

УДК 621.438

А.Г. АНДРИЕЦ

*Севастопольский национальный технический университет, Украина*

## О РАЦИОНАЛЬНОЙ ПЕРИОДИЧНОСТИ ОЧИСТКИ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ГТД ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

Рассмотрен подход к определению периодичности очистки проточной части ГТД с целью предотвращения коррозионных повреждений, вызванных воздействием агрессивной среды, увеличения ресурса и надежности работы ГТД. Приведен метод и устройство для очистки проточной части ГТД твердым очистителем.

**коррозия, проточная часть, параметры, двухкаскадный, занос, ресурс, карбобласт, дозатор**

### Введение

Использование ГТД в качестве привода газоперекачивающих агрегатов, судовых, локомотивных, авиа- и автотранспортных двигателей повышает требования к их надежности и долговечности. К ухудшению характеристик ГТД и снижению ресурса приводит загрязнение проточной части (ПЧ), особенно солями морской воды, содержащее агрессивные соединения и вызывающее занос каналов и коррозию основного металла и покрытий элементов ПЧ. Присутствие окислов железа, паров масла и газов способствует прилипанию отложений к поверхности лопаток, образуя стойкие трудносмываемые соединения. В 1980-х годах эта проблема встала и перед эксплуатационным персоналом экранопланов. Очистка ПЧ производится при достижении предельно допустимых изменений параметров ГТД, однако коррозия лопаток начинается ранее, что снижает надежность и ресурс работы ГТД.

### 1. Формулирование проблемы и общие соотношения

Определение рациональной периодичности очистки ПЧ ГТД до наступления предельных изменений параметров с целью предотвращения коррозии покрытий и основного металла элементов ПЧ повышает ресурс и надежность работы ГТД в условиях работы в агрессивной среде.

Изменение параметров ГТД вследствие загрязнения ПЧ: а) для двухкаскадных ГТД занос компрессоров характеризуется относительным изменением скольжения частот вращения компрессоров низкого (КНД) и высокого (КВД) давления

$$\delta n = \frac{\Delta n_{\phi}}{\Delta n_{\text{доп}}} -$$

отношение фактического и предельно допустимого изменений скольжения частот вращения КНД и КВД; б) занос турбин характеризуется относительным изменением температуры газа за турбиной от ее значения для "чистого" ГТД при той же частоте вращения КВД

$$\delta t_4 = \frac{\Delta t_{4\phi}}{\Delta t_{4\text{доп}}} -$$

отношение фактического и предельно допустимого изменений температуры газа за турбиной.

### 2. Решение проблемы

Современные воздухоочистительные устройства судовых ГТД обеспечивают солесодержание воздуха на входе до 0,03 мг соли/кг возд., и в этих условиях при работе на тяжелых топливах периодичность очистки ПЧ по достижению предельных изменений параметров промывкой жидкими средствами – около 300 часов, при работе на дизельных топливах – около 1000 часов, при очистке карбобластом – около 500 часов [1]. За такой период работы налет загряз-

нений вызывает коррозию покрытий и основного металла ПЧ.

Испытания ГТД с подачей морской соли в ПЧ являются обязательными при отработке новых судовых ГТД. Основная часть соли отлагается в компрессоре, но при изменении режимов, промывках и с топливом заносится в турбину. Экспериментальные исследования с подачей сухой соли на вход в ГТД и вскрытием ПЧ после испытаний показали наличие солевых отложений только в турбинах. Данные испытаний с последующим осмотром ПЧ свидетельствуют о том, что наибольшее коррозионное влияние оказывают ванадий, натрий, кальций, свинец и сера, и время начала коррозии зависит от условий эксплуатации, цикличности нагрузок и материала элементов ПЧ. Минимальная температура плавления солей морской воды около 680 °С, выше которой расплавленная солевая среда вызывает электрохимические процессы, снижающие долговечность металла. Скорость коррозии значительно возрастает при температурах выше 1 000 °С и при диффузии серы в основной металл [2]. Частицы NaCl морской соли понижают содержание хрома в поверхностных слоях лопаток и уменьшают их длительную прочность. Расплавы солей Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NaCl, Ni<sub>3</sub>S<sub>2</sub>+Ni обладают адсорбционной активностью по отношению к никелевым жаропрочным сплавам, что является основной причиной снижения длительной прочности в контакте с золой.

Максимальный рост интенсивности коррозии достигается при солевой нагрузке  $S \geq 1 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$  [3]. Здесь же авторы приводят данные испытаний сплава ЭП539ЛМ в солевой смеси по весу 70% Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + 30% NaCl при температуре 850 °С в течение 500 часов, показавшие, что глубина коррозии составила 1,2 мм. Делается вывод, что наибольшее снижение предела длительной прочности происходит при глубине солевой коррозии свыше 0,1 мм и составляет для сплава ЭИ698ВД до 2 раз, для сплавов ЭП539ЛМ и ЭИ826 – до 5 раз. В [2] описыва-

ются результаты испытаний образцов деталей турбин, проведенных в солевой смеси 70% Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + 10% NaCl + 10% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + 7% CaO.

Установлено, что после 200 ч испытаний при 700 °С удельные потери массы колеблются в пределах 0,5 – 1,5 мг/мм<sup>2</sup>.

Таким образом, коррозия элементов ПЧ наступает через 200 – 300 часов, а по другим данным – через 75 – 100 часов работы в агрессивной среде, т.е. ранее предельно допустимого изменения параметров. Методов расчетной оценки скорости распространения солеусталостных повреждений в условиях статического, термоциклического и вибрационного нагружения в настоящее время не существует. Поэтому для предотвращения развития коррозии, увеличения ресурса и надежности ГТД очистка ПЧ должна производиться через 100 – 150 ч работы или при достижении относительного изменения параметров  $\delta p$  или  $\delta t_4 = 0,2 \dots 0,5$ .

С этой целью метод очистки ПЧ следует выбирать в зависимости от режимов работы ГТД: а) при возможности останавливаться с необходимой периодичностью для противокоррозионной очистки ПЧ – применять промывку жидким моющим средством; б) при невозможности остановки ГТД очистку следует производить твердым очистителем, например, карбобластом – смесью измельченных до размера 1...2,5 мм косточек грецких и др. орехов. Очистка ПЧ карбобластом – эффективное средство очистки компрессоров и турбин от стойких отложений, в том числе КВД ГТД с промощением и турбин при работе на тяжелых топливах [1]. Для очистки карбобластом должны быть защищены от попадания частиц каналы отбора охлаждающего воздуха, например, установкой отбойных козырьков перед отверстием в ПЧ отбора охлаждающего воздуха.

Экспериментально установлены следующие режимы очистки ПЧ карбобластом: а) одна доза, составляющая около 0,01 от расхода воздуха в

ГТД, подается на вход в ПЧ к корням лопаток в 4...8 точках в зависимости от ометаемой площади лопаток первой ступени равномерно через 45...90° по окружности; б) режим работы ГТД – пониженный настолько, что окружная скорость лопаток компрессора не должна превышать 160...200 м/с, а максимальная температура в ПЧ не должна превышать 650 °С; в) после введения 10 доз карбобласта необходимо проводить промывку ПЧ жидким средством.

Для дозирования и подачи в ПЧ карбобласта четырьмя равными порциями разработан, изготовлен и испытан дозатор карбобласта – рис. 1: воздух давлением 0,4...0,6 МПа к дозатору подается из переходника между КНД и КВД. При подаче воздуха в полость А открытием электромагнитного клапана ЭМ2 поршень 7 перемещается влево до упора в крышку 9 в положение загрузки карбобласта 3 из бункера 2. При этом через отверстие 15 в бункер 2 поступает воздух из полости А на барботаж карбобласта для заполнения четырех мерных камер 8. Нажатием кнопки "Пуск" пульта закрывается клапан ЭМ2 и открывается электромагнитный клапан ЭМ1, воздух поступает в полость В, поршень 7 перемещается вправо до упора в крышку 10. При этом открывается отверстие 13 подачи воздуха из полости В в ресивер 6 и далее на продувку камер 8, откуда карбобласт выдувается через четыре отверстия 4 в трубопроводы подачи карбобласта на вход в ГТД.

Очистка карбобластом может применяться и в ГТД с теплоутилизационным контуром (ТУК). Так в установках М25 мощностью 18 МВт с ТУК ролкеров типа "Атлантика", а именно транспортно-десантного корабля ВМФ США "Roy M. Wheat", очистка производится на режиме по мощности не выше 0,3 N<sub>с</sub> с подачей карбобласта в зону первичного воздуха каждой из десяти жаровых труб. При очистке карбобластом лопаток компрессора из стали 2Х13 в течение 10 лет эрозионные повреждения не наблюдались.

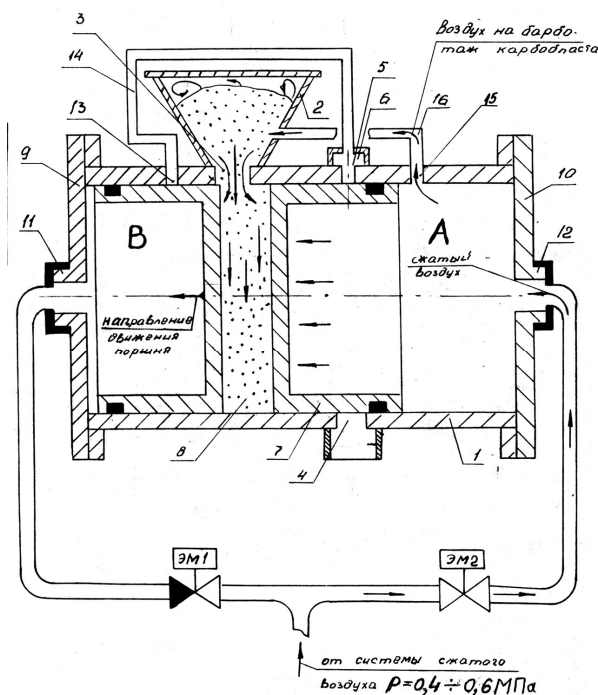


Рис. 1. Дозатор карбобласта

## Заключение

Для предотвращения развития коррозии, увеличения ресурса и надежности работы ГТД очистка ПЧ от загрязнений должна производиться до достижения предельно допустимых изменений параметров.

## Литература

1. Техническая эксплуатация судовых ГТУ / Г.Ш. Розенберг, А.С. Бондаренко, Е.С. Голуб и др. – М.: Транспорт, 1986. – 222 с.
2. Гецов Л.Б. Детали газовых турбин. – Л.: Машиностроение, 1982. – 295 с.
3. Особенности повреждения жаропрочных никелевых сплавов при длительном циклическом нагружении в содесодержащей среде / А.Ф. Малыгин, А.Я. Задорский, Л.А. Горячева, Е.Е. Ющенко // Судостр. пром. – Л., 1988. – Вып. 2. Судовые энерг. уст. – С. 50 – 55.

Поступила в редакцию 28.05.2004

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. А.К. Сухов, Севастопольский национальный институт ядерной энергии и промышленности, Севастополь.