

УДК 621.438 + 621.311

**Сервисное обслуживание энергетических газотурбинных установок**

Сидорук Ю.С., Трахимович И.А.

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

Парогазовые технологии обеспечивают высокую экономичность производства электроэнергии и поэтому получили широкое распространение в мировой энергетике. В Республики Беларусь массовое внедрение газотурбинных установок (ГТУ) началось сравнительно недавно – в последнее десятилетие, в то время как в странах Европы, в США и Японии развитие газотурбинных технологий шло параллельно с паротурбинными, и на сегодняшний день в этих странах опыт эксплуатации и сервисного обслуживания ГТУ составляет около полувека [1].

После ввода ГТУ в эксплуатацию перед владельцем оборудования в короткие сроки встает вопрос его сервисного обслуживания. Для такого высокотехнологичного оборудования, как современные ГТУ, компании-производители предъявляют очень жесткие требования по соблюдению обязательного регламентного обслуживания, чтобы гарантировать его надежную работу [1 - 3].

На сегодняшний день в энергосистеме Беларуси эксплуатируются энергетические ГТУ различных производителей: GE, Alstom, Mitsubishi, Siemens, возможно появление других. Это ГТУ различных поколений и классов; с различиями в конструкциях камер сгорания, горелок, систем защиты ротора и статора турбин от перегрева.

При этом срок между чередующимися инспекциями ГТУ в среднем составляет 8000-12000 эквивалентных часов эксплуатации (ЭЧН), то есть при нормальной эксплуатации один раз в год-полтора для любой модели ГТУ должна проводиться инспекция (рисунок 1).

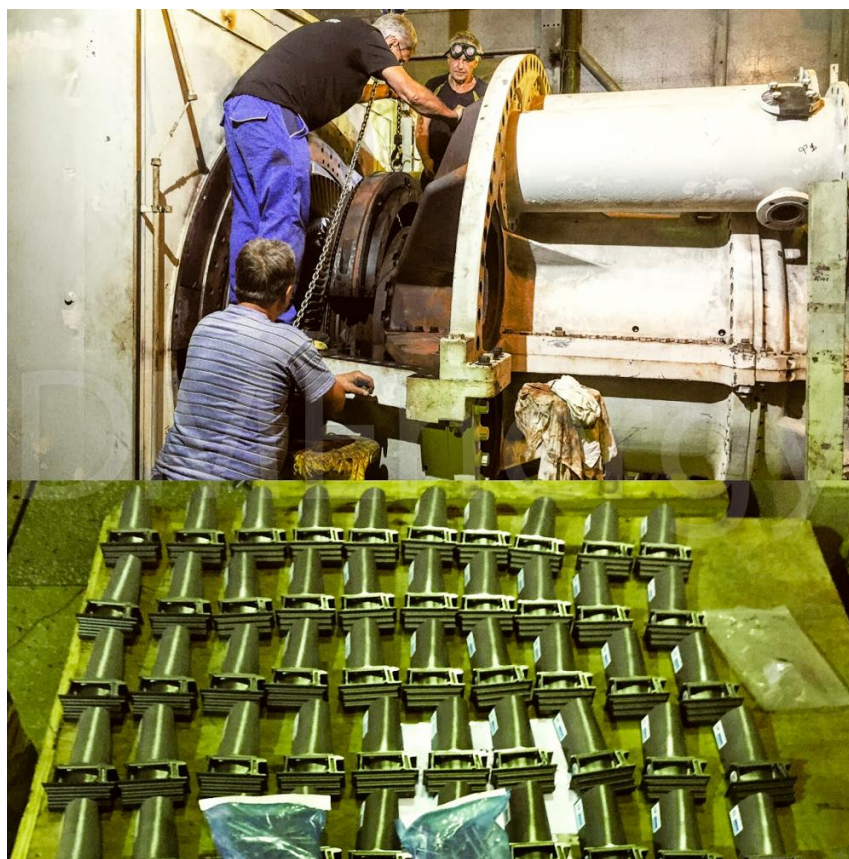


Рисунок 1 – Средний ремонт ГТУ Оршанской ТЭЦ (инспекция горячего тракта)

По периодичности и объемам работ инспекции (ремонт) делятся на следующие виды [1 - 3].

**А-Инспекция** - инспекция частей камеры сгорания.

Оценка общего состояния частей камеры сгорания, тракта горячих газов, входа компрессора и лопаток компрессора без разборки турбины с применением специальной техоснастки – бороскопа. В связи с этим инспекция А в инструкциях называется бороскопическая. В ходе этой инспекции определяется фактический объем работ для последующей В или С инспекции; производятся минимальные рекалибровки и регулировки при необходимости; составляется отчет о состоянии двигателя, включающий рекомендации по дальнейшей эксплуатации и обслуживанию. При бороскопической инспекции нет необходимости в разборке блока (возможно только вскрытие части камеры сгорания). Визуальный доступ к лопаточному аппарату осуществляется через лючки для бороскопа в корпусе, а для лопаток впускного направляющего аппарата и последних ступеней турбины доступ осуществляется обычно через лазы в корпусе воздухозаборника и выхлопного диффузора соответственно.

**В-инспекция** - инспекция тракта горячих газов и камеры сгорания - для разных моделей ГТУ включает разный объем. Для одних моделей она может включать такой же тип проверок (с использованием бороскопа) как и А-инспекция, но в большем объеме. Для других моделей, согласно регламенту, может быть запланирована замена некоторых частей горячего тракта и камеры сгорания. В любом случае объем работ и необходимость замены частей уточняется при проведении инспекции.

**С-инспекция** - главная инспекция - включает полную разборку и ревизию ГТУ, включая компрессор. Это проверки всех внутренних вращающихся и неподвижных компонентов, а также защитного и контрольного оборудования ГТУ.

Основные узлы после разборки проходят визуальный контроль и, при необходимости, контроль неразрушающими методами. Проводятся запланированные работы по замене и восстановлению частей (часть из которых определяется в процессе проведения визуальных инспекций типа А и В, часть по регламенту). Время простоя при проведении инспекции С может оказаться больше планового.

Для примера на рисунке 2 приведена периодичность обслуживания ГТУ Siemens SGT-600 Минской ТЭЦ-2 [3], а на рисунке 3 - осмотр бороскопом горелочной камеры ГТУ Alstom GT13E2 Минской ТЭЦ-3 [1, 2].

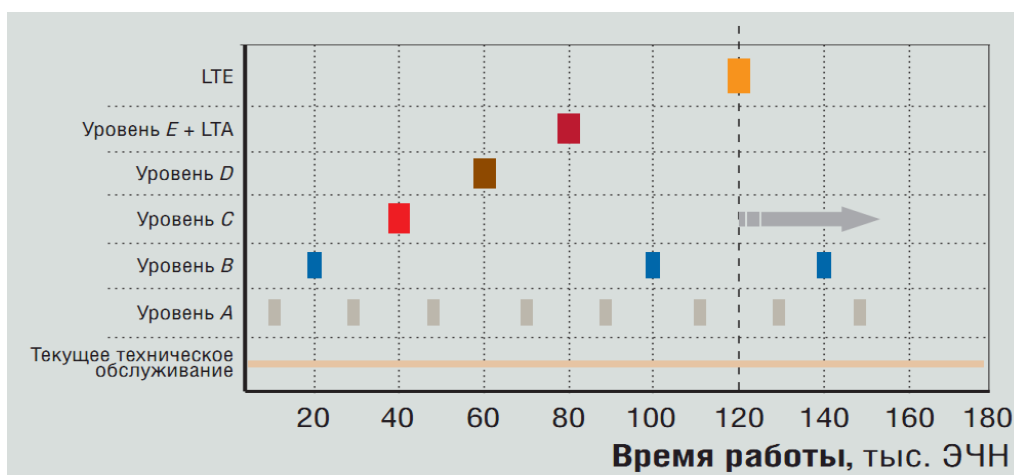


Рисунок 2 – Периодичность обслуживания ГТУ Siemens SGT-600 МТЭЦ-2



Рисунок 3 – Осмотр бороскопом горелочной камеры ГТУ Alstom GT13E2 МТЭЦ-3

Отметим, что для ГТУ жесткость требований производителей к соблюдению регламентного обслуживания обусловлена тем, что точный ресурс безаварийной работы самых ответственных узлов (таких как части камер сгорания, лопаточный аппарат турбин ГТУ, части термобарьерных элементов и покрытий) на сегодняшний день не поддается расчету, поскольку все математические модели, используемые при конструировании данных узлов ГТУ имеют очень большое количество допусков.

Поэтому, например, если производитель требует замену лопатки 1-й ступени через 40000 часов, значит лопатка должна быть заменена даже при отсутствии критических дефектов, поскольку развитие в ней имеющихся повреждений и поведение материала при дальнейшей эксплуатации не поддается моделированию и может быть разрешено только на страх и риск владельца ГТУ.

На всех без исключения ГТУ эксплуатируемых в Республике Беларусь, в разной степени отсутствует достаточный объем технологической документации и специальной оснастки, необходимой для того, чтобы полностью, не обращаясь к заводам-изготовителям, выполнить весь типовой объем работ инспекций ГТУ [1]. Особенно это характерно для ГТУ Siemens, поскольку данная компания-производитель более других стремится монополизировать рынок сервисного обслуживания своего оборудования.

В интересах владельцев ГТУ не быть настолько сильно зависимыми от заводов-изготовителей. В связи с чем рекомендуется на правах покупателей требовать от поставщиков ГТУ обеспечения всем необходимым комплектом документации и специальной оснастки, чтобы в ходе ремонтных работ иметь возможность выбирать тех, кто будет помогать выполнять эти работы, а при желании - выполнять их самостоятельно, как при ремонте паровых турбин. На сегодняшний день у большинства владельцев ГТУ этот выбор существенно ограничен.

Полный комплект ремонтной документации на ГТУ должен, кроме прочего, включать:

- подробное описание технологической последовательности и требований к выполнению необходимых работ при выполнении плановых инспекций, предусмотренных регламентом завода-изготовителя, с указанием инструментов и приспособлений, необходимых для конкретных этапов ремонтных работ и измерений (технологический процесс, технологические инструкции);

- критерии оценки ресурса всех узлов и деталей ГТУ, а также их состояния и пригодности к эксплуатации (критерии дефектовки, технические условия);

- поузловые и сборочные чертежи узлов и частей ГТУ, а также сложных сборных приспособлений для ремонта;

- полный комплект формуляров измерений, которые должны производиться при плановых регламентных инспекциях ГТУ (А, В, С и др.) с описанием всех технических требований завода-изготовителя к измеряемым параметрам;

- перечни необходимых инструментов, приспособлений, расходных материалов, необходимых для выполнения работ по плановому сервисному обслуживанию, которые должны быть подробными и содержать информацию, позволяющую однозначно идентифицировать указанные в перечнях позиции (рыночное наименование, краткие технические характеристики, компанию-изготовитель инструмента или материала);

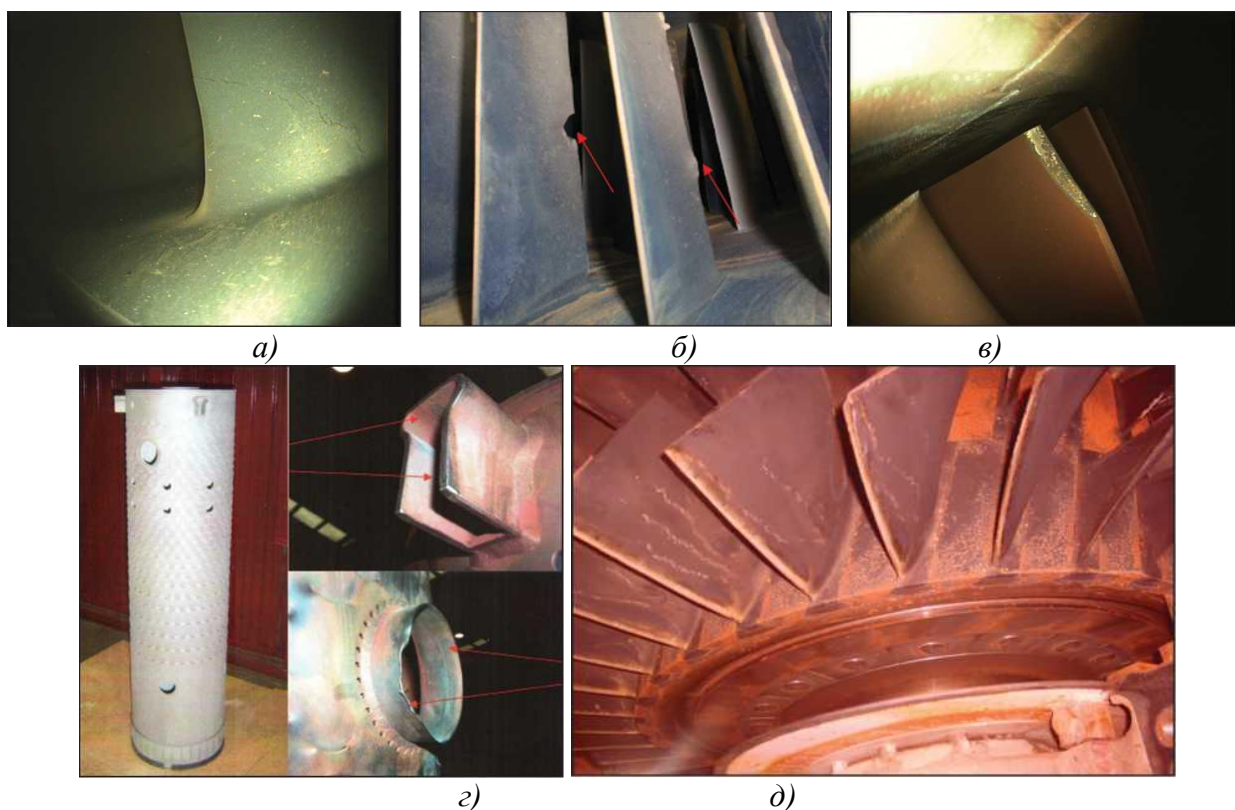
- перечни узлов и деталей, которые должны быть планово заменены при сервисном обслуживании, а также перечни запасных частей, рекомендуемых к постоянному наличию при эксплуатации.

Основные причины возникновения дефектов в элементах ГТУ следующие:

- высокотемпературная коррозия,
- разрушения из-за вибрации,
- термические деформации,
- механический и эрозионный износ.

Характер повреждений, вызываемых указанными причинами, в большинстве случаев позволяет обнаружить их только методами неразрушающего контроля, а устранить - сваркой.

Рассмотрим некоторые характерные повреждения узлов ГТУ [1, 2].



(а), повреждения выходной кромки лопатки компрессора (б), эрозионный износ входной кромки лопаток 1-й ступени турбины (в), износ и деформации «жаровых» труб (г), загрязнение и эрозия лопаток 1-ой ступени компрессора (д)

Рисунок 4 – Повреждения ГТУ: трещина в направляющем аппарате турбины

Трещина в направляющем аппарате турбины (рисунок 4,а) – растрескивание, вызванное термическими циклами «нагрев-остывание». Размер трещины на рисунке превышает допустимые пределы, и данный сегмент должен быть заменен в ближайшее время, независимо от сроков плановой инспекции. Дефект может быть устранен выборкой трещины, последующей сваркой, механической и термической обработкой и нанесением термобарьерного покрытия на заключительном этапе. В последующем отремонтированный сегмент может быть использован для замены аналогичного поврежденного.

Повреждения выходной кромки лопатки компрессора (рисунок 4,б) часто встречается на рабочих лопатках первых ступеней компрессоров ГТУ. Причиной появления подобных

«забоин» является попадание в проточную часть посторонних предметов. Повреждения не превышают допустимые пределы и могут быть устранены при ближайшей плановой инспекции ручной механической обработкой.

Повреждение лопаток 1-й ступени турбины (рисунок 4,в). Состояние рабочих лопаток на снимке характерно для большинства рабочих лопаток 1-х ступеней тракта горячих газов ГТУ, отработавших до очередной С-инспекции, и подлежащих замене. Данное состояние соответствует нормальному износу и вызвано совокупным воздействием указанных выше причин.

Повреждения жаровых труб (рисунок 4,з). Показанные повреждения (оплавление, деформация) патрубков жаровых труб в зоне соединения с трубками перекрестного розжига свидетельствуют о превышении допустимых температур дымовых газов в данной зоне. Причины могут быть различные, но при обнаружении подобных дефектов, они должны быть установлены и устранены в ближайшее время.

Загрязнение и эрозия лопаток 1-й ступени компрессора (рисунок 4,д). Состояние рабочих лопаток на снимке характерно для большинства рабочих лопаток 1-х ступеней компрессоров ГТУ отработавших до очередной С,Д-инспекции. Показанные загрязнения оцениваются как значительные, удаляются при проведении инспекции вручную неабразивным материалом. Подобный уровень загрязнения свидетельствует о неудовлетворительной работе систем комплексного воздухоочистительного устройства (КВОУ).

В заключение отметим, что в настоящее время энергосистема Беларуси несет существенные валютные затраты на сервисное обслуживание ГТУ с использованием услуг зарубежных компаний. Так стоимость услуг специалистов заводов-изготовителей и крупных зарубежных сервисных компаний составляет в среднем 1500-2000 долл. США за день работы. Помимо оплаты услуг ремонтно-технических специалистов затраты на ремонтное обслуживание газотурбинного оборудования включают затрат на приобретение запасных частей и расходных материалов. При этом для обеспечения надежной работы высокотехнологичного оборудования, которым является ГТУ, и гарантированного соответствия всех ее характеристик заявленным заводом-изготовителем при поставке, требуется приобретать только оригинальные запасные части у заводов-изготовителей данного оборудования, а стоимость запасных частей составляет порядка 80-90% от стоимости всех затрат на ремонтно-эксплуатационное обслуживание.

### Литература

1. Лабкович Д.В. Опыт сервисного обслуживания энергетических газотурбинных установок в Республике Беларусь // Новости теплоснабжения. - №04 (164) – 2014 // [http://www.ntsru.ru/04\\_2014.html](http://www.ntsru.ru/04_2014.html)
2. DMEnergy. Сервисное обслуживание ГТУ // <https://dm.energy/ru/servis-gtu#inspection>
3. Сервисная поддержка промышленных газовых турбин Siemens / Герд Уве Шмидель, А.В. Гушин, В.Е. Торжков // Турбины и дизели. – 2007. - № 6 (ноябрь–декабрь). – С. 38 – 42.