



УДК 621.438

КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ И СТАТИСТИКА АВАРИЙНЫХ ОСТАНОВОВ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ НА КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЯХ

COMPLEX ANALYSIS AND STATISTICS OF EMERGENCY SHUTDOWNS OF GAS TURBINES AT COMPRESSOR STATIONS

Борисков Кирилл Федорович, магистрант каф. «Турбины и двигатели», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: cocegko1234@mail.ru, Тел.: +7(909)023-24-62

Плотников Петр Николаевич, д-р. техн. наук, профессор каф. «Турбины и двигатели», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: plot24@mail.ru. Тел.: +7(922)221-50-27

Kirill F. Boriskov, Master student, Department «Turbines and engines», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: cocegko1234@mail.ru. Ph.: +7(909)023-24-62

Petr N. Plotnikov, Doctor Sc., Prof., Department «Turbines and engines», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: plot24@mail.ru. Ph.: +7(922)221-50-27

Аннотация: Рассматриваются проблемы мониторинга состояния ГПА, основные причины аварийных остановов, актуальность проведения мероприятий по продлению ресурса деталей и узлов, создание ремонтных баз вблизи компрессорных станций. Авторы предлагают создание программы для мониторинга остаточных ресурсов деталей и узлов, планирования ТОиР, анализа параметров работы ГПА до и после ремонта, а также оценки эффективности её работы.

Abstract: The problems of monitoring the state of the gas compressor station, the main causes of emergency shutdowns, the urgency of measures to extend the life of parts and assemblies, the creation of repair bases near compressor stations are considered. The authors propose the creation of a program for monitoring the residual resources of parts and assemblies, planning repair, analyzing the parameters of the gas turbine before and after repair, as well as evaluating the effectiveness of its operation.

Ключевые слова: газоперекачивающий агрегат; аварийный останов; материально технические ресурсы; ремонтно-механические участки; техническое обслуживание и ремонт; остаточный ресурс.

Key words: gas turbine; emergency stop; material and technical resources; mechanical repair areas; maintenance and repair; residual resource.

В настоящее время блоки газоперекачивающих установок состоят из нескольких крупных узлов: воздухоочистительная установка, осевой компрессор, камера сгорания, газовая турбина (ТВД, силовая турбина), нагнетатель и т. д. Все эксплуатационные параметры запасных частей, такие как: прочностные характеристики материалов, гарантийные условия и срок хранения, гарантийная наработка в часовом эквиваленте, условия, в которых должны эксплуатироваться те или иные детали и узлы – должны быть занесены в ТУ и указаны в сопроводительно-эксплуатационной документации (паспорт, этикетка). Данными документами в свою очередь должны руководствоваться работники эксплуатирующей организации при планировании ТОиР. При работе турбомашин

важно следить за состоянием контрольных параметров с целью недопущения аварийных ситуаций работающих турбоагрегатов. Поддержание турбомашин в исправном состоянии – залог надежной работы всей газотранспортной системы в целом.

Анализ статистики выхода из строя газотурбинных установок (ГТУ) за период 2013 – 2016 г.г. показывает, что в среднем каждый второй эксплуатируемый агрегат выходил из строя по аварии. В таблице 1 занесены типы турбомашин, их количество и число аварийных остановов.

Выбор элементов, приведенных в таблице 2, базируется на выборе наиболее критичных и

частых поломок в турбомашине. Статистика повреждений большой группы основных деталей ГПА, полученная после детального исследования, а также классификация повреждений приведены в таблице 2.

Таблица 1.

Число аварийных остановов по типам ГПА

Тип ГПА	Кол-во агрегатов	Число остановов
PGT-10	24	20
ГПА-Ц-16	244	118
ГПА-Ц-16-18	178	104
ГТК-10-4	264	124
ГТК-10М	41	13
ГПА-10-01	79	48
ГТ-6-750	78	25
ГТН-16 (М1)	60	31
ГПА-Ц-6,3	20	16
ГТК-10И	22	12
ГПА ДУ-25	20	32

Таблица 2.

Распределение числа поломок по узлам и системам ГПА

Элементы отказа	Кол-во отказов	% отказов
Проточная часть	56	10,31
Подшипники	40	7,37
Маслосистема	97	17,86
КИПиА	220	40,52
Прочие элементы	130	23,94

Большая часть аварийных остановов газовой турбины связана с неполадками контрольно-измерительных приборов и автоматики (КИПиА), при этом чаще всего причиной аварии являются неисправности датчиков контроля.

Немного меньше аварийных остановов происходит по причинам, обусловленным человеческим фактором, т.е. ошибочные действия персонала (не своевременное закрытие крана или открытие не нужной задвижки при эксплуатации, ошибки сборки ГПА или оставленные инструменты в агрегате при его обслуживании и т.д).

Следующей по частоте отказов является маслосистема, частота отказов которой составляет $\approx 1/5$ от всех аварийных остановов. Доля неполадок, связанных с проточной частью составляет приблизительно $1/10$ часть от всех поломок.

И, наконец, меньше всего из этого списка – это повреждения подшипников, которые составляют $1/14$ долю от всех отказов.

Проанализированная статистика механических повреждений основных деталей ГТУ, причины и

классификация повреждений уточненных групп по большой выборке, как зарубежных, так и отечественных агрегатов приведены в таблице 3.

Таблица 3.

Анализ остановов ГТУ

Поврежденный узел, система	Доля повреждений, %
<i>Статистика повреждений основных деталей ГТУ</i>	
Рабочие лопатки и диски турбины	16,1%
Направляющие лопатки турбины	4,4%
Рабочие лопатки компрессора	3,9%
Направляющие лопатки компрессора	1,46%
Лопасты ЦБН	5,85%
Камера сгорания	1,46%
Подшипники	19,5%
Маслонасосы	13,2%
Маслопроводы	12,67%
Фильтрующие элементы	5,36%
АВОМ и секции охлаждения	4,4%
Уплотнения	11,7%
<i>Статистика повреждений контрольно-измерительных приборов и автоматизации ГТУ</i>	
Соединения с приборами и изоляция	72,3%
Неисправность приборов	20,4%
Некорректная работа системы	7,3%
<i>Причины неполадок при работе ГТУ</i>	
Дефекты оборудования, %:	58,24%:
В том числе:	
Заводской брак, низкое качество МТР	26,37%,
Истечение гарантийного срока эксплуатации	31,87%
Дефекты обслуживания и эксплуатации, %:	41,76%:
В том числе:	
Недоброкачественное проведение ТОиР	15,38%,
Ошибки при эксплуатации и управлении	18,68%,
Прочие воздействия	7,7%

Повреждения турбинных лопаток происходят вследствие попадания посторонних предметов или пыли в проточную часть турбомашин, вибрации или неудовлетворительного охлаждения в процессе работы. Так же при длительной эксплуатации поломки данных элементов могут происходить вследствие высокотемпературной

коррозии (разрушения входных - выходных кромок профиля), термоусталостных трещин, усталостного напряжения в материале [1]. Ремонт агрегата включающий в себя замену лопаток может занять достаточно продолжительное время: от одного до десяти месяцев [2]. Длительность процесса обусловлена большим объемом работ и сроками поставок запасных частей [2, 3, 4].

Рассматривая стоимость ремонтно-восстановительных работ агрегатов исследуемого мощностного ряда важно заметить, что ремонт с заменой всех лопаток на новые составляет приблизительно 50 % стоимости всего турбоагрегата. Относительно высокая стоимость рабочих лопаток обусловлена условиями, в которых лопатки работают: значительные центробежные и осевые нагрузки при воздействии высоких температур [1, 4].

Ремонты, связанные с проточной частью, сложны и требуют высокого уровня подготовки персонала, осуществляющего ремонт установки, специфического оборудования и приспособлений, поскольку требуют качественного выполнения разборно-сборочных работ, точной балансировки и центровки. Кроме этого при недостаточной эффективности очистки воздуха в процессе работы воздушного компрессора в проточной части образуются отложения, которые резко ухудшают показатели работы установки: снижение мощности до 20% и КПД до 10%, возможны и большие показатели [5]. Если механические частицы в воздухе органической природы, тогда образуются отложения уже при попадании частиц приблизительно 5-6 мкм, а если попадают механические частицы неорганической природы, тогда при размере 10-12 мкм происходит коррозия и абразивный износ лопаточного аппарата во входе в осевой компрессор. Возможное решение – это ужесточение требований к тонкости фильтрации фильтров ВОУ до 20 мкм [1]. Для оперативной очистки газоздушного тракта без его разбора компанией «TURBOTECT» разработаны комплекты форсунок для очистки ОК на холодной прокрутке, а так же на ходу.

Повреждения жаровых труб камеры сгорания влечет уменьшение объема рабочего тела и понижение температуры. Работы по ремонту жаровых труб занимают приблизительно 4 рабочих дня ремонтных работ и примерно 30 рабочих дней изготовления и поставки необходимых запасных частей.

Повреждения подшипников занимает первое место по частоте выхода из строя после деталей, работающих при высоких температурах, что соответствует проведенному анализу в статье [1].

Неисправность подшипников в ГПУ сопровождается повышением вибрации и (или) температуры. При таких разрушениях ремонтно-восстановительные работы могут занять, в лучшем случае 20 рабочих дней [2].

Устранение неполадок маслосистемы и системы охлаждения займет от 2 до 4 рабочих дней без учета сроков изготовления и поставки запасных частей [2].

При неисправной работе КИП может наблюдаться повышение температуры подшипников, рабочего тела, масла в системе, повышенные обороты, вибрация, загазованность и много другое. Датчики могут варьироваться в большом диапазоне цен в зависимости от марки агрегата (импортного или отечественного производства), аналогичная ситуация и со временем изготовления. Время замены датчика также может быть различной, в зависимости от того, где расположен датчик, в среднем замена занимает от нескольких часов до 2 рабочих дней [2].

Надежность, срок использования деталей и узлов во многом зависят от условия эксплуатации, загруженности турбоустановки, температуры продуктов сгорания на входе (превышение нормативной температуры может вызвать нарушение свойств сплава, что, соответственно, снизит срок их эксплуатации), количества пусков и остановов агрегата, качества топлива, климатической зоны расположения установки, а также от качества произведенного ремонта узлов и всего агрегата в целом.

Большая часть турбоустановок исследуемого парка, израсходовали свой ресурс и требуют замены на новые агрегаты, но в связи с высокой стоимостью оборудования проводят мероприятия по модернизации ГТУ, тем самым продляют срок эксплуатации агрегата, улучшают основные показатели и повышают коэффициент технического использования. При этом необходимо отметить, что в ряде случаев изменение конструкции турбомашин (модернизации) через некоторое время эксплуатации вызывает дефекты, при которых дальнейшая работа машины становится невозможной. Данные проблемы остановок модернизированных турбомашин происходят из-за проектных недоработок, которые не учли при проектировании конструкции и при расчете на номинальном режиме работы установки, также проблемы встречаются в конструкции корпусов, уплотнении, опор [1]. Модернизированные турбомашин требуют к себе большего внимания, частого контроля параметров рабочего тела, вибрационного состояния подшипников, загрязнения маслосистемы.

Для предупреждения аварийных остановов предлагается разработать и внедрить «online-program», которая будет отслеживать остаточный ресурс установленных в турбоагрегат запасных частей и своевременно напоминать о необходимости проверки их состояния при плановом ТОиР. Поскольку запасные части для ремонта турбоагрегата могут быть установлены не только новые, но и отремонтированные, то этот фактор так же должен учитываться программой. Помимо этого, программой должен учитываться не только остаточный ресурс до окончания гарантийной наработки, но и период ресурса, на котором возможно проведение комплекса мероприятий по продлению ресурса, предусмотренных заводом-изготовителем запасных частей и выполняемом на специализированных предприятиях. Проведение комплекса мероприятий по продлению ресурса запасных частей выполняется крайне редко, хотя его своевременное выполнение позволит снизить затраты на эксплуатацию агрегата, так как суммарный ресурс деталей увеличится и приобретение новых дорогостоящих МТР потребуются реже. В основу данной программы будут заложены цели планово-предупредительного ремонта (предупреждение преждевременного износа деталей, узлов и механизмов и содержание их в работоспособном состоянии, а так же безаварийная и бесперебойная работа турбомашин), широко изложенные в статье [6] и принципы «системы сбора и анализа эксплуатационных данных по отказам ГПА», представленный в [7]. Благодаря полноте информации о запасных частях, установленных ранее в агрегате, часах наработки каждой детали, мастеру по ремонту оборудования будет удобно пользоваться программой при планировании ремонтов ГПА, при составлении дефектных ведомостей и при выводе определенного агрегата в ремонт. Программа не оставит ответственному лицу возможности забыть включить в дефектную ведомость запасную часть с истекающим сроком наработки или какой-либо вид работ. Так же инженерам, принимающим агрегат в эксплуатацию и дающим оценку качества выполненного ремонта, проще будет сравнить параметры работы ГПА до и после ремонта, а так же в любое время ознакомиться с электронными копиями СЭД на установленные запасные части. Все это в целом повысит надежность парка эксплуатируемых ГПА, а так же качество ремонта.

В целях сокращения сроков ремонта, а также затрат на транспорт и новые МТР, предлагается создать в непосредственной близости к компрессорным станциям ремонтно-механические участки (РММ), которые будут обеспечивать восстановительный ремонт и изготовление новых

(РТИ, метизы и т.д.) запасных частей без применения сложных технологий. В условиях РММ могут быть восстановлены и в последующем введены в эксплуатацию следующие узлы и детали: роторы ОК-ТВД, ТНД, нагнетателя, рабочие лопатки и направляющие лопатки, корпусные детали, опорные и упорные подшипники, различные уплотнения, элементы систем охлаждения и смазки, элементы камеры сгорания [2].

Выполнение предложенных вариантов поможет сократить время простоев ГТУ в ремонте за счет более качественного восстановления запасных частей или изготовления некоторых элементов (прокладки и т.д.) в кратчайшие сроки. Создание РММ на территории КС или в ближайшей доступности снизит время доставки до объекта необходимых МТР и сократит транспортные расходы. Если мастерские будут оборудованы необходимым станочным парком (станок для балансировки роторов, сверлильный, токарный, фрезерный станки и т.д.) это позволит расширить виды ремонтно-восстановительных работ и качество их выполнения, что немало важно для бесперебойной работы ГТУ.

Благодаря использованию программы контроля МТР можно добиться своевременного останова турбоагрегата и успешного проведения ремонтно-восстановительных мероприятий или полной замены (если данный узел неремонтопригоден), что продлит эксплуатационный период деталей и всего агрегата в целом, а также сократит расходы на закупку МТР и время простоя ГПА благодаря более короткому сроку восстановительных работ в отличии от полного изготовления запасных частей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Микаэлян Э.А. Повышение надежности, безопасности, устойчивой работы газотурбинных газоперекачивающих агрегатов. Труды Российского государственного университета нефти и газа им. И.М. Губкина. 2009. №4. с.68-74.
2. ОАО «Газпром». Газоперекачивающие агрегаты. Нормативы трудоемкости по видам ТОиР. Москва 2008. 276 с.
3. ОАО «Газпром». Компрессорные станции. Газоперекачивающие агрегаты. Порядок проведения ТОиР. СТО Газпром 2.2.3-681-2012. Москва. 2014. 546 с.
4. Завалишин И.В., Финогеев А.Г. «Особенности технологической подготовки производства деталей турбины газотурбинного двигателя» Электронный журнал «Труды МАИ». Выпуск № 56
5. Карл Ф.Отт «Газоперекачивающие агрегаты» Том III. Екатеринбург. 2007. 218 с.
6. http://neftegaz.ru/tech_library/view/4036-Planovo-predupreditelnyj-remont-PPR
7. Терентьев А.Н., Седых З.С., Дубинский В.Г. Надежность газоперекачивающих агрегатов с газотурбинным приводом. М. Недра. 1979. 207 с.