технического обслуживания.

Кроме указанного, на интервал технического обслуживания влияют и другие факторы: соблюдение технологии эксплуатации (например, важным является использование валоповоротного устройства), работа при отклонении частоты вращения от номинальной, уровень вибрации агрегата, чистота смазочного масла, качество забираемого компрессором воздуха и его влажность, впрыск воды или пара в газовый тракт и пр.

Интегрированный коэффициент технического обслуживания, найденный для реального режима и условий эксплуатации конкретного агрегата, может быть использован для определения оптимальных интервалов технических осмотров и улучшения технико-экономических и эксплуатационных характеристик газотурбинных установок.

Литература

1. Эксплуатация и техническое обслуживание газовых турбин большой мощности / David Balevic, Robert Burger, David Forry // General Electric Company // GE Energy / GER3620k_ru (12/04). - 2004.
2. Сервисная поддержка промышленных газовых турбин Siemens / Герд Уве Шмидель, А.В. Гуцин, В.Е. Торжков // Турбины и дизели. – 2007. - № 6 (ноябрь–декабрь). – С. 38 – 42.
3. Газотурбинный агрегат SGT-600: совершенствование конструкции и плана технического обслуживания / В.В. Навроцкий, М. Бломштедт, С. Юбель, С.В. Медведев // Турбины и дизели. – 2009. - № 1 (январь–февраль). – С. 20 – 25.